

## 2.2 潮流シミュレーション

### 2.2.1 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（平成 20 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、防泥柵や滞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。
- 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"> <li>・ 表層厚の制限により河川水の挙動の表現低下</li> <li>・ 海底地形に沿う流れの表現低下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 海底地形に沿う流れの表現向上</li> <li>・ 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</li> <li>・ 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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 自由度に富んだ鉛直格子の設定が可能</li> <li>・ 表層厚を薄くし、河川水の挙動の表現向上</li> <li>・ 層区分の工夫により地形急変部の表現向上</li> </ul>

図 2.5 各モデルの鉛直層分割のイメージ

## 2.2.2 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(10月15日現在)

計算格子	図 2.6 参照	
水深	図 2.7 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：平成 20 年度の深浅測量成果 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"> <li>風条件：行徳<sup>6</sup>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</li> <li>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)</li> </ul>	
計算境界の水温・塩分	<ul style="list-style-type: none"> <li>テストランでは、千葉県環境研究センターの内湾のデータを使用</li> <li>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する。</li> </ul>	
淡水流入量	河川	<ul style="list-style-type: none"> <li>テストランでは平成 6 年度データ(補足調査)を使用</li> <li>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</li> <li>その他の河川：流域面積と降水量から平均流量を算定</li> </ul>
	下水処理場	<ul style="list-style-type: none"> <li>テストランでは平成 6 年度データ(補足調査)を使用</li> <li>千葉県：平成 16 年度データを収集</li> <li>東京都及び神奈川県：平成 20 年度データを収集</li> </ul>
	工場・事業場	<ul style="list-style-type: none"> <li>テストランでは未設定</li> <li>平成 6 年度データ(補足調査)を使用</li> </ul>
再現の検証データ	<b>【流況】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>平成 20 年度調査結果及びその他の調査結果(H2, H8, H11)</li> </ul> <b>【水温・塩分】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>平成 20 年度調査結果</li> </ul>	
平成 20 年度夏季の再現性(テストランの状況)	<ul style="list-style-type: none"> <li>潮位および潮流については概ね良好</li> <li>平均流も概ね良好</li> <li>水温・塩分の再現性は課題あり(湾口の境界条件を検討中)</li> <li>出水時は今後検討予定</li> </ul>	

## 2.2.3 計算条件

再現計算期間は、平成 20 年 6 月～平成 21 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 ⇒平成 20 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 ⇒平成 20 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 ⇒平成 21 年 1 月の 1 ヶ月間

<sup>6</sup> 東京湾海象情報システム(千葉県漁業協同組合連合会)

計算範囲の水平格子分割を図 2.6 に、水深分布を図 2.7 に示す。

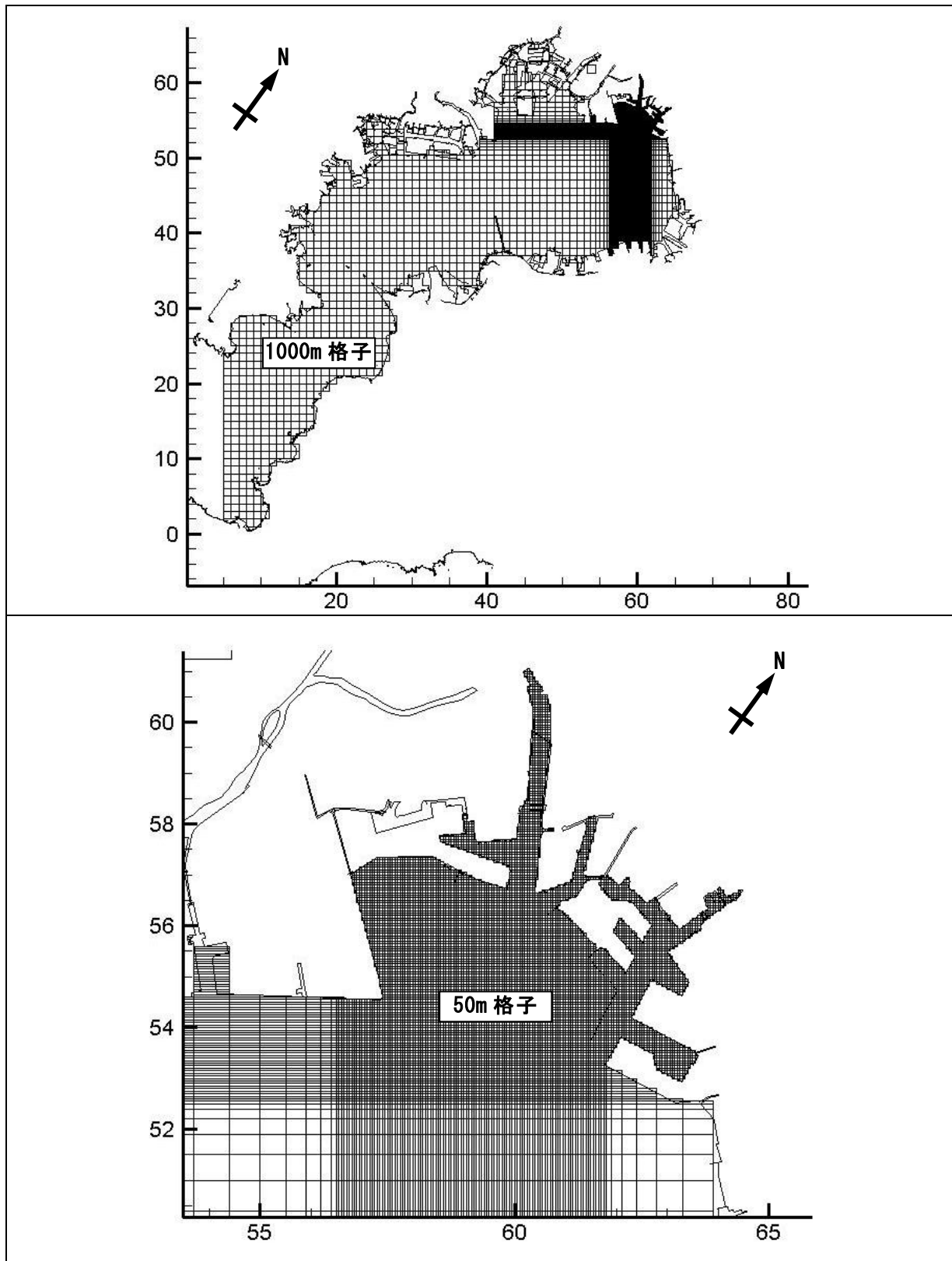


図 2.6 計算範囲の水平格子分割(可変長格子を採用)

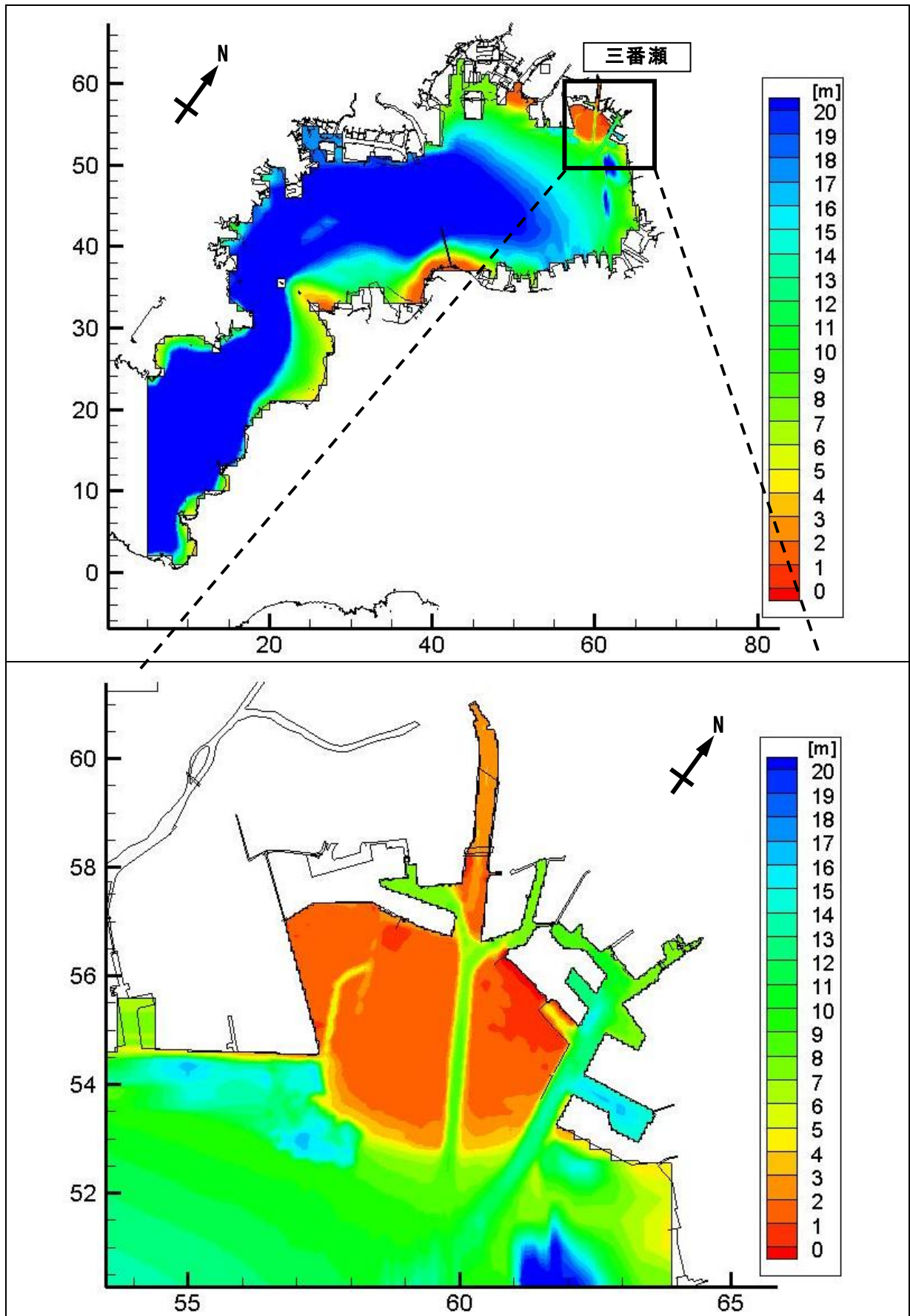


図 2.7 計算範囲の水深分布

代表断面の鉛直層分割を図 2.8 に示す。ここで、テスト計算においては計算時間短縮のため最大 15 層で実施したが、最終的には 20 層に細分化予定である。

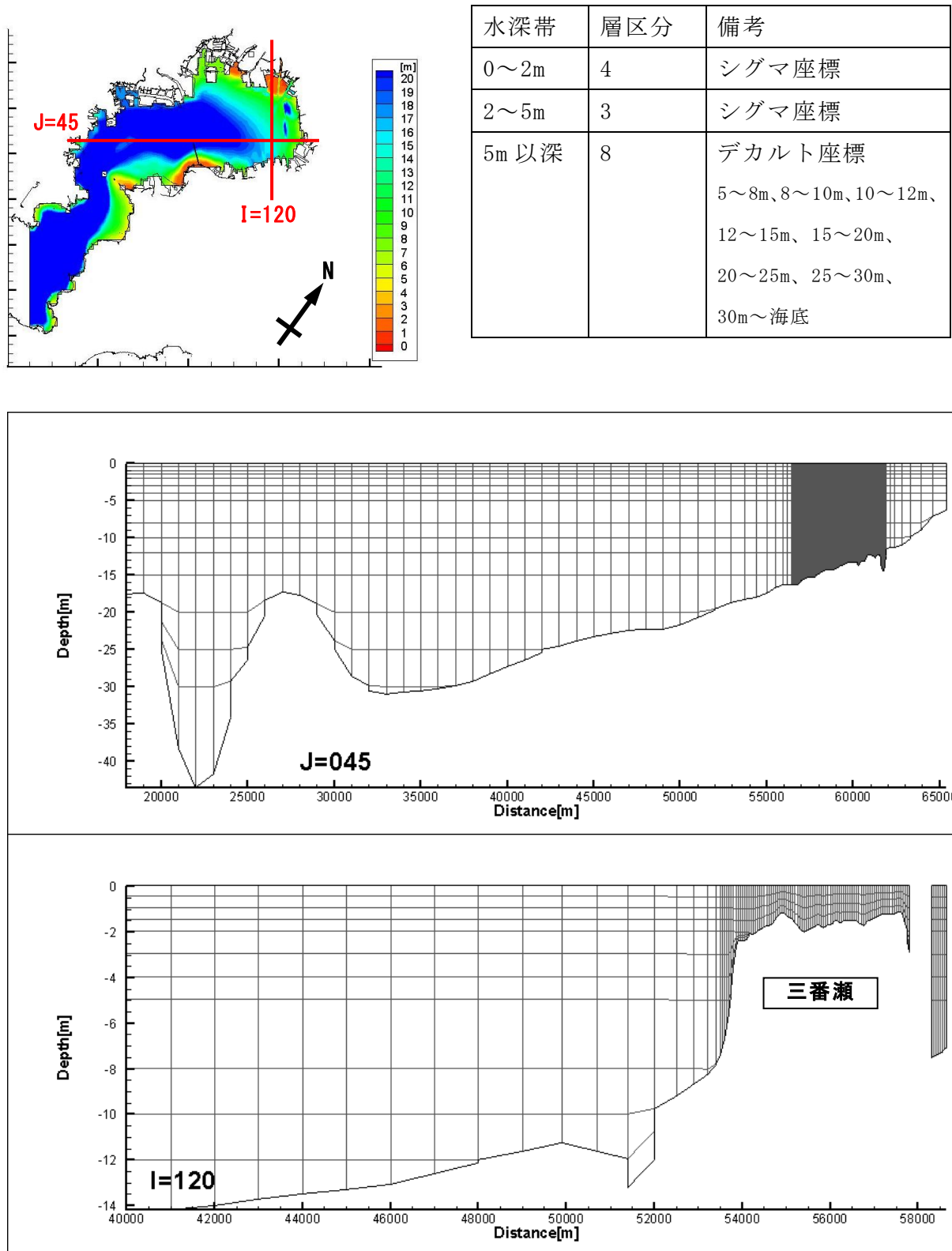


図 2.8 代表断面の鉛直層分割

## 2.2.4 モデルの再現性の検証

現状の進捗報告として、2008年夏季を対象としたテスト計算結果を以下に示す。

### (1) 2008年夏季

#### 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2.9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<sub>2</sub>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。

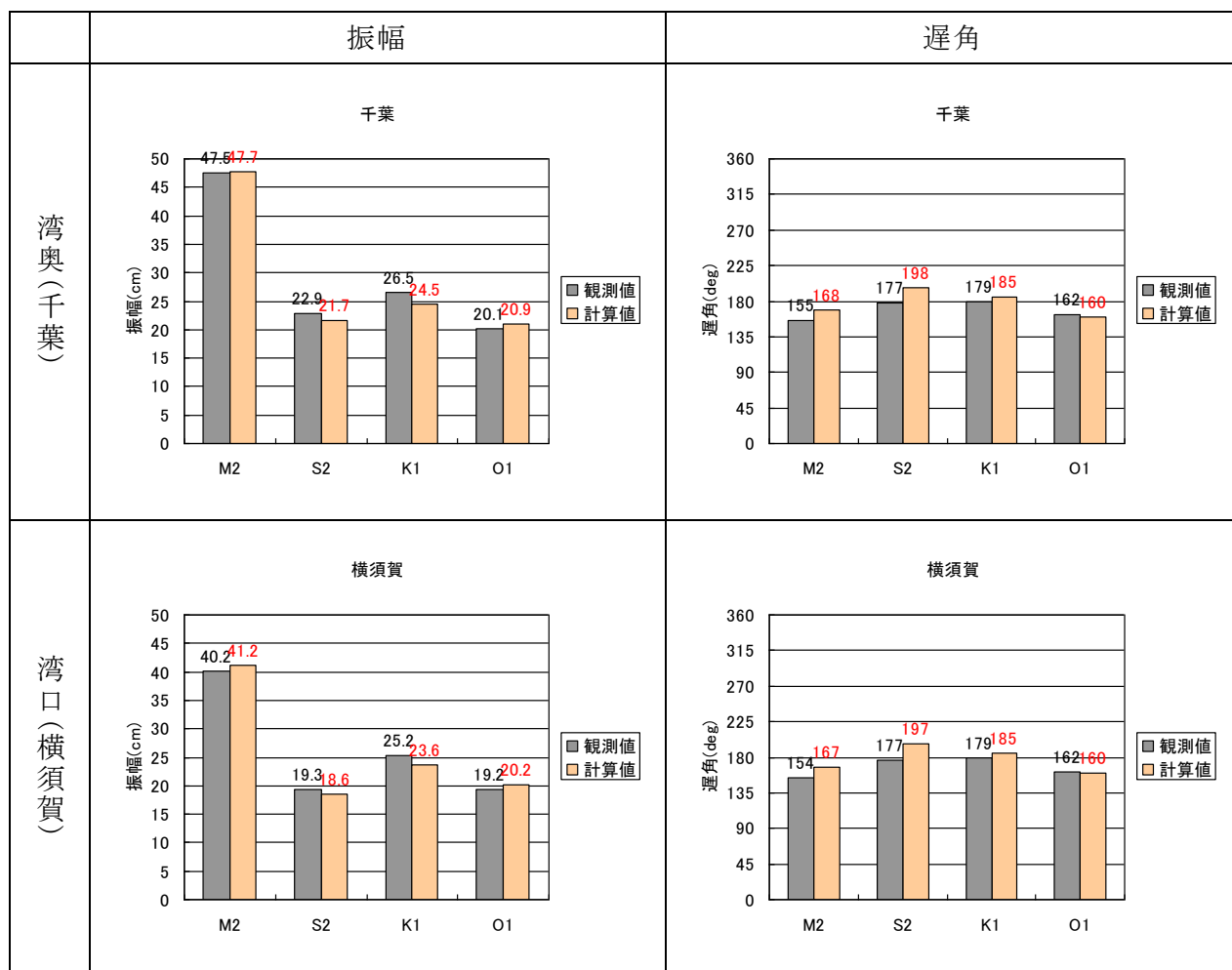


図 2.9(1) 主要4分潮の潮位振幅と遅角の再現性

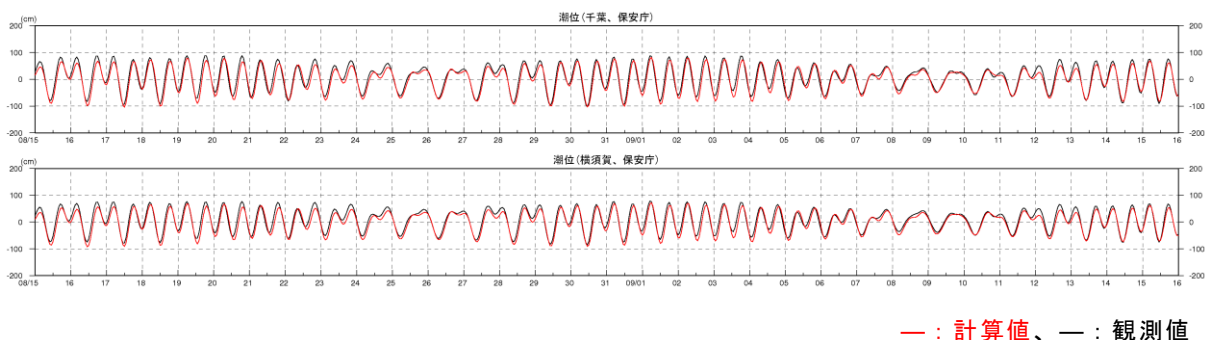


図 2.9(2) 再現期間における潮位経時変化の再現性

## 2) 潮流楕円

潮流楕円は、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 分潮の潮流楕円の比較を図 2.10(1)に、沖合の潮流楕円の比較を図 2.10(2)に示す。

三番瀬内においては Stn. 2 の  $M_2$  分潮の計算値の楕円が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、潮流の回転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、潮流楕円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

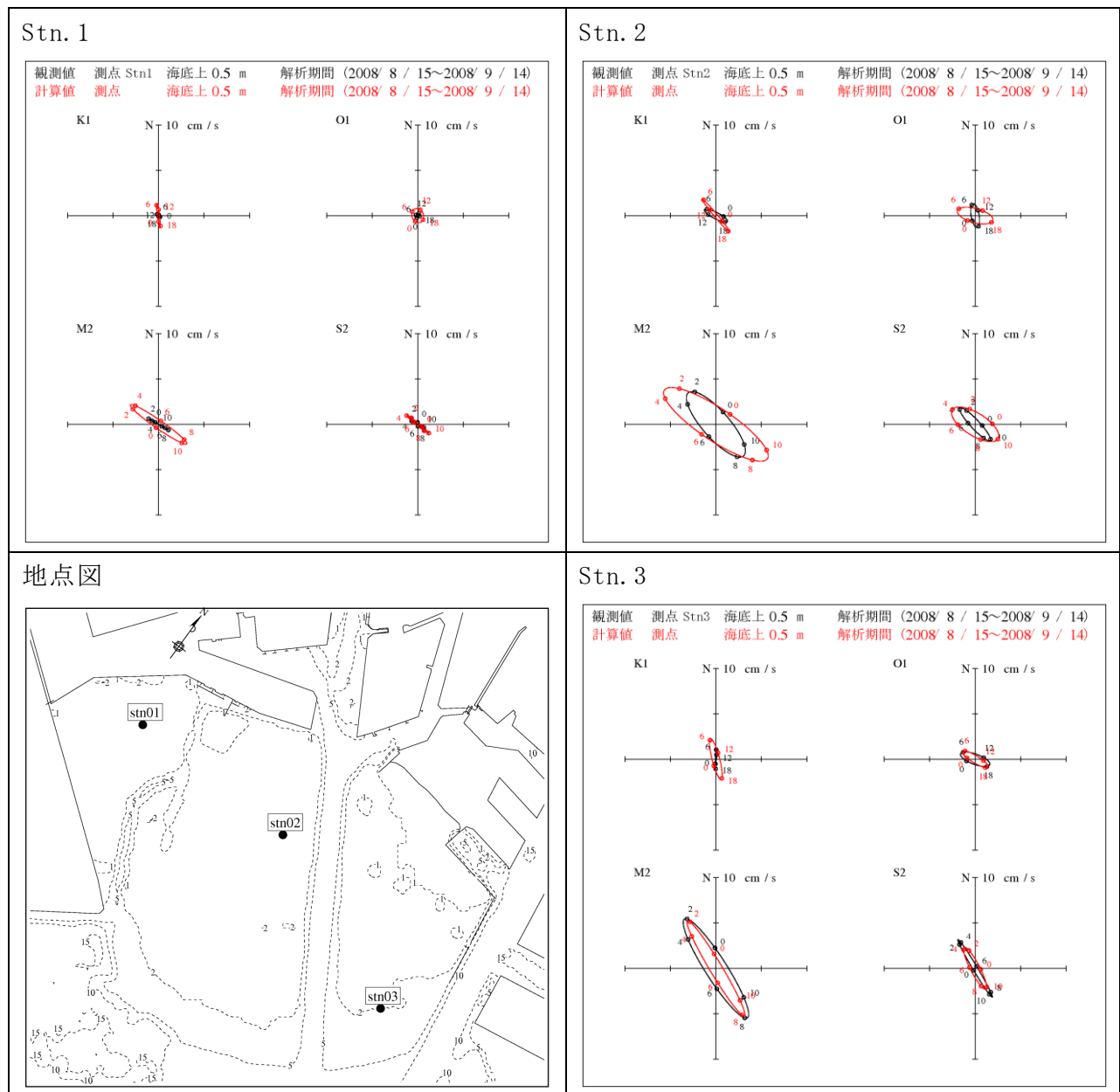
検証エリア	観測年	出典
三番瀬内	2008(H20)年	H20 年度 三番瀬水環境モニタリング調査
東京湾内	1990(H2)年	H2年度 葛南地区流況現況調査
	1996(H8)年	H8 年度 環境対策検討調査(その7)

## 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 2.11 に示す。両者の平均流ベクトルを比較すると、Stn. 1 の弱い平均流、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) 水温・塩分

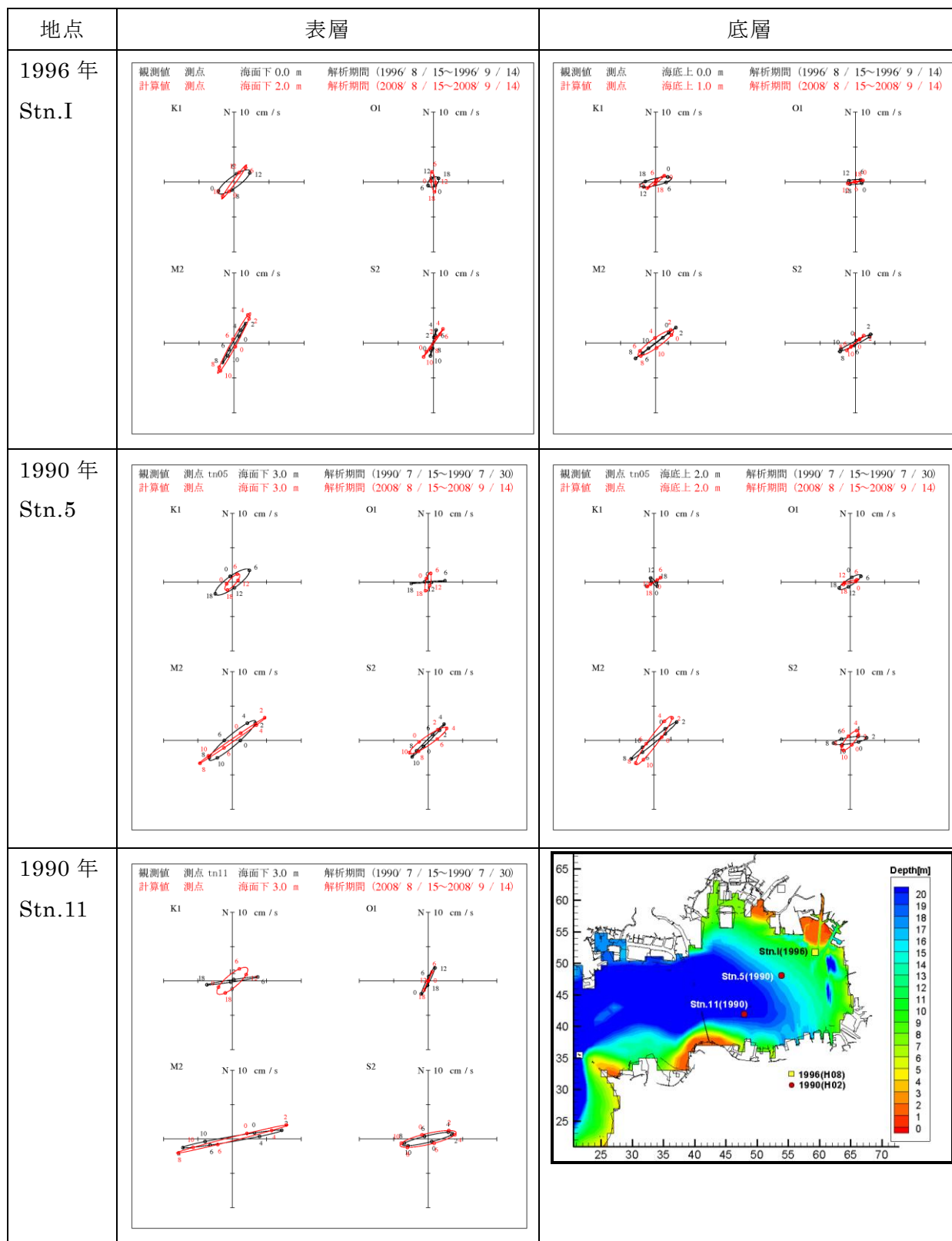
再現期間における水温・塩分の経時変化の比較を図 2.12 に示す。水温の計算値は観測値を概ね再現できているが、計算値の塩分が観測値よりも過小傾向にある。これについては、水温・塩分の境界条件を見直す等、現在検討を進めている。



注) 観測値 : H20 年度 三番瀬水環境モニタリング調査より

図 2.10(1) 主要 4 分潮の潮流楕円の再現性(2008 年夏季、底層)





注)観測値：H2年度 葛南地区流況現況調査、H8年度 環境対策検討調査（その7）より

図 2.10(2) 主要4分潮の潮流楕円の再現性(2008年夏季、沖合、参考)

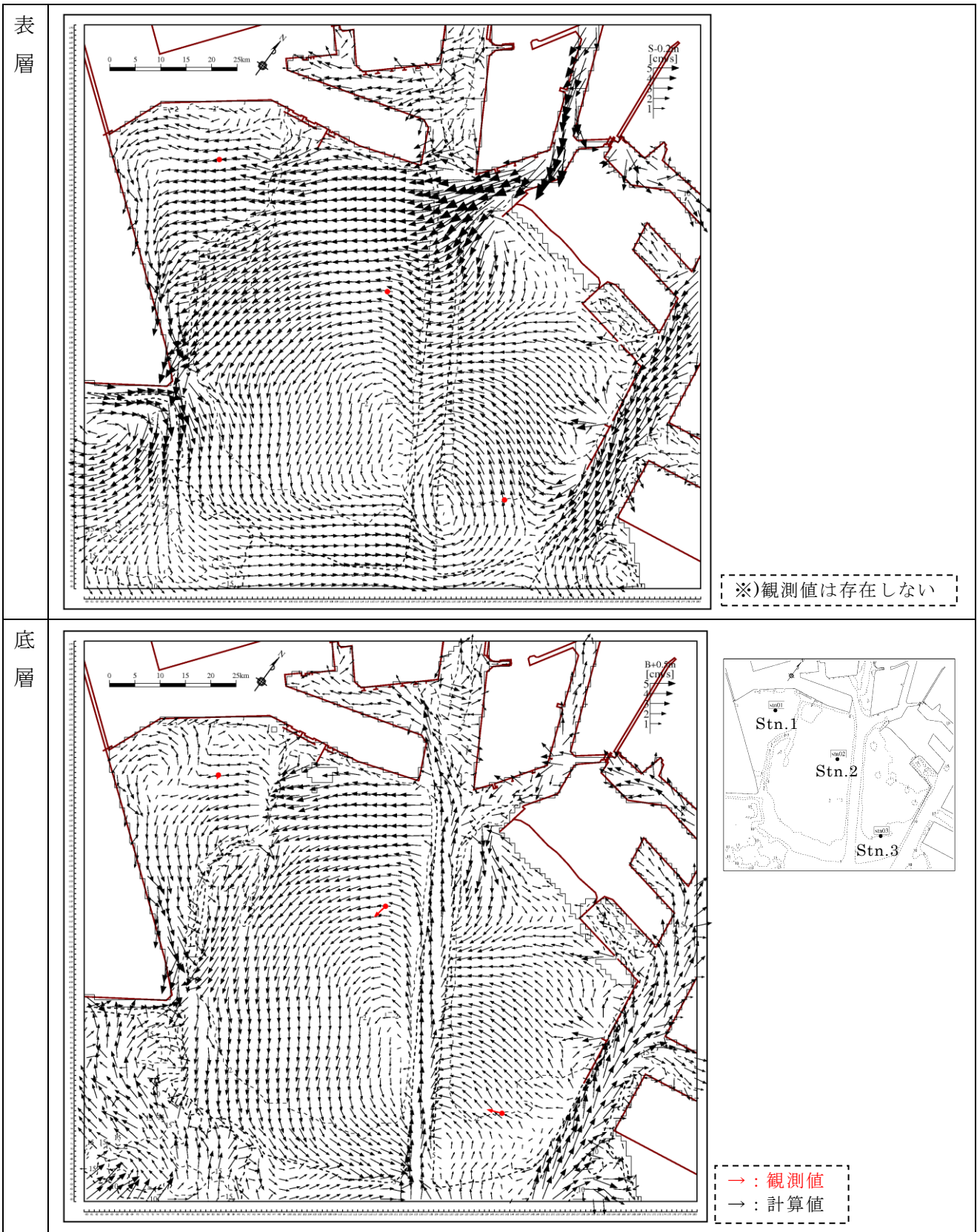


図 2.11 夏季 30 日間における平均流(残差流)の再現性

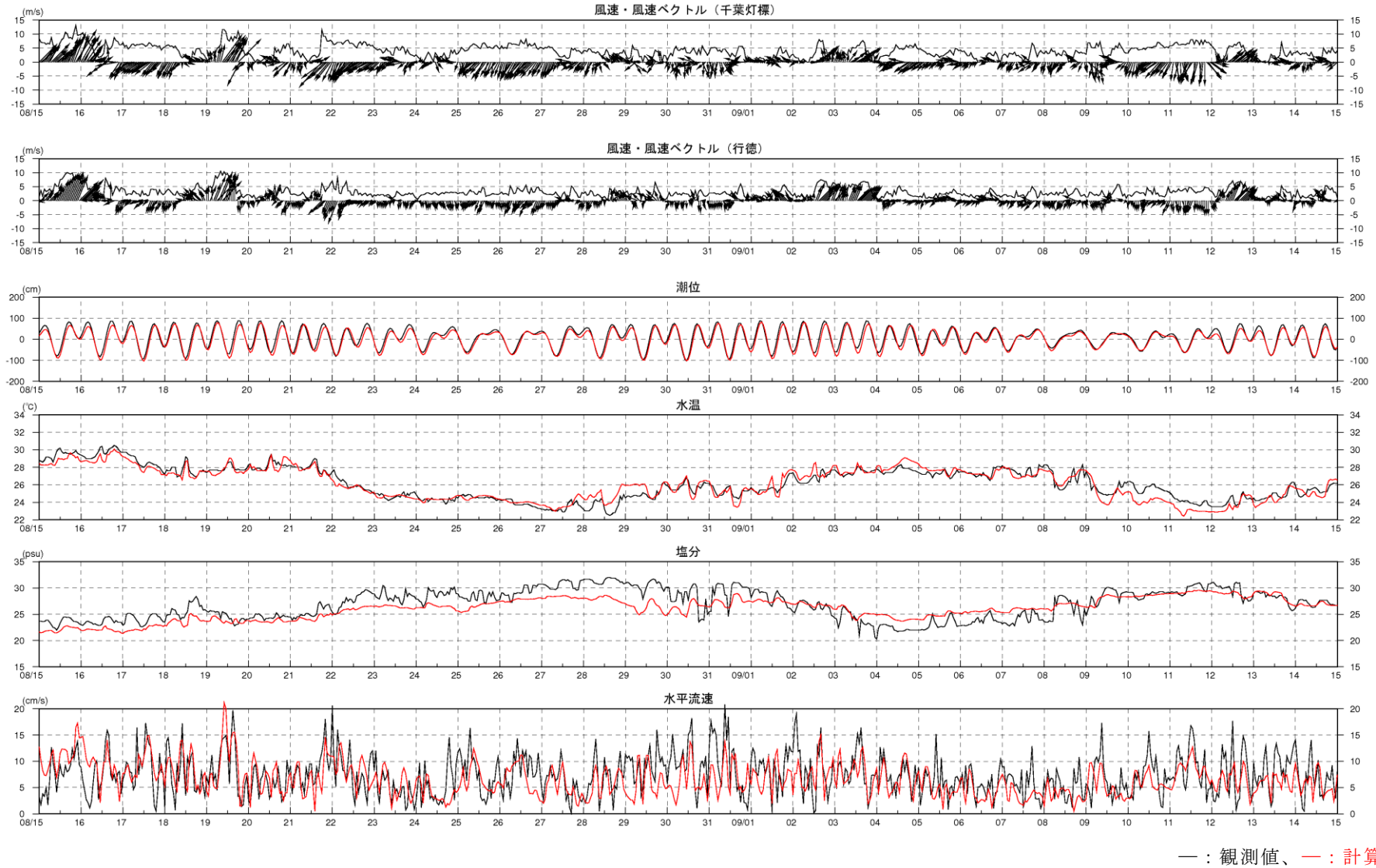


図 2.12 水温・塩分経時変化の再現性(2008年夏季、Stn. 3、底層)

## 2.2.5 今後の検討方針（流況）

### (1) モデルの再現性に関する検討

- ・ 計算条件（淡水流入、境界水温・塩分）を確定し、夏季の水温・塩分の再現性を検証
- ・ 秋季と冬季を対象とした再現計算の実施と検証

### (2) 三番瀬の流況特性の把握に関する検討

- ・ 各季節の気象場と流況の空間分布特性について（停滞域等の面的な物理環境）
- ・ 出水時の物理環境（流況）や水質環境（水温、塩分等）の変化について
- ・ 底面せん断応力分布の評価と地形、底質変化との関係（波浪シミュレーションの検討結果も踏まえて）

### 3. 水質

#### 3.1 とりまとめに用いた調査の概要

##### 3.1.1 水質

平成 15 年度三番瀬自然環境総合解析を基に、平成 18 年度(2006 年度)の水質調査結果を追加し、補足調査及び平成 14 年度調査(2002 年度)の水質調査結果と対比させ、補足調査時(1993～1996 年度)からの水質の変化について整理した。また、新たに公共用水域水質測定結果を加え、経年的な水質変化を整理した。

##### (1) 補足調査

1993～1996 年度(平成 5～8 年度)に実施された海域環境調査の結果をとりまとめに使用した。

##### 1) 調査項目

とりまとめに使用した水質項目は以下のとおりである。

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>・透明度</li><li>・水温</li><li>・塩分</li><li>・水素イオン濃度 (pH)</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>・化学的酸素要求量 (COD)</li><li>・全窒素 (T-N)</li><li>・全リン (T-P)</li><li>・クロロフィル a</li><li>・溶存酸素量 (DO)</li></ul> |
|--|---|

注)本資料では上図枠内の項目について示した。

##### 2) 調査時期

1993～1996 年度(平成 5～8 年度)にかけて、毎月 1 回調査を実施した(表 3.1)。

##### 3) 調査地点

調査海域は三番瀬とその沖合を中心とした東京湾北部海域である。本調査のとりまとめで用いた調査地点は 5 地点である(図 3.1)。

##### 4) 調査方法

採水は、バンドーン型採水器および北原式採水器を用いて、表層(海面下 0.5m)と底層(海底上 1m)の 2 層で行った。ただし、水深が浅い地点(調査地点 26, 27, 29)においては表層のみから採水を行った。水温、塩分は水温・塩分計を用いて表層から 1mピッチで海底上 1mまでの鉛直測定を行った。

表 3.1 水質調査実施日（海域環境調査）

調 査 名	調 査 実 施 日
海域環境調査	1993年4月21日、1993年5月12日、1993年6月1日、 1993年7月13日、1993年8月3日、1993年9月7日、 1993年10月5日、1993年11月9日、1993年12月7日、 1994年1月11日、1994年2月1日、1994年3月1日
海域環境調査（その2）	1994年4月13日、1994年5月12日、1994年6月2日、 1994年7月14日、1994年8月3日、1994年9月8日、 1994年10月6日、1994年11月9日、1994年12月8日、 1995年1月12日、1995年2月8日、1995年3月18日
海域環境調査（その3）	1995年4月12日、1995年5月10日、1995年6月7日、 1995年7月5日、1995年8月2日、1995年9月6日、 1995年10月4日、1995年11月10日、1995年12月6日、 1996年1月10日、1996年2月7日、1996年3月6日
海域環境調査（その4）	1996年4月10日、1996年5月8日、1996年6月5日、 1996年7月2日、1996年8月6日、1996年9月3日、 1996年10月2日、1996年11月6日、1996年12月3日、 1997年1月8日、1997年2月13日、1997年3月12日

出典) 千葉県企業庁・千葉県土木部（1999）、補足調査結果報告書 現況編Ⅲ(海生生物)

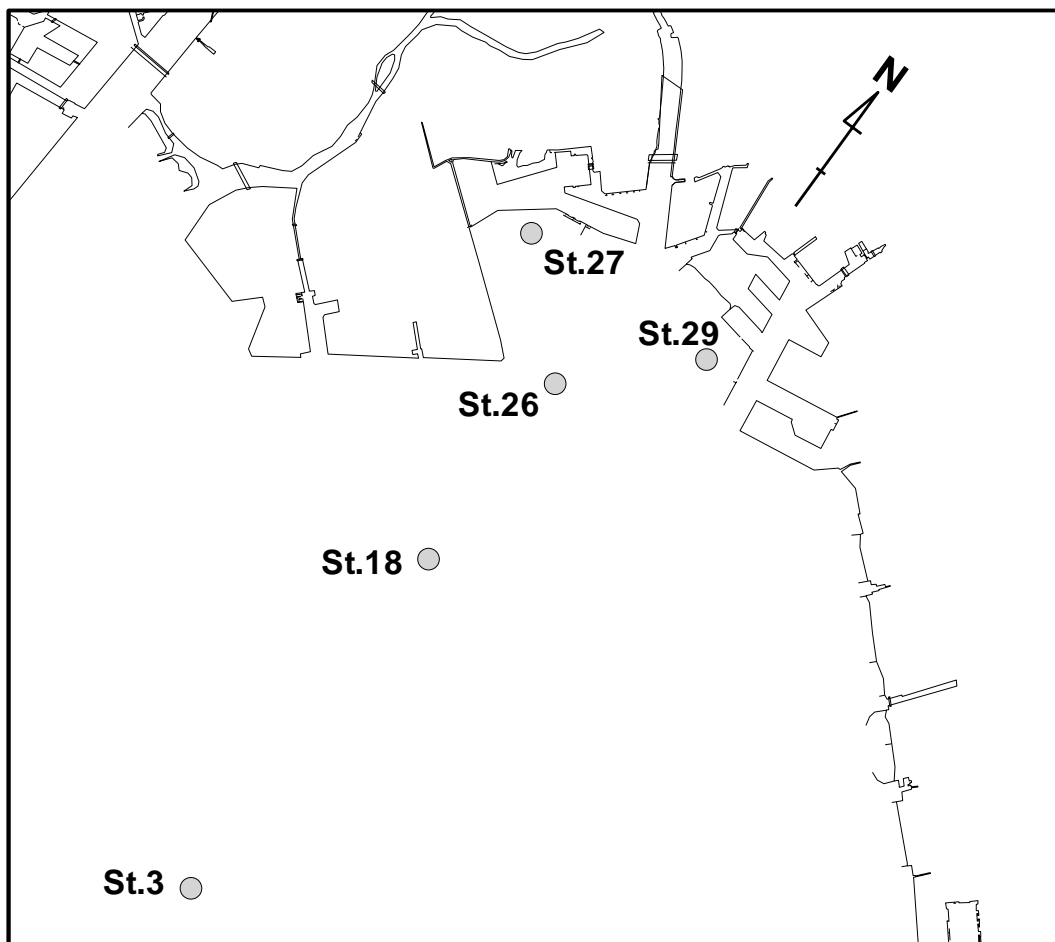


図 3.1 水質調査地点（補足調査）

(2) 三番瀬海生生物現況調査（底生生物及び海域環境）

1) 調査項目

とりまとめに使用した水質項目は以下のとおりである。

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・透明度</li> <li>・水温</li> <li>・塩分</li> <li>・水素イオン濃度 (pH)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・化学的酸素要求量 (COD)</li> <li>・全窒素 (T-N)</li> <li>・全リン (T-P)</li> <li>・クロロフィル a</li> <li>・溶存酸素量 (DO)</li> </ul> |
|---|---|

注)本資料では上図枠内の項目について示した。

2) 調査時期

2002 年度(平成 14 年度)の夏季、秋季、冬季及び 2006 年度(平成 18 年度)の春季、夏季、秋季、冬季に各 1 回実施した (表 3.2)。

表 3.2 水質調査実施日 (三番瀬海生生物現況調査)

調査時期	2002 年度(平成 14 年度)	2006 年度(平成 18 年度)
春季	—	2006 年 6 月 3 日
夏季	2002 年 8 月 27 日	2006 年 8 月 21 日
秋季	2002 年 11 月 15 日	2006 年 11 月 28 日
冬季	2003 年 2 月 4 日	2007 年 2 月 7 日

3) 調査地点

調査地点は三番瀬およびその周辺の 11 地点とした (図 3.2)。

4) 調査方法

バンドーン型採水器を使用して各 6L を採水した。採水層は、岸側の 7 地点は表層のみ、沖側の 4 地点は上層および下層 (海底面上 1m) の 2 層とした。

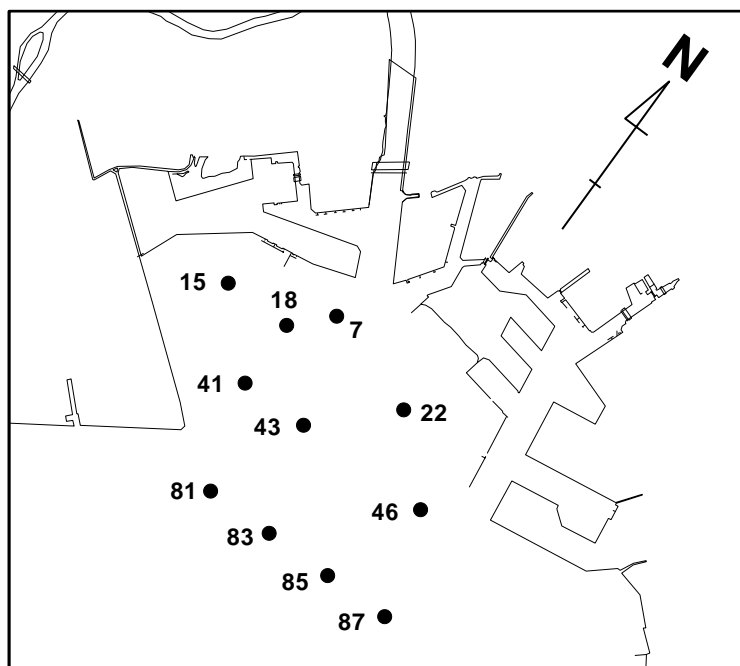


図 3.2 水質調査地点 (平成 14 年度及び平成 18 年度調査)

### (3) 公共用水域水質測定結果

#### 1) 調査項目

とりまとめに使用した水質項目は以下のとおりである。

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>・透明度</li><li>・水温</li><li>・塩分</li><li>・水素イオン濃度 (pH)</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>・化学的酸素要求量 (COD)</li><li>・全窒素 (T-N)</li><li>・全リン (T-P)</li><li>・クロロフィル a</li><li>・溶存酸素量 (DO)</li></ul> |
|--|---|

注)本資料では上図枠内の項目について示した。

#### 2) 調査時期

1981 年度(昭和 56 年度)から毎月 1 回実施されている。

#### 3) 調査地点

調査地点は、東京湾内の地点から三番瀬近傍の地点(船橋 1, 東京湾 2, 3) の 3 地点を用いた(図 3.3)。

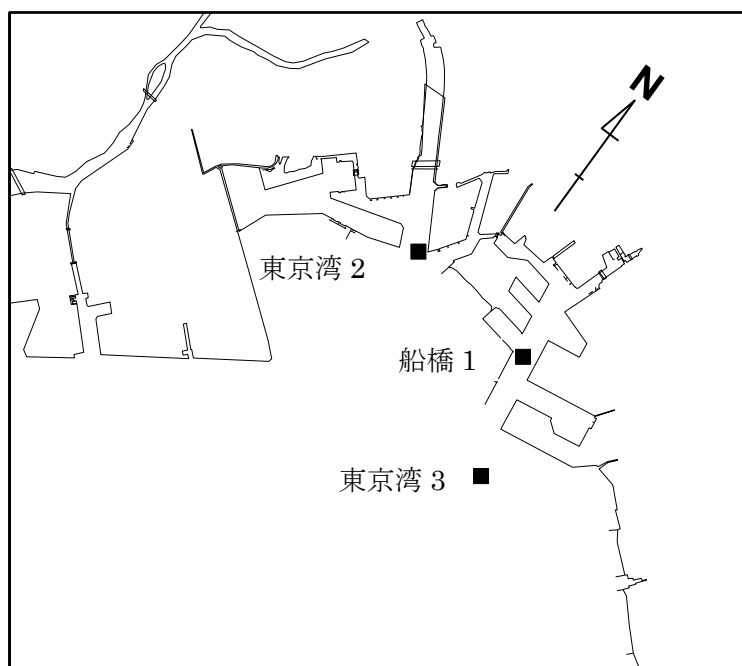


図 3.3 調査位置 (公共用水域水質測定結果)



### 3.1.2 青潮

補足調査では、無酸素水を含めた貧酸素水の発生、移動、消滅についてその動向を把握し、青潮の発生起源の推定を行っている。本総合解析のとりまとめでは、その概要を整理した。

青潮の発生状況については、千葉県環境研究センター年報を基に、平成15年度三番瀬自然環境総合解析以降の東京湾における青潮発生件数及び発生事例の情報を追加した。

また、貧酸素水の発生状況として、東京湾奥部については千葉県水産総合研究センターの貧酸素水塊速報を用いて、近年の貧酸素水塊の傾向を整理した。また、三番瀬における貧酸素水の状況については、2008年度（平成20年度）に実施した三番瀬水環境モニタリング調査結果を用いた。

### 3.1.3 物質循環

物質循環に関しては、補足調査時に詳細な検討が実施された。補足調査では、三番瀬の水質浄化機能を把握、評価するために、三番瀬の生態系の特徴をマクロに表現した浅海域生態系モデルを構築した。この浅海域生態系モデルは、盤洲干潟を対象に作成した底泥系主体の干潟生態系モデルをベースとし、これに浮遊系を結合させ、さらに三番瀬の特徴である養殖ノリ、アオサなどの海藻類、鳥類による底生生物の採餌に関わる過程を加えた。モデルの指標元素は窒素であり、すべての構成要素の現存量と主要なパラメーターを現地調査および各種実験より求めた。モデルおよび計算の詳細は、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 I(物質循環と浄化機能)（千葉県土木部・千葉県企業庁、1999）に記載されている。

本総合解析では、その後の研究事例や三番瀬の生物量の変化などのデータを基に、三番瀬の浄化能の変化傾向の有無について検討する。以下に補足調査結果の概要と今後の作業方針を示す。

三番瀬の物質循環については、補足調査時に浅海域生態系モデルを構築し、年間を通じた計算結果から浅海域の浄化量を求めている。この結果によれば、三番瀬の浅海域全体の浄化量はT-N(全窒素)で575トン/年、CODで2245トン/年と算出され、大きな浄化能力を有していることがわかった。

この計算には、アサリなどの生息量や漁獲量、鳥類の飛来数などが入っており、補足調査時と現在では若干異なる結果になると考えられる。また、浄化量の多くは脱窒によるものとなっている。

これらの特徴から以下の内容について整理し、補足調査で把握した浄化能力を検証する。

- ・補足調査以降の海生生物（アサリや多毛類等）の変化量を整理
- ・鳥類（ズガモ、シギ・チドリ類）の生息数の変動量を整理
- ・貝類の漁獲量（アサリ等）、養殖ノリの収穫量
- ・脱窒速度に関する既往の研究事例の整理

## 3.2 解析結果

### 3.2.1 水質

補足調査時にとりまとめた1993～1996年度(平成5～8年度)の水質の経月変化と2002年度(平成14年度)及び2006年度(平成18年度)の水質調査結果を基に、三番瀬における水質の季節変化の概要と経年的な変化傾向を整理した。

また、公共用水域水質測定結果から東京湾全体及び三番瀬周辺の調査地点の水質の経年変化、経月変化を用いて、補足調査と三番瀬海生生物現況調査の結果から把握した特徴を検証した。

#### (1)水質の季節変化の概要

図3.4に示した1993～1996年度(平成5～8年度)および2002年度(平成14年度)及び2006年度(平成18年度)の水質調査結果から把握した水質の季節変化の概要を表3.3に示す。

表 3.3 水質の季節変化の概要

項目	季節変化の概要
透明度	<ul style="list-style-type: none"> <li>春季・夏季よりも秋季・冬季の方が高い傾向</li> </ul>
水温	<ul style="list-style-type: none"> <li>気象の季節変化に伴い、夏季に高く、冬季に低い。</li> <li>沖合の地点(2002年度及び2006年度のSt. 85, 87及び1993～1996年度のSt. 3, 18)では、夏季は上層で高温、下層で低温と水温差があり、冬季は上下層で一様の傾向となっている。</li> </ul>
塩分	<ul style="list-style-type: none"> <li>夏季に低く、冬季に高い。</li> <li>沖合の地点(2002年度及び2006年度のSt. 85, 87及び1993～1996年度のSt. 3, 18)では、夏季は上層で低塩分、下層で高塩分と塩分差があり、冬季は上下層で一様の傾向となっている。</li> </ul>
pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>春季が最も高く、秋季が低い。</li> <li>この傾向はCOD, クロロフィル a と同様であり、植物プランクトンによる光合成が活発な春季、夏季に高くなっている。</li> </ul>
DO	<ul style="list-style-type: none"> <li>夏季に低く、冬季に高い。</li> <li>沖合の地点(2002年度及び2006年度のSt. 85, 87及び1993～1996年度のSt. 3, 18)では、夏季の下層で貧酸素または無酸素状態となっている。</li> </ul>
COD	<ul style="list-style-type: none"> <li>春季、夏季が高く、秋季が低い。</li> <li>この傾向はpH, Chl. a と同様であり、植物プランクトンの増殖が活発な春季、夏季が高い。</li> </ul>
T-N	<ul style="list-style-type: none"> <li>春季が高く、夏季～冬季は概ねの同程度となっている。</li> <li>春季や夏季に高くなる要因は、植物プランクトンの増殖により、植物プランクトン由来の有機態窒素の増加である。</li> </ul>
T-P	<ul style="list-style-type: none"> <li>春季、夏季が高く、秋季、冬季と低くなっている。</li> <li>春季や夏季に高くなる要因は、植物プランクトンの増殖により、植物プランクトン由来の有機態リンの増加である。</li> </ul>
Chl. a	<ul style="list-style-type: none"> <li>植物プランクトンの増殖が活発な春季、夏季が高く、秋季が低い</li> <li>2006年度(平成18年度)の春季や夏季は赤潮かそれに近い状態</li> </ul>

## (2) 水質の経年変化の概要

### 1) 補足調査及び三番瀬海生生物現況調査結果

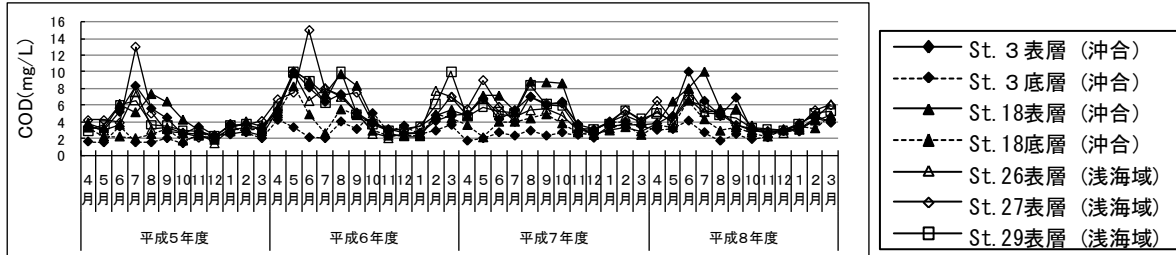
図 3.4 に示した 1993～1996 年度(平成 5～8 年度)及び 2002 年度(平成 14 年度)、2006 年度(平成 18 年度)のデータを経年的に比較すると、前述の季節変化の特徴はいずれの年も同様の傾向を示していた。

2002 年度(平成 14 年度)と 2006 年度(平成 18 年度)のデータを比較すると、2006 年度(平成 18 年度)は春季および夏季のクロロフィル a が高く、これに伴って COD、T-N、T-P も高い傾向となっていた。2002 年度(平成 14 年度)の T-P をみると、三番瀬の沖合の地点 St. 83, 85, 87 の濃度は、他の地点と比べて著しく高く、COD、T-N やクロロフィル a などの関連する項目から説明することは難しいデータがみられており、経年変化を把握する上ではこのデータを除外する。

また、沖合の St. 85, 87 の底層の DO をみると、2002 年度(平成 14 年度)の夏季は貧酸素になっていないが、2006 年度(平成 18 年度)の夏季は無酸素状態となっていた。

上記に示したように、経年的にデータを比較すると、各水質項目の年変動が大きい傾向が認められる。これは、水質調査日やその前日までの気象・海象条件の変動や赤潮、河川からの出水等のイベントに大きく影響を受けているためと考えられ、明瞭に経年的な変化傾向を確認するには至らなかった。

補足調査[1993~1996年度]



三番瀬海生生物現況調査[2002年度、2006年度]

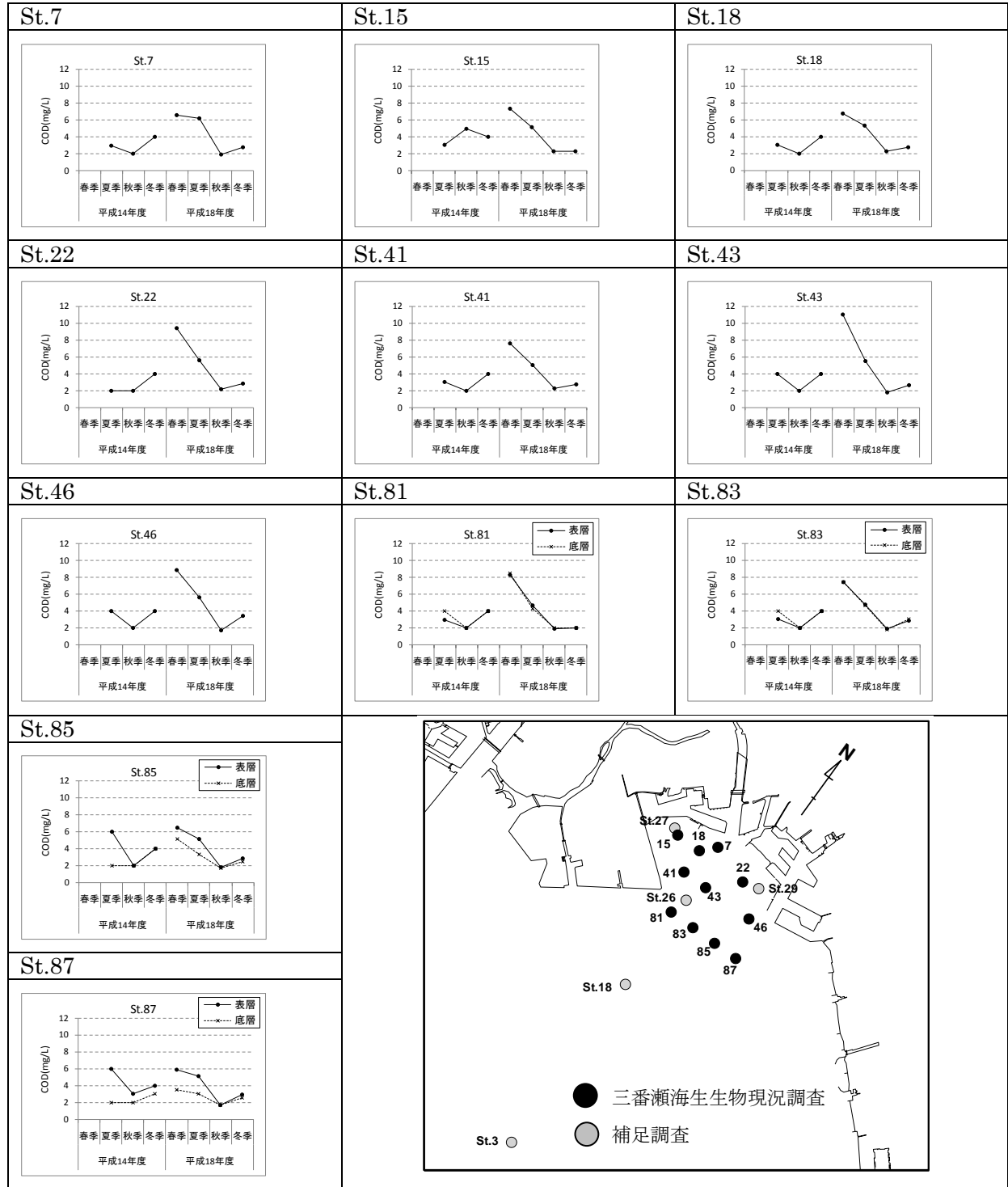
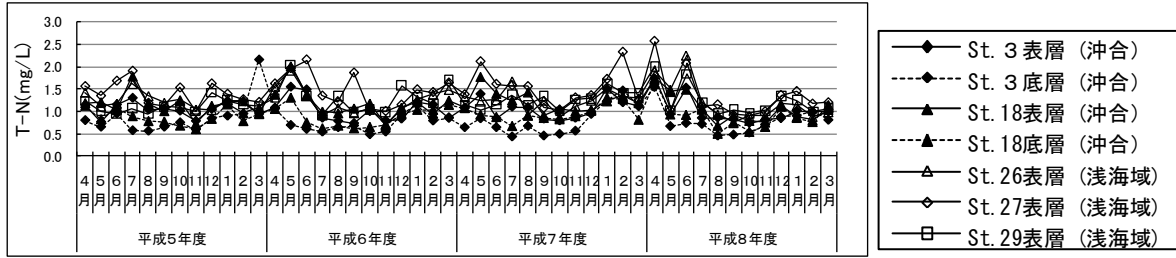


図 3.4(1) 沖合及び浅海域の水質の経月変化(COD[化学的酸素要求量])

補足調査[1993~1996年度]



三番瀬海生生物現況調査[2002年度、2006年度]

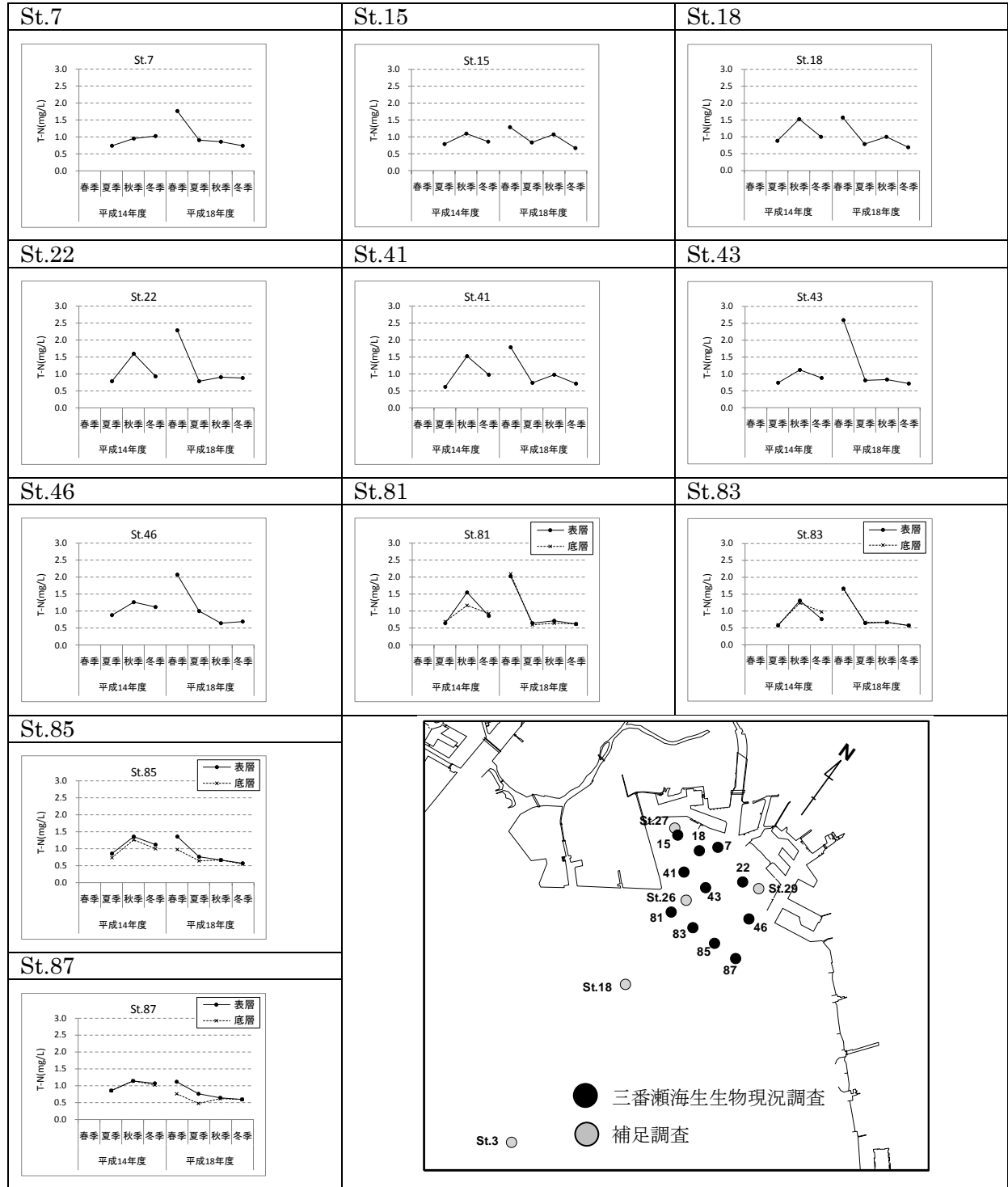
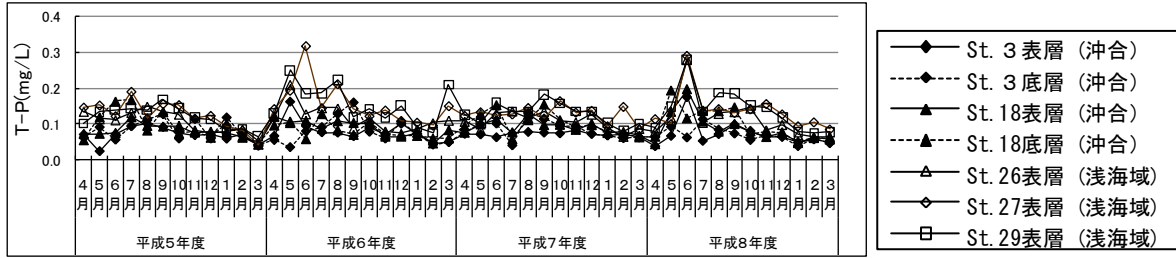


図 3.4(2) 沖合及び浅海域の水質の経月変化(T-N[全窒素])

補足調査[1993~1996年度]



三番瀬海生生物現況調査[2002年度、2006年度]

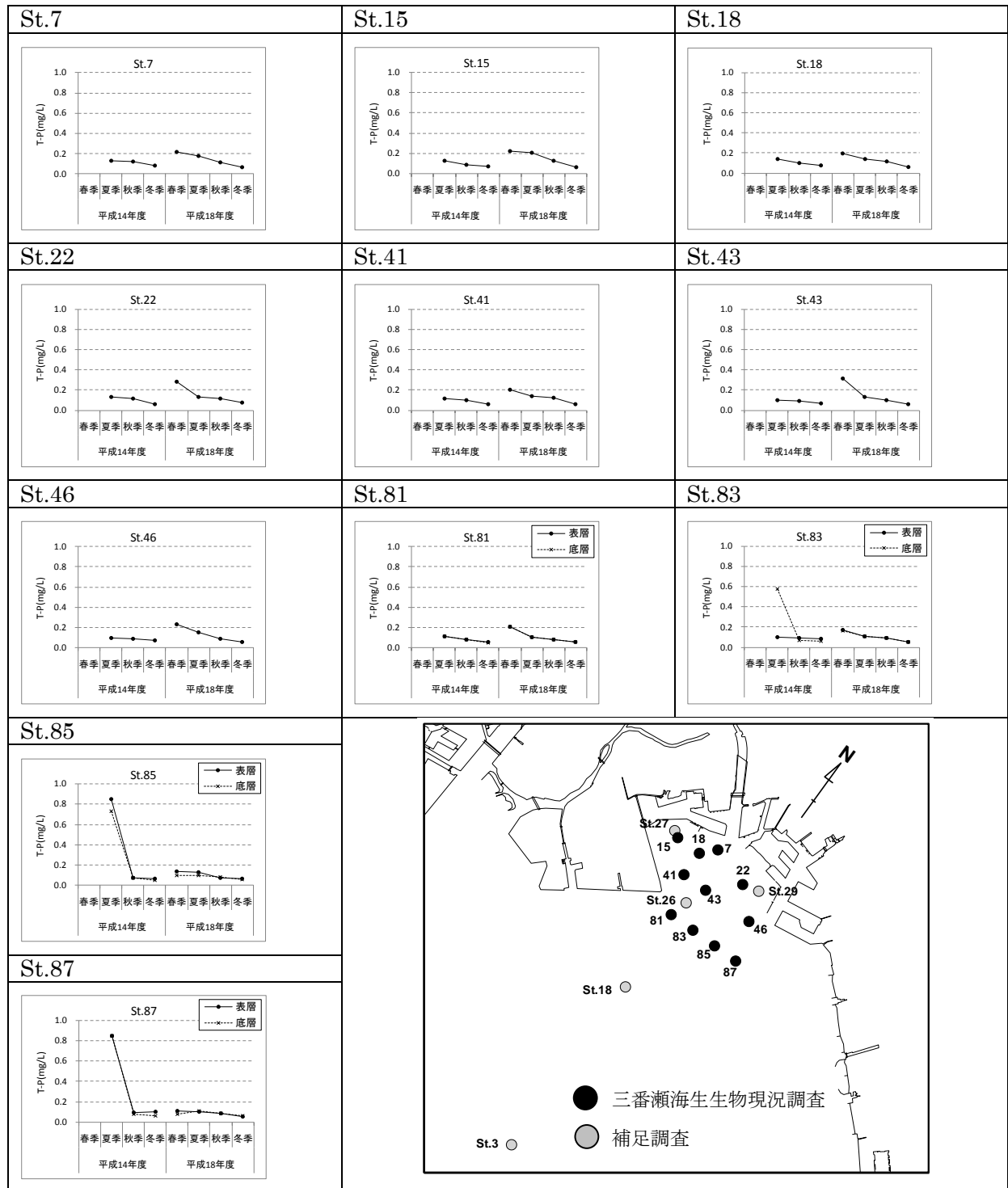
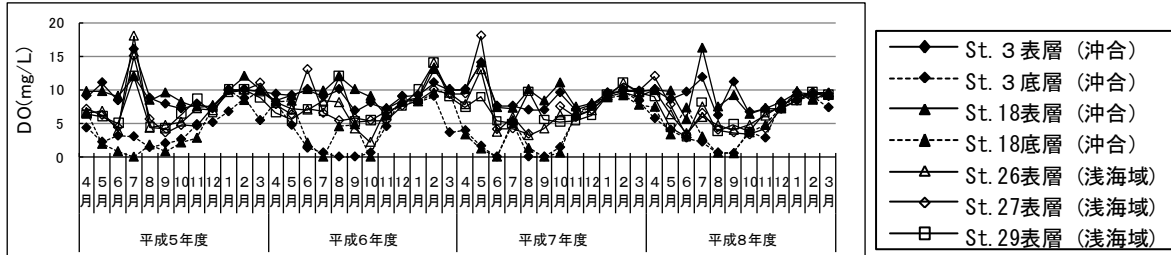


図 3.4(3) 沖合及び浅海域の水質の経月変化(T-P[全リン])

補足調査[1993~1996年度]



三番瀬海生物現況調査[2002年度、2006年度]

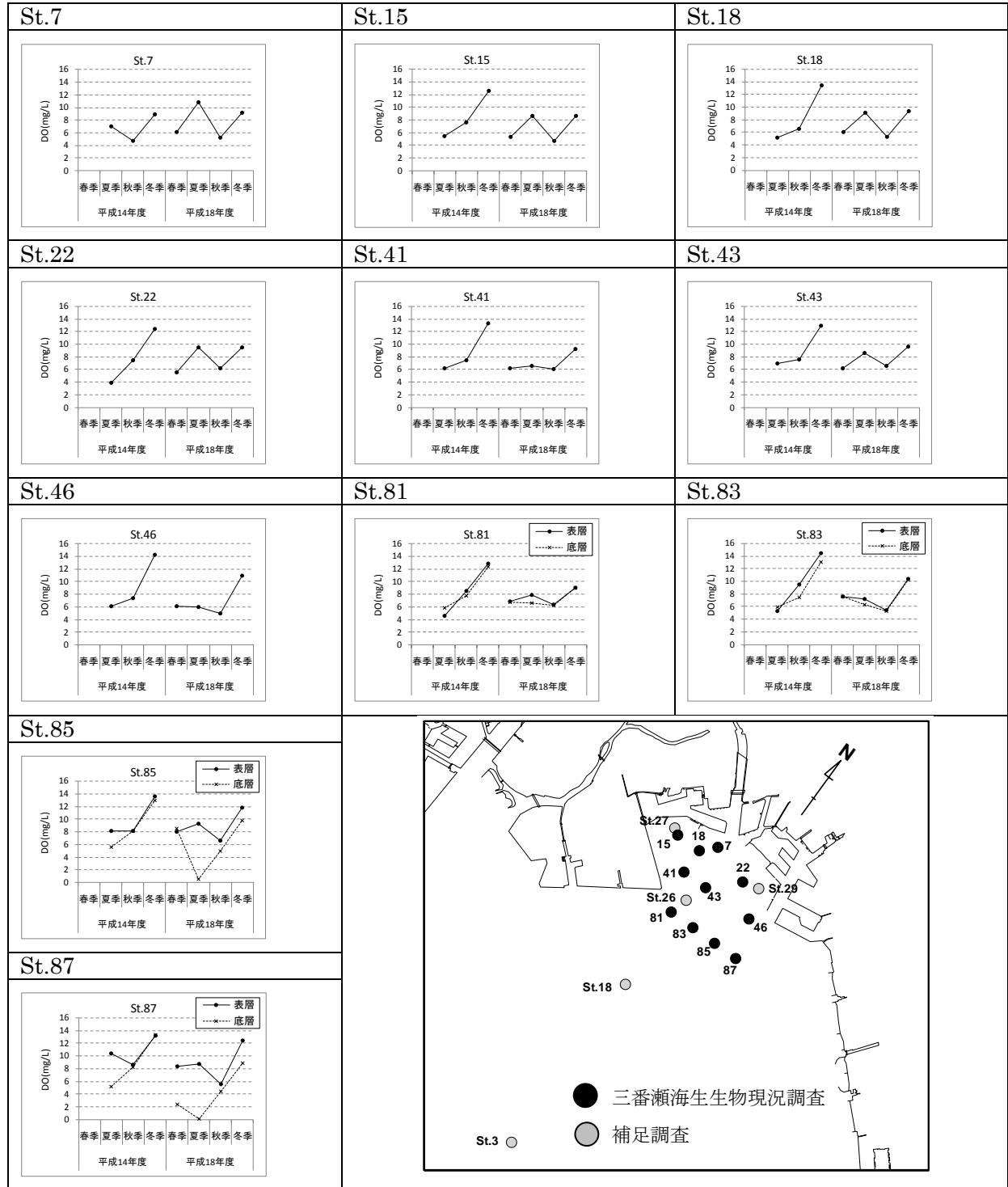
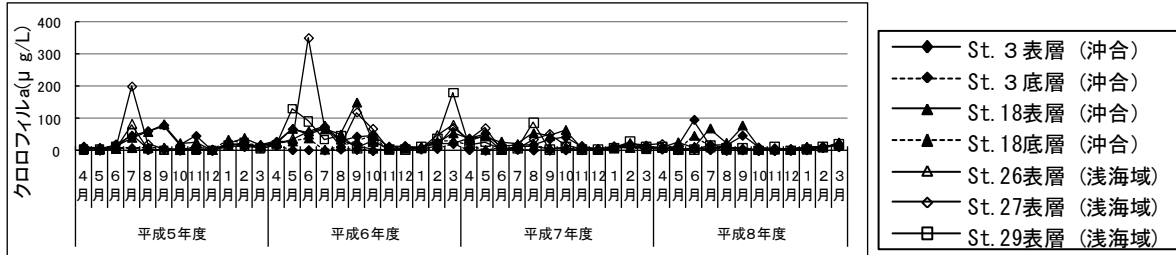


図 3.4(4) 沖合及び浅海域の水質の経月変化(DO[溶存酸素量])

補足調査[1993~1996年度]



三番瀬海生生物現況調査[2002年度、2006年度] (10µm, 2µm, GFFの結果の合計を示した)

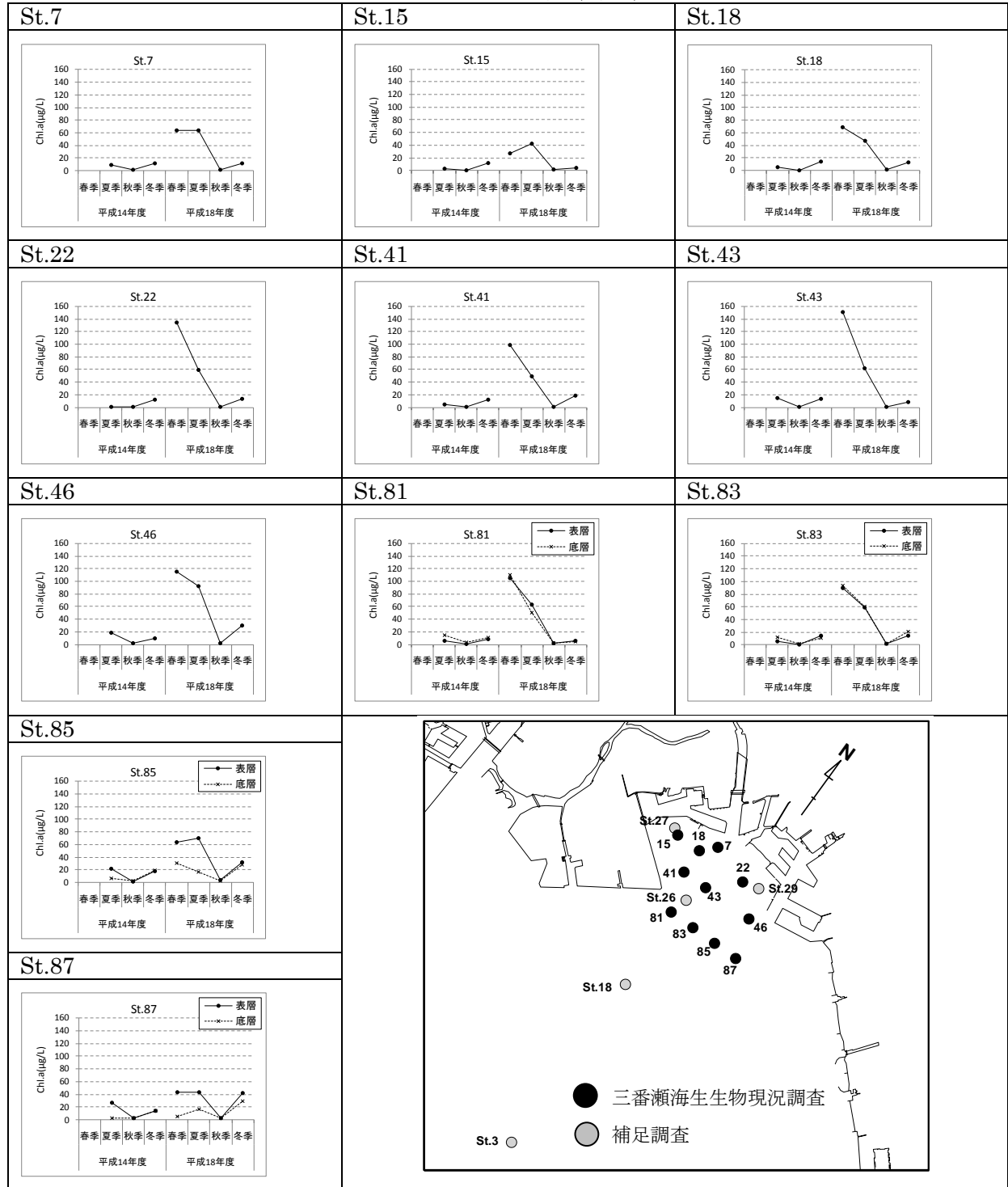


図 3.4(5) 沖合及び浅海域の水質の経月変化(クロロフィル a)



## 2) 公共用水域水質測定結果

### (a) 東京湾全体の水質の経年変化

東京湾全体の水質の経年変化の傾向は、東京湾岸自治体環境保全会議(2010)<sup>7</sup>の報告結果を用いた。水質の主要な指標である COD、二次汚濁の原因物質である全窒素及び全りんについて、昭和 57 年度以降における湾代表値<sup>(※)</sup>の経年変化を図 3.5 より、以下に示す内容がまとめられている。

(※) 湾代表値：各類型における全層（上層と下層の平均値）の年度平均値を平均したもの

- COD は昭和 60 年代初頭以降に変動がみられるものの、中長期的には極めて緩やかに改善傾向を示していた。
- 全窒素は、経年的には引き続き着実な改善傾向を示しており、千葉県、東京都、神奈川県で窒素及びりんの排出規制に関する上乘せ条例を施行した平成 11 年度と比べると 2 割弱減少した。
- 全りんは、長らく 0.080mg/L 前後で横ばいに推移していたが、平成 12 年度頃より、変動はあるものの、極めて緩やかな改善傾向がみられている。

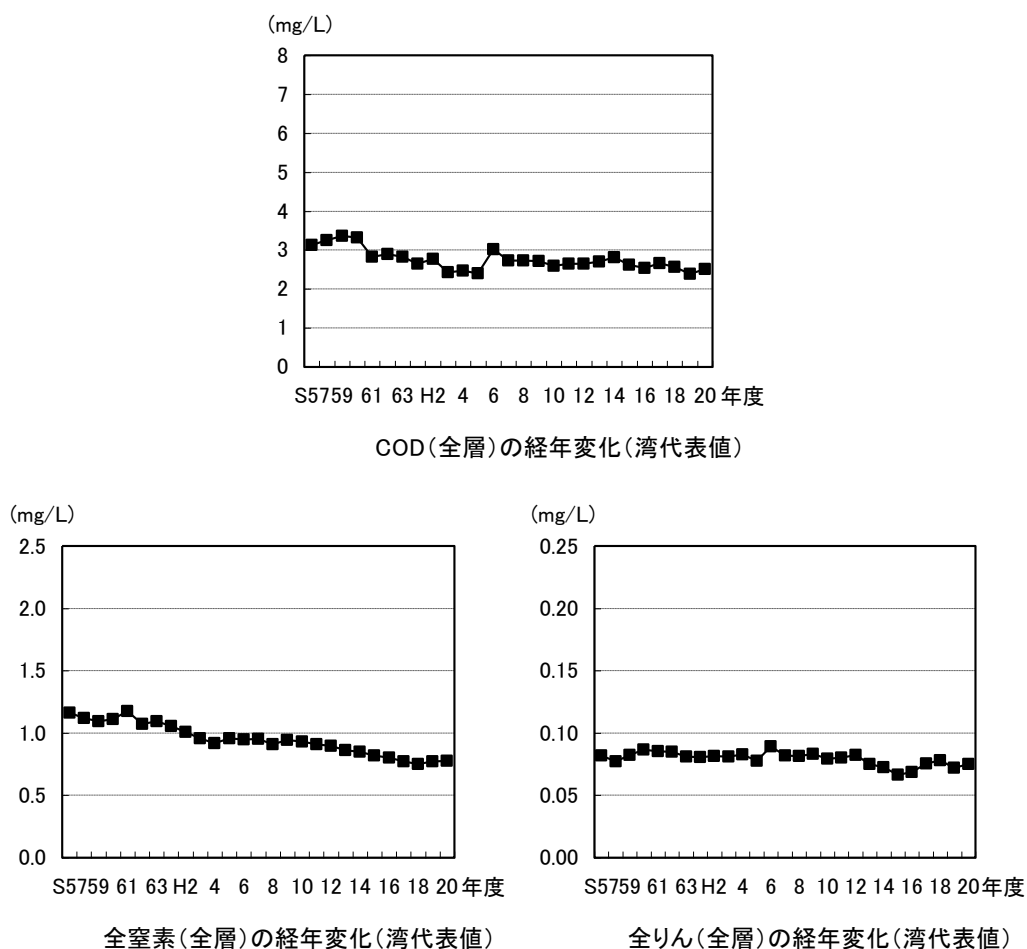


図 3.5 水質の経年変化（湾代表値）

<sup>7</sup> 東京湾岸自治体環境保全会議(2010):東京湾水質調査報告書(平成 20 年度),平成 22 年 3 月

## (b) 三番瀬周辺の水質の経年変化

三番瀬周辺の水質については、既往調査の結果を補足するデータとして、公共用水域水質測定地点（船橋 1、東京湾 2, 3）のデータについても経年変化を確認した。

図 3.6 に示した COD、T-N、T-P の年平均値の経年変化をみると、COD は年によるばらつきはあるものの概ね横ばいとなっており、2004～2008 年度にかけては東京湾 2, 3 で低下傾向が認められた。T-N 及び T-P は、東京湾 3(京葉港沿岸)では低下傾向が認められるが、船橋 1(船橋港内) 及び東京湾 2(江戸川河口)では概ね横ばいとなっていた。東京湾 3 の経年変化は、前述の東京湾岸自治体環境保全会議(2010)の結果と同様の傾向となっている。

図 3.7 に示した 2002 年度(平成 14 年度)～2008 年度(平成 20 年度)の経月変化をみると、上記に示した傾向は確認できるが、船橋 1(船橋港内) や東京湾 2(江戸川河口)など周囲が埋立地に囲まれた閉鎖性の強い場所では、各水質項目の年による違いが大きい。この要因は、前述したように水質調査日やその前日までの気象・海象条件の変動や赤潮、河川からの出水等のイベントに大きく影響を受けているためと考えられる。

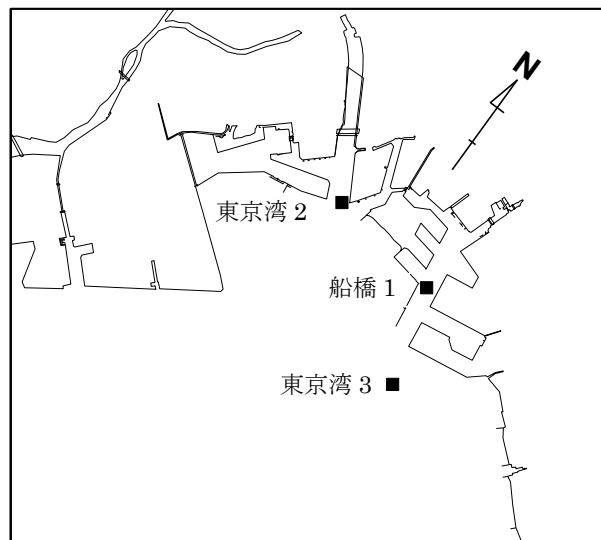
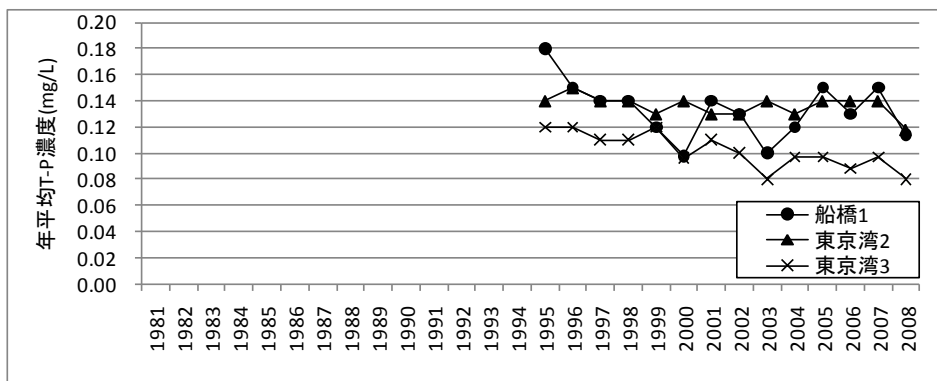
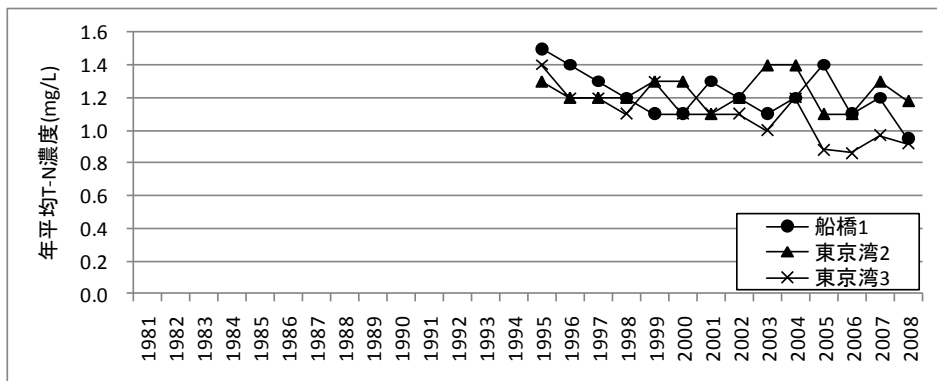
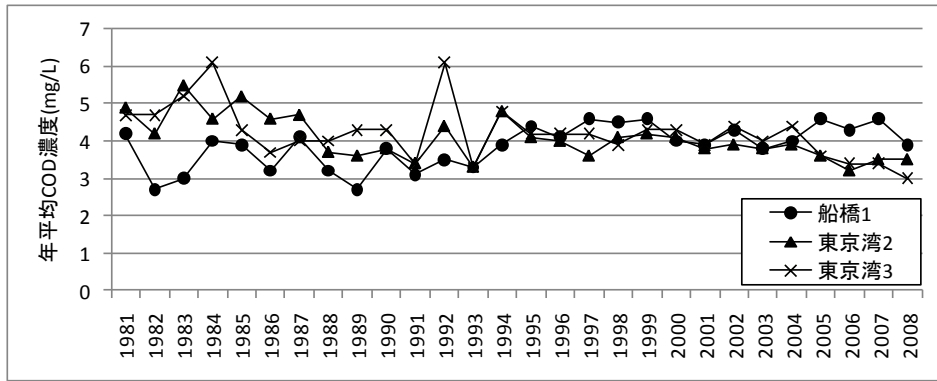


図 3.6 水質の経年変化 (公共用水域水質測定結果)

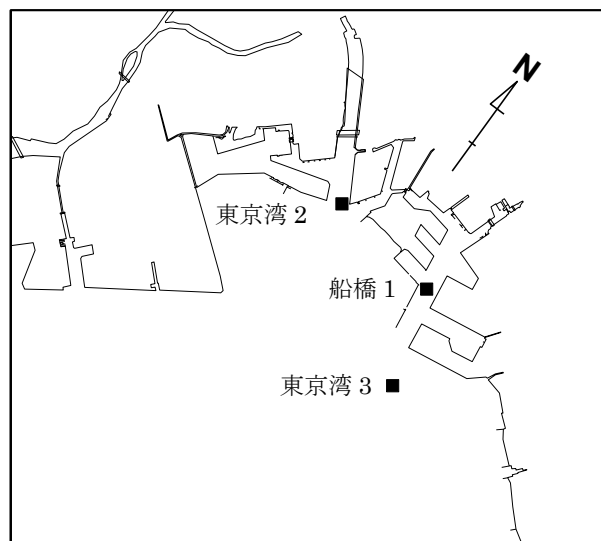
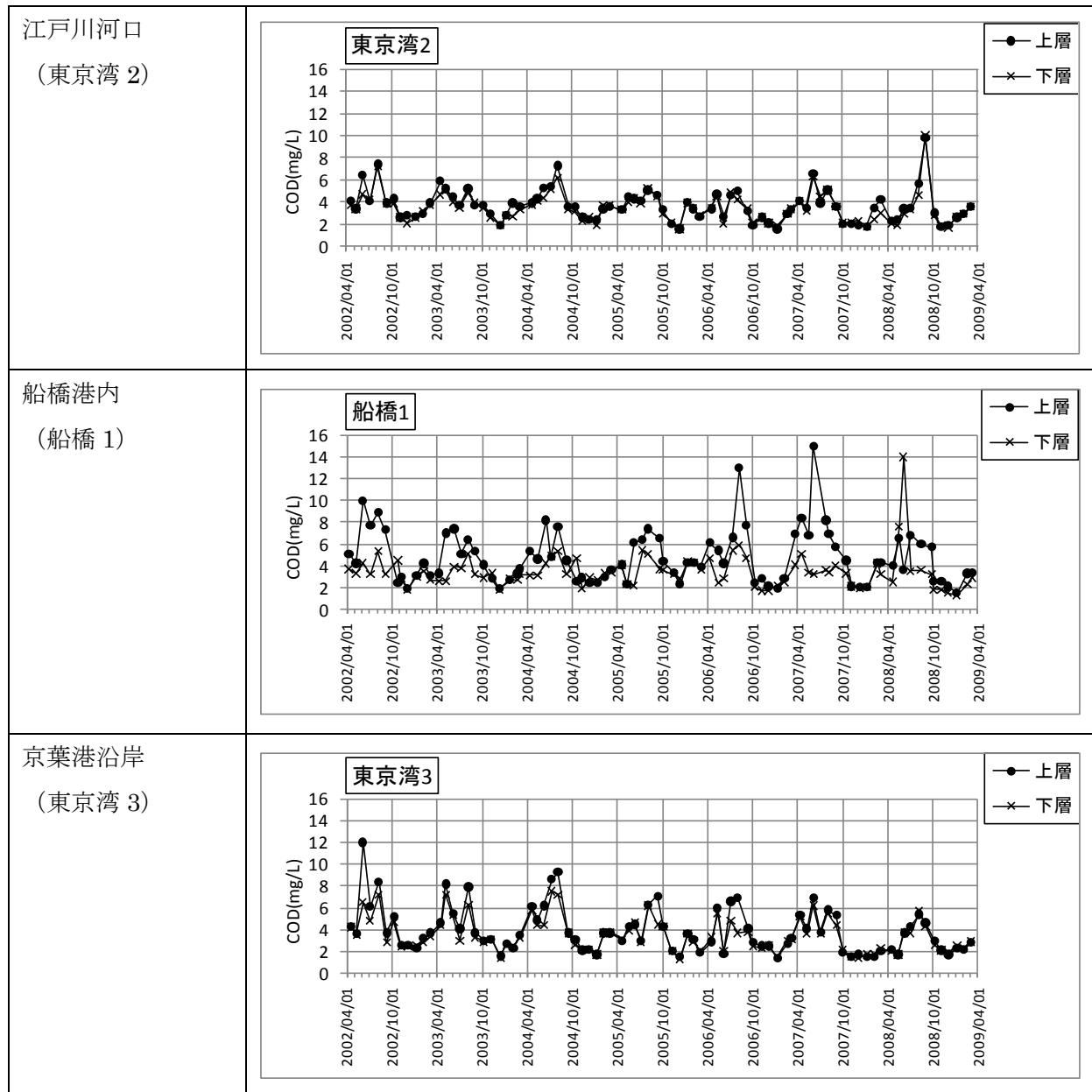


図 3.7(1) 水質の経月変化 (公共用水域水質測定結果, COD[化学的酸素要求量])

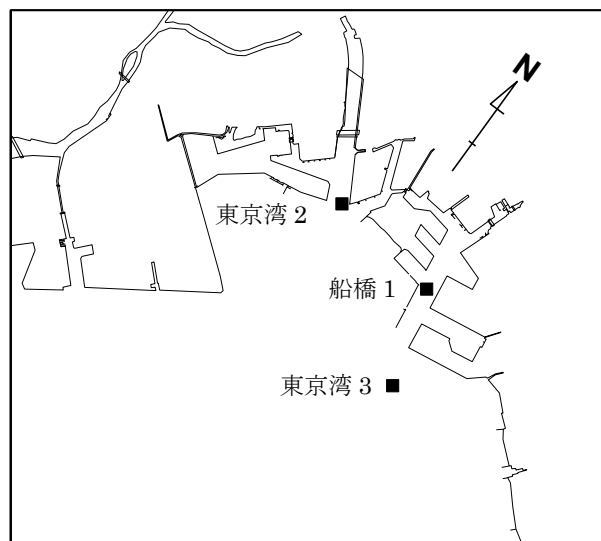
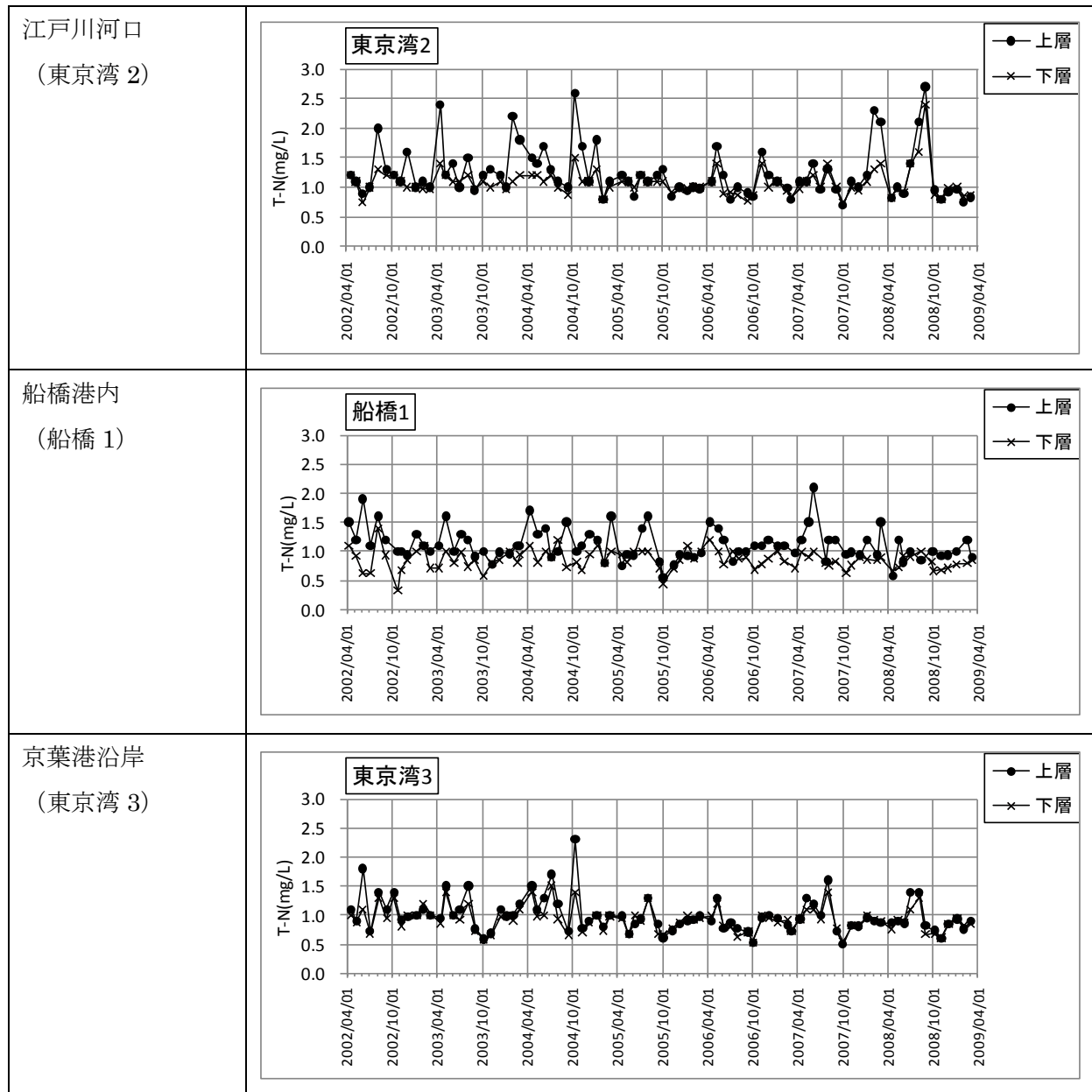


図 3.7(2) 水質の経月変化 (公共用水域水質測定結果, T-N[全窒素])

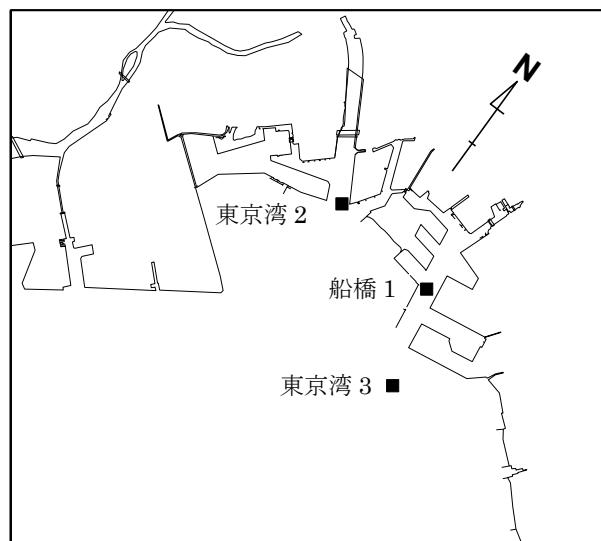
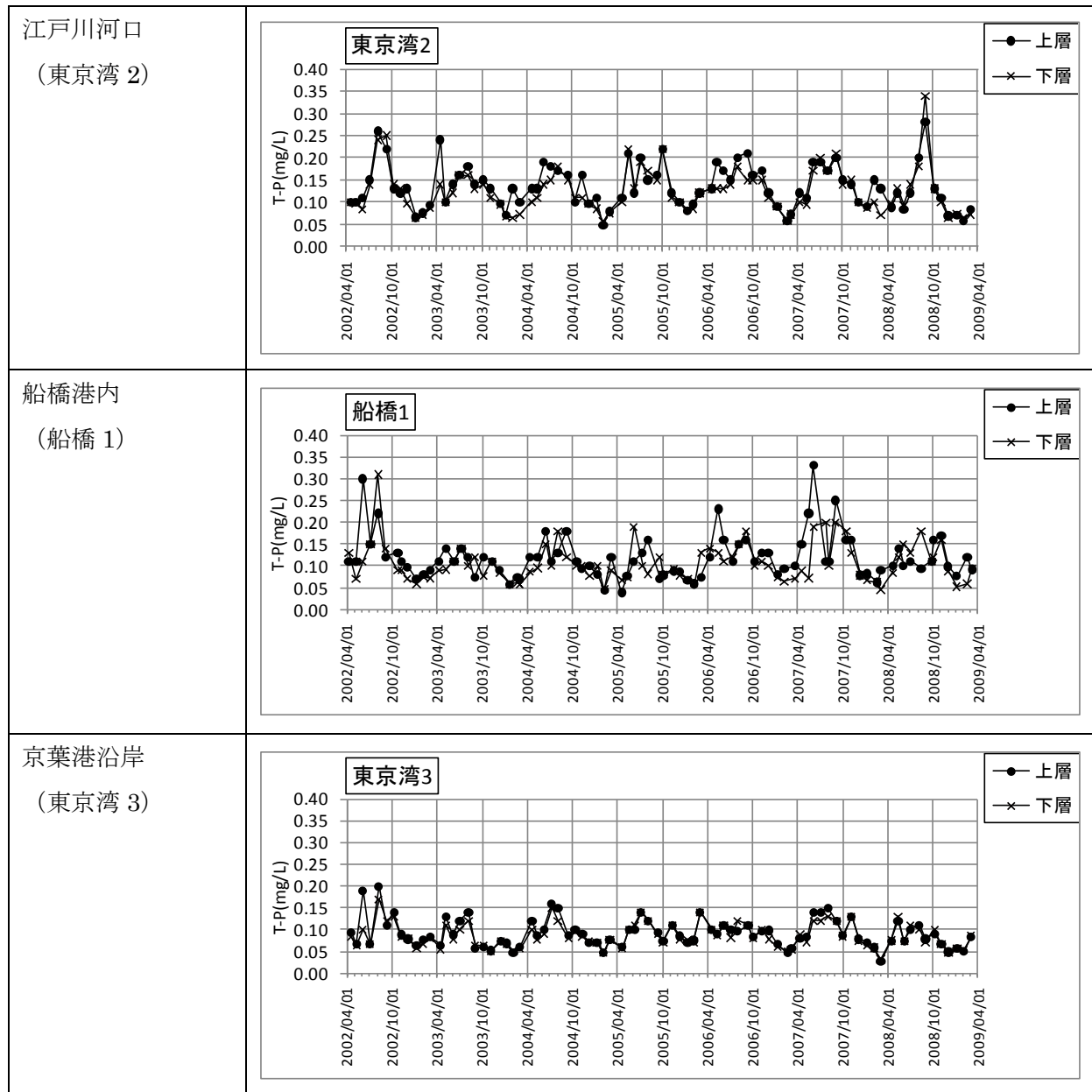


図 3.7(3) 水質の経月変化 (公共用水域水質測定結果, T-P[全リン])

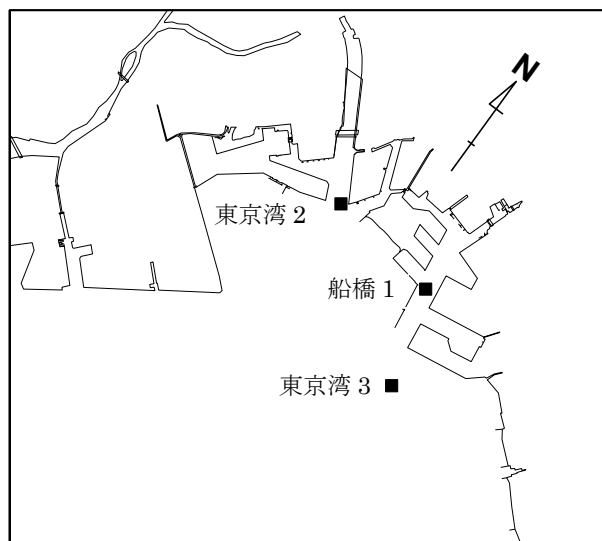
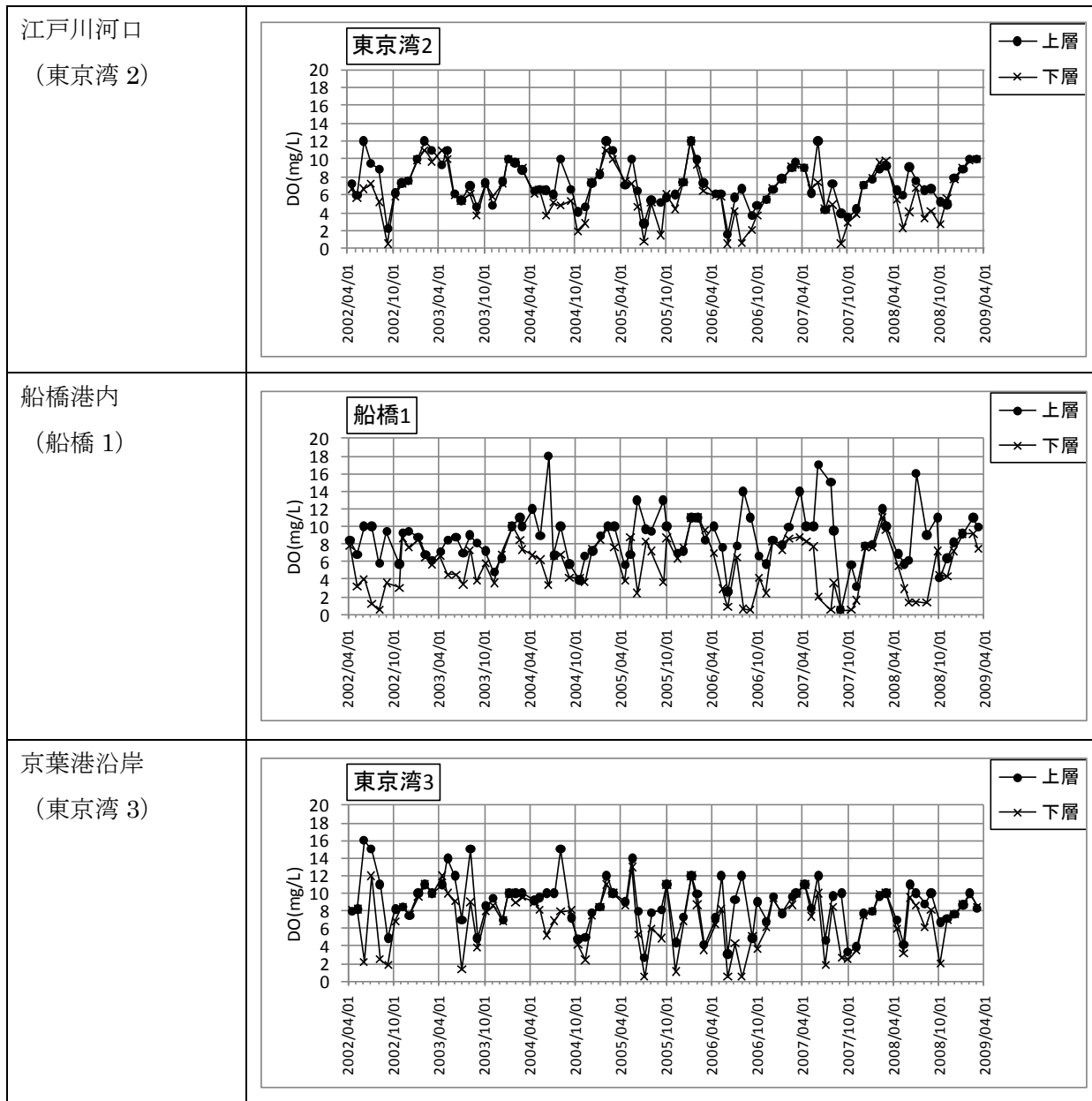


図 3.7(4) 水質の経月変化 (公共用水域水質測定結果, DO[溶存酸素量])

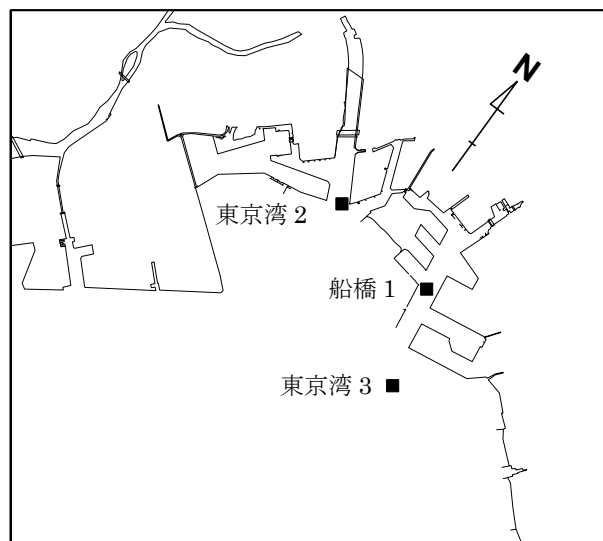
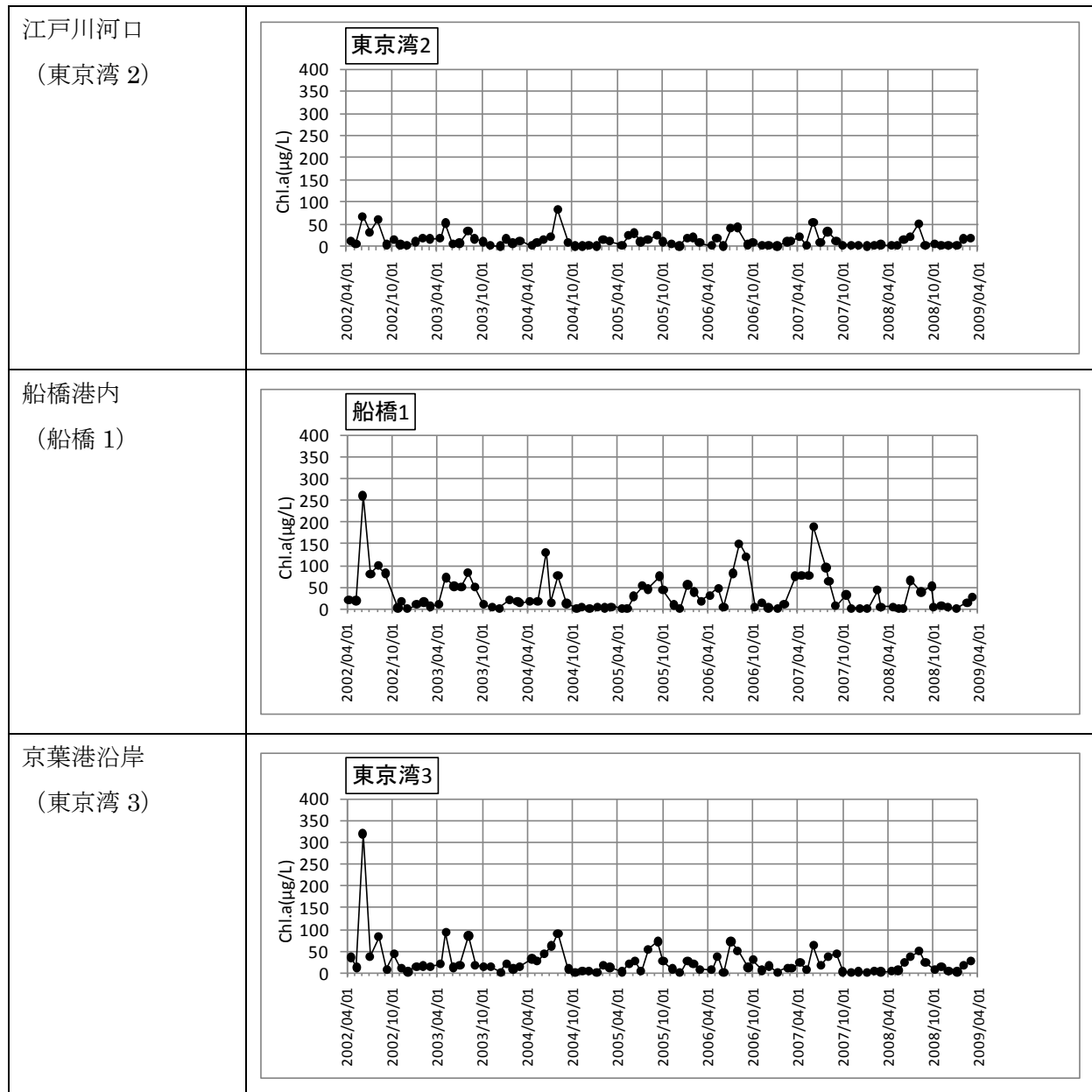


図 3.7(5) 水質の経月変化 (公共用水域水質測定結果, クロロフィル a)



### (3) 底質の経年変化

水質に密接に係わる項目として、底質環境の変化傾向について、既往資料の結果の整理を行うこととした。

ここでは、猫実川河口周辺部（図 3.8）の底質環境について、有機汚濁の評価を行っている小倉ら(2009)<sup>8</sup>の研究報告を以下にまとめた。

小倉ら(2009)は、猫実川河口周辺部の底質環境について、底質調査および過去の調査結果を用いて有機汚濁の評価を試みている。

2008年7月、8月の現地調査結果から、現在の底質は微細泥率 16.4~88.0%の砂泥質であり、酸化還元電位および強熱減量の値からは、嫌氣的で生物相の貧弱ないわゆる「ヘドロ」※とはいえないことを示している。

※ヘドロ：東京湾では強熱減量 10%以上、微細泥率 99%以上、酸化還元電位は通年にわたりマイナス数百 mV の値を示す

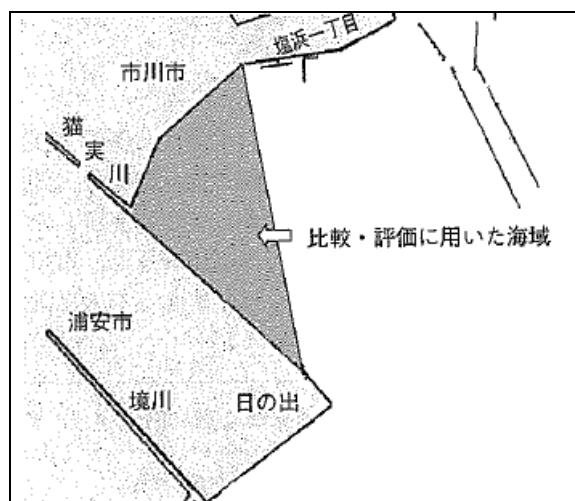
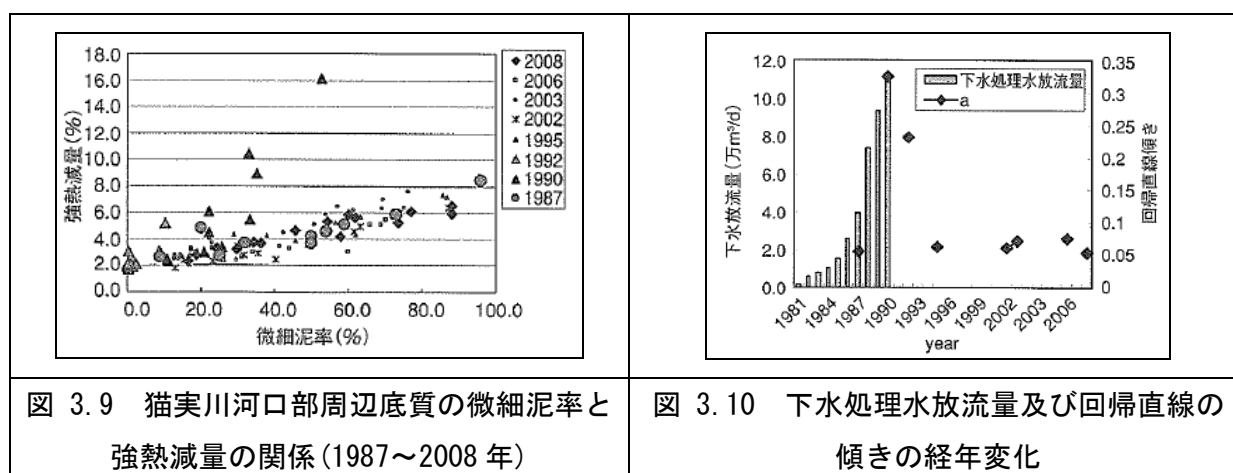


図 3.8 比較・評価に用いた海域

さらに、過去の調査結果を用いて、微細泥率と強熱減量の回帰直線の傾きを用いて有機汚濁の度合いを評価する方法が有効であることを示した。その結果では、下水処理水がこの海域に暫定放流されていた時期には底質の汚濁が進んでいたが、暫定放流終了後には速やかに汚濁の度合いが改善されたことを示している（図 3.9、図 3.10）。

また、粒度組成の経年変化から、この海域の底質は浦安側の埋立地造成後に一時的に細粒化した後、現在は砂質化が進んでいることを示している。

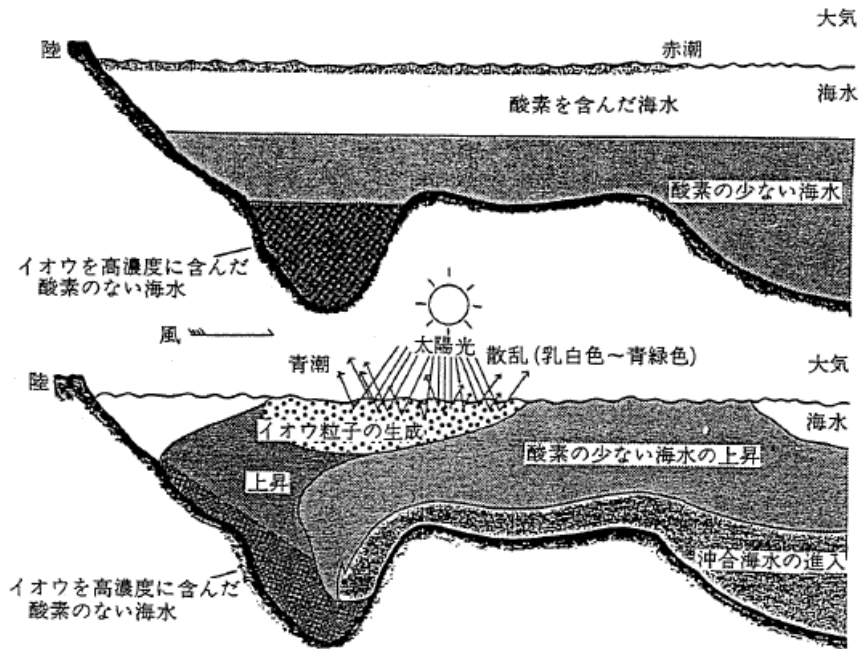


<sup>8</sup> 小倉久子・鯉淵幸生・中村裕樹・青山一(2009)：東京湾三番瀬猫実川河口周辺部の底質環境, 用水と廃水, Vol. 51, No. 11, p. 39-44.

### 3.2.2 青潮

#### (1) 青潮の発生・移動・消滅過程

東京湾北部海域では、晩春から初秋にかけて成層期に、成層で形成された硫化水素を含む無酸素水が風などの作用により沿岸域に湧昇する。このため表層付近の水色が青白色あるいは青緑色に変色する現象（図 3.11）を青潮と呼び、魚介類の斃死などの被害が生じている。



(a) 夏季成層期の東京湾北部の様子, (b) 青潮出現の様子 (陸側から沖に向かって風が吹き, また沖合海水の進入の度合いが大きいときに, 無酸素水が湧昇して青潮となる)。

出典：寒川(1991)<sup>9</sup>

図 3.11 青潮の概念図

補足調査では、無酸素水を含めた貧酸素水の発生、移動、消滅についてその動向を把握し、青潮の発生起源の推定を行った。

貧酸素水の三番瀬内への移動経路については、図 3.12 に示すように、船橋航路奥部から防泥柵の間およびその先端、茜浜～幕張前面海域からは岸沿いに三番瀬内へ流入するとしている。また、船橋航路奥部で湧昇した貧酸素水は水路部を通じて三番瀬へ流入すると推定している。さらに、市川航路奥部および日の出東の滞筋を通じて湧昇した貧酸素水が三番瀬内へ流入する経路であることが示されている。

青潮の発生起源については、図 3.13 に示すように、浚渫窪地（浦安沖、茜浜沖、幕張沖）や船橋航路（奥部～沖側部）、沖合底層水であると推定している。

<sup>9</sup> 海と地球環境：日本海洋学会編，東京大学出版会，216(1991)

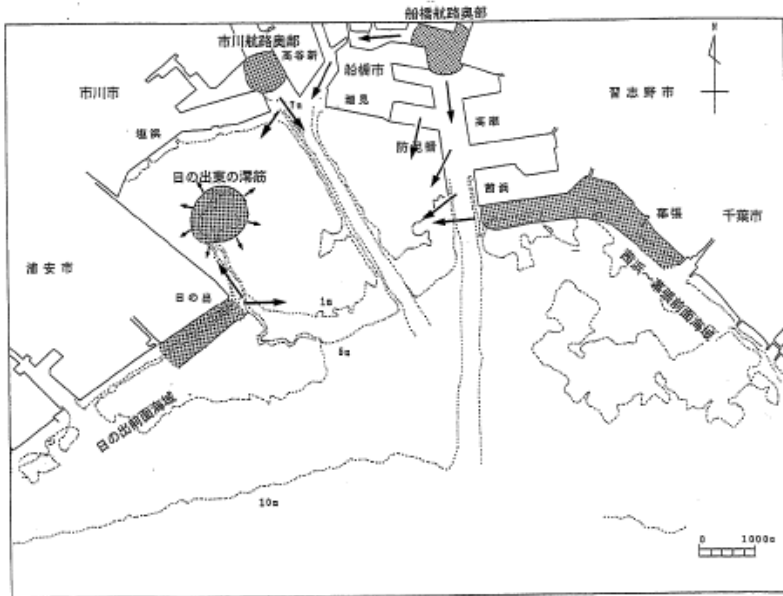


図 3.12 貧酸素水の三番瀬内への移動経路

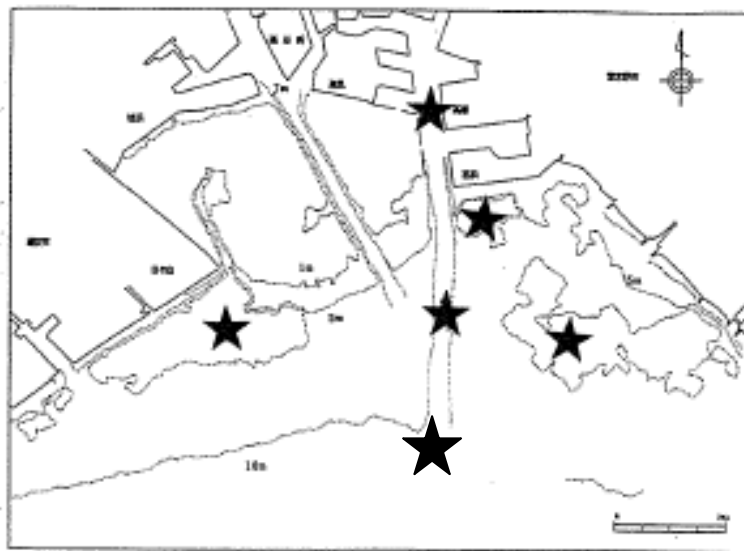


図 3.13 青潮の発生起源

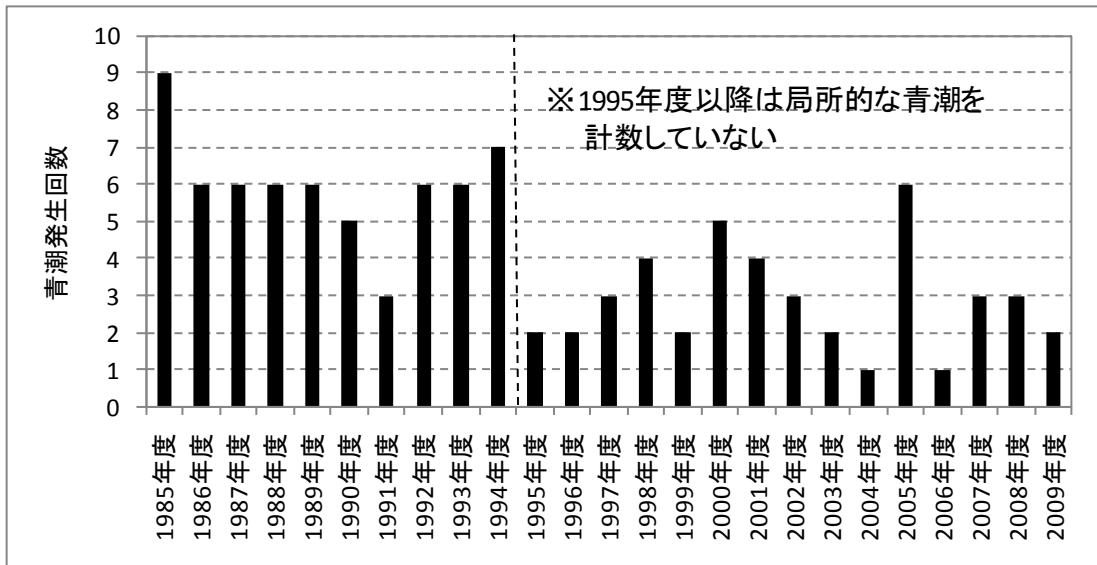
## (2) 青潮の発生件数及び発生事例

千葉県環境研究センターによれば2009年度(平成21年度)までの青潮の発生件数は図 3.14 のとおりである。また、月別の青潮発生件数を図 3.15 に示した。なお、1995年(平成7年)以降は、局所的な青潮は計数されていない。

青潮の発生件数は、図 3.15 に示したように、4月から11月にかけて確認されており、発生頻度は6月から9月に多く、1年間に1~9回程度発生している。経年変化をみると、局所的な青潮を計数していない1995年度以降をみると、2005年度に6件と高い時期はあるものの発生件数は概ね同程度で推移している。また、発生場所は、千葉港、船橋港、茜浜沖などが多い傾向となっている。

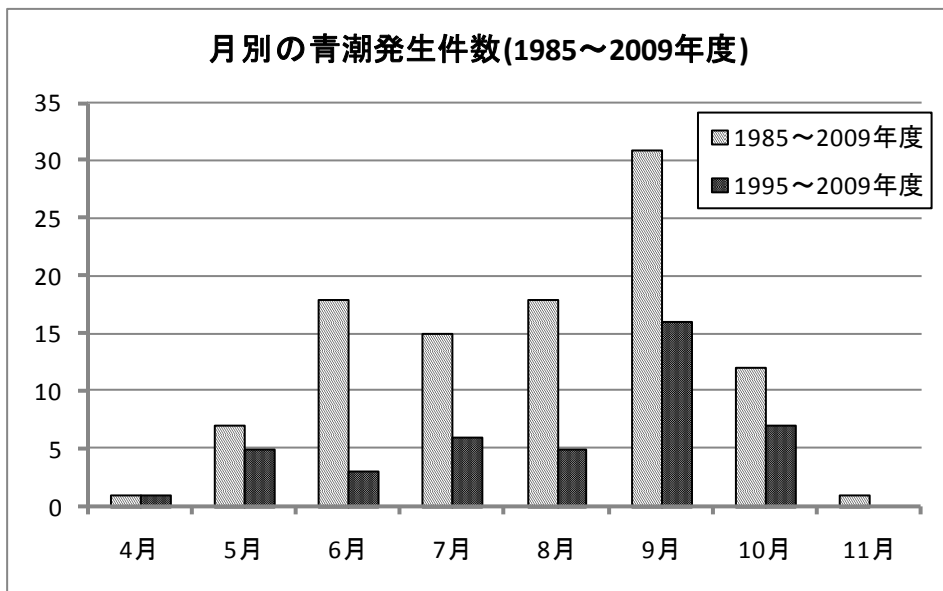
青潮の発生件数が6月から9月に多く、9月にピークとなっている要因としては、風の吹き方が密接に関わっていることが知られている。三番瀬近傍の風データは、千葉県漁業協同組合連合会が行徳で観測(東京湾海象情報システム)を行っており、2008年の5月~10月の風配図を図 3.16 に示す。5月~8月は概ね南北方向の風が出現し、南風の出現頻度が高い傾向となっているが、9月、10月になると北風が顕著となっている。このように陸側から海側へと吹く北風が連吹する時期である9月に青潮のピークがみられ、その後海水の成層構造が風によって混合されることにより、10月以降は青潮の発生は低下していると考えられる。

青潮による被害は、補足調査以降は1997年度にアサリが少量斃死、2008年度に貝類の斃死した記録があるが、これ以外大きな漁業影響はみられていない。



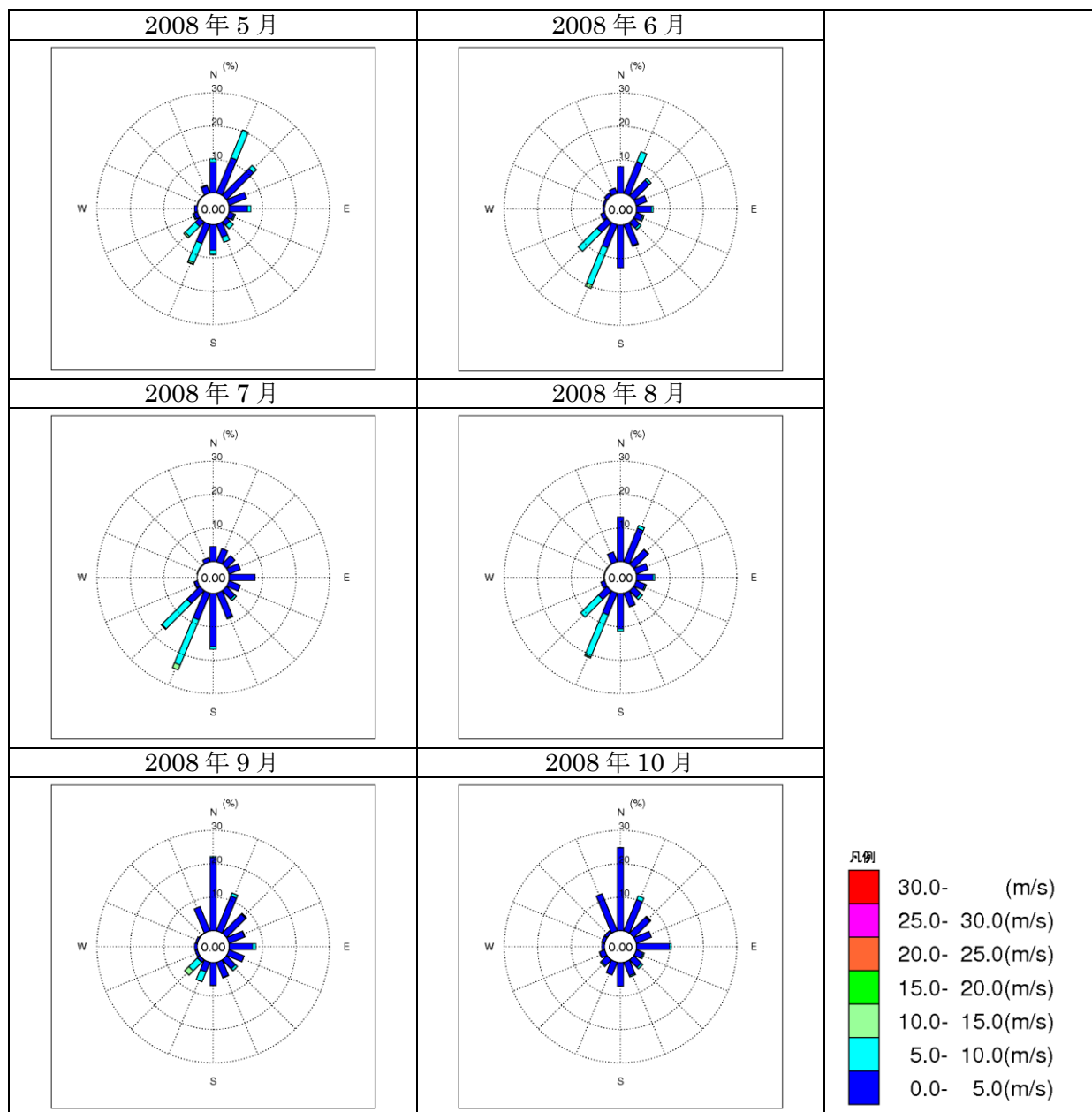
注)千葉県環境研究センター年報のデータを基に作成

図 3.14 青潮の発生件数の経年変化(1985～2009年度)



注)千葉県環境研究センター年報のデータを基に作成

図 3.15 月別の青潮の発生件数(1985～2009年度)



注) 東京湾海象情報システム (千葉県漁業協同組合連合会) の行徳の観測値を基に作成

図 3.16 2008年5月~10月の風向風速頻度分布(行徳)

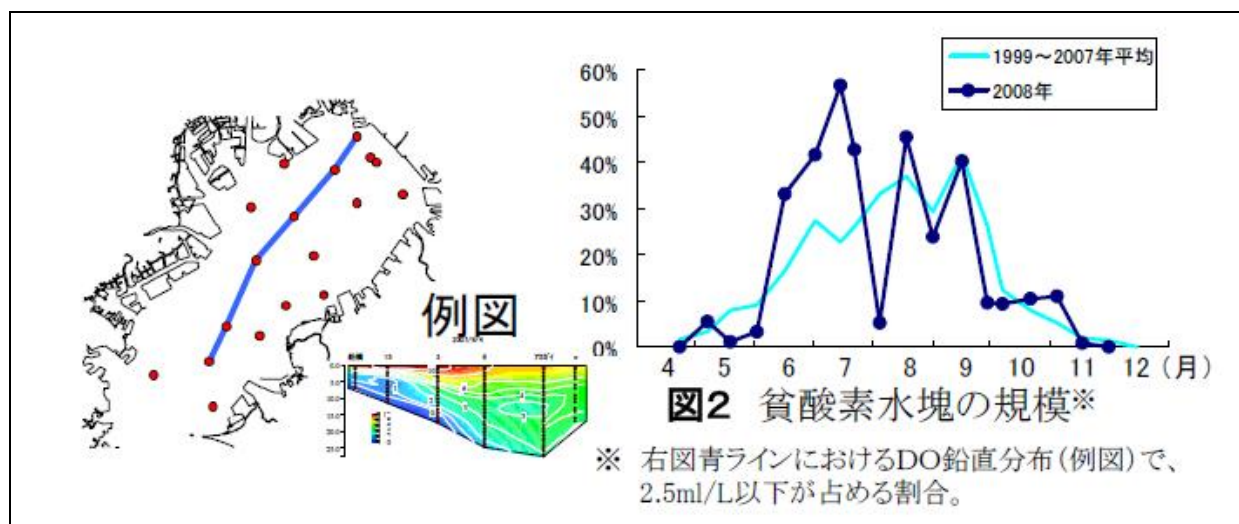
### (3) 貧酸素水

本報告における貧酸素及び無酸素の定義を以下に示す。

- ◆ 貧酸素：酸素飽和度 50%以下、溶存酸素 2.5ml/L $\simeq$ 3.6mg/L 以下
- ◆ 無酸素：酸素飽和度 0.5%以下、溶存酸素 0.05ml/L $\simeq$ 0.036mg/L 以下

#### 1) 東京湾奥部の貧酸素の状況

青潮の発生に密接に関連する底層の貧酸素水については、千葉県水産総合研究センターによる貧酸素水塊速報を整理した。2008年の貧酸素水塊は、図 3.17 に示すような状況となっていた。貧酸素水塊の形成から消滅までは、例年4月～5月に初確認され、6月になると貧酸素水塊が発達し、7月～9月にピークとなり、10月～11月にかけて貧酸素水塊が解消されるという変動となっている。



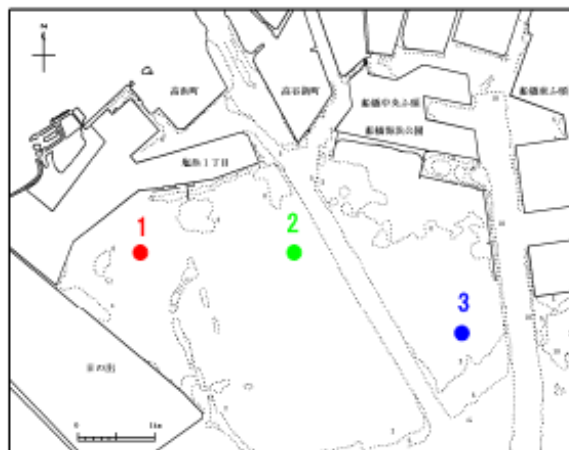
出典) 貧酸素水塊速報,千葉県水産総合研究センター

(<http://www.pref.chiba.lg.jp/laboratory/fisheries/index.html>)

図 3.17 貧酸素水塊の規模(2008年)

## 2) 三番瀬における貧酸素の状況

2008年度（平成20年度）の三番瀬水環境モニタリング調査では、図3.18に示す3地点において、2008年6月～2009年3月まで水質の連続観測を実施している。この調査期間中、三番瀬の浅海域に及んだ貧酸素化の状況は、平成20年度三番瀬水環境モニタリング調査において報告されており、調査期間中及び代表的な貧酸素発生時の概要を以下に示す（平成20年度三番瀬水環境モニタリング調査報告書、概要版より引用）。



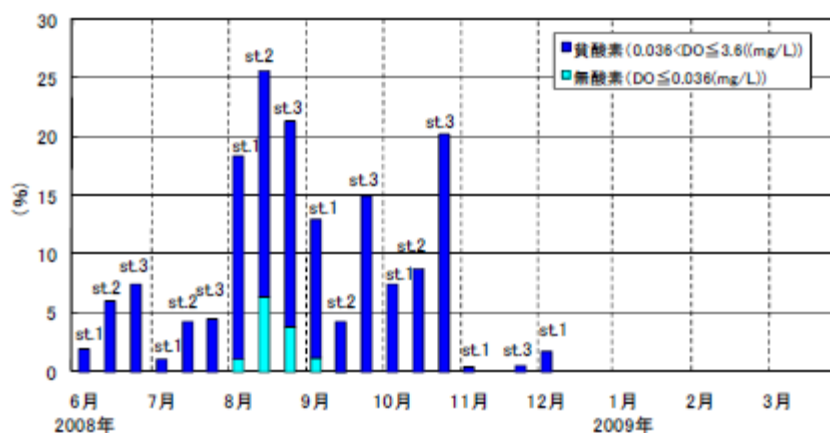
出典)平成20年度三番瀬水環境モニタリング調査報告書,平成21年3月,三洋テクノマリン株式会社

図 3.18 平成20年度三番瀬水環境モニタリング調査の調査位置

### (a) 調査期間中の貧酸素の状況

2008年度（平成20年度）の調査期間中において、貧酸素が継続しない一時的なものも含め、貧酸素及び無酸素の月別の出現率は図3.19に示す結果となっていた。

貧酸素の発生がみられた6月～12月において、貧酸素に該当する溶存酸素量及び酸素飽和度の出現率は、測点1及び測点2で約8%、測点3で約12%を占めており、最も沖側の測点3で貧酸素水は多くみられた。



出典)平成20年度三番瀬水環境モニタリング調査報告書,平成21年3月,三洋テクノマリン株式会社

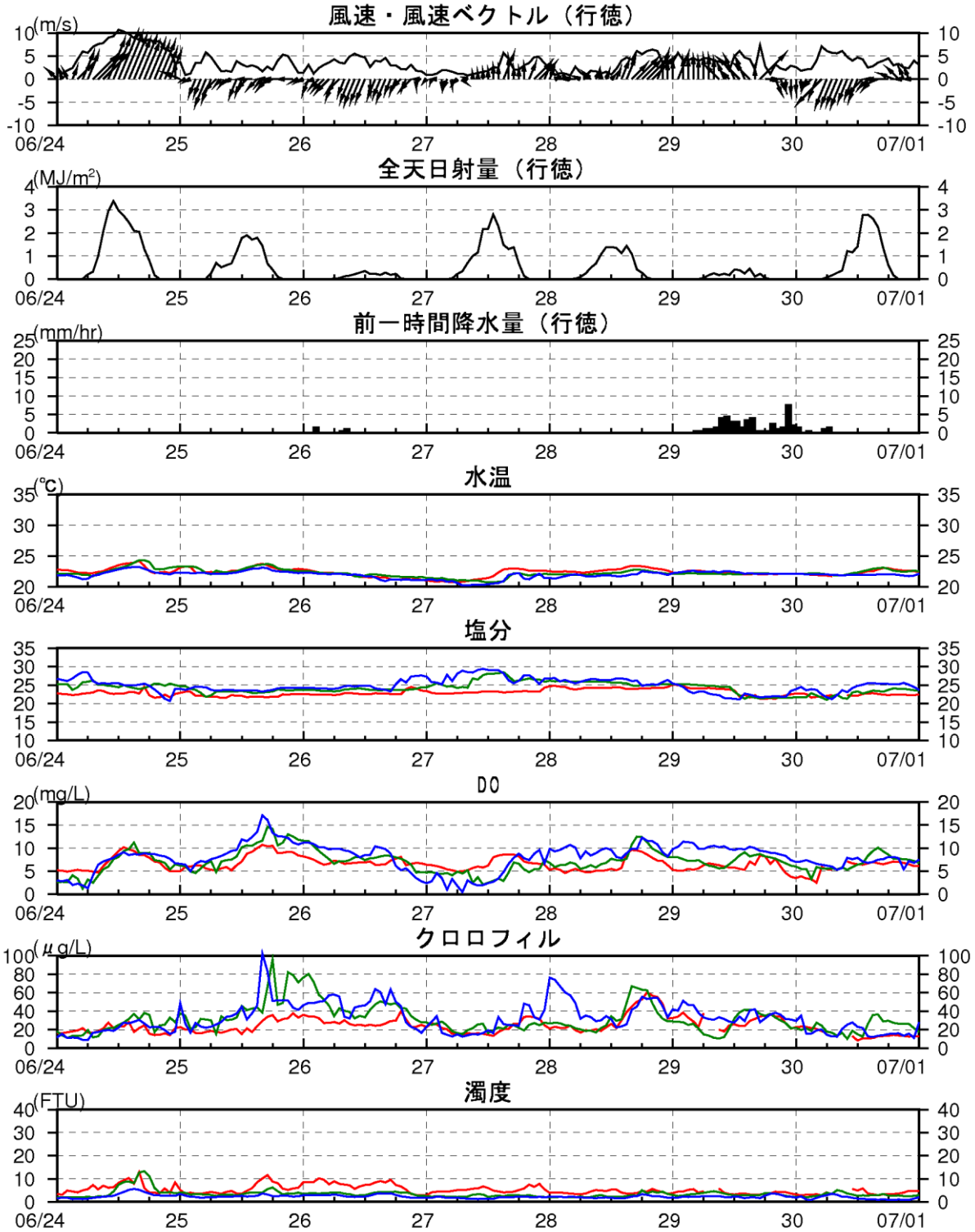
図 3.19 貧酸素及び無酸素の月別の出現率（平成20年6月～平成21年3月）



(b)2008年6月26日～27日（貧酸素発生時）

貧酸素の発生時として、2008年6月24日～6月30日の経時変化を図3.20に示し、水質調査結果の概要を以下に示す。

- ◆ 2008年6月25日～26日に北風（南へ向かう風）が連吹後、測点2及び測点3で溶存酸素量が2mg/L程度まで低下すると同時に、1℃前後の水温の低下及び5psu前後の塩分の上昇もみられた。これは貧酸素となっている沖あるいは航路の底層水の移動によるものと考えられ、約1日続いていた。
- ◆ 貧酸素化は測点2及び測点3でほぼ同時期に始まり、風が南寄りに転じた後に溶存酸素量が回復を始め、同時期に解消していた。
- ◆ 測点1では貧酸素とはならず、測点2及び測点3とは異なる変動傾向を示していた。
- ◆ 流れとの対応をみると、測点2では貧酸素出現前後に南流が多くなっており、貧酸素水は湾中央部からの移流によるものではなく、船橋航路付近で発生した貧酸素が船橋港内、運河を伝播し、市川航路奥部周辺の湾奥から南下してきたものではないかと考えられる。
- ◆ 測点3では、溶存酸素の低下過程で、北流→弱い南流→西流傾向と変化していたことより、貧酸素水の起源は、測点3の沖合もしくは船橋航路周辺であろうと推察される。



注1) 貧酸素発生は6月26日～27日。  
 注2) 上図は平成20年度三番瀬水環境モニタリングデータを基に作図した。

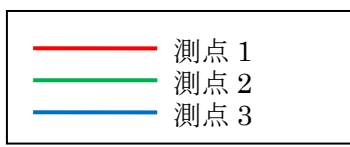
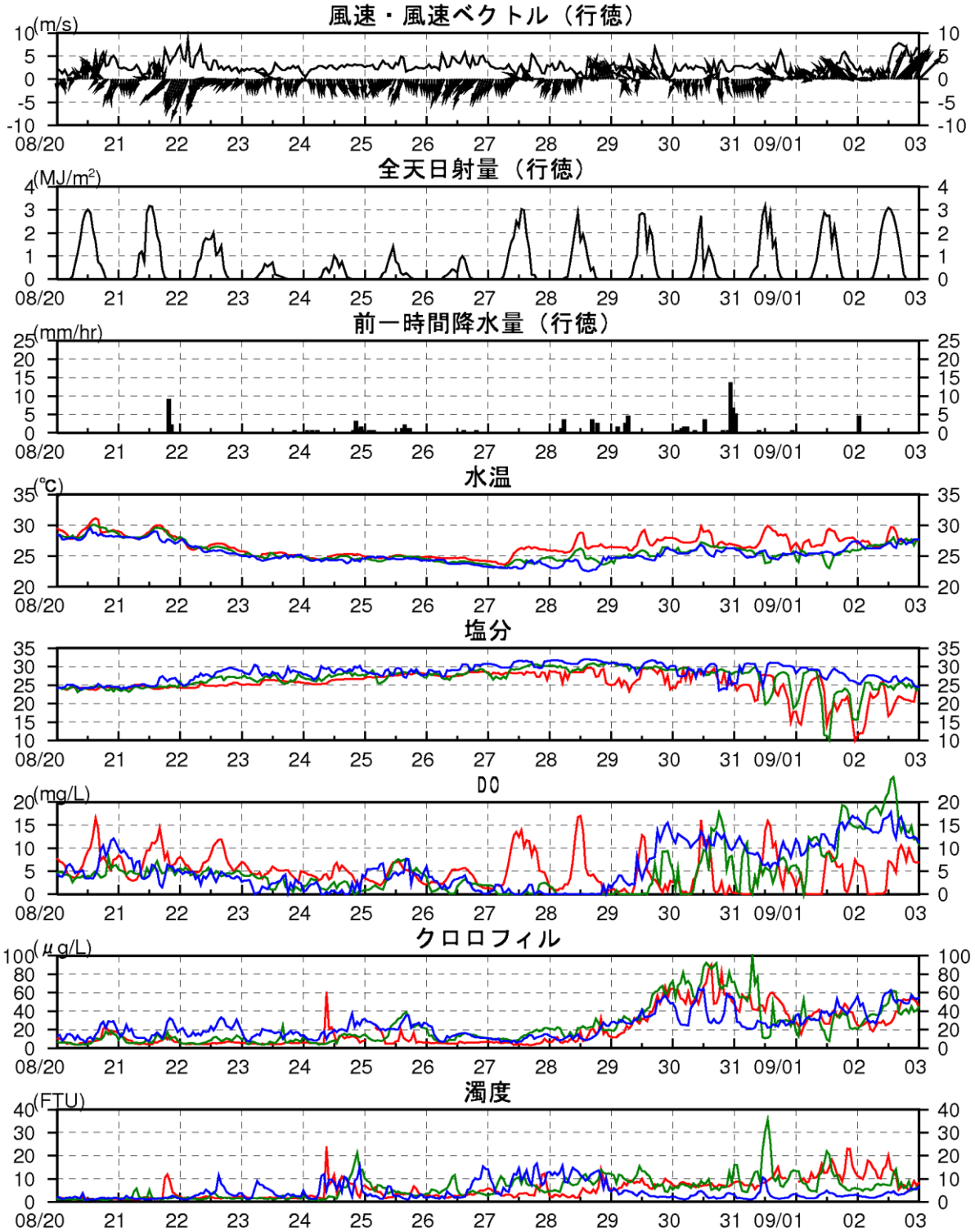


図 3.20 2008年6月の貧酸素発生時の経時変化

(c) 2008年8月23日～9月2日（青潮発生時）

貧酸素の発生時として、2008年8月20日～9月2日の経時変化を図 3.21 に示し、水質調査結果の概要を以下に示す。

- ◆ 2008年8月23日～9月2日にかけて、全ての測点で連続的あるいは断続的に貧酸素化がみられ、千葉県環境研究センター年報によると8月22日～28日にかけて当海域で青潮の発生が確認された。
- ◆ 2008年8月21日～27日に渡る北風の連吹時には、全ての測点で溶存酸素量の低下がみられると同時に、水温の低下及び塩分の上昇がみられた。
- ◆ とくに8月27日～28日にかけては測点2及び測点3で無酸素状態が続いていたのに対し、測点1では夜間に1mg/L前後の貧酸素化を示していたものの、日中は15mg/L前後まで溶存酸素量が上昇する日周期変動がみられた。これは日照の増加、気温の上昇と対応しており、植物の光合成によるものと考えられる。しかし、クロロフィル a には上昇がみられないことから、植物プランクトンによるものではなく、アオサ等の海藻類による光合成の可能性が考えられる。
- ◆ 無酸素状態の解消時期は、測点2で2008年8月29日、測点3では2008年8月28日となっており、測点2の方が測点3より18時間程度貧酸素水の解消が遅くなっていた。更に測点1では日中の高酸素化を除けば、8月31日まで貧酸素水がみられ、滞留しやすい湾奥部ほど回復が遅い傾向がみられた。
- ◆ 溶存酸素量の低下（青潮）が見られた時期は、測点2及び測点3で5～15FTU程度まで濁度の上昇が見られた。これは底層の無酸素水に含まれる硫化物イオン（ $S^{2-}$ イオン）が酸素と反応し（酸化）、生成されたコロイド状硫黄を感知した可能性が考えられる。



注3) 貧酸素発生は2008年8月23日～9月2日。青潮発生は2008年8月22日～28日。  
 注4) 上図は平成20年度三番瀬水環境モニタリングデータを基に作図した。

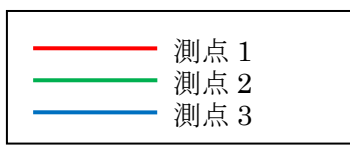


図 3.21 2008年8月の貧酸素発生時の経時変化

### 3.3 まとめ

水質の状況は、水質濃度の年変動が大きく、一時的に濃度が高い年などがあり、これまでの水質環境から大きな変化はないものと評価した。また、公共用水域水質測定結果から、三番瀬の沖合では COD 濃度の低下傾向が示唆されたが、三番瀬の奥部の江戸川河口や船橋港内などでは依然として COD、T-N, T-P は横ばいであることを確認した。

青潮は、年間に数回発生する状況は変わっていない。1997 年以来青潮による漁業被害は記録されていなかったが、2008 年度（平成 20 年度）は貝類のへい死が確認された。また、三番瀬の沖合には例年と同程度かその規模を上回る貧酸素水塊が形成されていることを確認し、依然として三番瀬における生物生息環境は、厳しい状態が続いているものと評価した。

物質循環（今後の作業結果に基づいてとりまとめる）