

(3)再現性の検討

1) レベルモデルによる検討結果

実測値と計算値を比較して再現性を検討し、流動モデルの妥当性の確認を行った。比較・検討する項目は水位、流向・流速、水温・塩分である。観測データの取得状況には質および量共に制限があるため、閉鎖性海域や沿岸域の流動、水温・塩分分布の一般的な変動特徴も踏まえて再現性の検討を行った。

(a)潮位

表 1.2.11 に示す伊勢・三河湾内の 8 地点の検潮所における M_2 分潮の潮位振幅について、計算値と観測値（海上保安庁水路部発行、書誌 7 4 2 号（平成 4 年 2 月発刊）日本沿岸潮汐調和定数表に記載のある調和定数）との比較結果を図 1.2.21 に示す。

計算結果は観測値と概ね一致し、湾口部と湾奥部の振幅の差も表現されており、潮位の再現性は良好な結果が得られている。

表 1.2.11 各検潮所における潮位の観測機関と位置

検潮所	観測機関
赤羽根	愛知県
武豊	愛知県
師崎	愛知県
鬼崎	国土地理院
名古屋	気象庁
四日市	三重県
松坂	三重県
鳥羽	気象庁

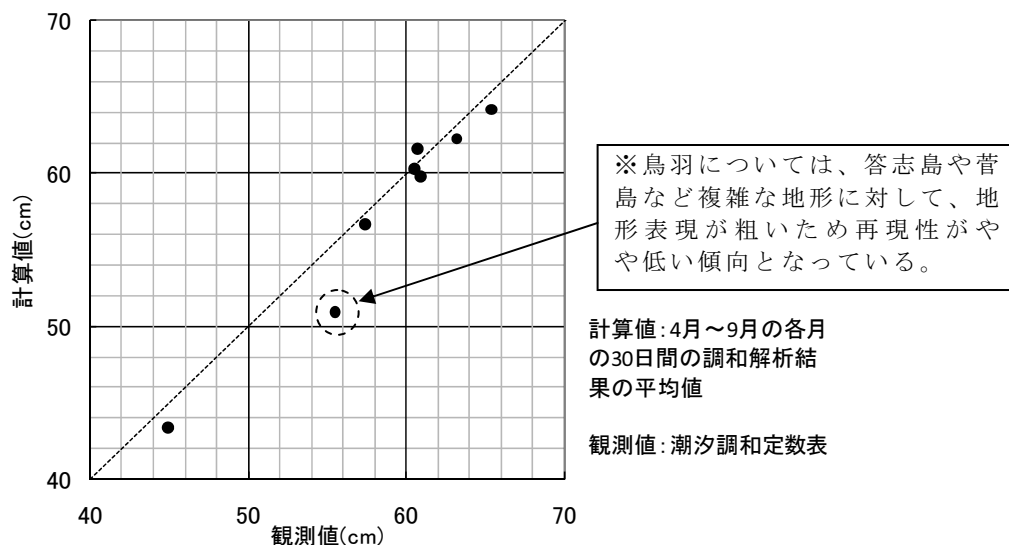


図 1.2.21 各検潮所における M_2 分潮の潮位振幅の比較（年平均）

(b) 流れ

比較に用いる流れの実測値には、運輸省第五港湾建設局が三河湾全域で実施した調査結果¹⁰および国土交通省中部地方整備局三河港湾事務所が実施している中山水道の連続観測結果を用いた。各測点の観測層を表 1.2.12 に、観測点を図 1.2.22 に示す。

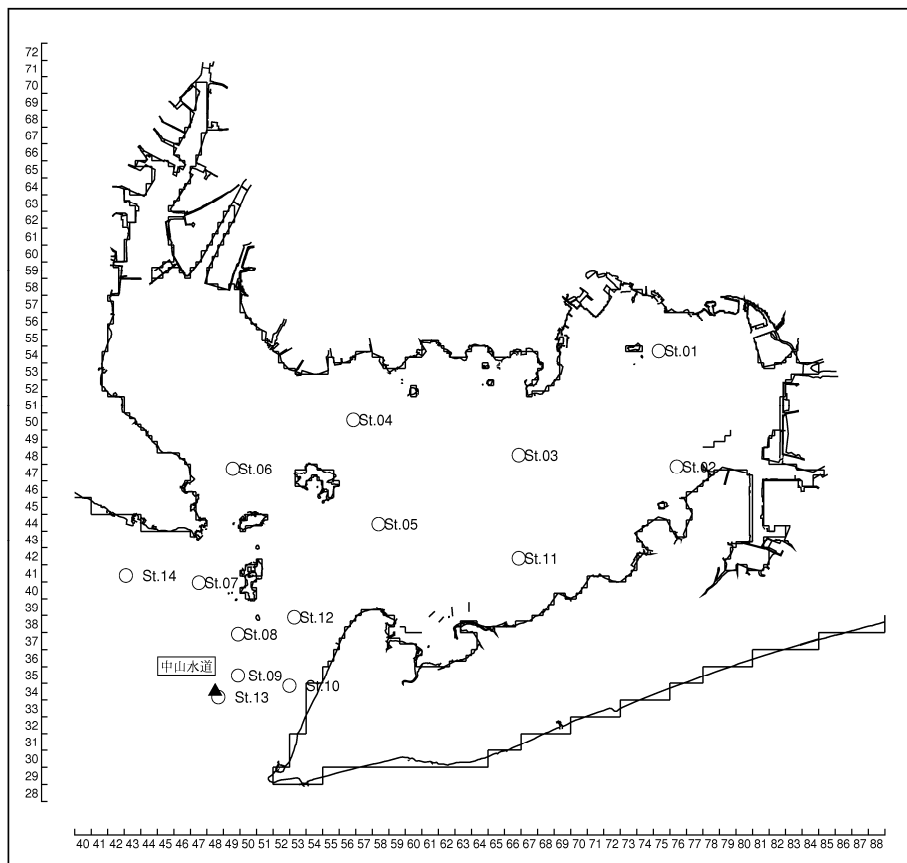


図 1.2.22 潮流楕円の比較位置

表 1.2.12(1) 各測点の観測層夏季 (St.1~14, 1978年7-8月)

測点	水深	観測層	測点	水深	観測層
St.1	7.8	上、下	St.8	15.0	上、中、下
St.2	9.8	上、下	St.9	10.9	上、中、下
St.3	14.5	上、中、下	St.10	21.3	上、中、下
St.4	10.2	上、下	St.11	15.8	上、中、下
St.5	21.3	上、中、下	St.12	18.3	上、中、下
St.6	13.0	上、中、下	St.13	13.1	上、中、下
St.7	21.8	上、中、下	St.14	16.9	上、中、下

注)夏季：[上：海面下 2m]、[中：海面下 6m]、[下：底上 2m]

表 1.2.12(2) 各測点の観測層夏季 (中山水道, 2009年)

層	水深	観測層
上層	約 16m	水面下 1.4m
中層		水面下 8.2m
下層		水面下 12.4m

¹⁰運輸省第五港湾建設局(1979)：伊勢湾水理模型実験場報告 No.15 Mar.1979 三河湾流況調査

a) 潮流楕円

計算値の潮流の再現性を検証するため、既往の観測結果の調和解析結果を用い、主要4分潮の潮流楕円の比較図を図1.2.23に示す。なお、計算値については、計算期間から夏季の代表として2009年7月の30昼夜の調和解析結果を用いた。

また、中山水道の観測資料を基に月別に30昼夜の調和解析を行い、主要4分潮の潮流楕円の比較図を図1.2.24に示す。

各分潮の潮流楕円について、計算値と観測値をくらべると、楕円の大きさや長軸の方向が概ね一致しており、計算値は観測値の傾向を表現していると考えられ、良好な再現性が得られている。

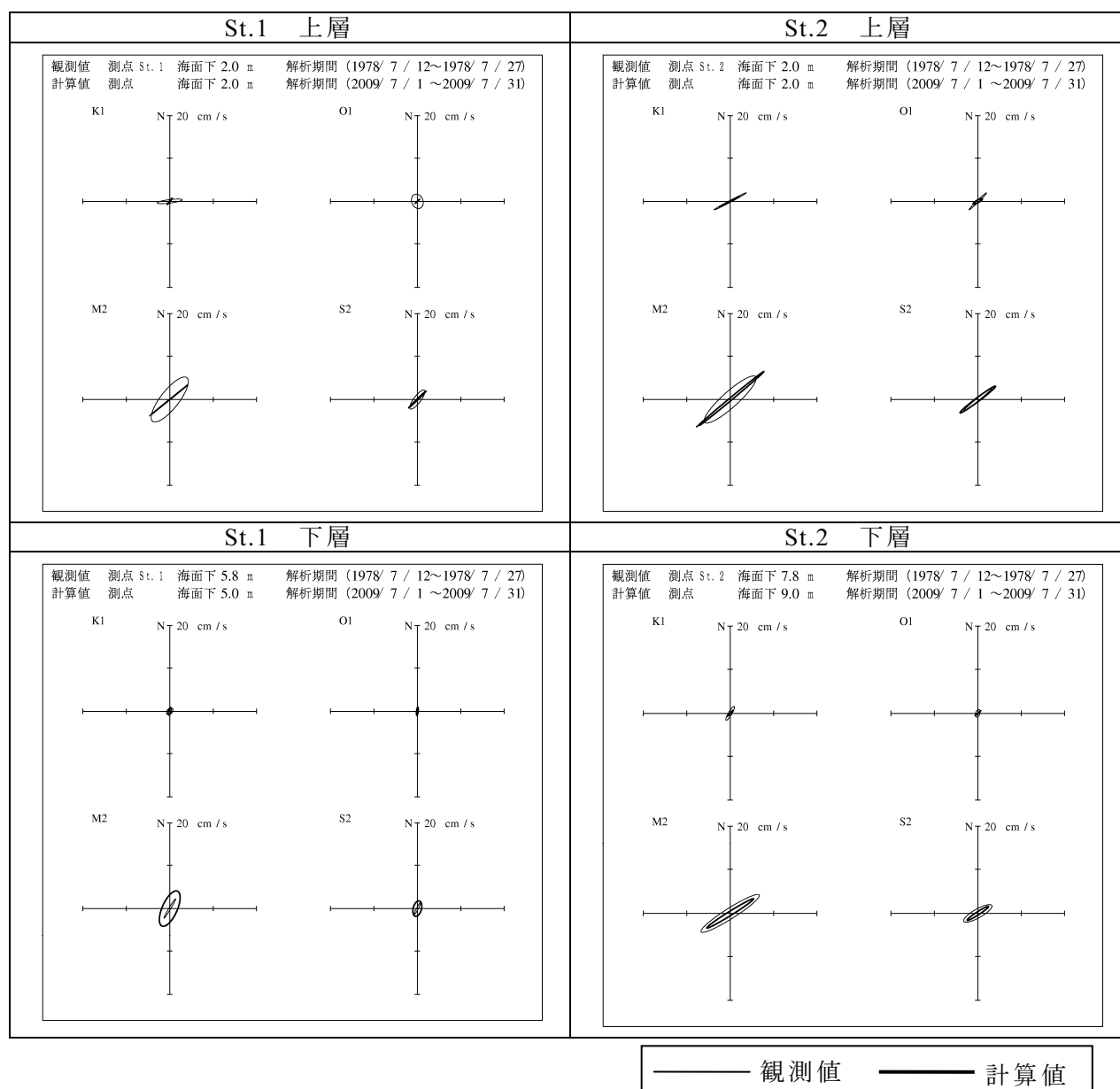
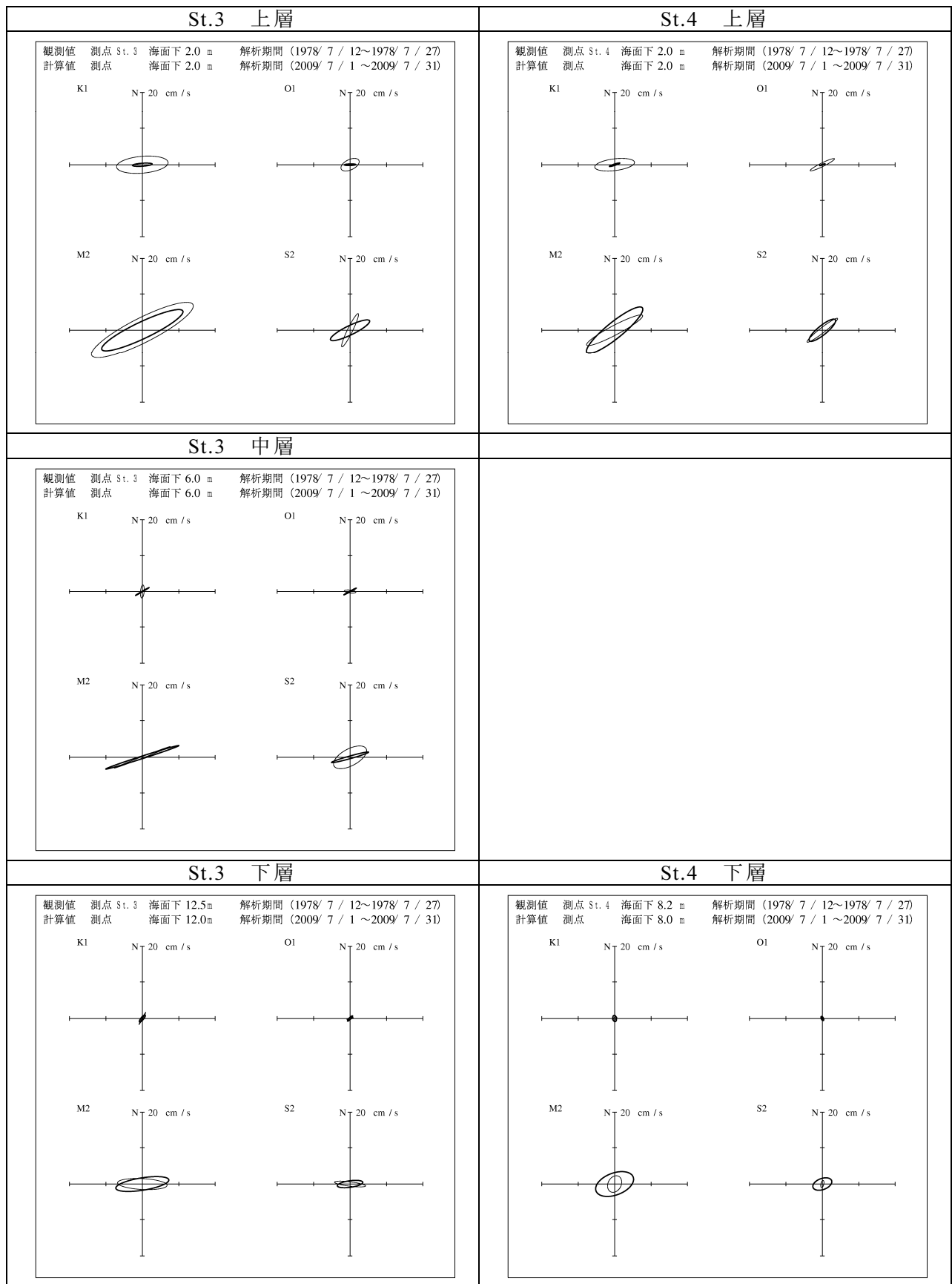
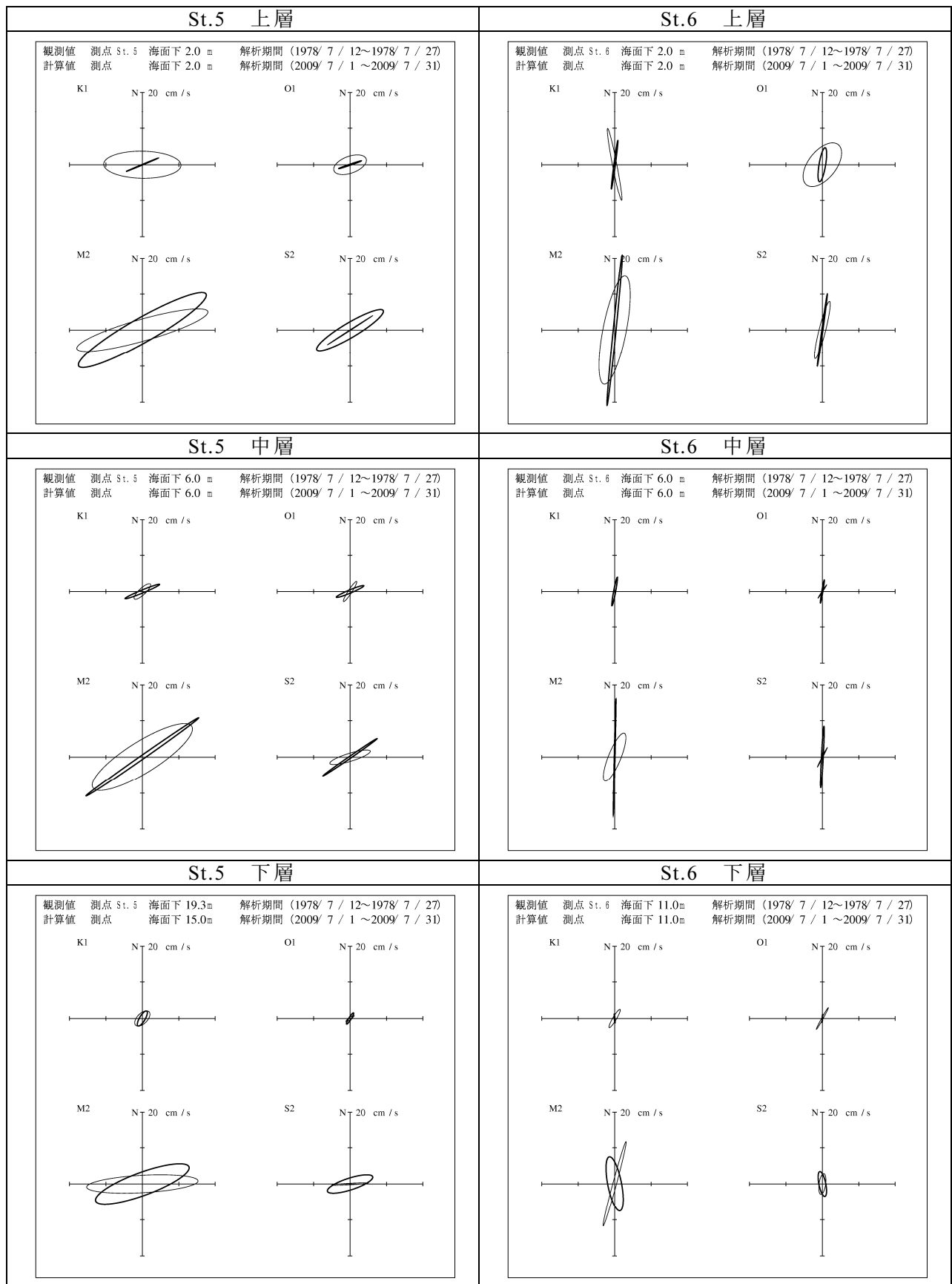


図 1.2.23 (1) 夏季における潮流楕円の比較図 (St.1 および St.2)



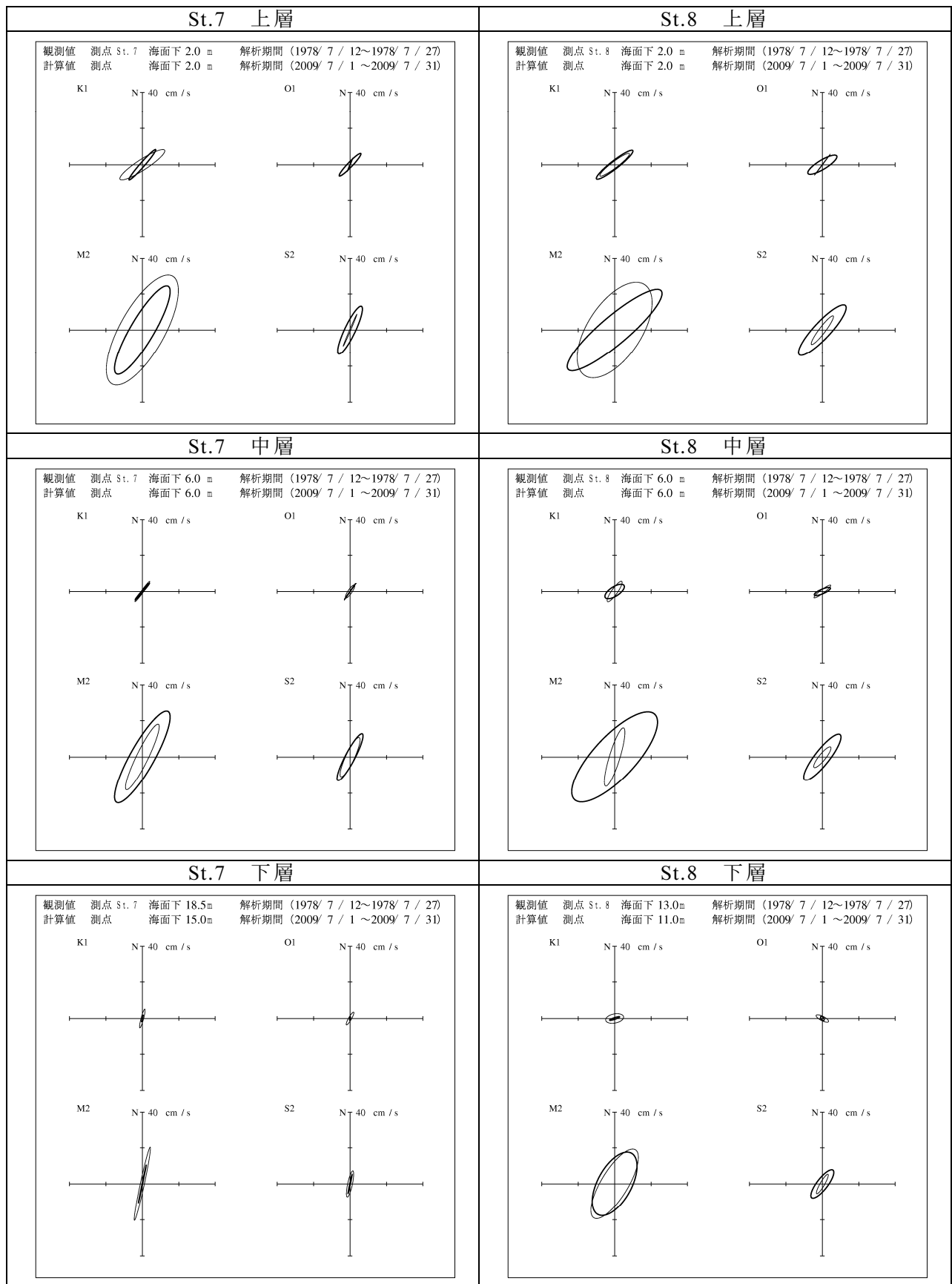
—— 観測値 —— 計算値

図 1.2.23 (2) 夏季における潮流楕円の比較図 (St.3 および St.4)



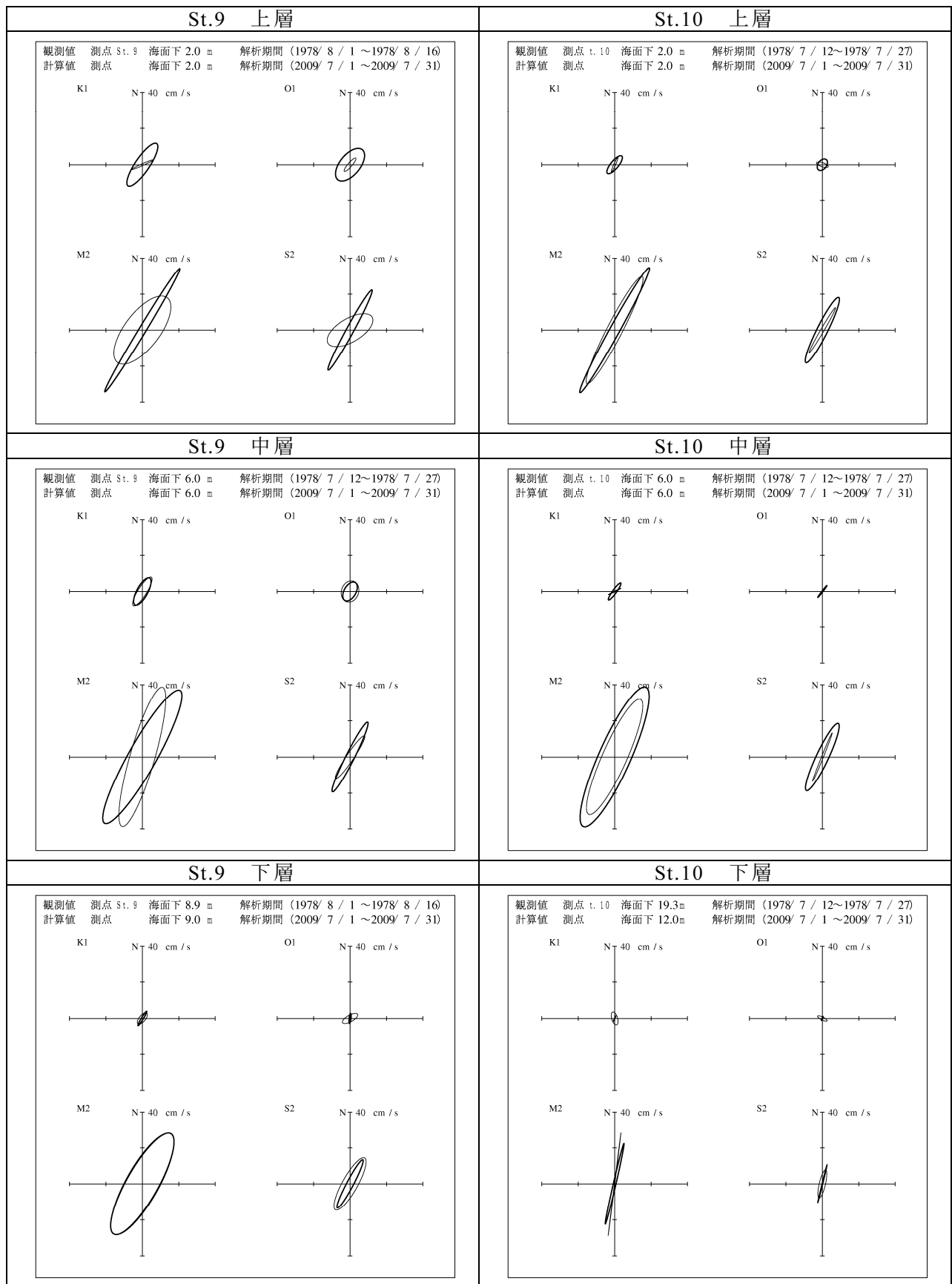
—— 観測値 —— 計算値

図 1.2.23 (3) 夏季における潮流楕円の比較図 (St.5 および St.6)



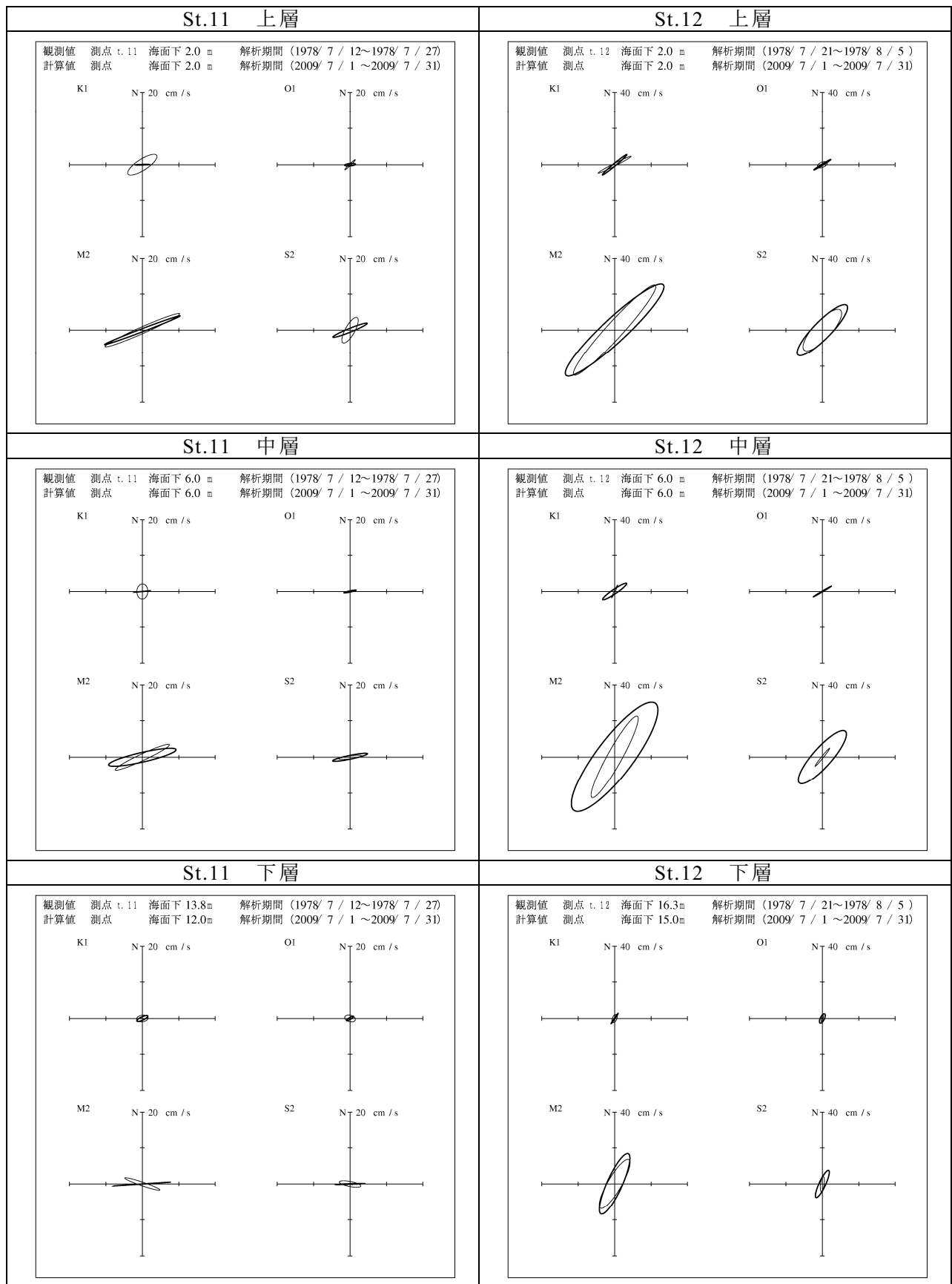
—— 観測値 —— 計算値

図 1.2.23 (4) 夏季における潮流楕円の比較図 (St.7 および St.8)



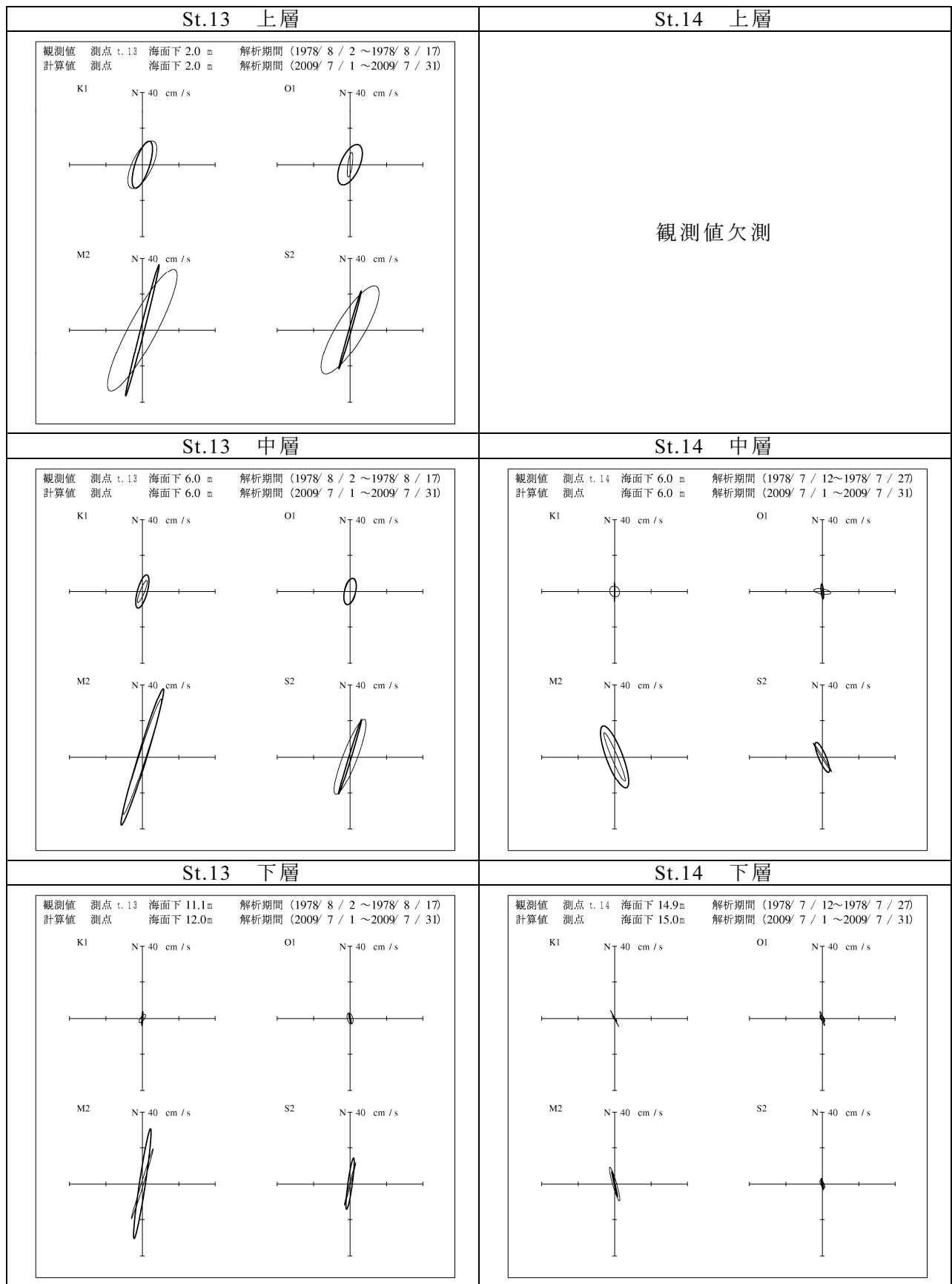
—— 観測値 —— 計算値

図 1.2.23 (5) 夏季における潮流楕円の比較図 (St.9 および St.10)



—— 観測値 —— 計算値

図 1.2.23 (6) 夏季における潮流楕円の比較図 (St.11 および St.12)



—— 観測値 —— 計算値

図 1.2.23 (7) 夏季における潮流楕円の比較図 (St.13 および St.14)

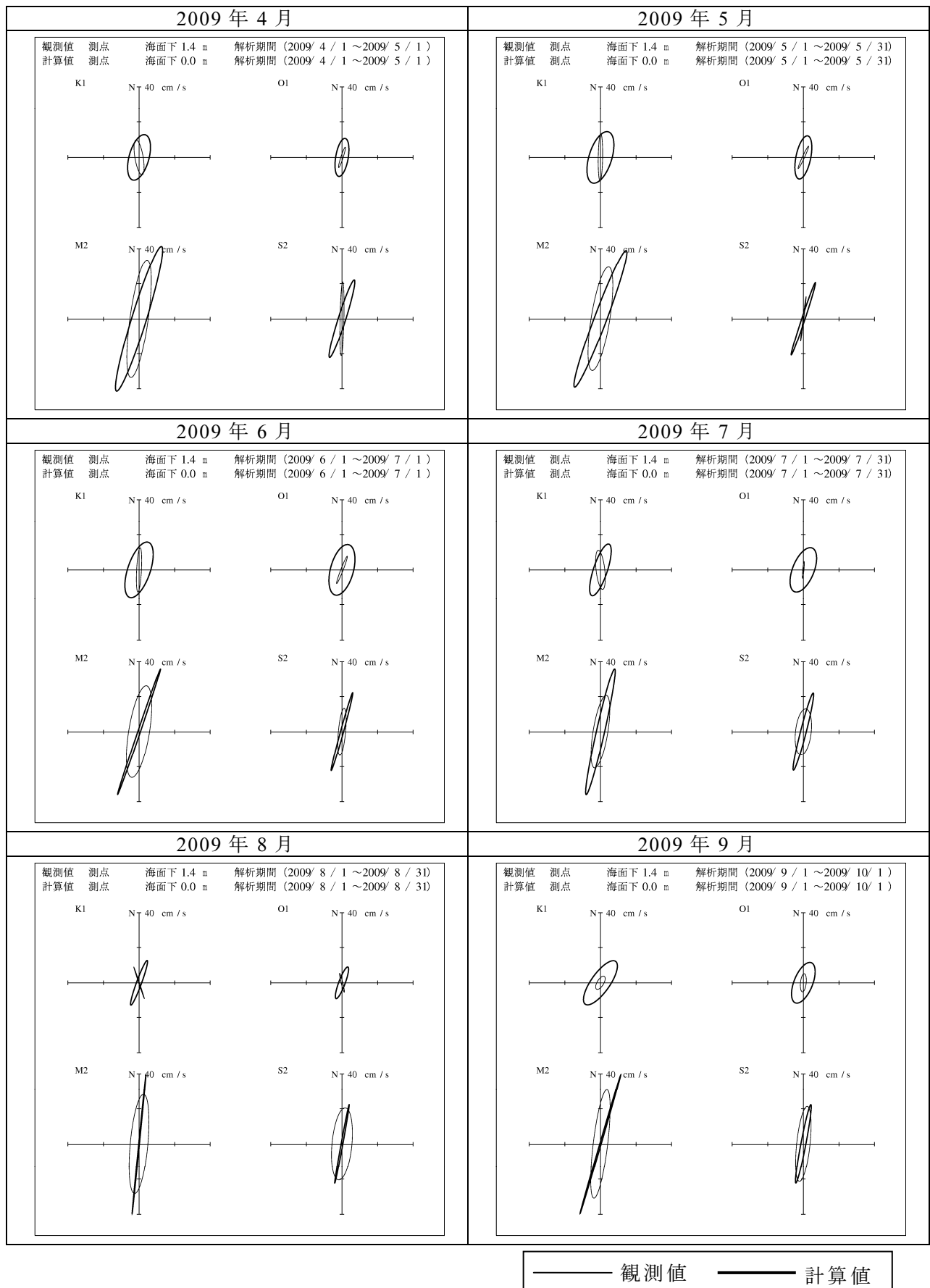


図 1.2.24(1) 中山水道における潮流楕円の比較図(上層)

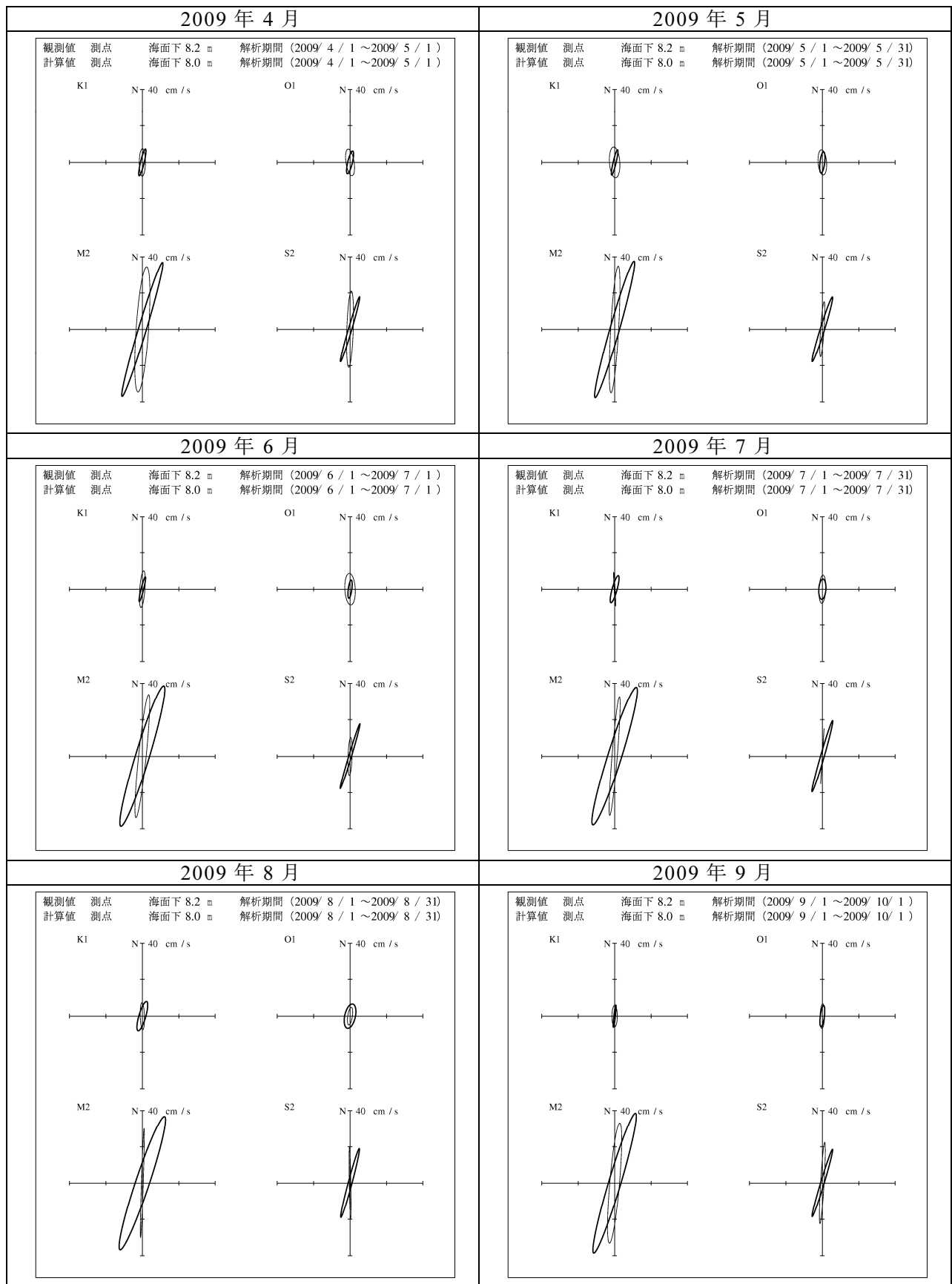


図 1.2.24(2) 中山水道における潮流楕円の比較図(中層)

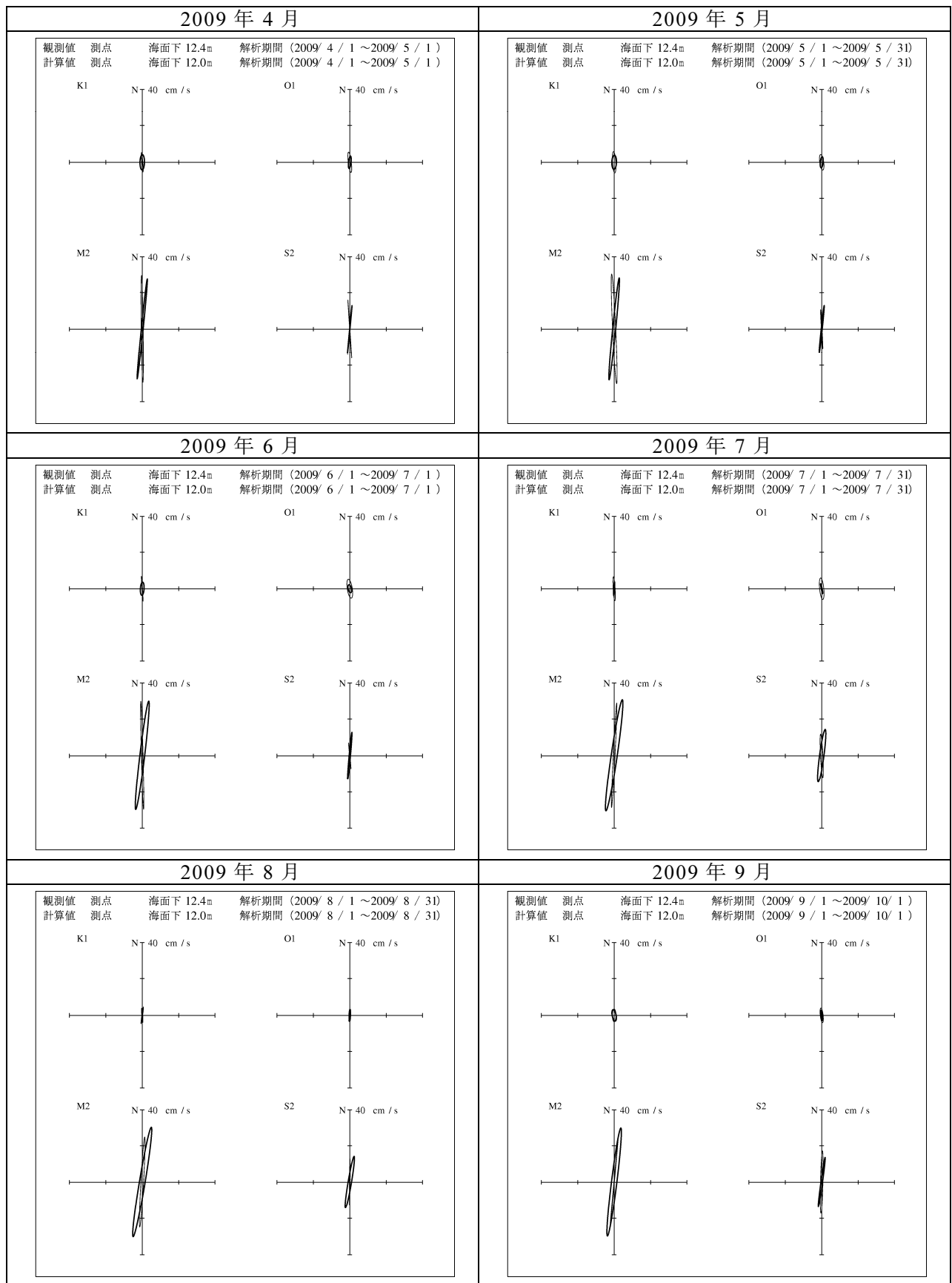


図 1.2.24(3) 中山水道における潮流楕円の比較図(下層)

b) 平均流

三河湾における平均流（恒流）の特徴については、宇野木（1983）¹¹が半月以上の連続観測による複数の調査結果より得られた平均流から三河湾の夏季と冬季の循環パターンとして図 1.2.25 を示している。また、運輸省第五港湾建設局の潮流調査結果による平均流分布を図 1.2.26 に示す。

2009年4月～9月の平均流の計算結果を図 1.2.27 に示す。計算結果は代表層として第2層（2～3m）と第10層（10～11m）について示した。

計算結果をみると、いずれの月平均流で上層流出、下層流入の鉛直循環が確認できる。また、三河湾の湾口部の渥美半島沿いに強い流出がみられ、渥美湾内では東西方向の上層流出、下層流入となっている。これらの流れの特徴は、図 1.2.25、図 1.2.26 と同様であり、三河湾の流れの特徴を概ね再現していると評価できる。

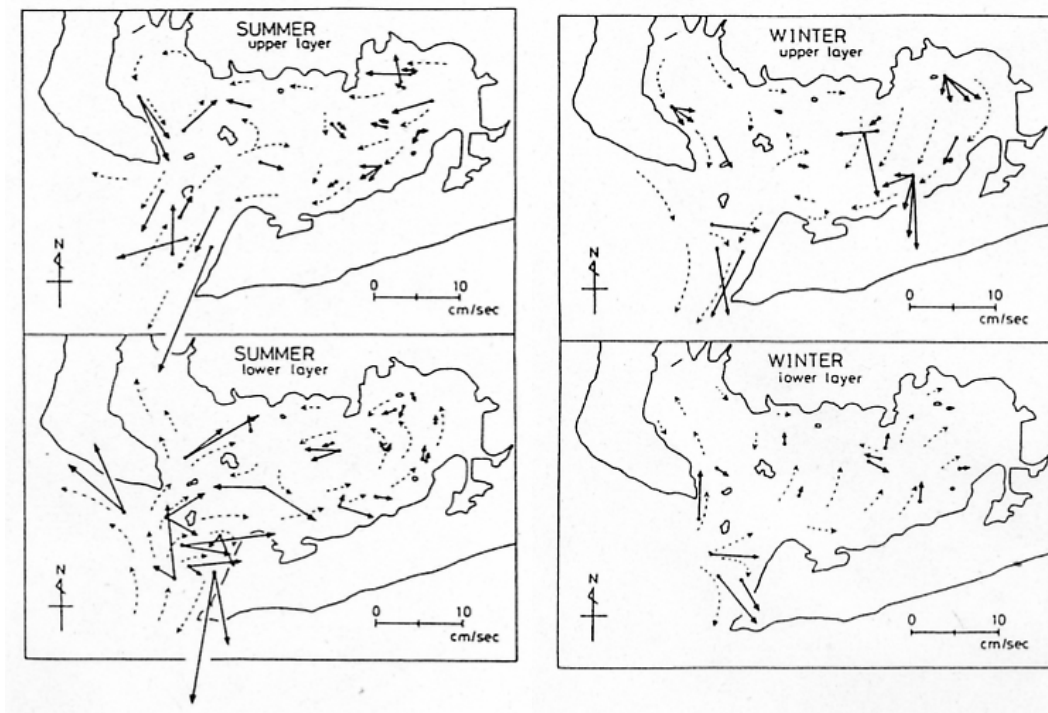


図 1.2.25 三河湾の夏季と冬季の平均流分布（宇野木(1983)より）

¹¹宇野木早苗（1983）：三河湾の恒流とその成因．海岸工学論文集，30，510－514

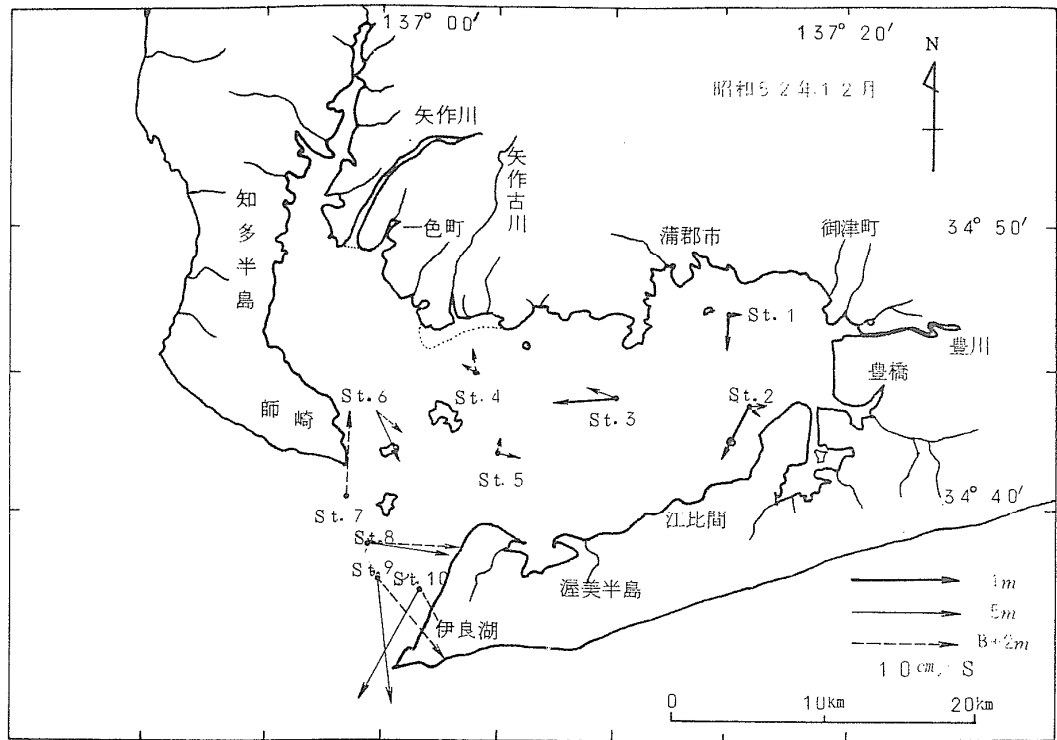
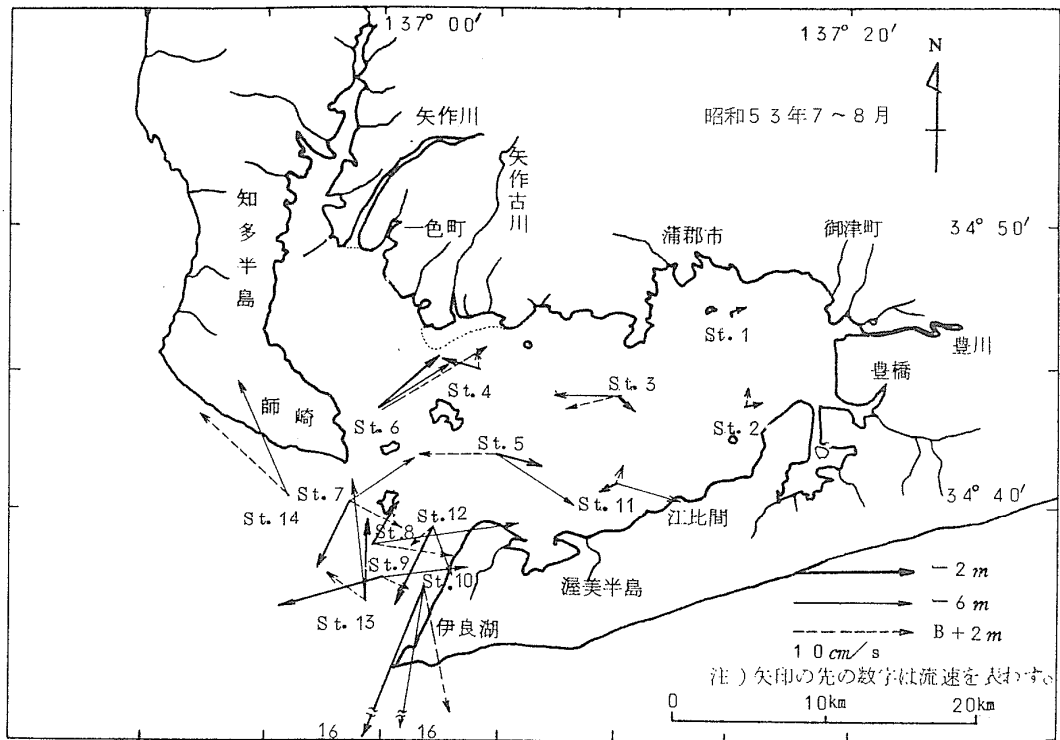
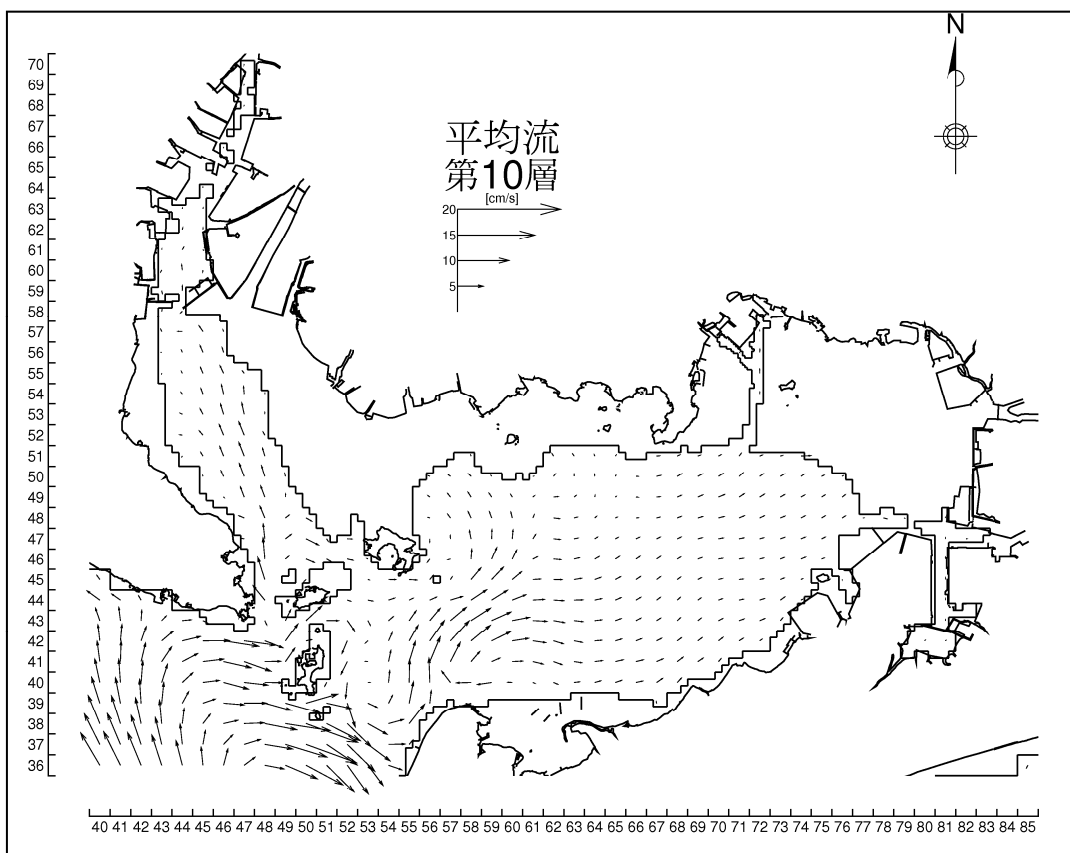
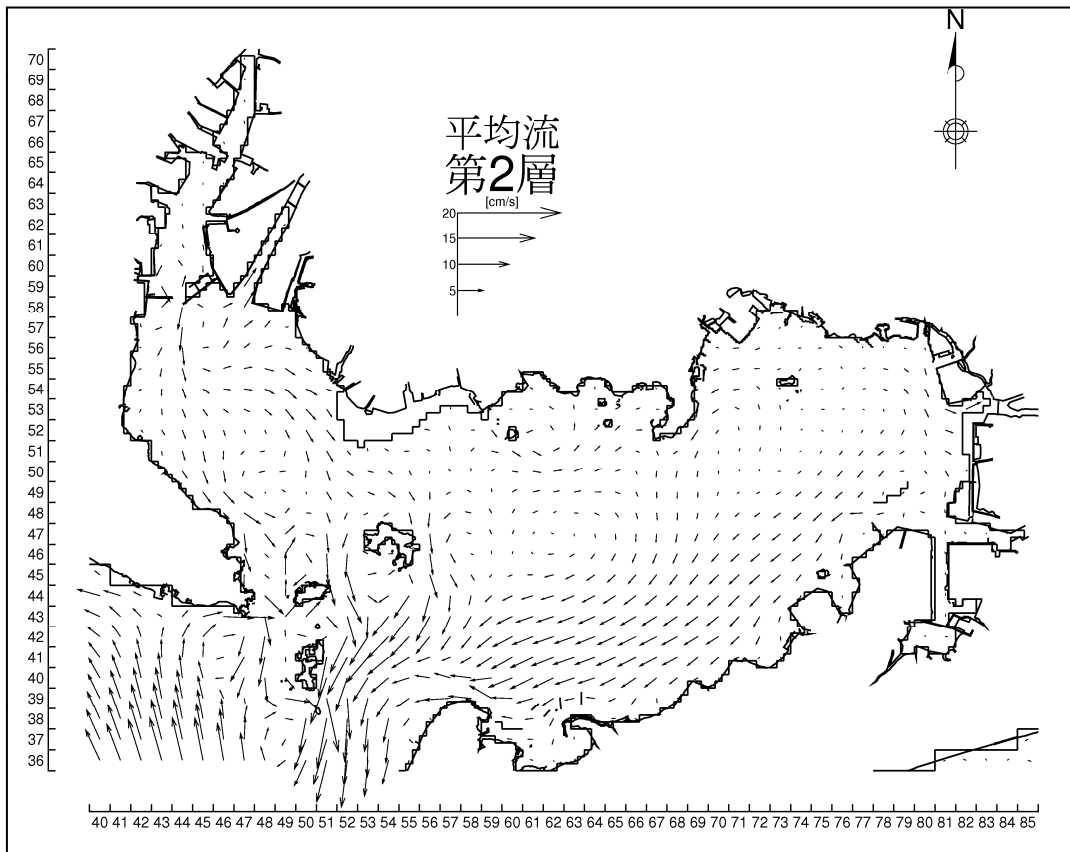
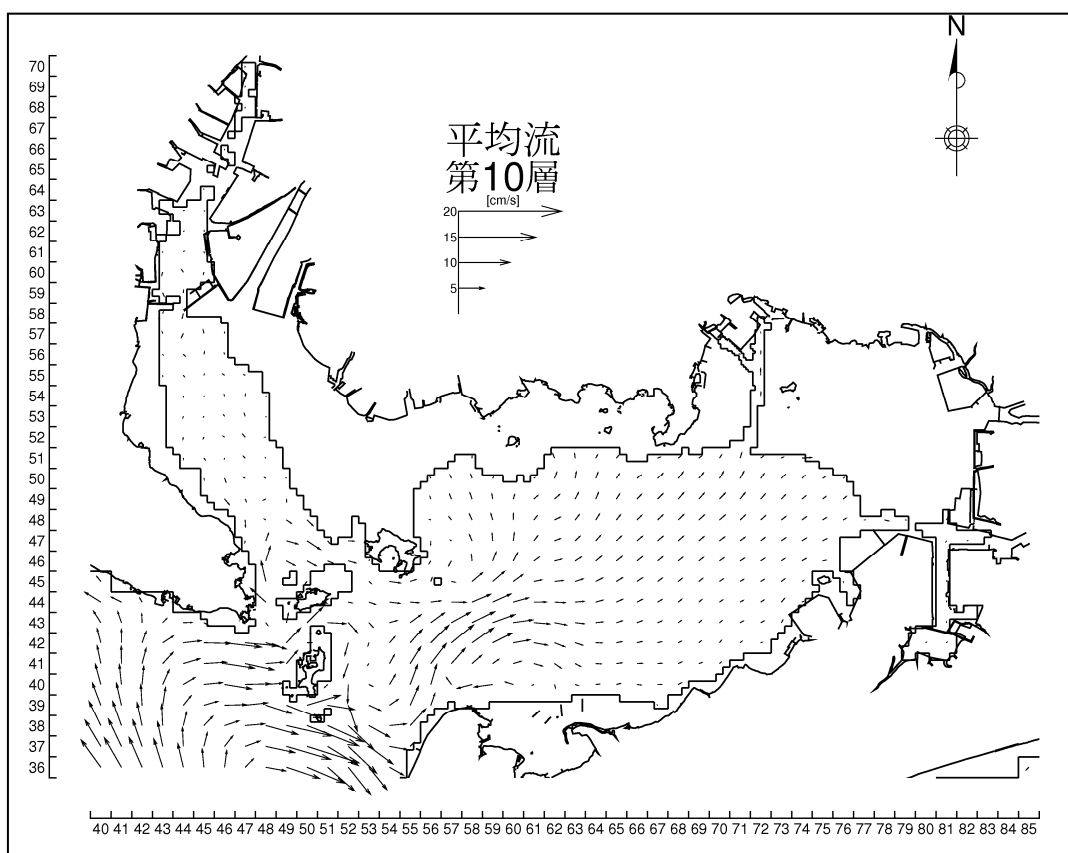
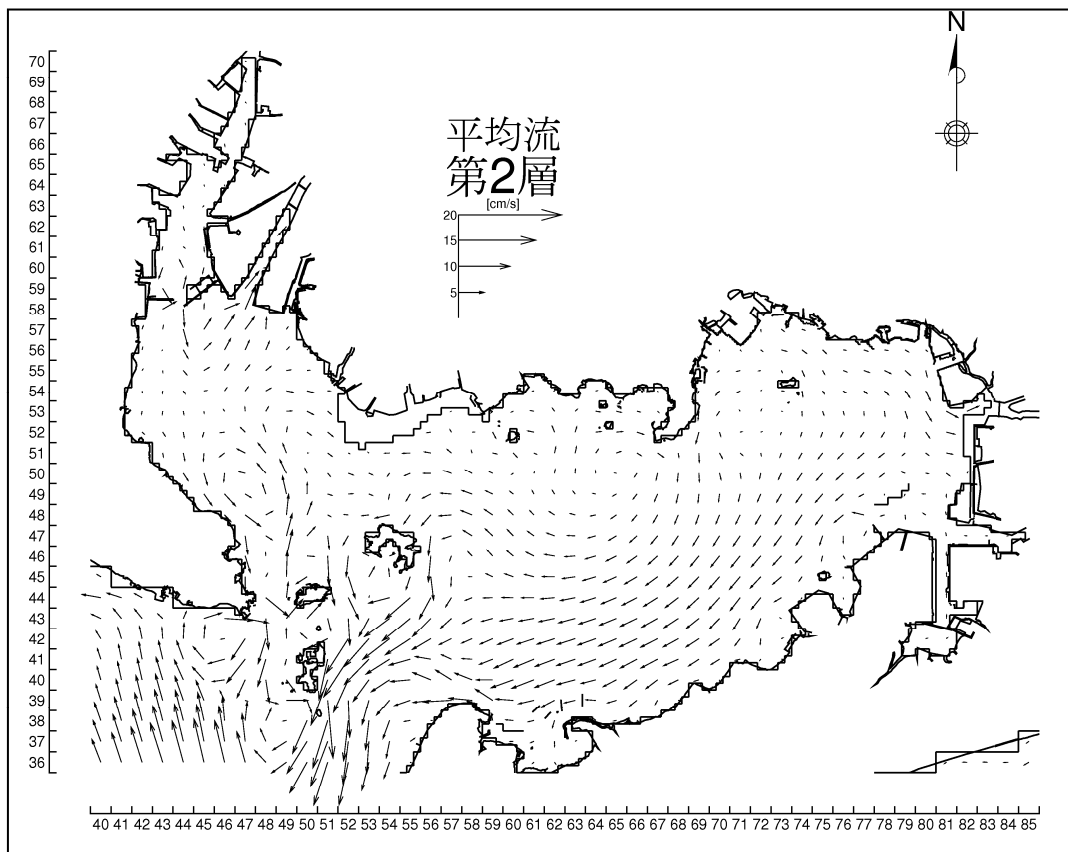


図 1.2.26 運輸省第五港湾建設局による平均流の調査結果(上:7~8月,下:12月)



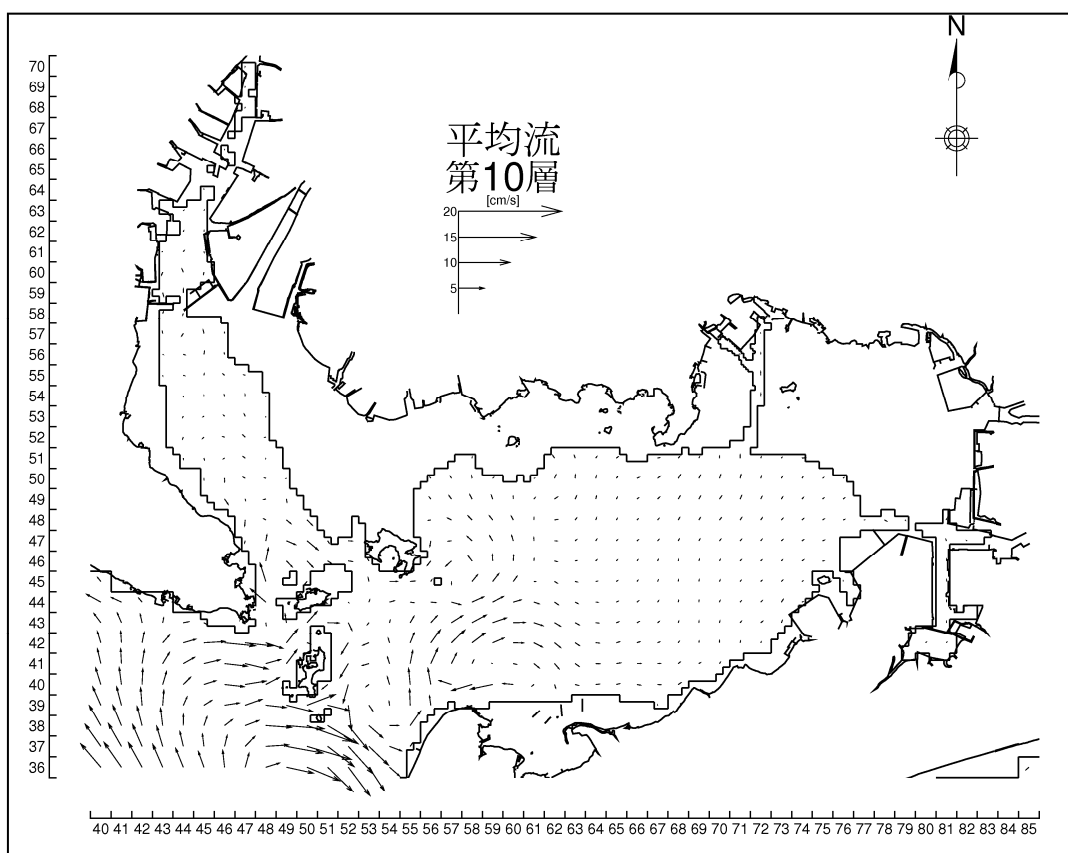
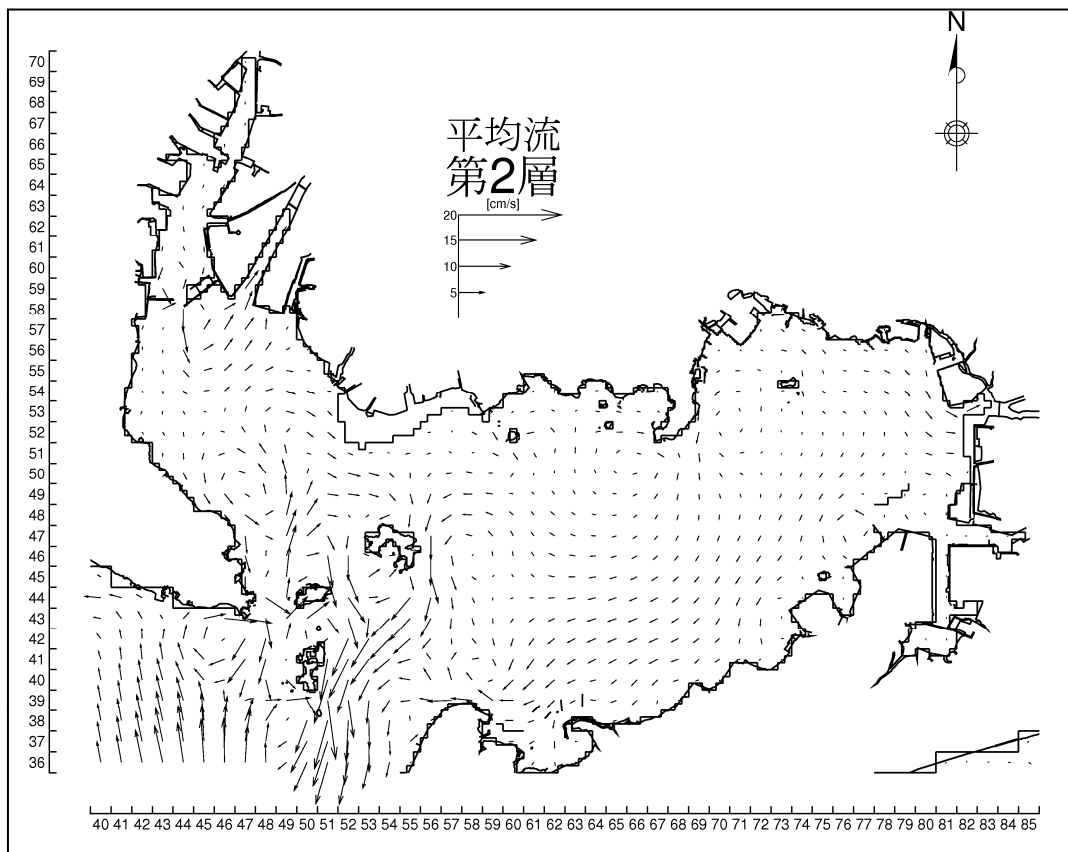
(第2層：2~3m、第10層：10~12m)

図 1.2.27 (1) 平均流の計算結果(4月)



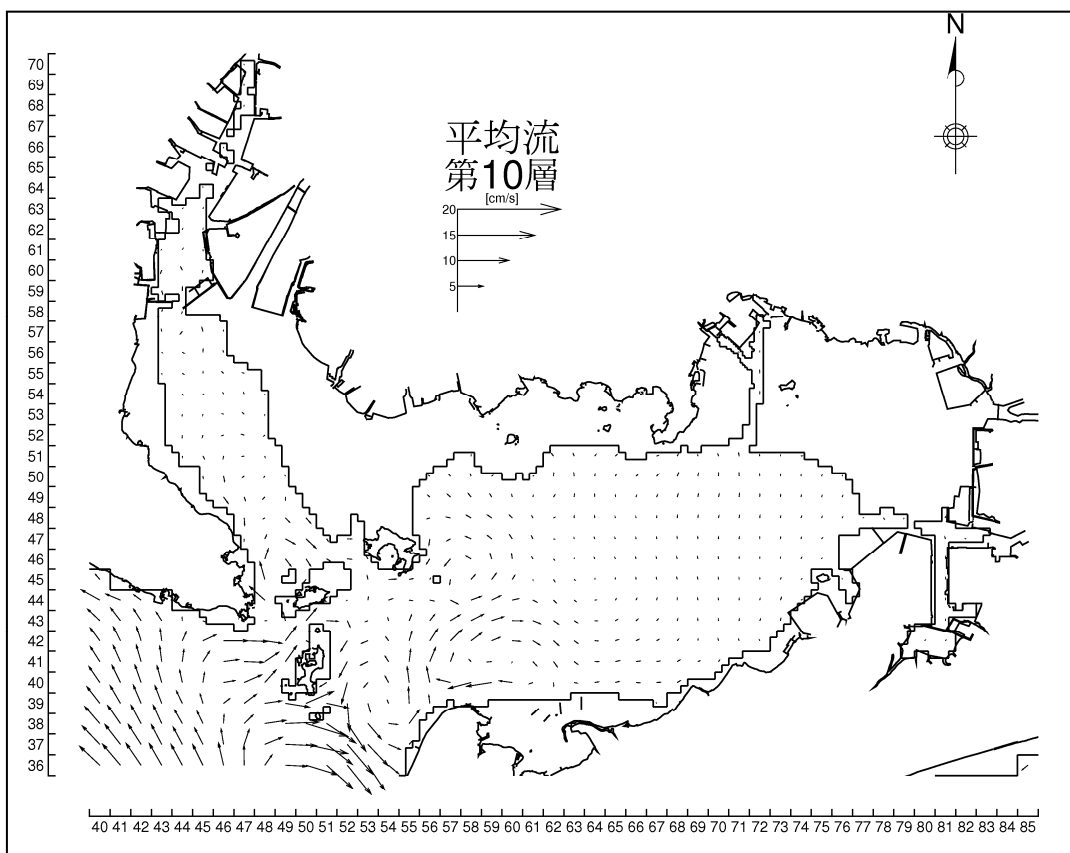
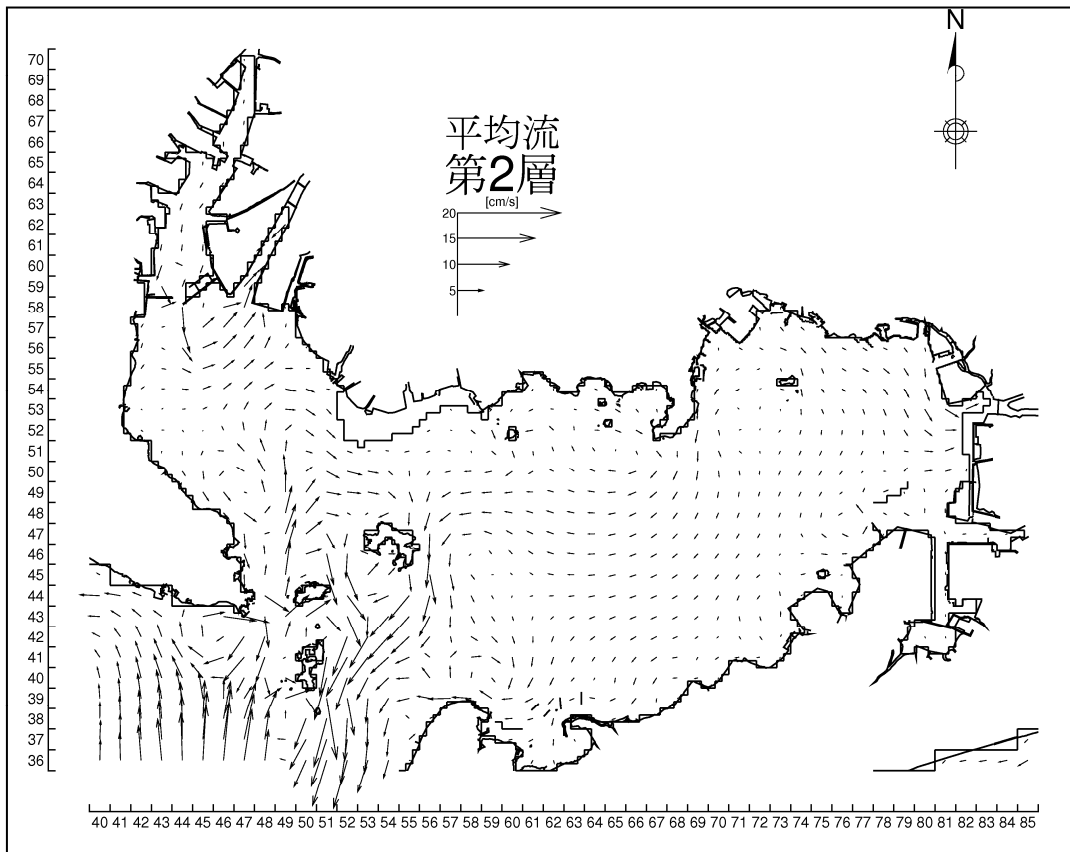
(第2層：2～3m、第10層：10～12m)

図 1.2.27 (2) 平均流の計算結果 (5月)



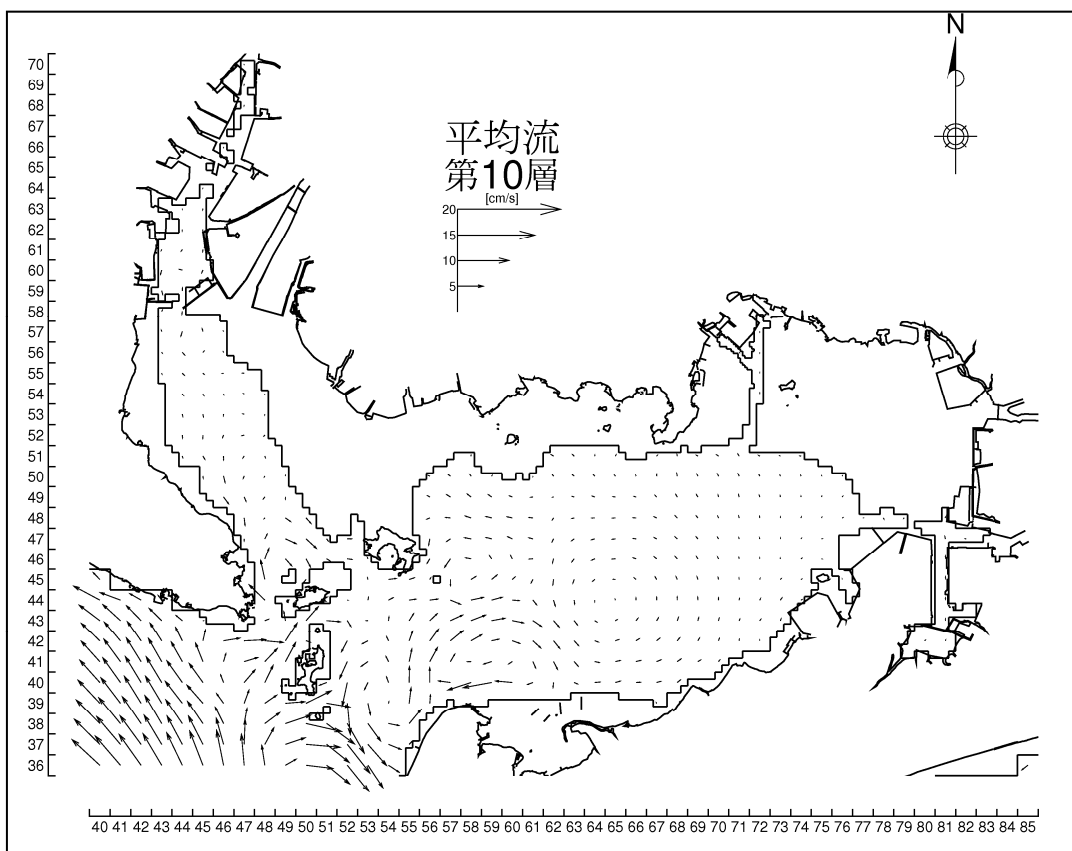
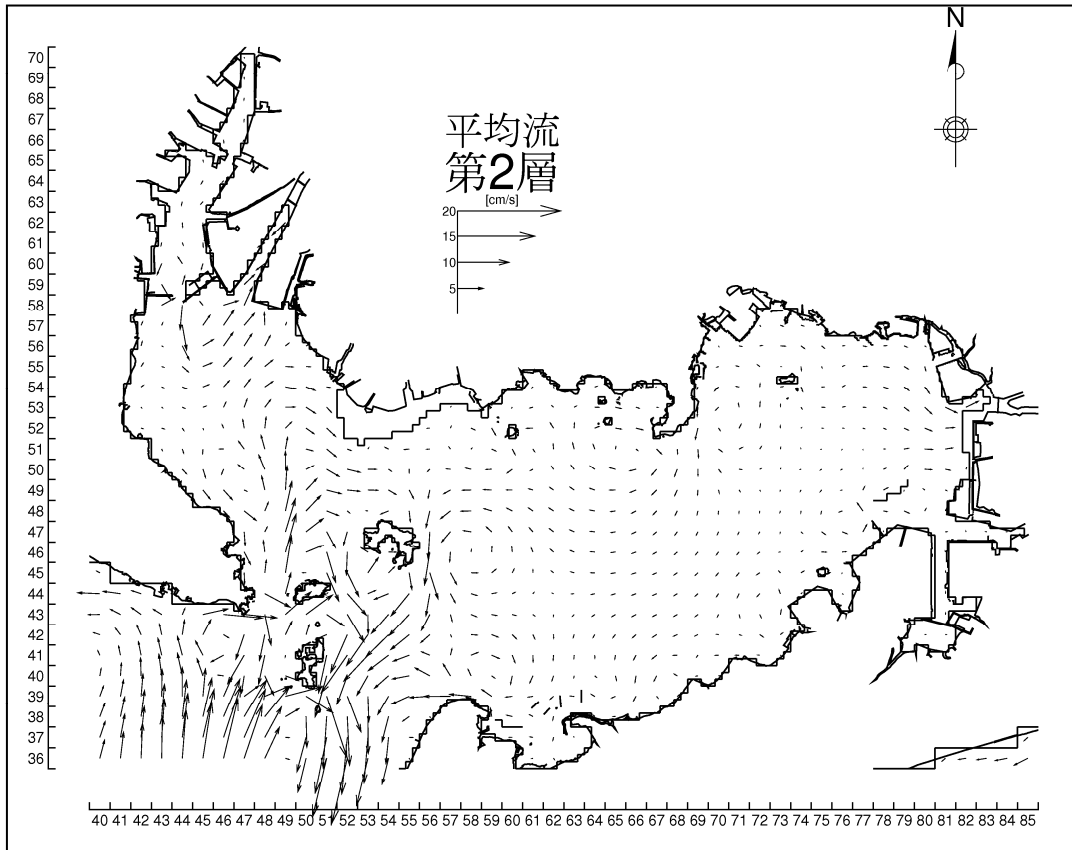
(第2層：2~3m、第10層：10~12m)

図 1.2.27 (3) 平均流の計算結果 (6月)



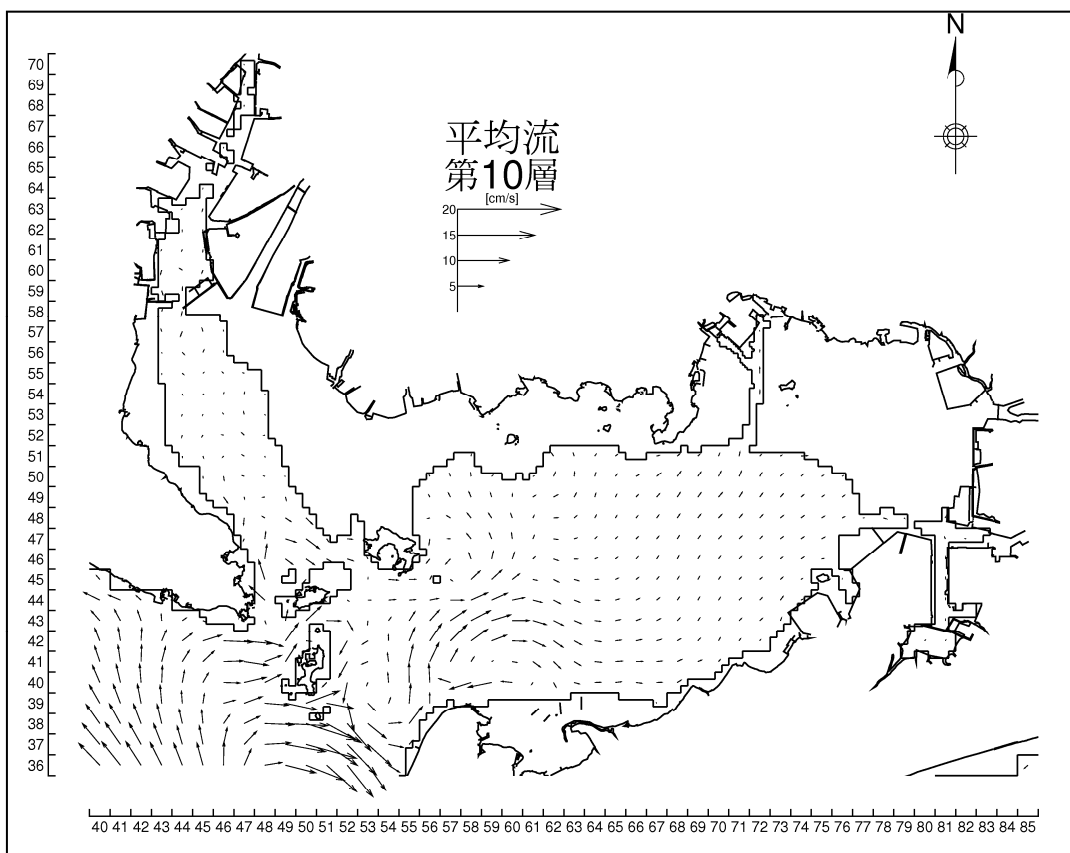
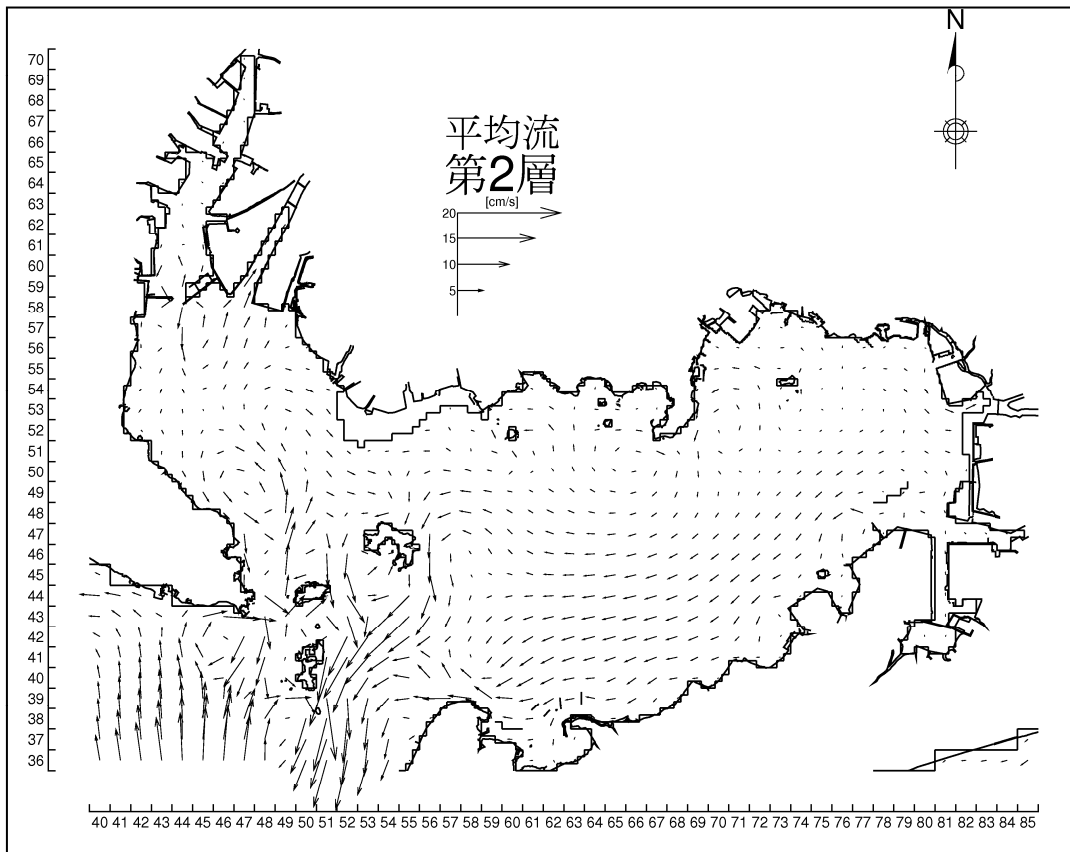
(第2層：2～3m、第10層：10～12m)

図 1.2.27 (4) 平均流の計算結果 (7月)



(第2層：2~3m、第10層：10~12m)

図 1.2.27 (5) 平均流の計算結果 (8月)



(第2層：2～3m、第10層：10～12m)

図 1.2.27 (6) 平均流の計算結果 (9月)

c) 流速の経時変化

計算期間である 2009 年 4 月～9 月について、中山水道における流向・流速の実測データを用いて、流速の経時変化の検証を行った。観測値と計算値の経時変化を図 1.2.28 に示す。なお、1 時間間隔で出力している計算結果と比較するために、10 分間隔の観測値は、1 時間間隔で間引いて表示した。

流速の経時変化をみると、全体的には計算値の流速がやや大きい傾向があり、とくに上層でその傾向が強く、大潮期にくらべて小潮期は計算値と観測値の乖離がやや大きい傾向がみられている。計算期間を通じて、全体的には小潮や大潮による流速変動や北方成分流速が卓越していることなど観測値の傾向を良く表現していると考えられる。

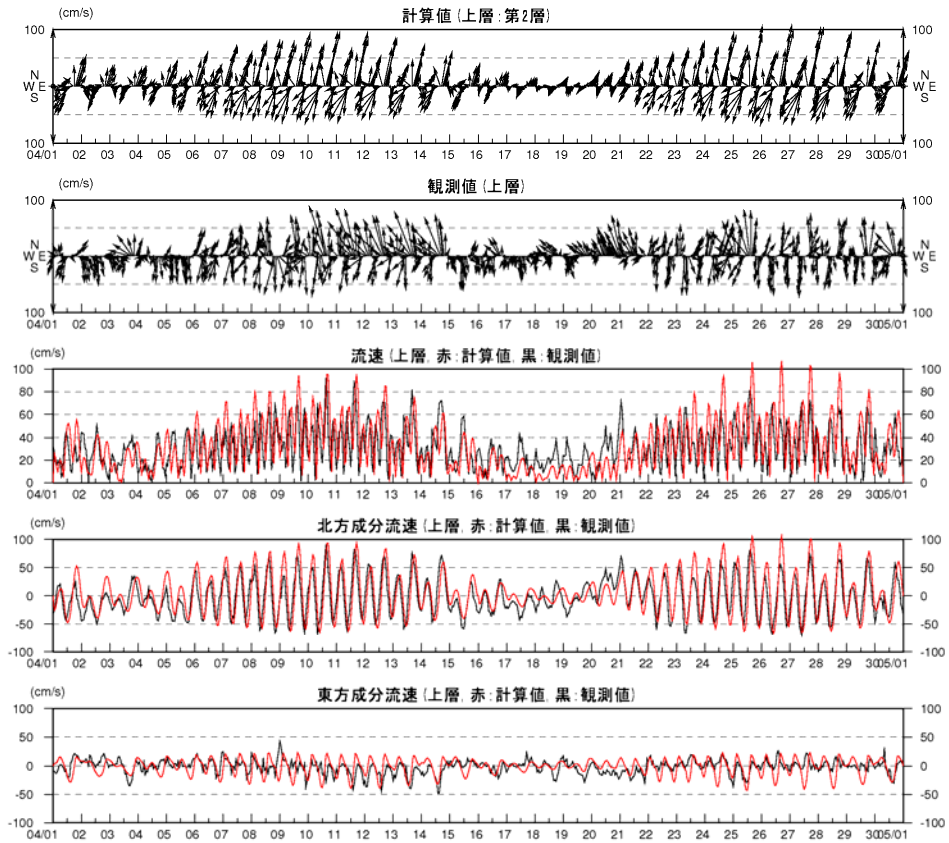


図 1.2.28(1) 流速の経時変化 (中山水道、上層、2009年4月)

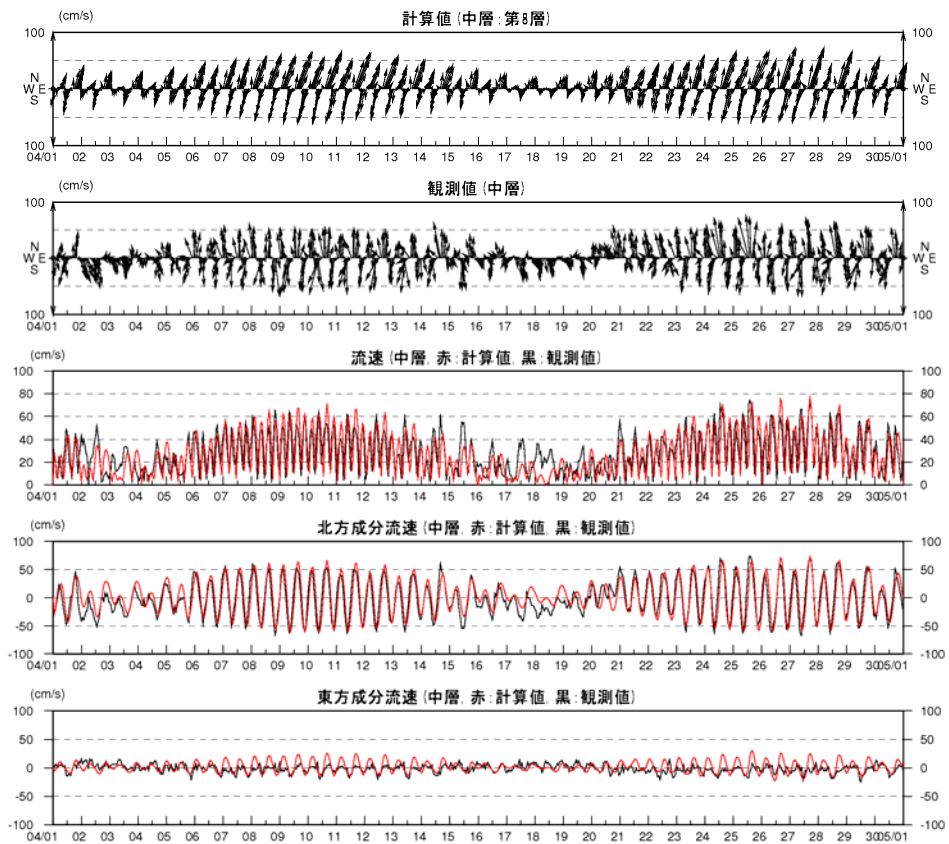


図 1.2.28(2) 流速の経時変化 (中山水道、中層、2009年4月)

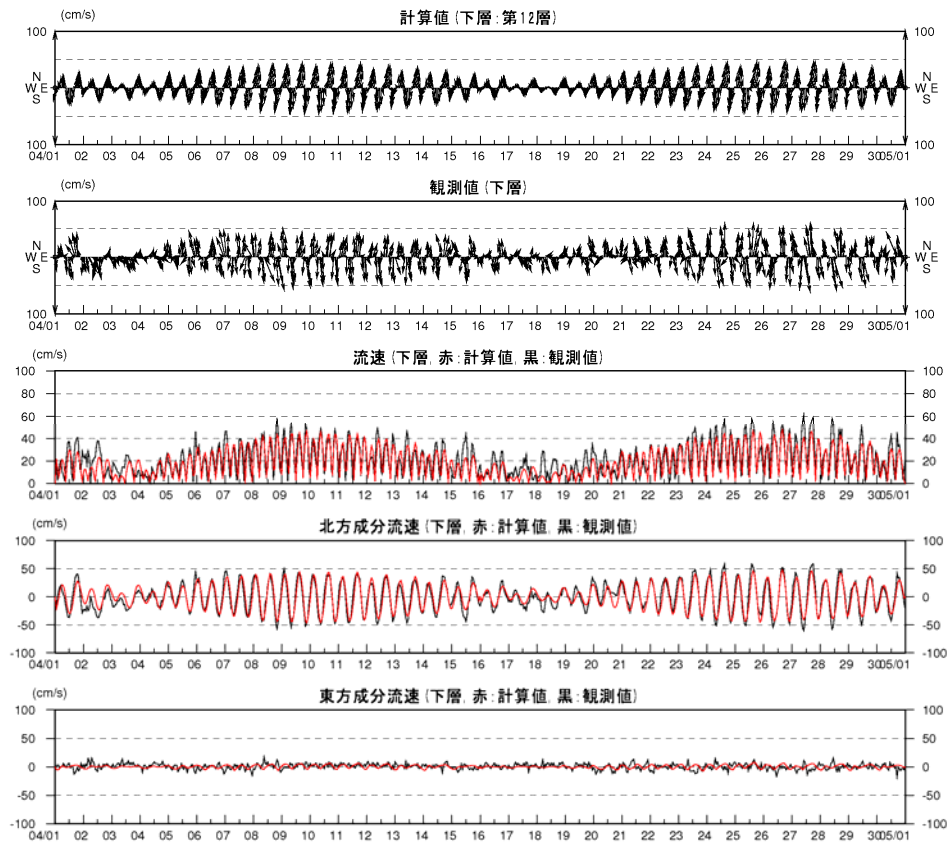


図 1.2.28(3) 流速の経時変化(中山水道、下層、2009年4月)

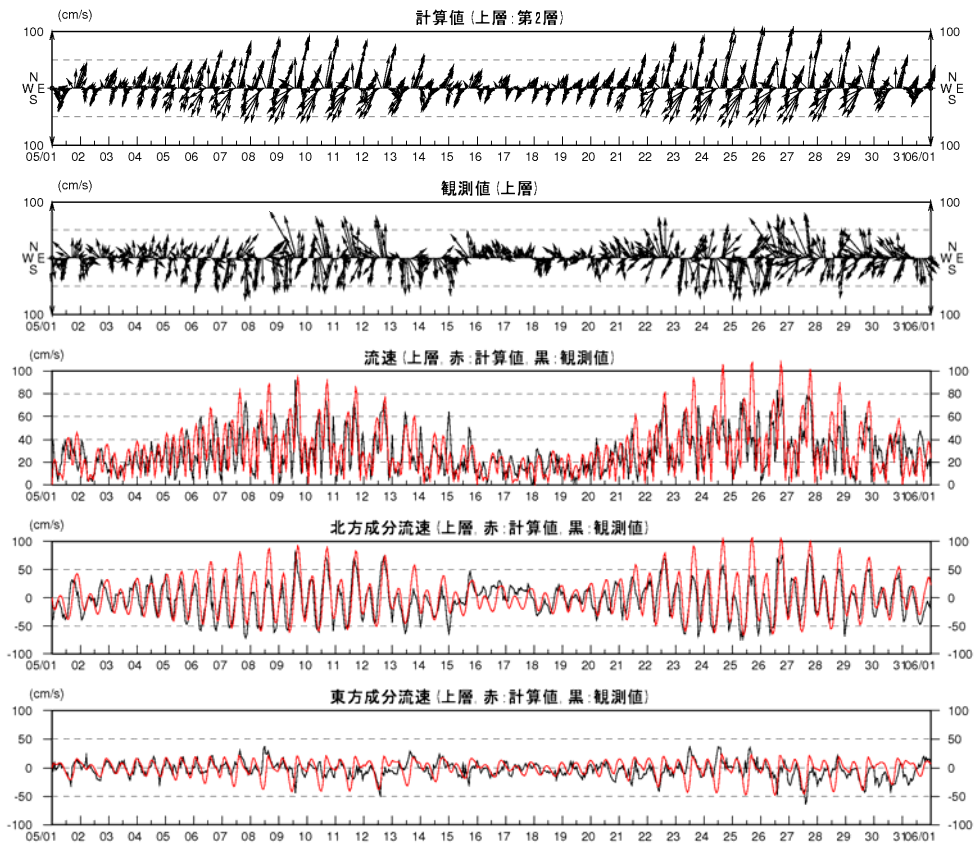


図 1.2.28(4) 流速の経時変化（中山水道、上層、2009年5月）

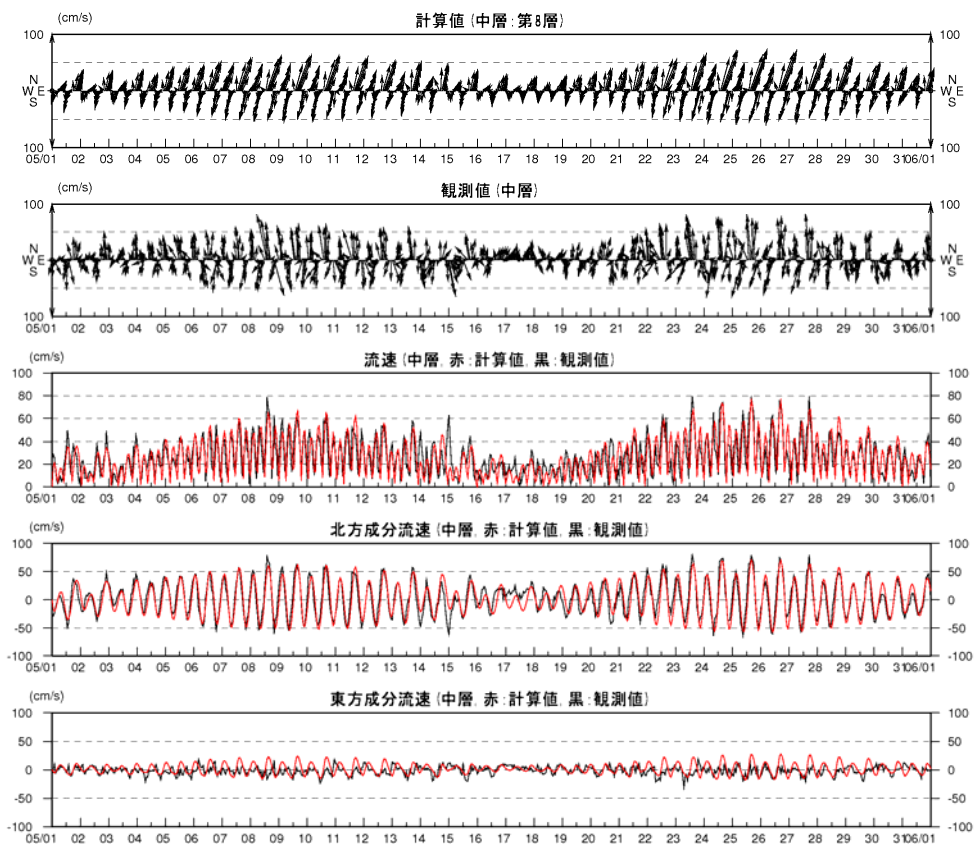


図 1.2.28(5) 流速の経時変化（中山水道、中層、2009年5月）

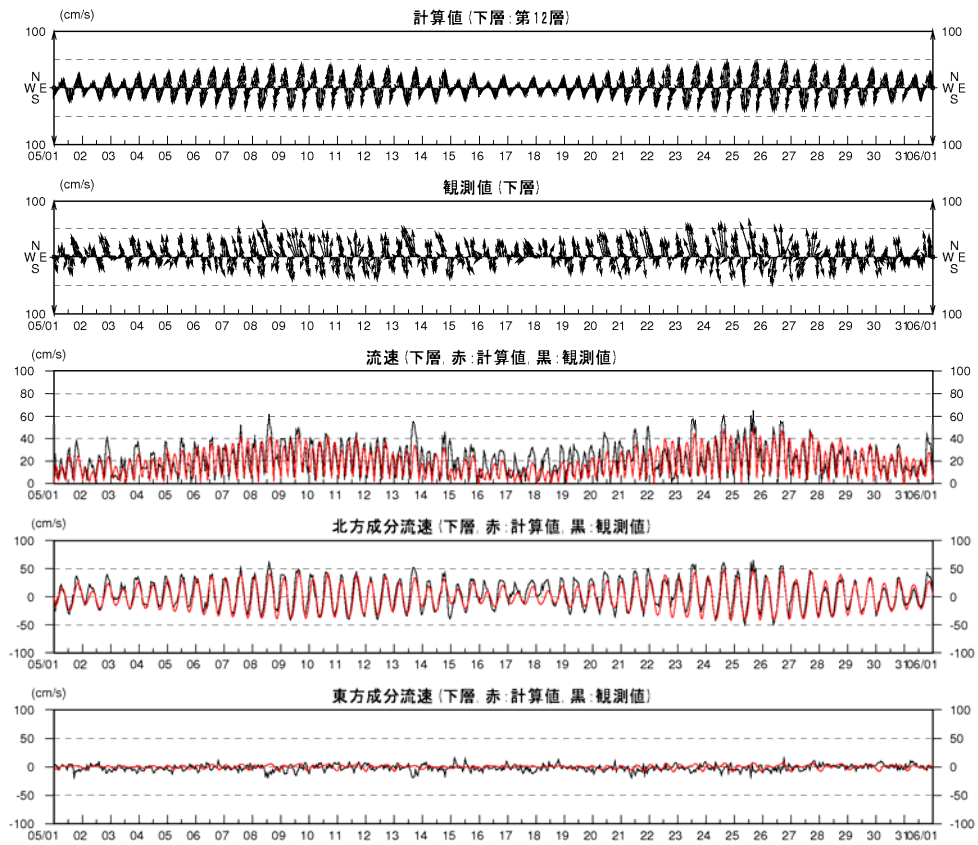


図 1.2.28(6) 流速の経時変化(中山水道、下層、2009年5月)

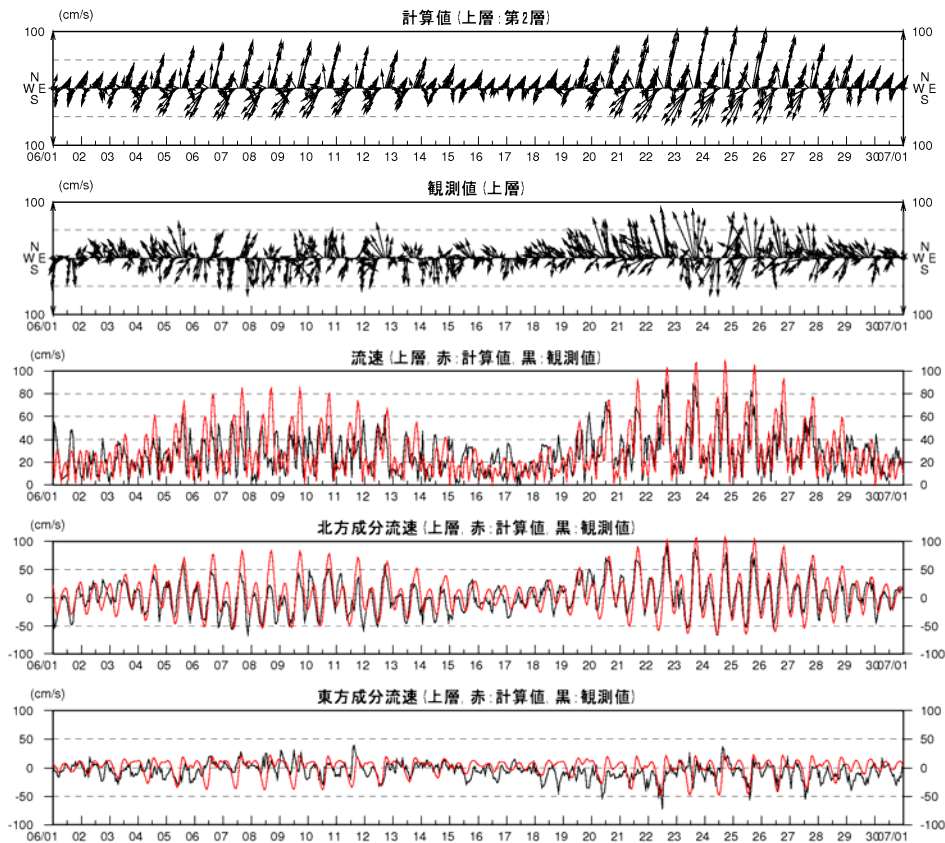


図 1.2.28(7) 流速の経時変化 (中山水道、上層、2009年6月)

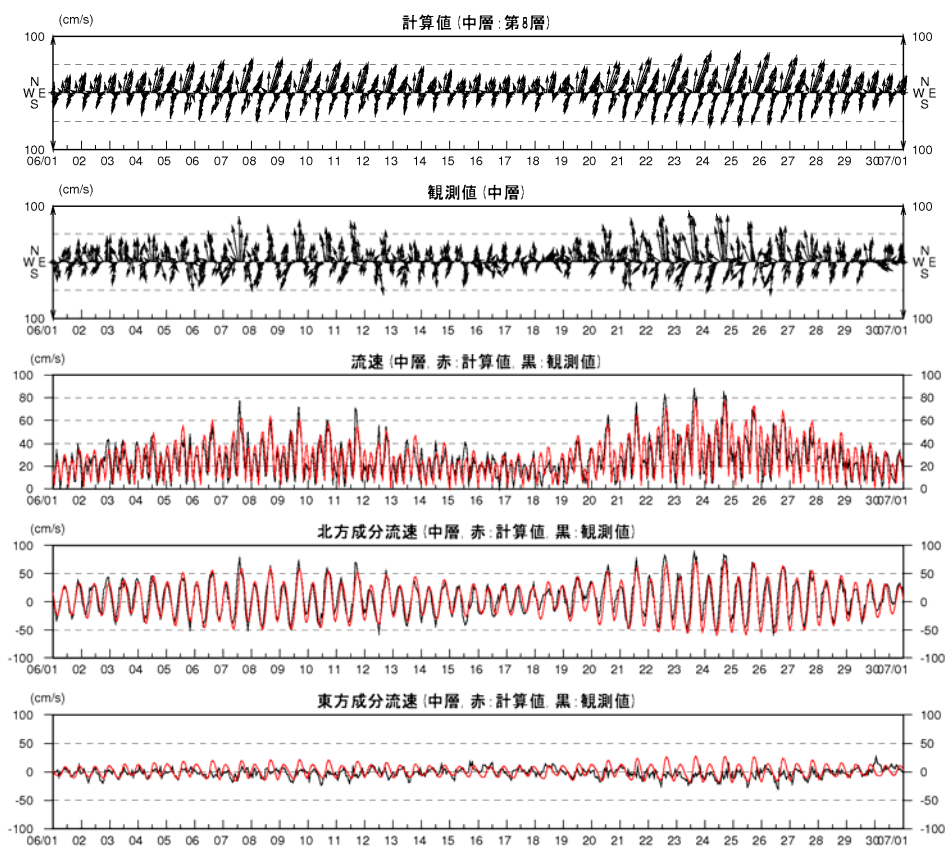


図 1.2.28(8) 流速の経時変化 (中山水道、中層、2009年6月)

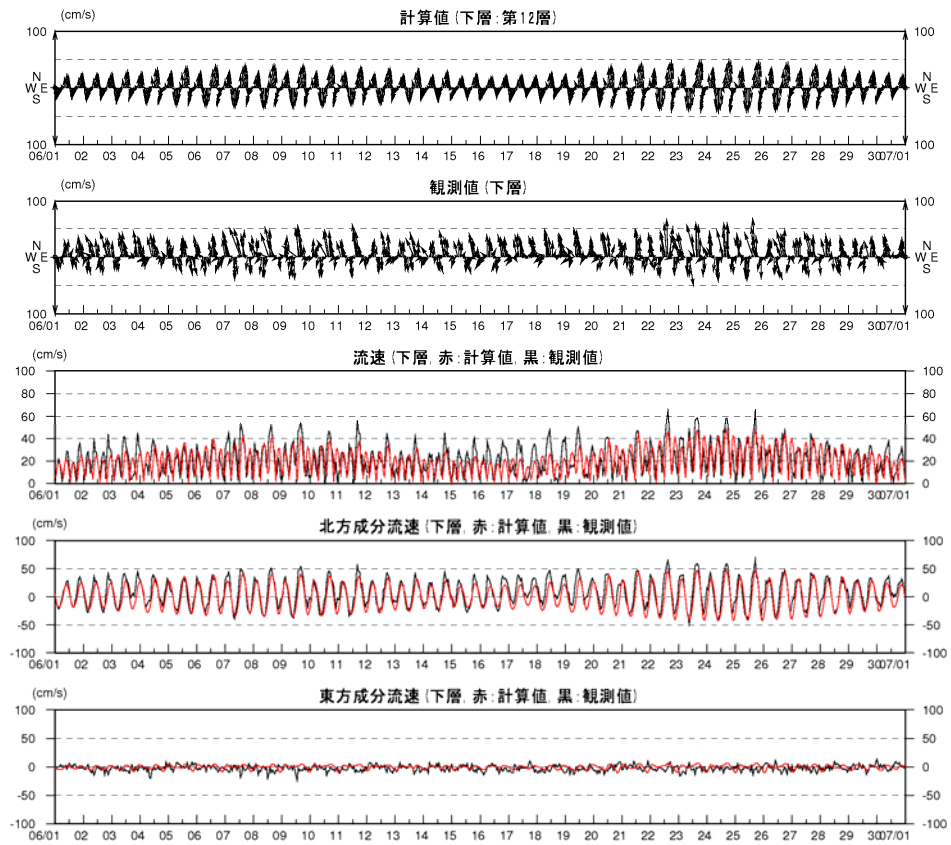


図 1.2.28(9) 流速の経時変化(中山水道、下層、2009年6月)

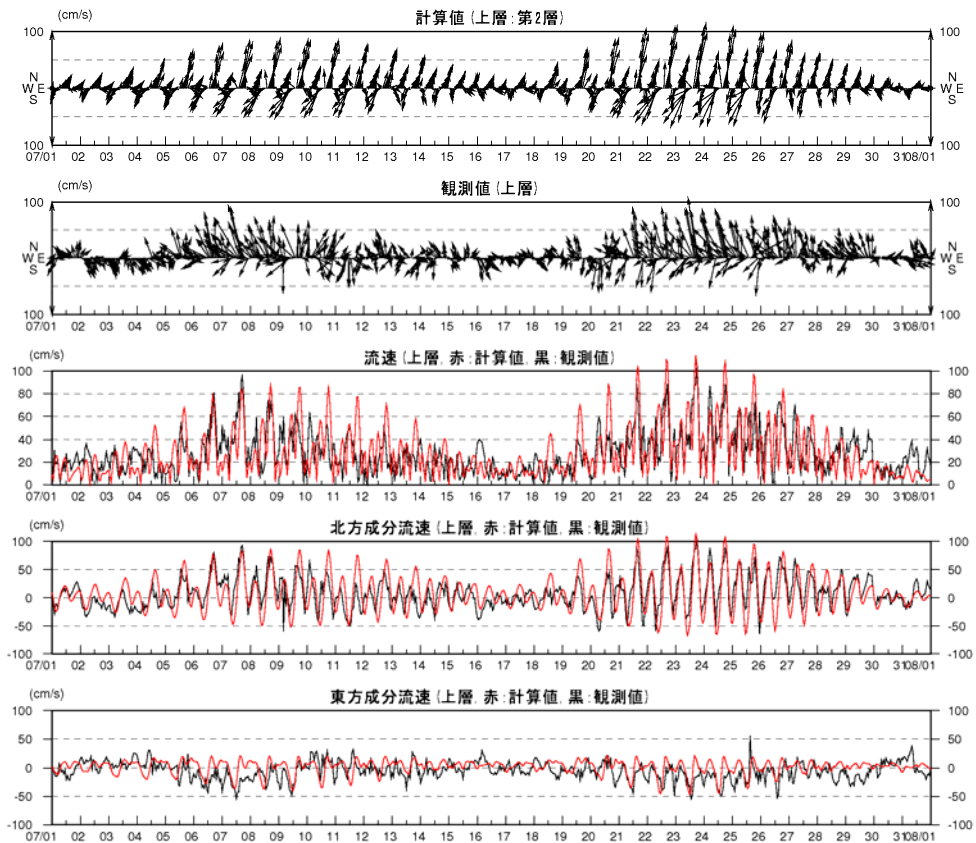


図 1.2.28(10) 流速の経時変化 (中山水道、上層、2009年7月)

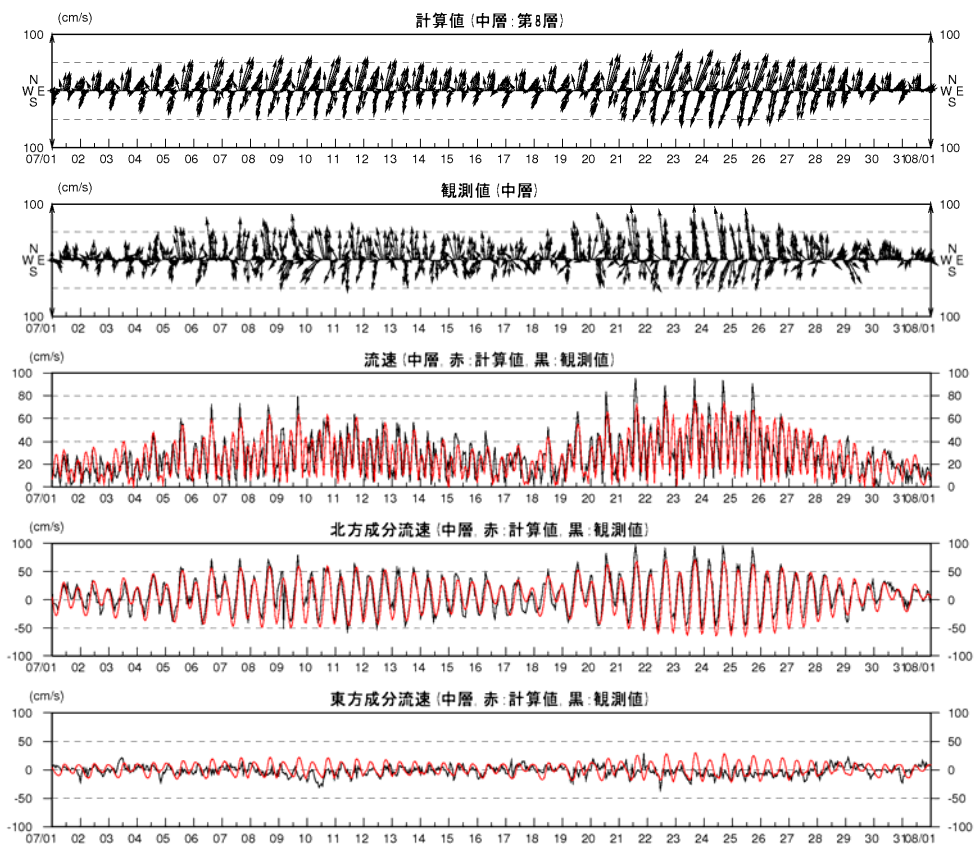


図 1.2.28(11) 流速の経時変化 (中山水道、中層、2009年7月)

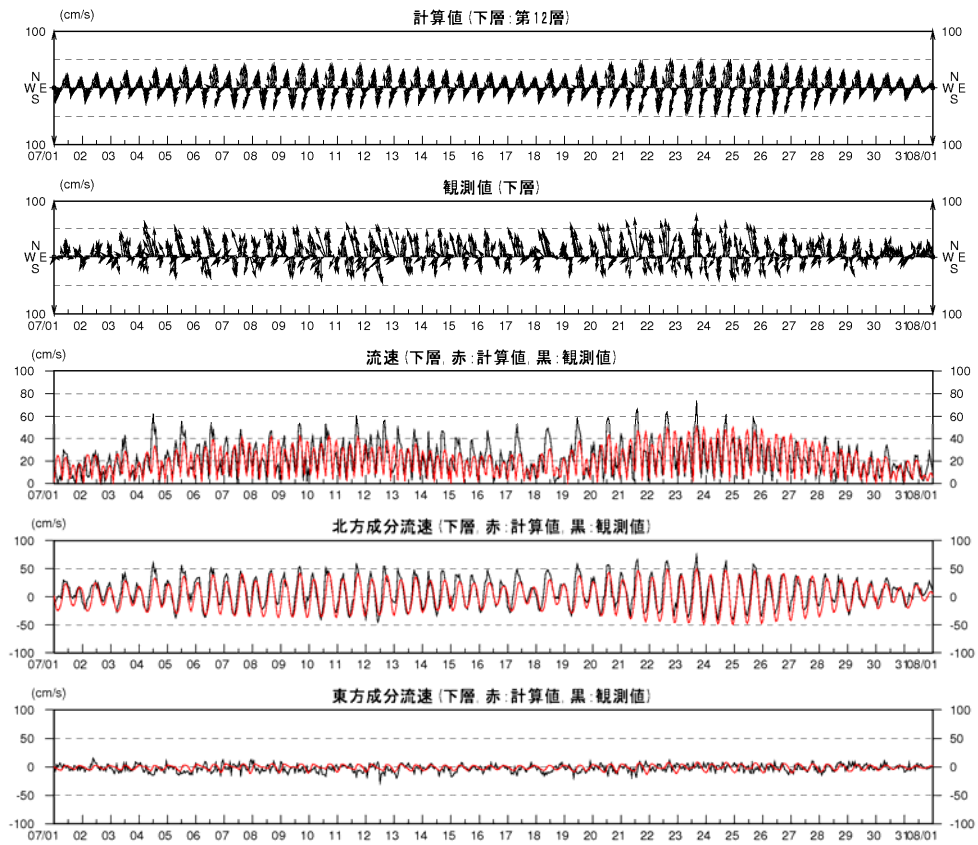


図 1.2.28(12) 流速の経時変化(中山水道、下層、2009年7月)

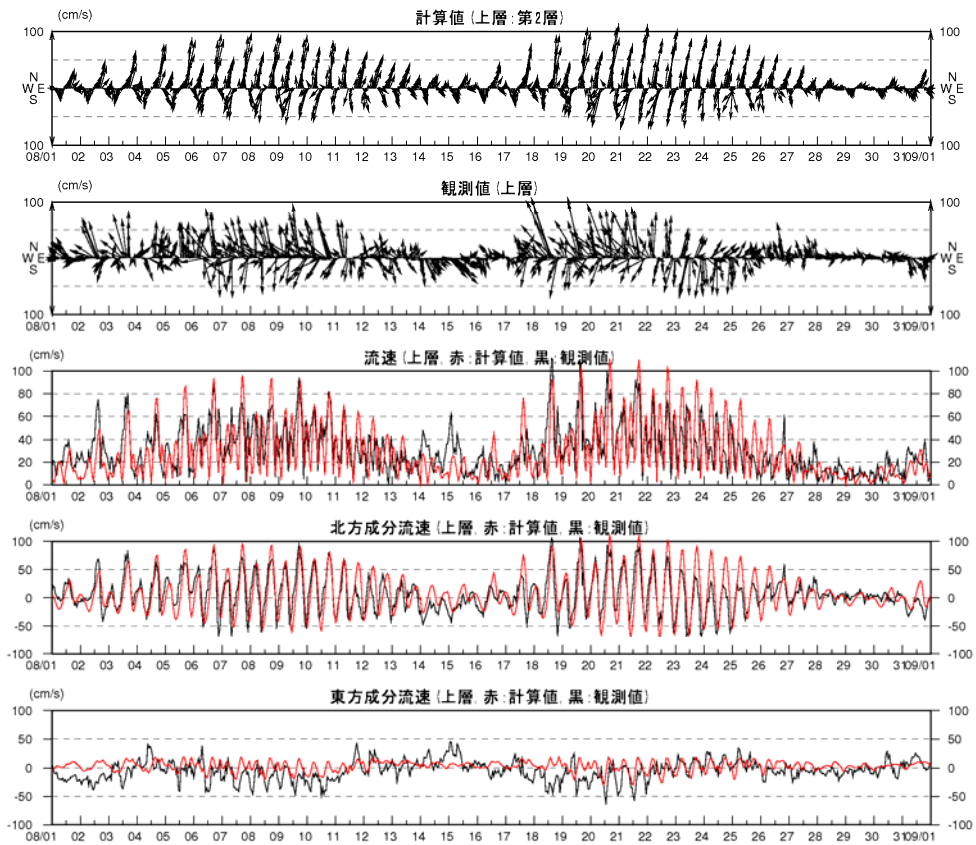


図 1.2.28(13) 流速の経時変化 (中山水道、上層、2009年8月)

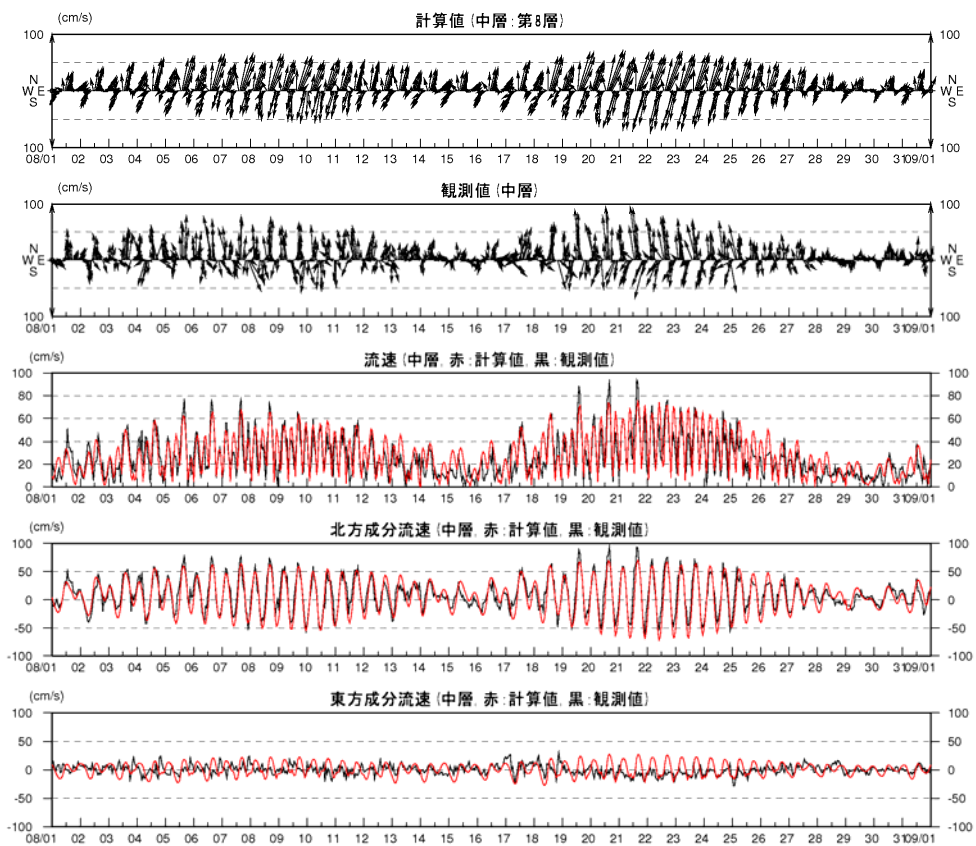


図 1.2.28(14) 流速の経時変化 (中山水道、中層、2009年8月)

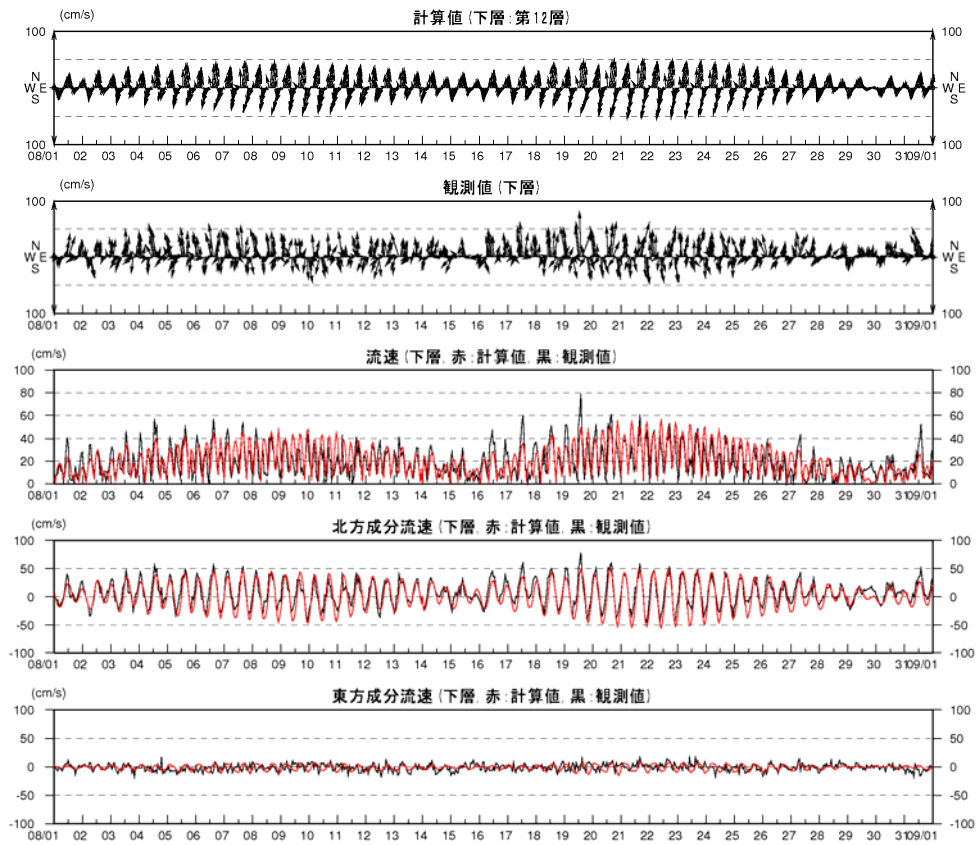


図 1.2.28(15) 流速の経時変化(中山水道、下層、2009年8月)

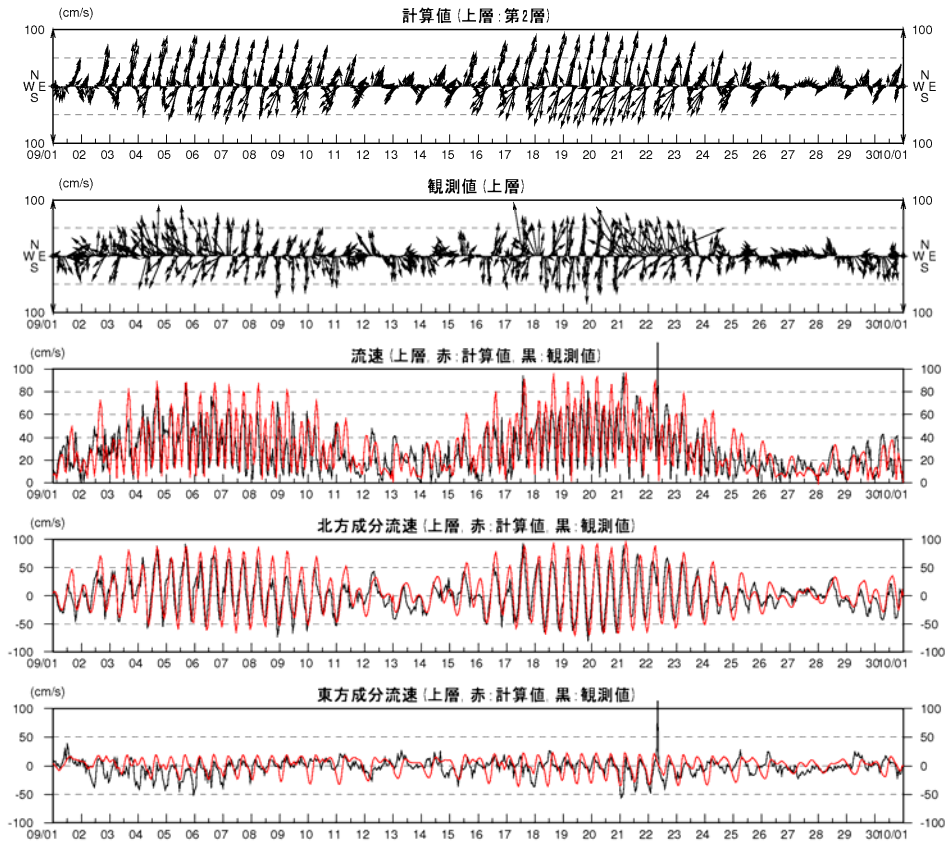


図 1.2.28(16) 流速の経時変化（中山水道、上層、2009年9月）

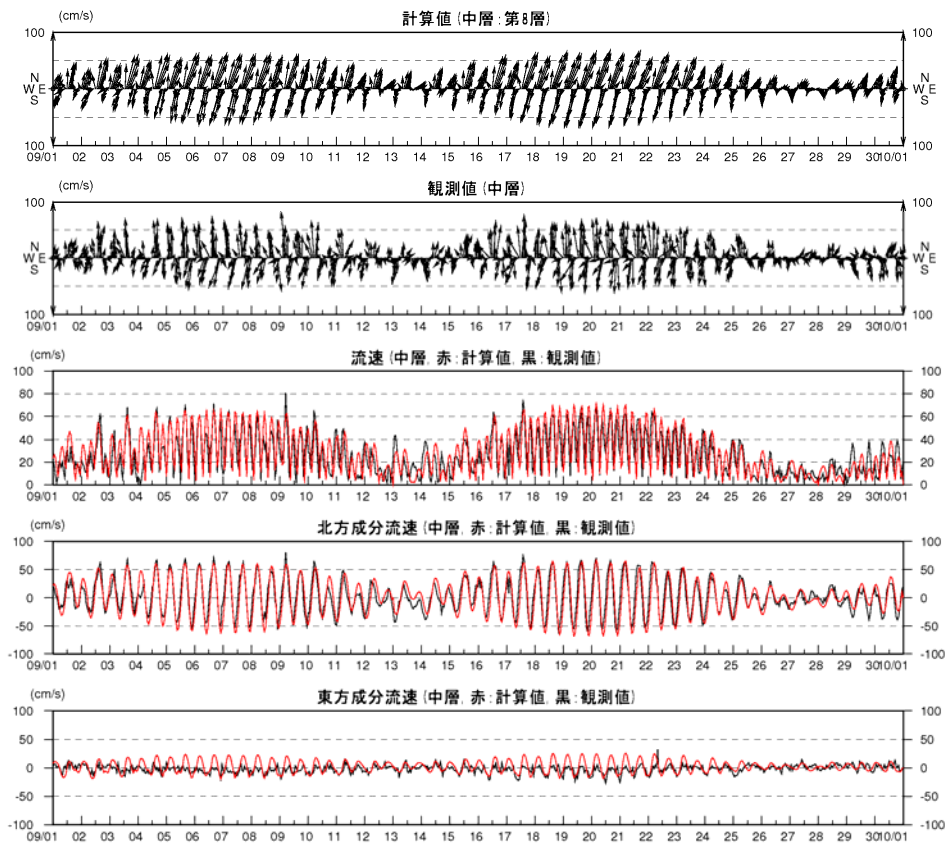


図 1.2.28(17) 流速の経時変化（中山水道、中層、2009年9月）

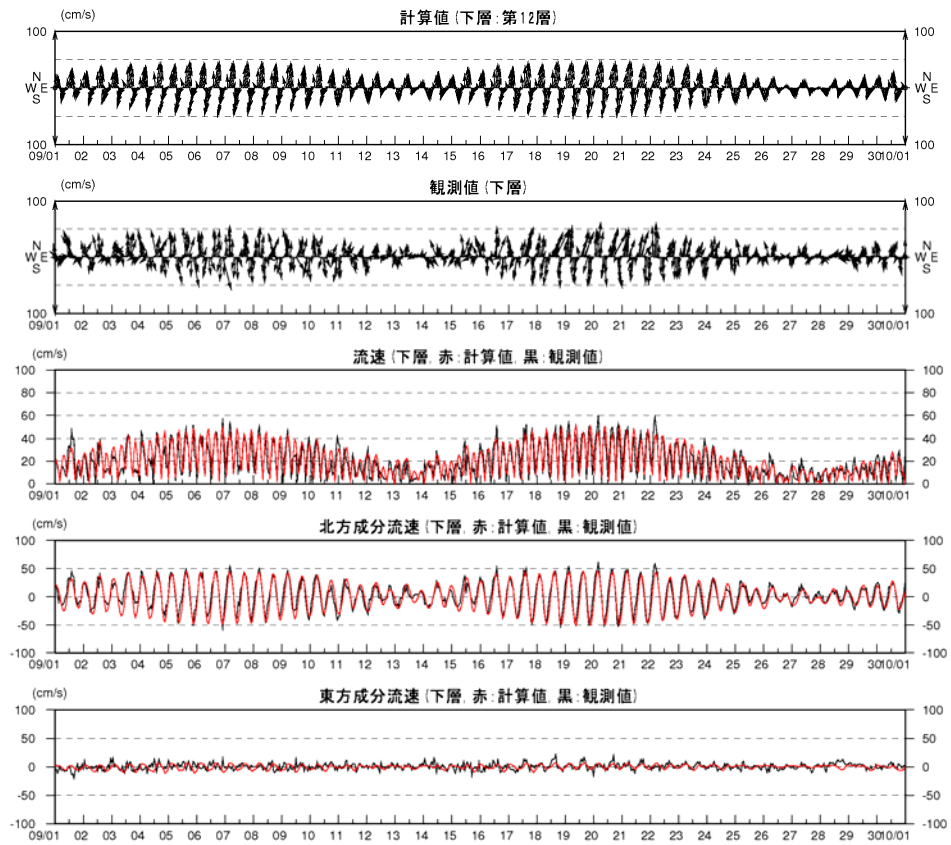


図 1.2.28(18) 流速の経時変化(中山水道、下層、2009年9月)

(c)水温・塩分・密度

a) 検証データ

計算結果の検証に用いる水温・塩分等の実測値は、愛知県水産試験場によるブイの定点連続観測結果および国土交通省中部地方整備局三河港湾事務所による中山水道の連続観測結果（図 1.2.29 参照）とした。

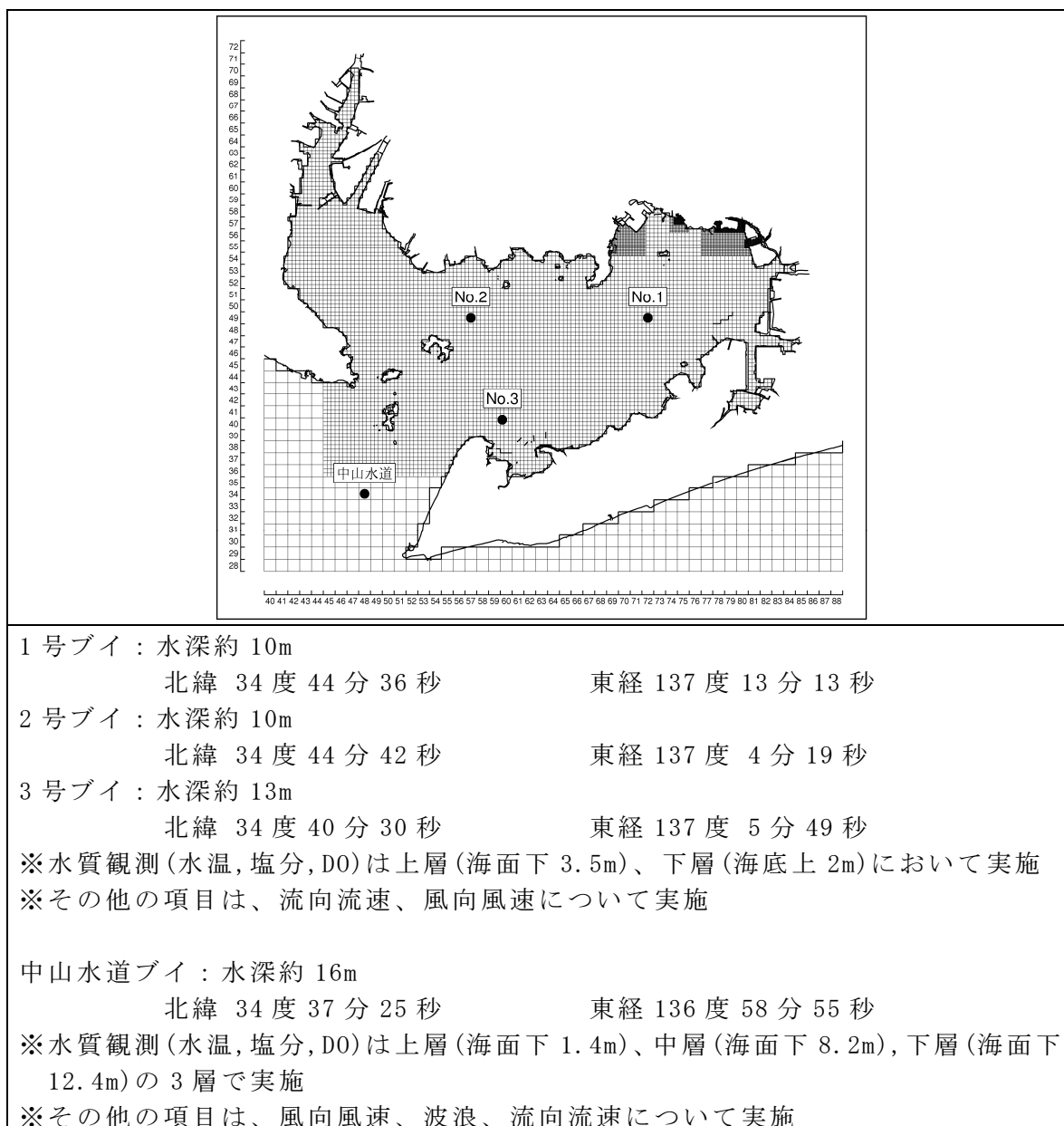


図 1.2.29 三河湾周辺の定点観測地点

b) 検証結果

計算結果と観測値の比較は、月平均値、日平均値、時間値について行った。

月平均水温・塩分・密度の比較図を図 1.2.30 および図 1.2.31 に示す。また、日平均水温・塩分・密度の比較図を図 1.2.32 に示す。

水温、塩分、密度の再現性は、観測値の変動傾向を概ね再現しているものの、豊川、矢作川を除く一級河川については、矢作川の比流量から求めていることもあり、湾口に近い No.3 のブイおよび中山水道の塩分の再現性に課題があると考えられる。

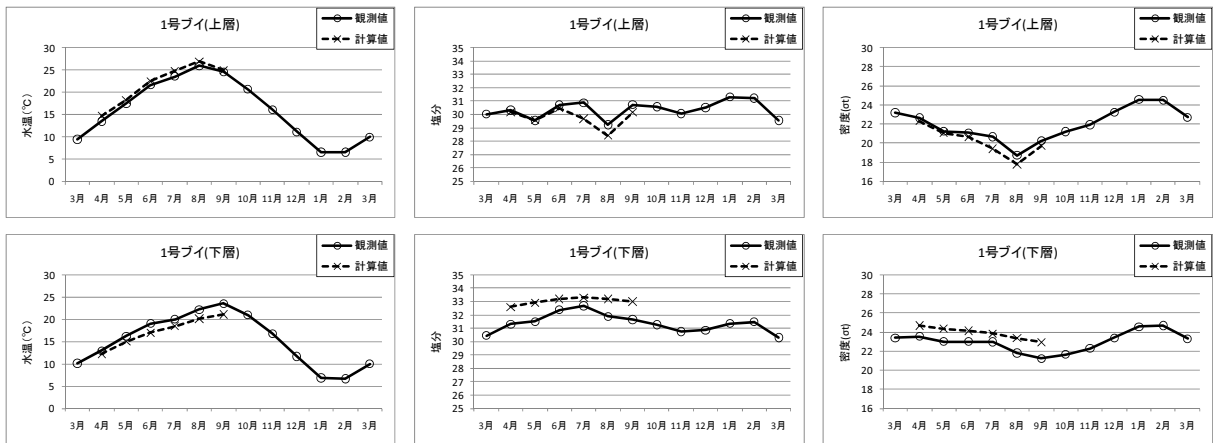


図 1.2.30(1) 月平均水温・塩分・密度(1号ブイ, 上段:上層, 下段:下層)

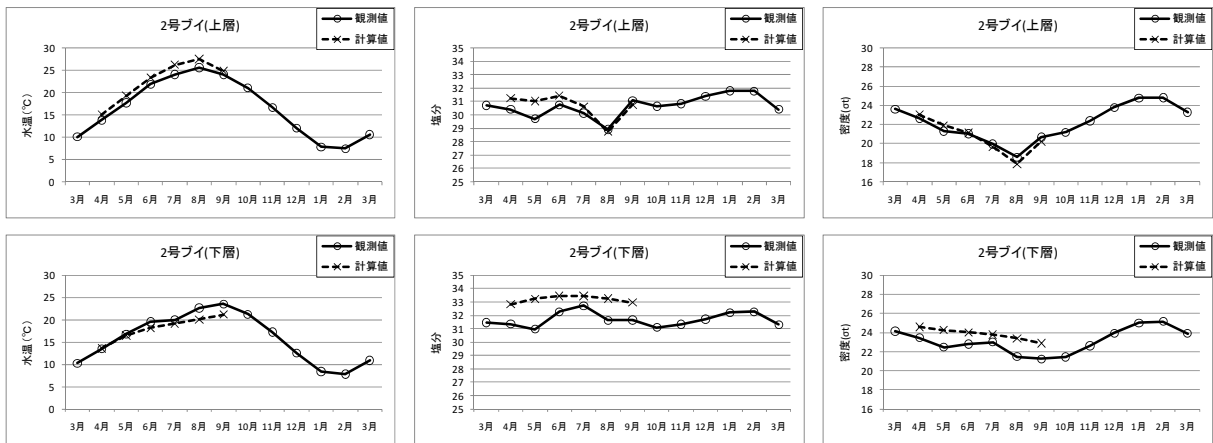


図 1.2.30(2) 月平均水温・塩分・密度(2号ブイ, 上段:上層, 下段:下層)

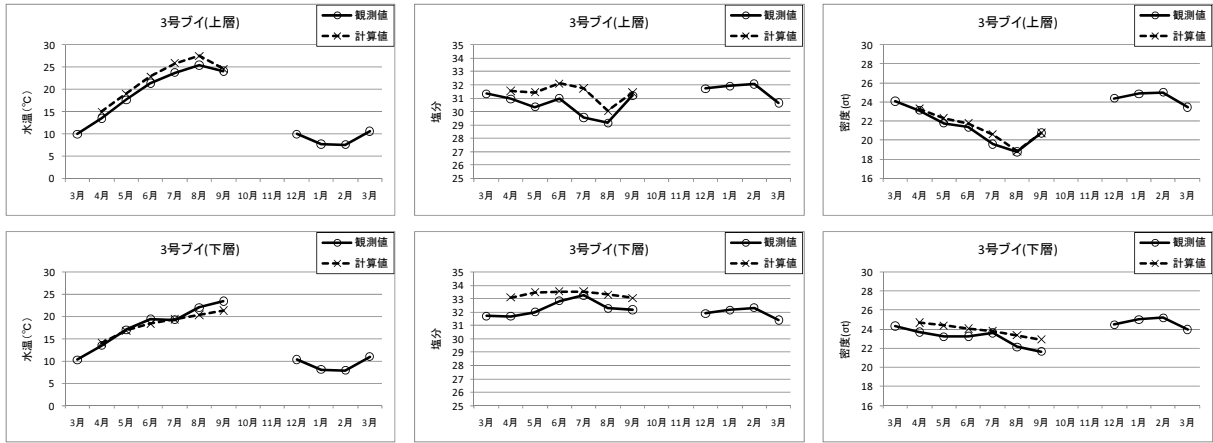


図 1.2.30(3) 月平均水温の経時変化(3号ブイ,上段:上層,下段:下層)

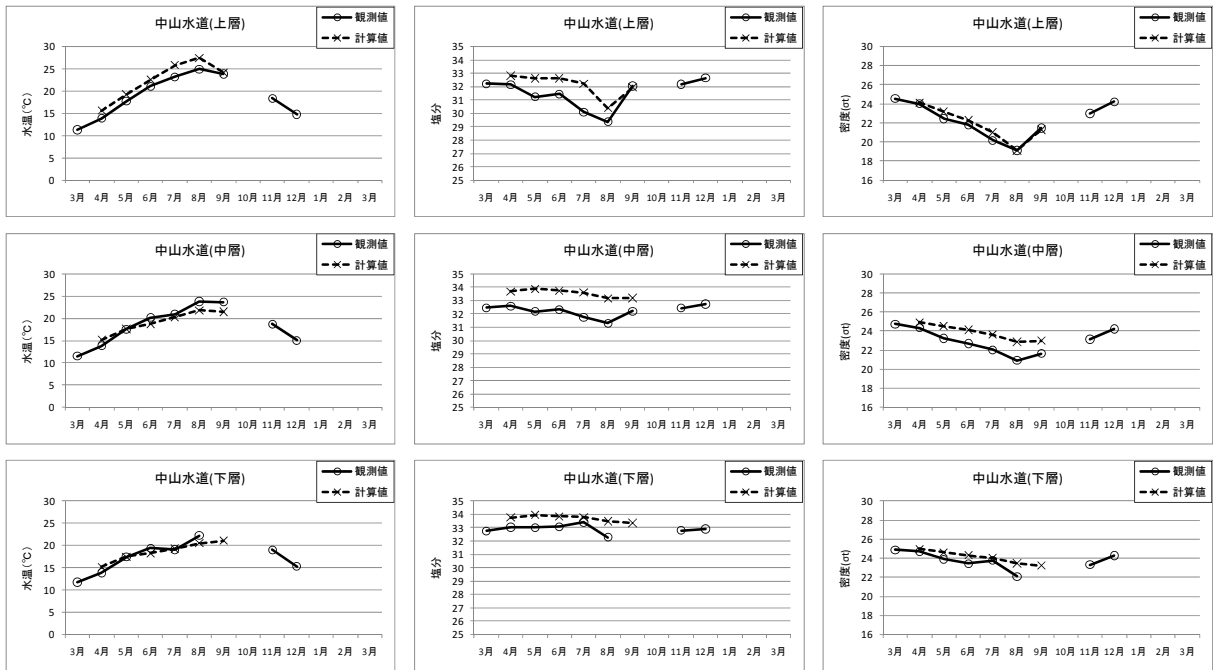
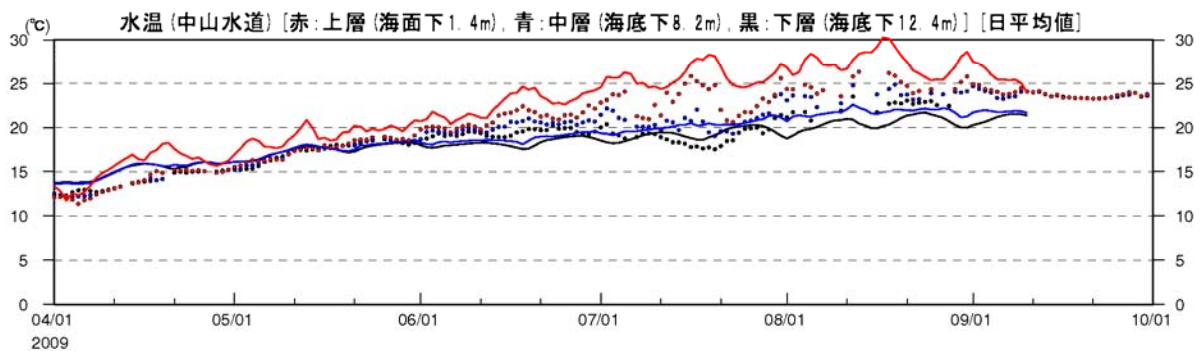
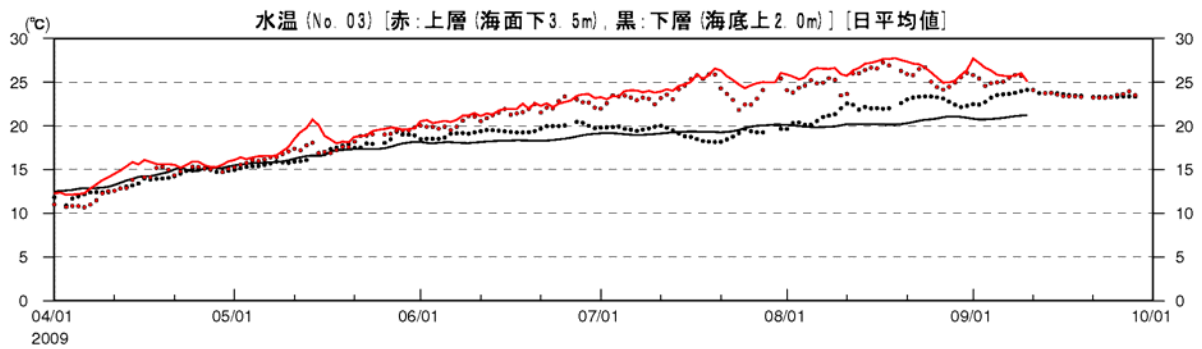
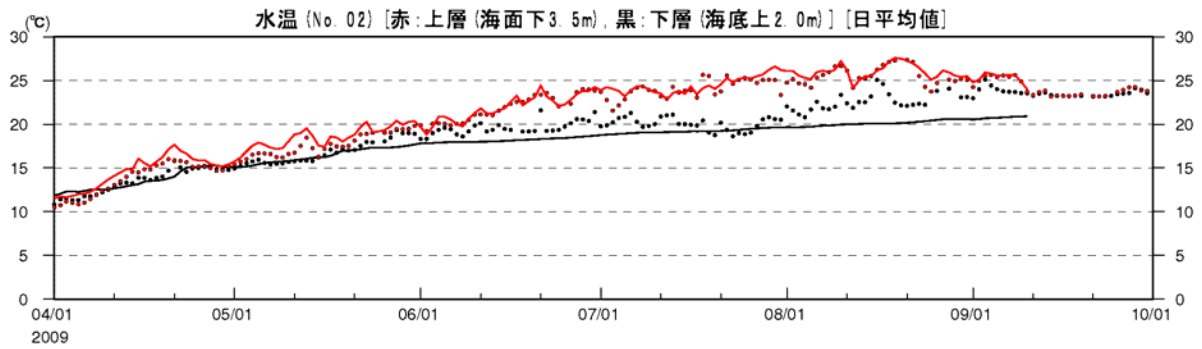
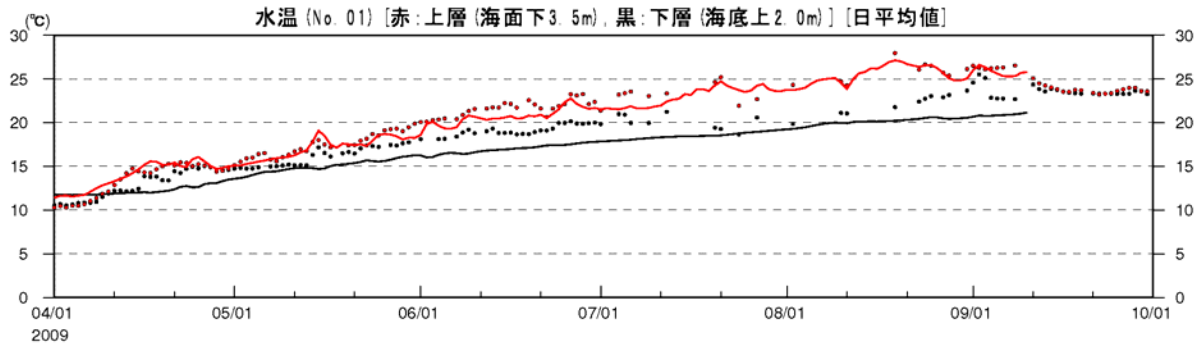
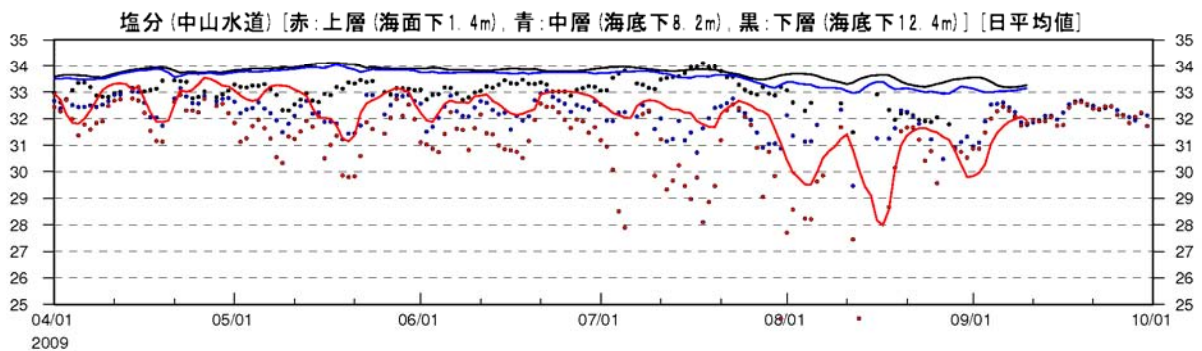
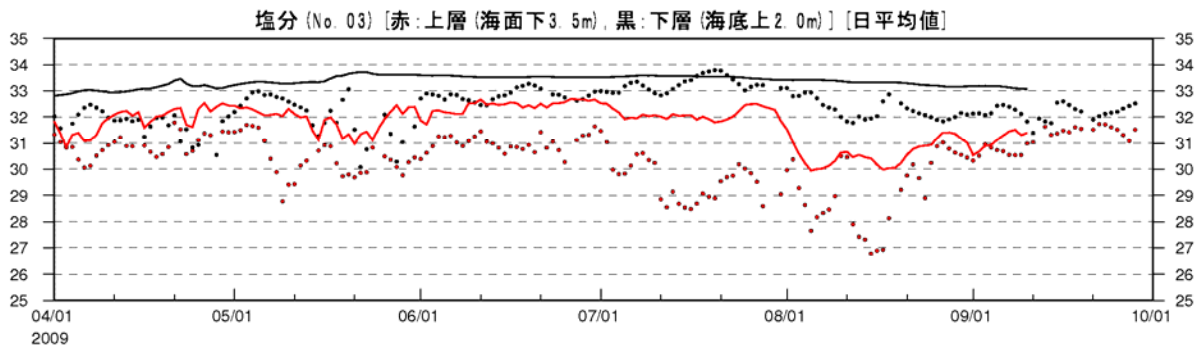
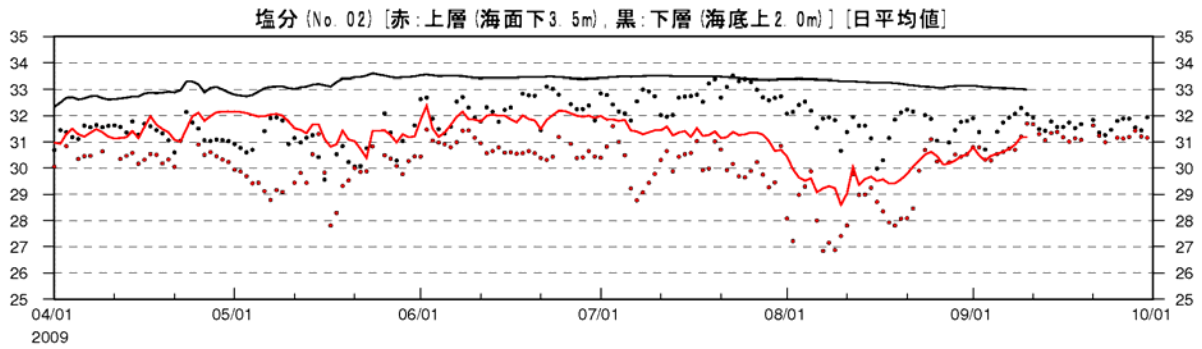
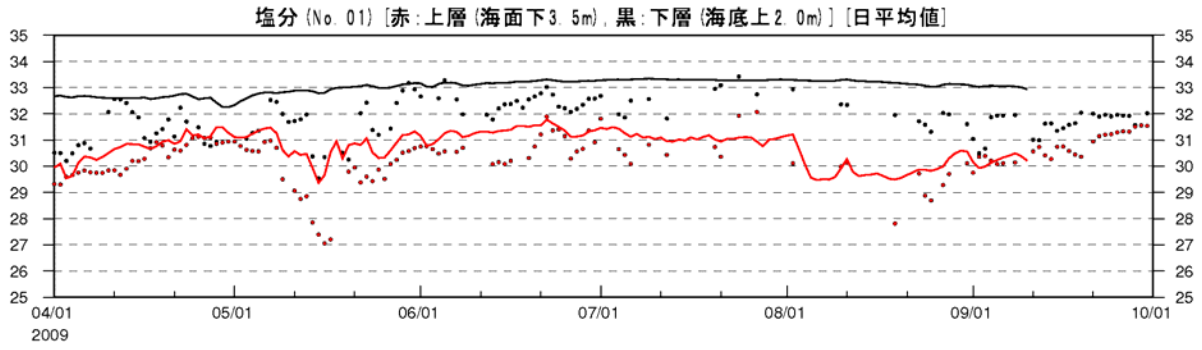


図 1.2.31 月平均水温・塩分・密度
(中山水道ブイ,上段:上層,中段:中層,下段:下層)



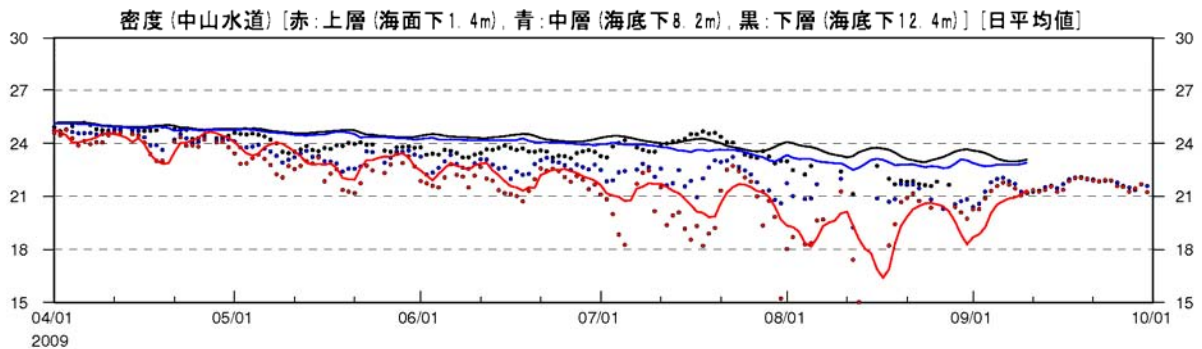
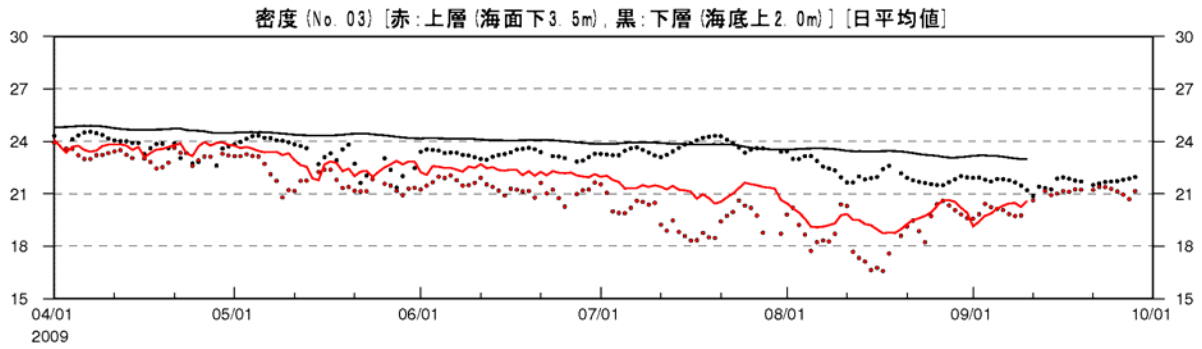
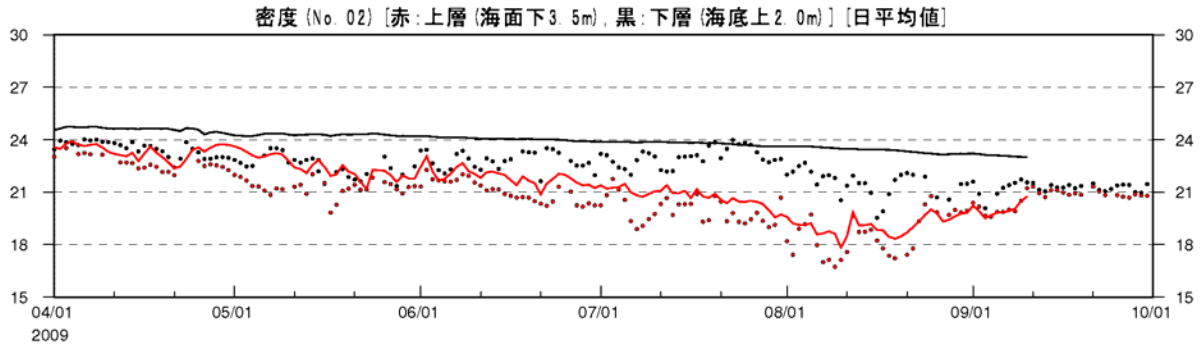
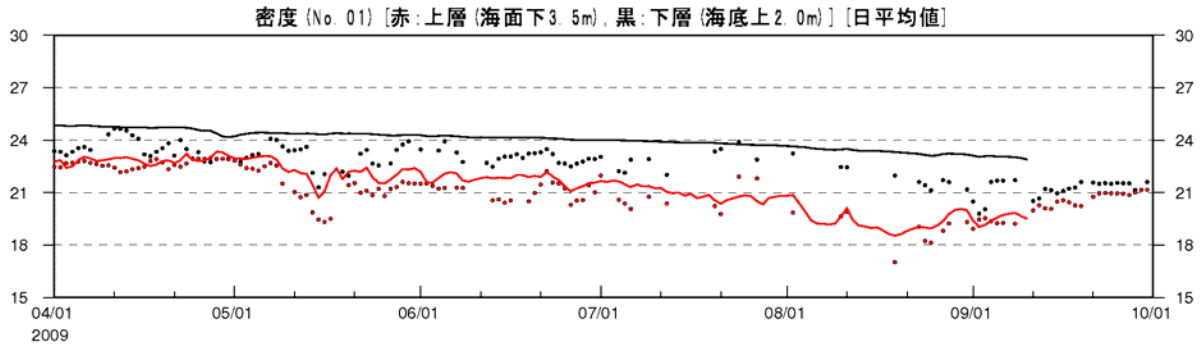
注) 実線：計算値、点列：観測値

図 1.2.32(1) 日平均水温の経時変化



注) 実線: 計算値、点列: 観測値

図 1.2.32(2) 日平均塩分の経時変化



注) 実線: 計算値、点列: 観測値

図 1.2.32(3) 日平均密度の経時変化

(d)再現性のまとめ

三河湾を対象とした流れの状況については、潮流や平均流など既往の観測値と計算値の比較を行い、観測値の傾向を良く表現していると評価できる。しかし、塩分の再現性については、河川流量の設定に係る課題が残っているものの、本検討における対象水域であるデッドゾーンは湾奥に位置しており、湾奥のブイ No.1 の水温・塩分・密度の再現状況は、観測値の傾向を良く表していると考えられる。

潮流および流速の経時変化、水温・塩分・密度の日変化等について、計算結果を検証した結果、塩分の再現性に課題はあるものの、デッドゾーンの検討に用いる流れの場として、十分に検討に資することができるものと評価した。

2) GCS モデルによる検討結果

(a) 流れ

a) 流速の経時変化

入江（ラグーナ蒲郡）を対象とした GCS モデルの計算結果の検証は、愛知県水産試験場が図 1.2.33 に示す地点 9 で実施した流況調査結果との比較で行った。

地点 9 では設置式の超音波流速計を用いて連続観測を行っており、その最下層(海底上 0.7m)における観測値と計算値(海底上 0.7m に該当する層の結果を抽出)の比較結果を図 1.2.34 に示す。なお、同図には御津の推算潮位と蒲郡の風速ベクトルの経時変化を合わせて示した。

計算結果と観測結果の比較をみると、大潮や小潮の潮汐変化に合わせて流速が変化する様子や比較的北流傾向の頻度が多い様子など、観測値でみられている流れの変動傾向は計算値でも表現されており、良好な再現性が得られていると評価した。



図 1.2.33 入江(ラグーナ蒲郡)における調査位置

b) 流れの水平分布

入江（ラグーナ蒲郡）の流れの状況を把握するため、2009 年 7 月～9 月の各月の月平均の流れの分布を表層（第 1 層）と最下層について図 1.2.35 に示す。

この結果をみると、いずれの月も表層では入江の奥から沖合へ南下する流れ、底層では入江の奥に北上する流れとなっており、上層流出・下層流入の鉛直循環が形成されている様子がみられている。

(b) 水温・塩分

流れと同様に、入江（ラグーナ蒲郡）を対象とした GCS モデルの計算結果の検証は、愛知県水産試験場が図 1.2.33 に示す地点 7 および 9 で実施した水温・塩分の連続観測結果との比較で行った。

地点 7 および地点 9 では、海底に設置された水質計により測定されている。計算結果からは、海底上 0.7m に該当する層の結果を抽出し、観測値との比較結果を図 1.2.36 に示す。なお、同図には御津の推算潮位と蒲郡の風速ベクトルの経時変化を合わせて

示した。

地点 9 のデータを境界条件に用いているため、地点 9 の比較結果は計算値と観測値は概ね一致している。

一方、入江の奥に位置する地点 7 の比較結果をみると、水温・塩分の変化傾向は地点 9 と同様であり、計算値も観測値と概ね一致していることを確認した。

(c)再現性のまとめ

GCS モデルを用いて、入江（ラグーナ蒲郡）における流れの状況と水温・塩分場の再現計算を行った結果、観測で把握された流れや水温・塩分の変動状況を良く再現していた。

デッドゾーンの検討に用いる流れの場として、十分に検討に資することができるものと評価した。

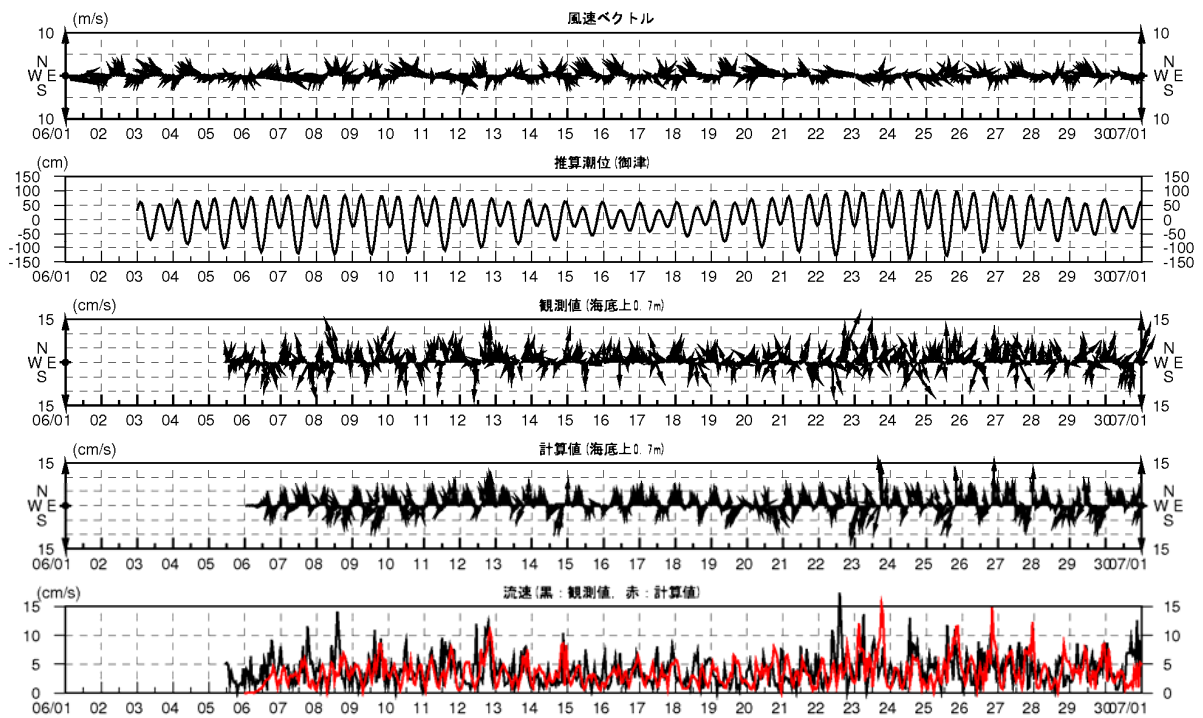


図 1.2.34(1) 計算値と観測値の比較(2009年6月)

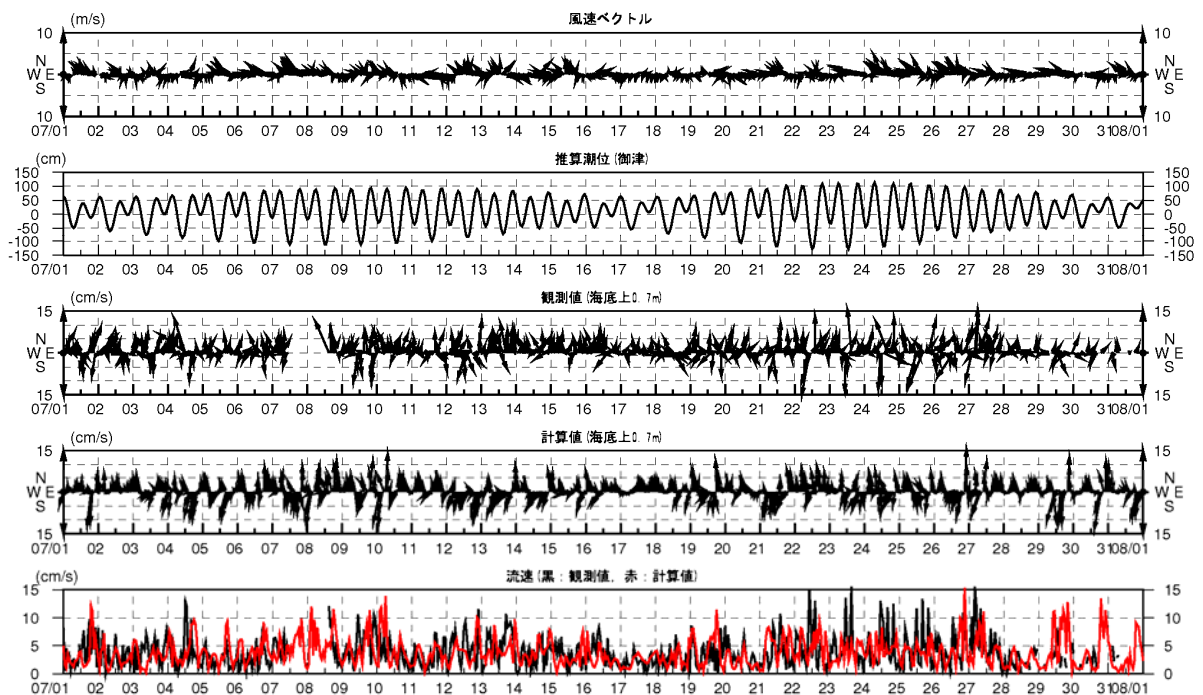


図 1.2.34(2) 計算値と観測値の比較(2009年7月)

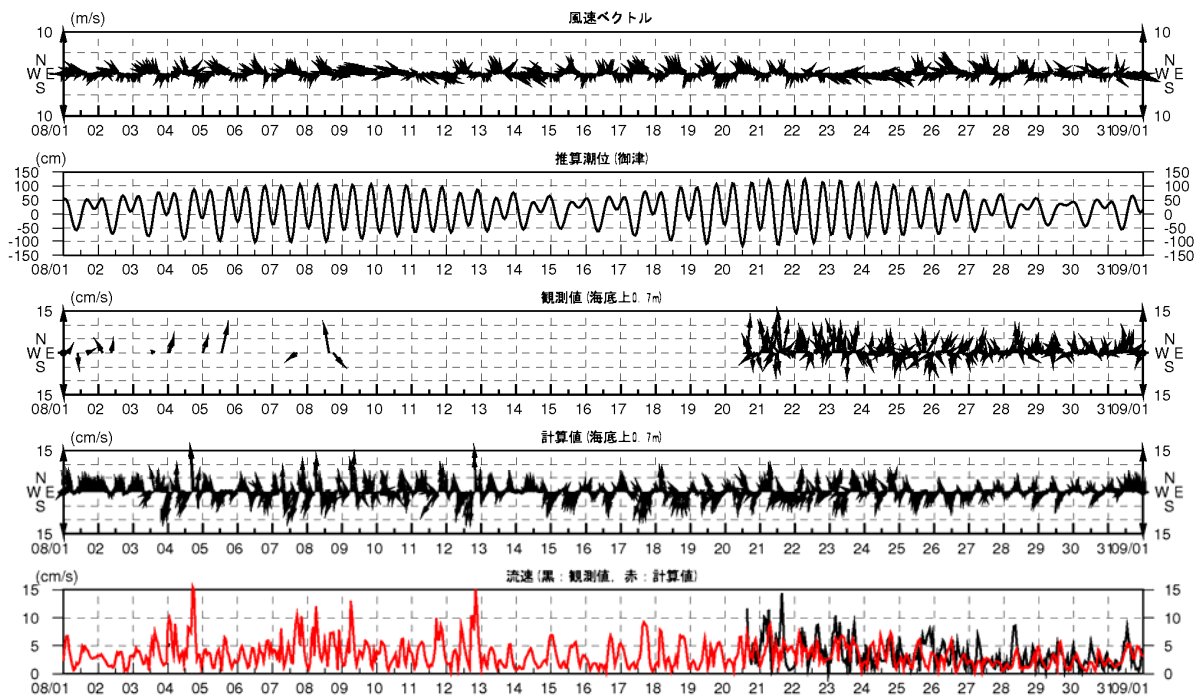


図 1. 2. 34 (3) 計算値と観測値の比較 (2009 年 8 月)

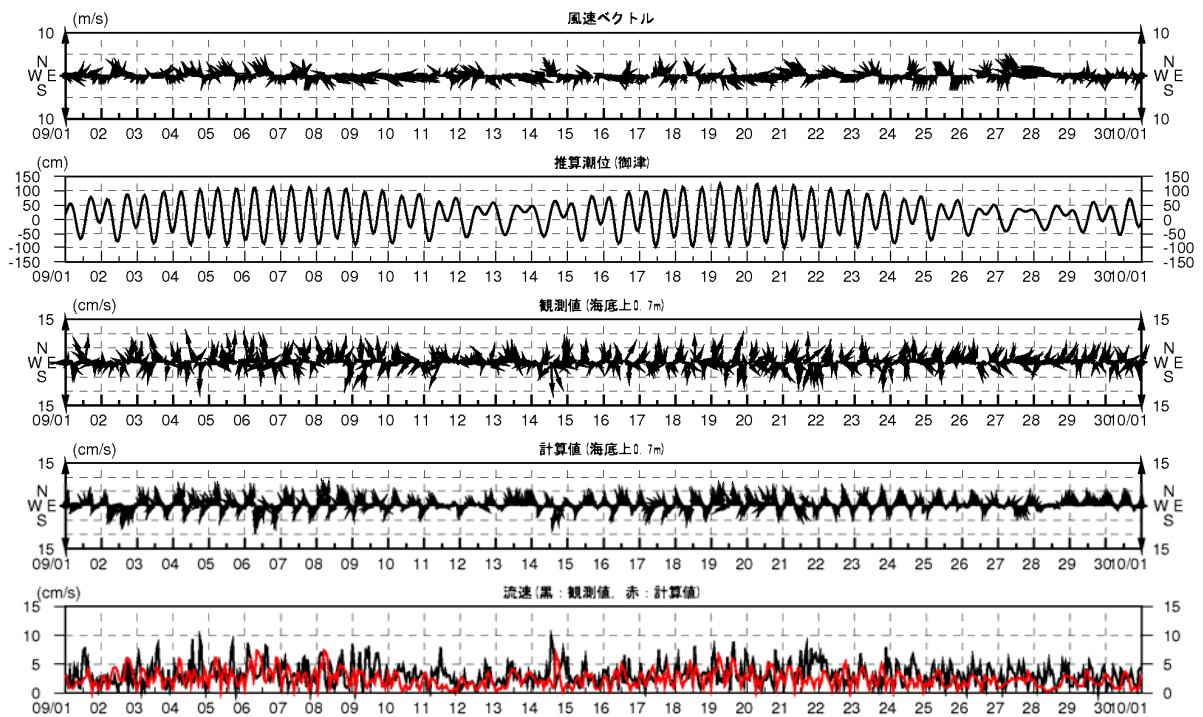
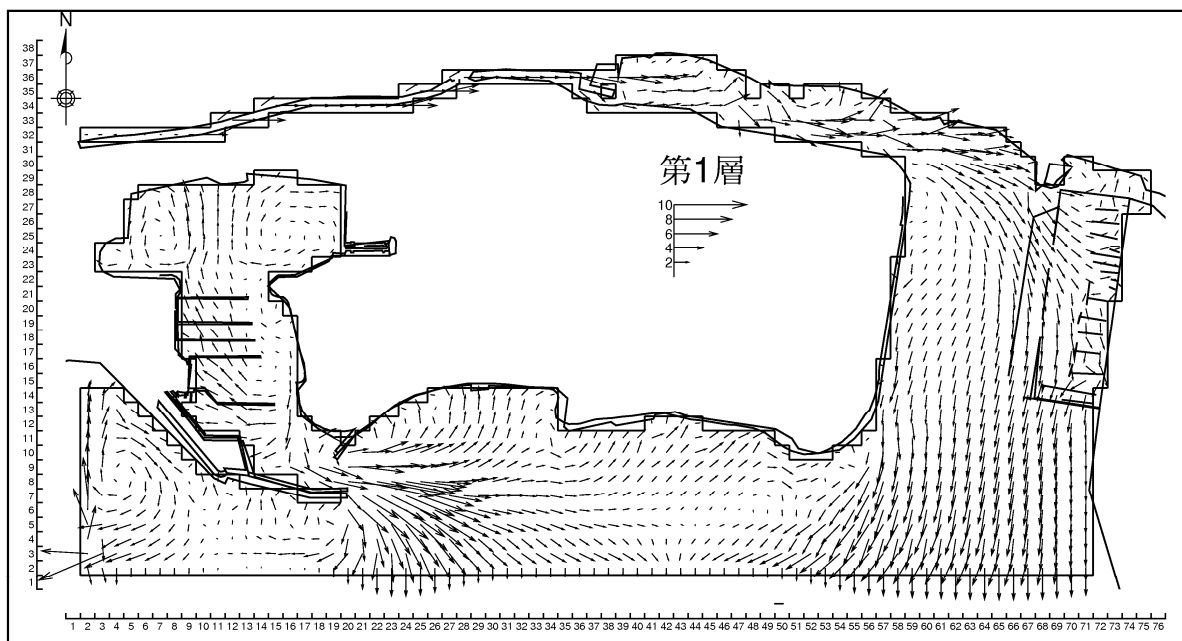


図 1. 2. 34 (4) 計算値と観測値の比較 (2009 年 9 月)

第1層



最下層

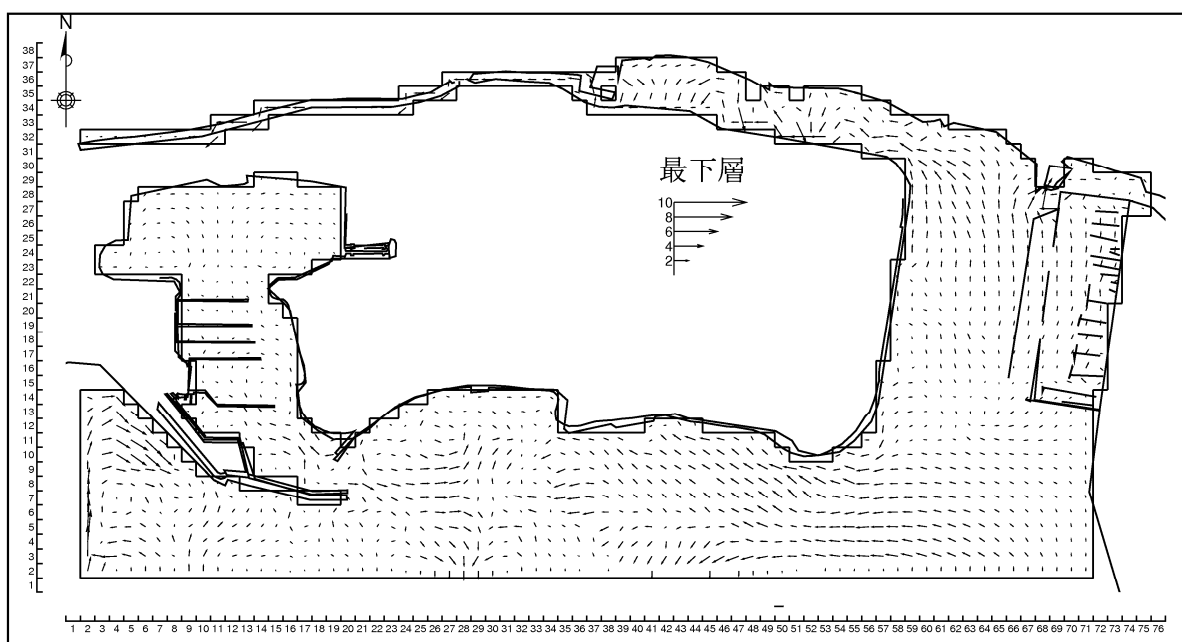
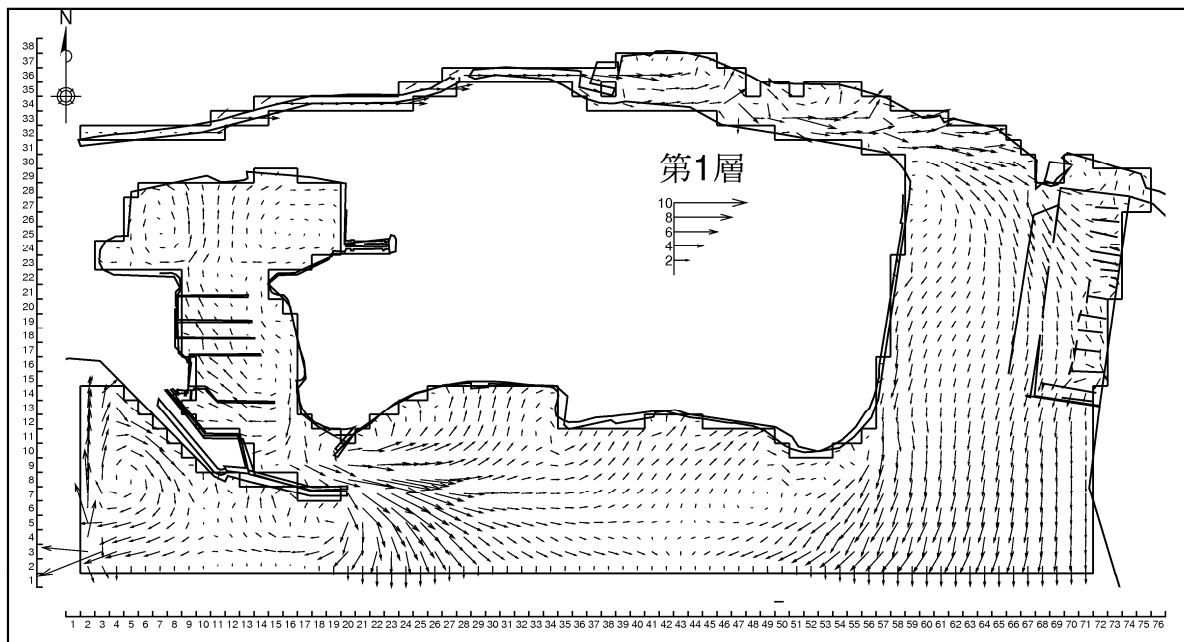


図 1.2.35(1) 流速ベクトルの水平分布(2009年7月平均)

第1層



最下層

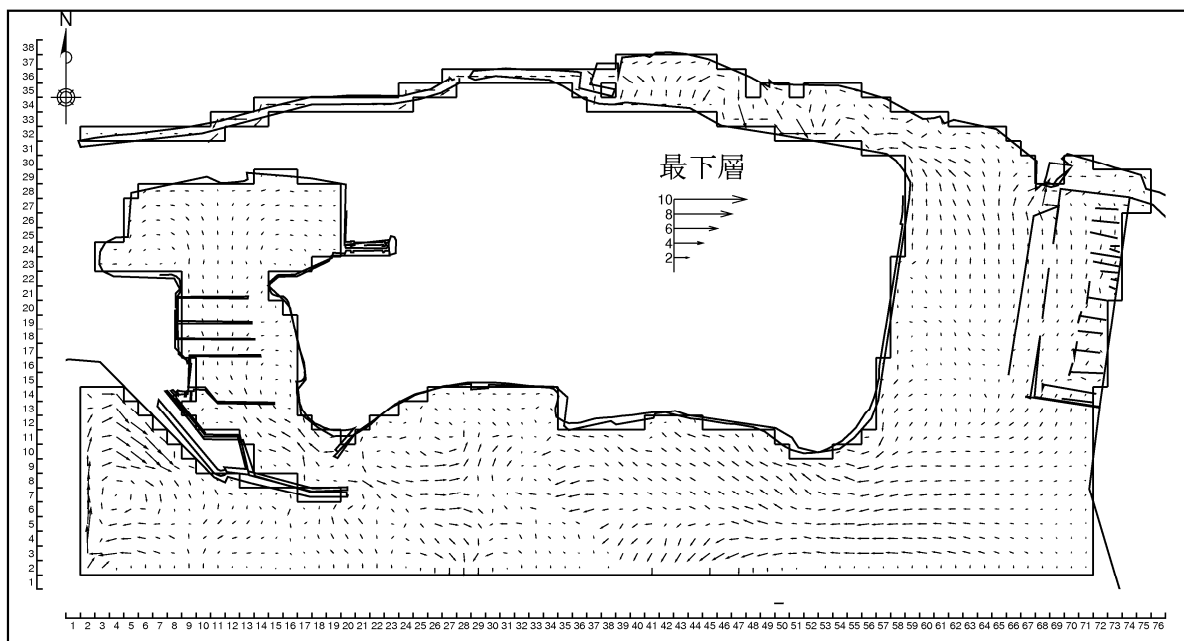
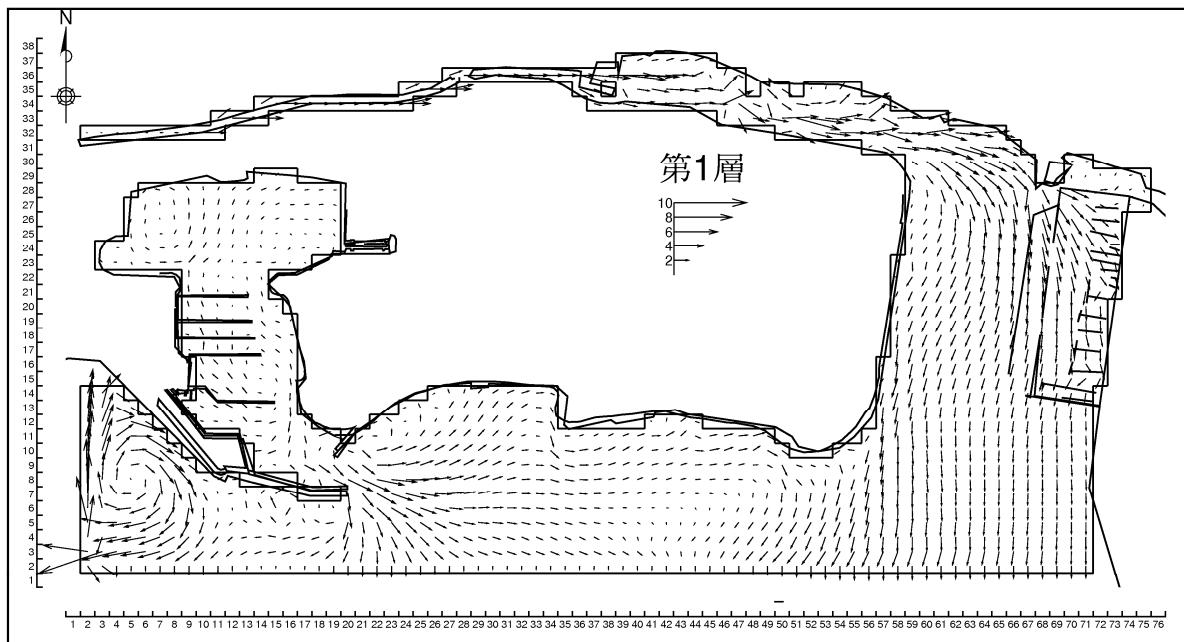


図 1.2.35(2) 流速ベクトルの水平分布(2009年8月平均)

第1層



最下層

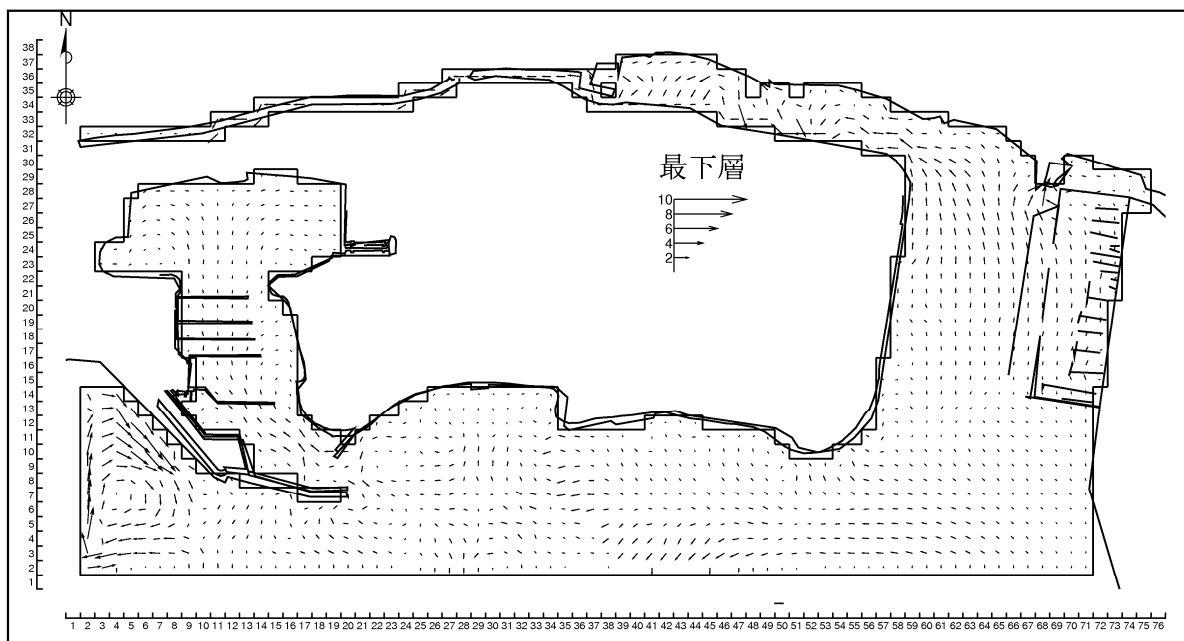


図 1.2.35(3) 流速ベクトルの水平分布(2009年9月平均)

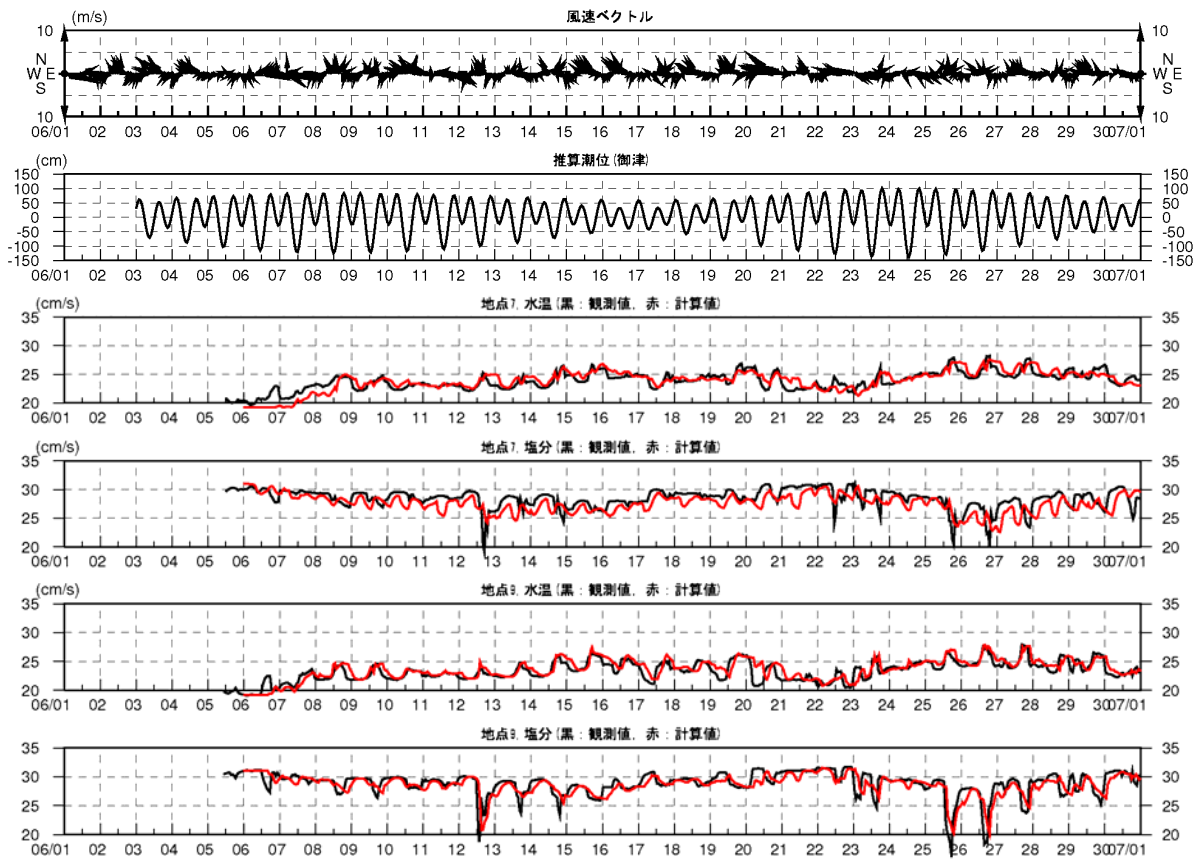


図 1.2.36(1) 計算値と観測値の比較(2009年6月)

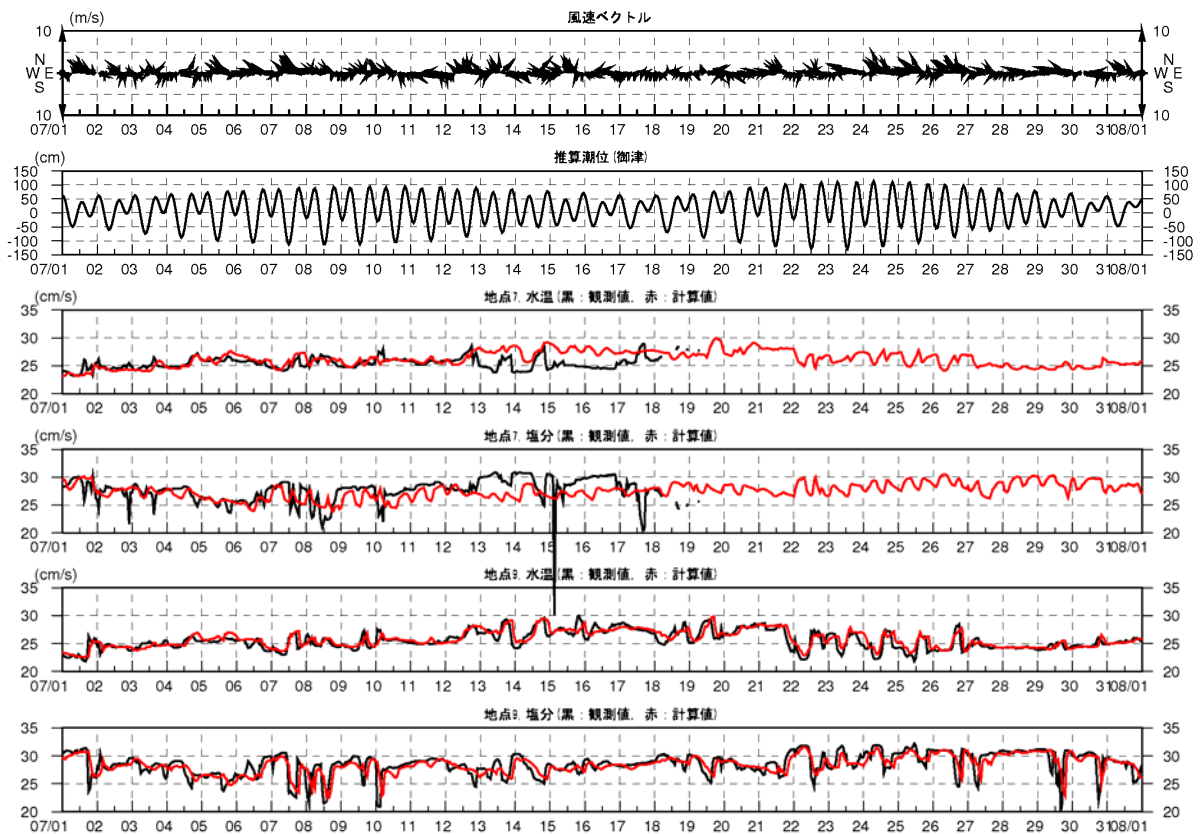


図 1.2.36(2) 計算値と観測値の比較(2009年7月)

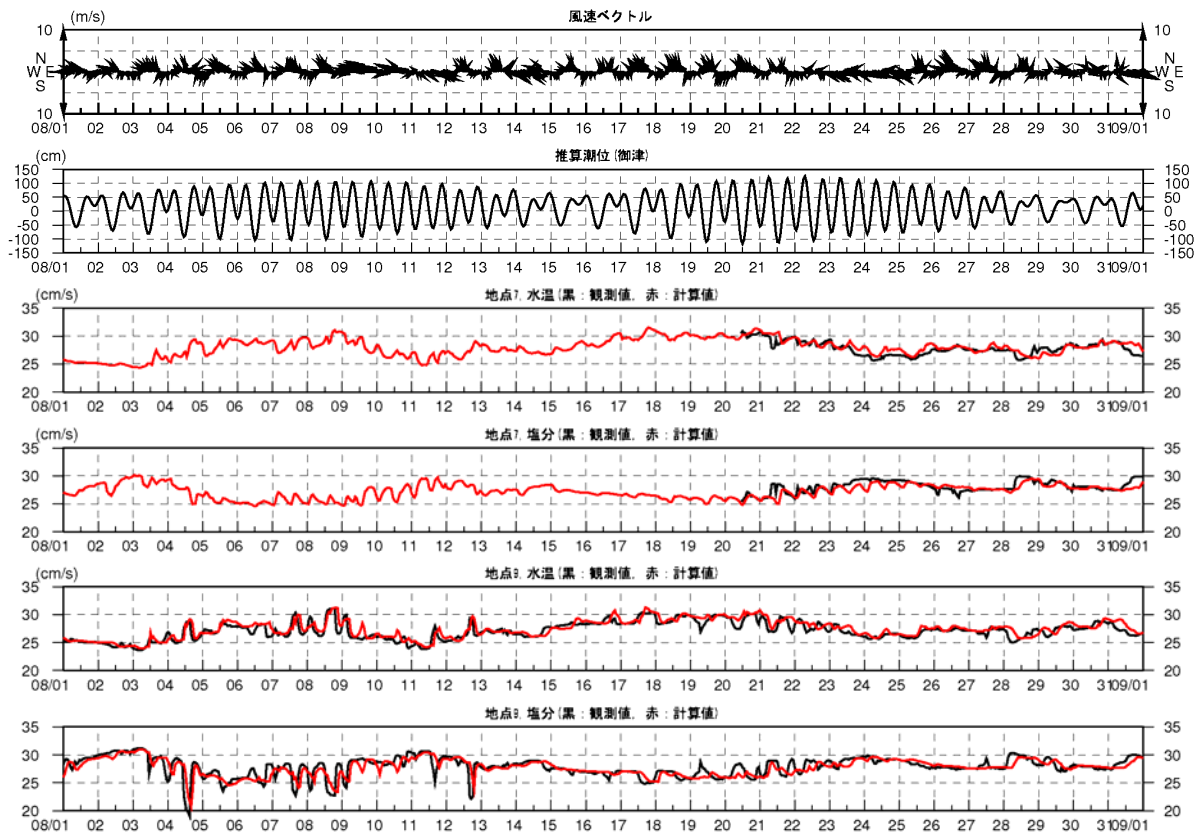


図 1.2.36(3) 計算値と観測値の比較(2009年8月)

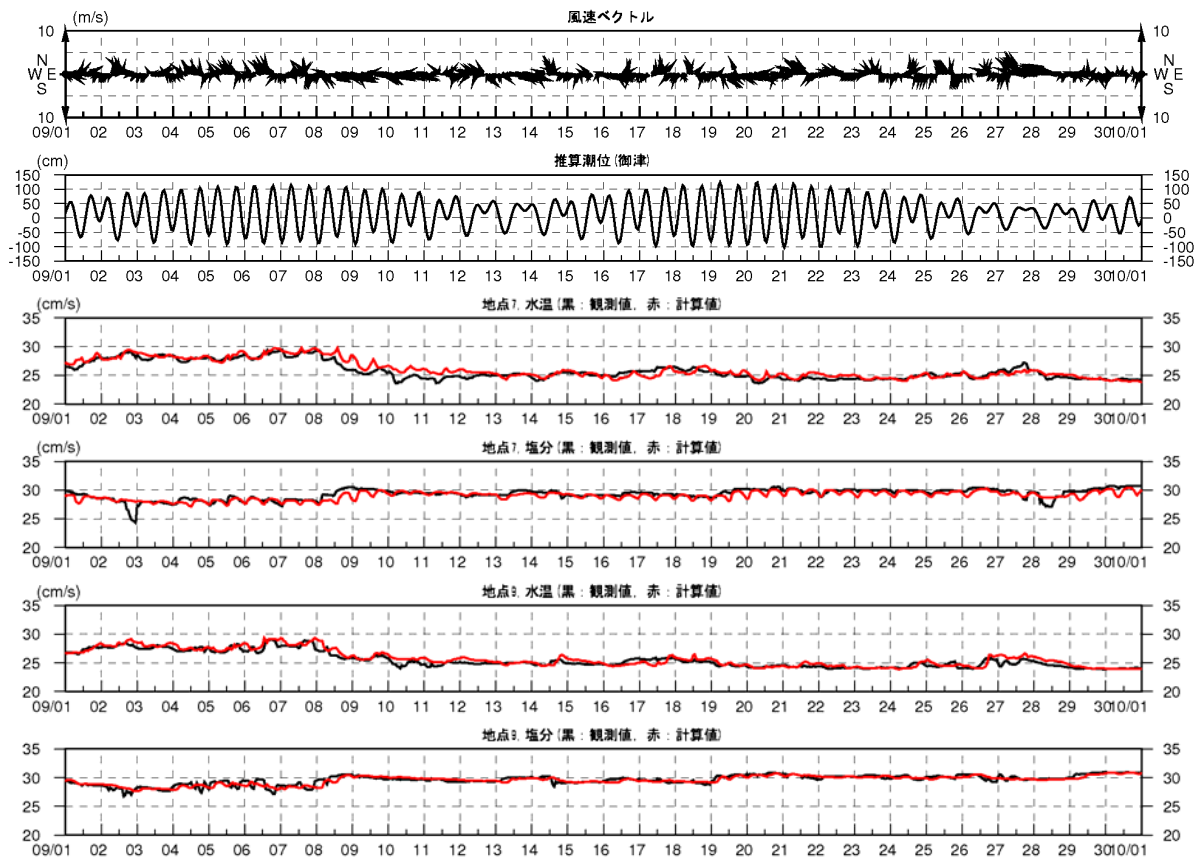


図 1.2.36(4) 計算値と観測値の比較(2009年9月)

1.2.2 水質モデル

(1) 概要

水質及び底質の予測を行うモデルとして、図 1.2.37 に示す物質循環を再現する水質(生態系)モデルを採用した。このモデルは以下のような特徴を有している。

- 貧酸素水塊の予測計算に必要不可欠な硫化水素等の酸素消費物質を解析項目としている。
- 水質の変化に加え、底質の変化も予測が可能である。

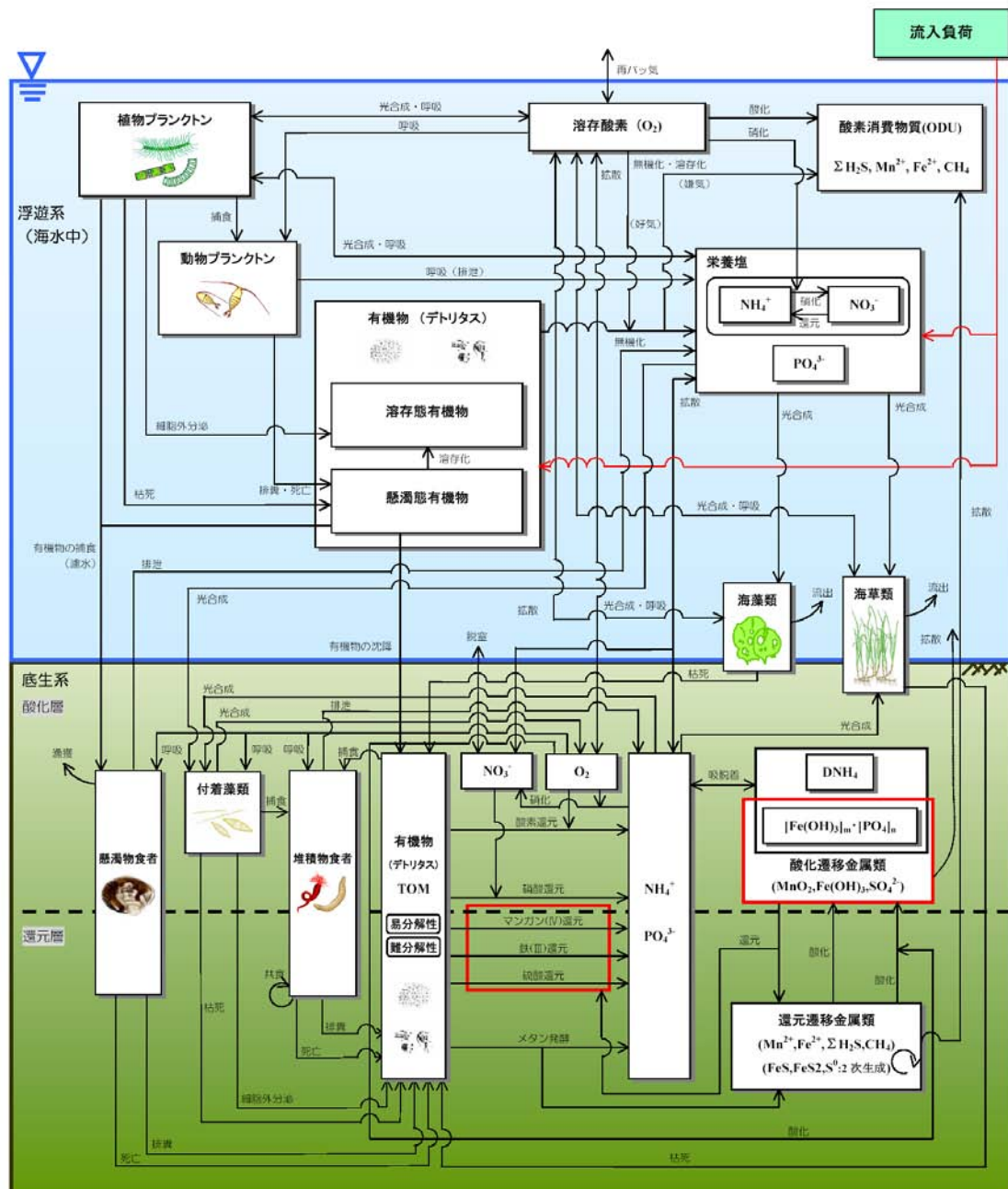


図 1.2.37 水質-底質結合(生態系)モデルの物質循環

(2) 基本方程式

水質予測モデルの解析項目を表 1.2.13 に示す。

表 1.2.13 水質予測モデルの構成要素

変数名	独立変数	単位
CHL	植物プランクトン濃度	μ g/L
ZOO	動物プランクトン量	mgC/L
DO	溶存酸素濃度	mgO/L
POC	懸濁態有機炭素濃度	mgC/L
DOC	溶存態有機炭素濃度	mgC/L
PON	懸濁態有機窒素濃度	mgN/L
DON	溶存態有機窒素濃度	mgN/L
POP	懸濁態有機リン濃度	mgP/L
DOP	溶存態有機リン濃度	mgP/L
NH ₄ -N	アンモニア態窒素濃度	mgN/L
NO _x -N	亜硝酸及び硝酸態窒素の合計	mgN/L
PO ₄ -P	無機態リン濃度	mgP/L
ODU	酸素消費物質 (Σ H ₂ S, Mn ²⁺ , Fe ²⁺ , CH ₄ の合計値)	mgO/L

モデルにおいて変数として計算される構成要素以外の項目である全窒素 (T-N)、全リン (T-P) および COD は、構成要素濃度より換算して算出した。

○ 全窒素 (T-N)、全リン (T-P)

$$(T-N) = (TON) + (NH_4-N) + (NO_x-N)$$

$$(T-P) = (TOP) + (PO_4-P)$$

ここで、 $(TON) = (\text{植物プランクトン態 } N) + (\text{動物プランクトン態 } N) + (PON) + (DON)$

$(TOP) = (\text{植物プランクトン態 } P) + (\text{動物プランクトン態 } P) + (POP) + (DOP)$ とする。

○ COD

$(COD) = (\text{植物プランクトン態 } COD) + (\text{動物プランクトン態 } COD) + (\text{懸濁態 } COD) + (\text{溶存態 } COD)$ とする。

水質予測モデルの生物・化学反応項については以下に示すとおりである。

1) 植物プランクトン (CHL)

$$\frac{dCHL}{dt} = (\text{光合成} - \text{細胞外分泌} - \text{呼吸} - \text{枯死} \\ - \text{動物プランクトンによる摂餌} - \text{沈降}) / rCChl$$

2) 動物プランクトン (ZOO)

$$\frac{dZOO}{dt} = \text{摂餌} - \text{排糞} - \text{呼吸} - \text{死亡}$$

3) 懸濁態有機物 (POC, PON, POP)

$$\frac{dPOC}{dt} = \text{植物プランクトンの枯死} + \text{動物プランクトンの死亡} + \text{排糞} \\ - \text{溶存化} - \text{分解無機化} - \text{沈降} + \text{流入負荷}$$

$$\frac{dPON}{dt} = \text{植物プランクトンの枯死}/rCN_P + \text{動物プランクトンの死亡}/rCN_Z \\ + \text{排糞}/rCN_Z - \text{溶存化} - \text{分解無機化} - \text{沈降} + \text{流入負荷}$$

$$\frac{dPOP}{dt} = \text{植物プランクトンの枯死}/rCP_P + \text{動物プランクトンの死亡}/rCP_Z \\ + \text{排糞}/rCP_Z - \text{溶存化} - \text{分解無機化} - \text{沈降} + \text{流入負荷}$$

4) 溶存態有機物 (DOC, DON, DOP)

$$\frac{dDOC}{dt} = \text{植物プランクトンの分泌} + \text{懸濁有機態炭素の溶存化} \\ - \text{分解無機化} + \text{流入負荷}$$

$$\frac{dDON}{dt} = \text{植物プランクトンの分泌}/rCN_P + \text{懸濁有機態窒素の溶存化} \\ - \text{分解無機化} + \text{流入負荷}$$

$$\frac{dDOP}{dt} = \text{植物プランクトンの分泌}/rCP_P + \text{懸濁有機態リンの溶存化} \\ - \text{分解無機化} + \text{流入負荷}$$

5) 栄養塩 ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_x\text{-N}$ ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$), $\text{PO}_4\text{-P}$)

$$\frac{d\text{NH}_4\text{-N}}{dt} = - \text{光合成}/rCN_P \cdot (1-rno3) + \text{植物プランクトンの呼吸}/rCN_P \\ + \text{動物プランクトンの呼吸}/rCN_Z + \text{懸濁有機態窒素の分解無機化} \\ + \text{溶存有機態窒素の分解無機化} - \text{硝化} + \text{硝酸還元} - \text{流入負荷} \pm \text{溶出}$$

$$\frac{d\text{NO}_x\text{-N}}{dt} = - \text{光合成}/rCN_P \cdot rno3 + \text{硝化} - \text{硝酸還元} + \text{流入負荷} \pm \text{溶出}$$

$$\frac{d\text{PO}_4\text{-P}}{dt} = - \text{光合成}/rCP_P + \text{植物プランクトンの呼吸}/rCP_P \\ + \text{動物プランクトンの呼吸}/rCP_Z + \text{懸濁有機態リンの分解無機化} \\ + \text{溶存有機態リンの分解無機化} + \text{流入負荷} \pm \text{溶出}$$

6) 溶存酸素 (DO)

$$\frac{dDO}{dt} = \text{光合成} \cdot rOC_P - \text{植物プランクトンの呼吸} \cdot rOC_P \\ - \text{動物プランクトンの呼吸} \cdot rOC_Z \\ - \text{懸濁有機態炭素の好氣的分解無機化による消費} \cdot rOC_{PC} \\ - \text{溶存有機態炭素の好氣的分解無機化による消費} \cdot rOC_{DC} \\ - \text{硝化による消費} - \text{底泥 DO 消費} \pm \text{再ばっ気} - \text{ODU の酸化による消費}$$

7) 酸素消費物質 (ODU)

$$\frac{dODU}{dt} = \text{懸濁有機炭素の嫌氣的分解無機化による生成} \cdot rOC_{PC}$$

+ 溶存有機炭素の嫌氣的分解無機化による生成 $\cdot rOC_{DC}$
 + 底泥からの溶出 - 溶存酸素による酸化

ここで、

- $rCChl$: 植物プランクトンの C/Chla 重量比
- rCN_p : 植物プランクトンの C/N 重量比
- rCP_p : 植物プランクトンの C/P 重量比 ($=rCN_p/rNP_p$)
- rOC_p : 植物プランクトンの O_2/C 重量比
- rCN_z : 動物プランクトンの C/N 重量比
- rCP_z : 動物プランクトンの C/P 重量比 ($=rCN_z/rNP_z$)
- rOC_z : 動物プランクトンの O_2/C 重量比
- rOC_{PC} : 懸濁有機態炭素の O_2/C 重量比
- rOC_{DC} : 溶存有機態炭素の O_2/C 重量比
- $rno3$: 栄養塩摂取に関する割合

である。

(3) 計算条件

海域における非定常な水質の変化を表現するために、計算に用いる流入負荷条件、湾口境界条件などは時々刻々と変化させた条件を考慮した。具体的な設定方法や使用するデータの概要について表 1.2.14 に示す。

表 1.2.14 水質モデルに用いる計算条件の設定方法およびデータの概要

項目	設定方法など	備考 (出典など)
計算範囲 計算格子	計算範囲はデッドゾーンを含む 4 領域とした。水質計算の計算格子は流動モデルに準ずるものとし、底生系の計算については現地調査結果の各測点が代表されるようなブロック分割を行った。	
気象条件	全天日射量	流動モデルに準ずるものとした。 地上観測データ (気象庁)
開境界条件	水質項目全般	開境界格子において最寄りの観測地点における各水質項目の値を基に境界条件を設定した。 公共用水域調査結果 (環境省) 現地調査結果
パラメータ	生物・化学パラメータ	既往の文献値を基に設定した。
初期値		公共用水域調査結果および現地調査結果を基に設定した。 公共用水域調査結果 (環境省) 現地調査結果

1) 計算領域および計算格子

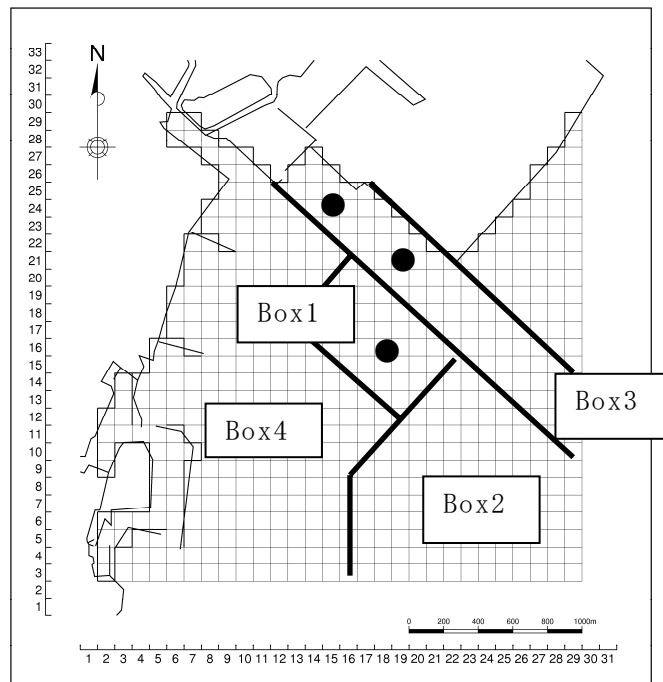


図 1.2.38(1) 計算領域および計算格子
大規模泊地（大規模港湾）：蒲郡港（100m 格子）

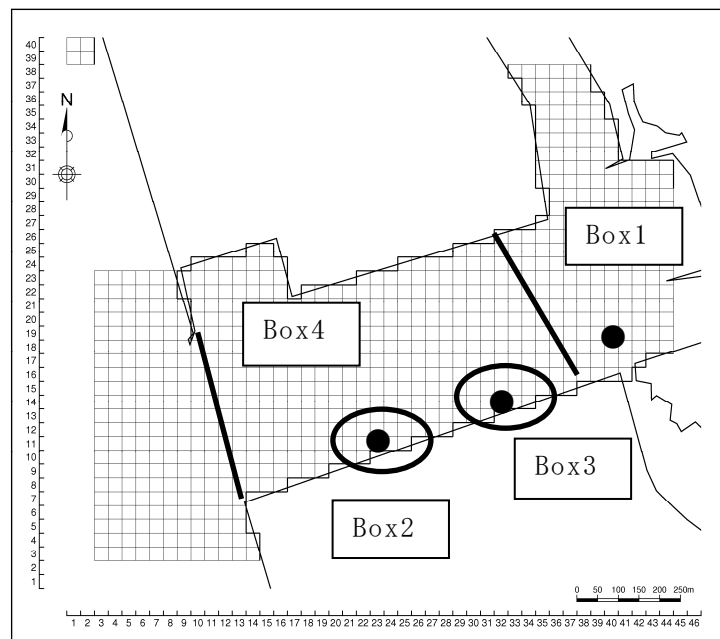


図 1.2.38(2) 計算領域および計算格子
窪地：御津地区（33.3m 格子）

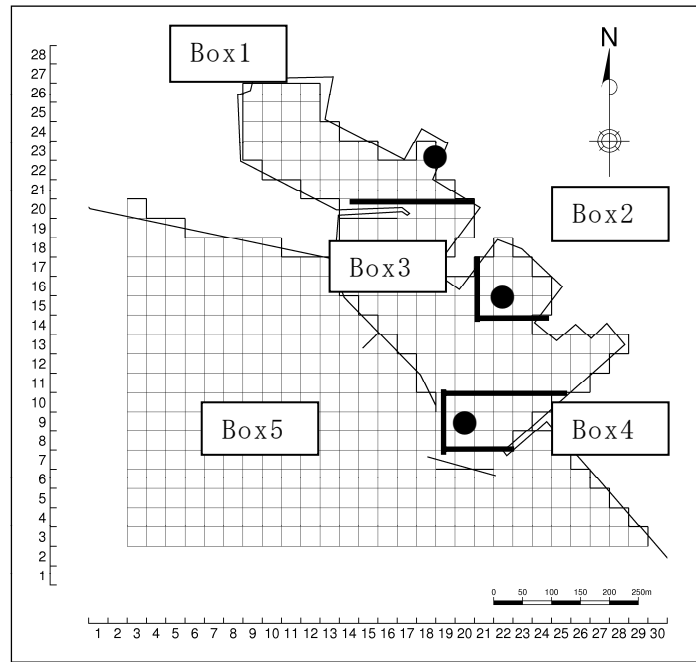


図 1.2.38(3) 計算領域および計算格子
 小規模泊地（漁港）：三谷漁港（33.3m 格子）

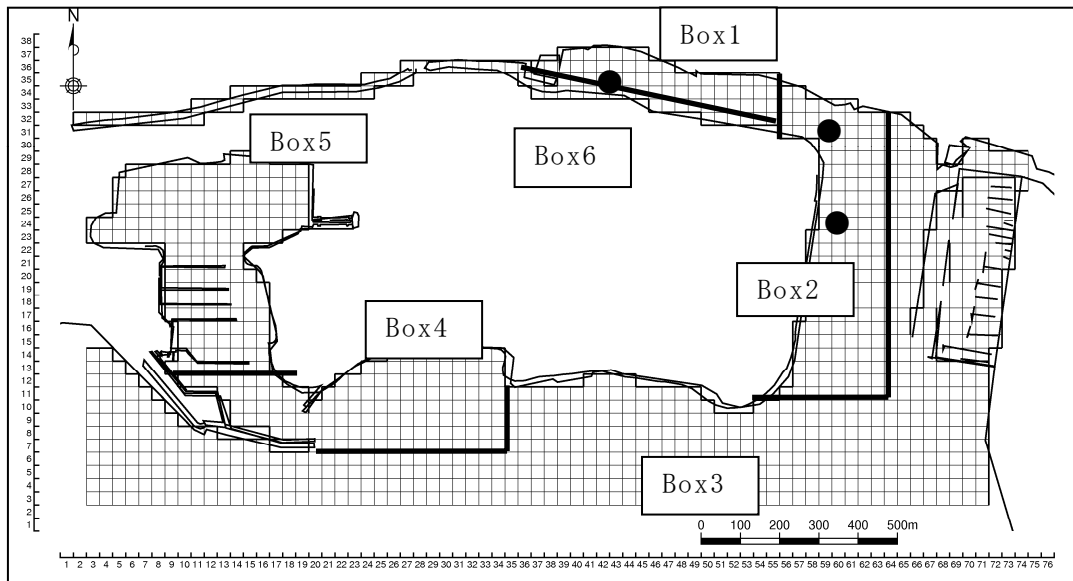


図 1.2.38(4) 計算領域および計算格子
 入江：ラグーナ蒲郡（33.3m 格子）

2) 開境界条件

開境界条件は、本調査の実測値から DO 濃度とクロロフィル a 濃度を設定し、その他の項目については、公共用水域水質データ（愛知県 A-6）における実測値を基に設定した。

3) パラメータ等

水質モデルに用いた計算パラメータを表 1.2.15 に示す。

表 1.2.15(1) 水質モデルに用いた生化学パラメータ

パラメータ		単位	値	参考文献
■ 植物プランクトン				
$M_{max} / Q10 \mu p$	最大光合成速度(0°C)	1/day	$0.59 \cdot \exp(0.0693T)$	
$RES_{Pp} / Q10Rp$	呼吸速度(0°C)	1/day	$0.02 \cdot \exp(0.0519T)$	
$MORT_{p} / Q10Mp$	枯死速度(0°C)	1/day	$0.02 \cdot \exp(0.0693T)$	
K_{IP}	増殖の半飽和定数(P)	mg/L	0.003	
K_{IN}	増殖の半飽和定数(NH ₄ -N)	mg/L	0.020	
K_{IN}	増殖の半飽和定数(NO _x)	mg/L	0.022	
EXC_p	光合成量に対する分泌の割合	-	0.13	
I_{opt}	最適光量	MJ/m ² /day	8.54	
$Slope_k$ Sep_k	消散係数	-	$0.3428 - 0.0056 \cdot Chl a + 0.0634 \cdot Chl a^{2/3}$	
$Sink_p$	沈降速度	m/day	0.3	
■ 動物プランクトン				
$G_{max} / Q10Gz$	最大摂餌速度(0°C)	1/day	$0.18 \cdot \exp(0.0693T)$	
P_{min}	摂餌の閾値	mgC/L	0.1	
λ	Ivlev 定数	(mgC/L) ⁻¹	0.01	
Ass_i	同化係数	-	0.65	
$Grow$	総成長効率	-	0.30	
$MORT_z / Q10Mz$	死亡速度(0°C)	1/day	$0.054 \cdot \exp(0.0693T)$	

表 1.2.15(2) 水質モデルに用いた生化学パラメータ

パラメータ	単位	値	参考文献
■ 懸濁態有機物			
$BUN_{PC} / Q10_{PC}$	POC の分解速度(0°C)	1/day	$0.02 \cdot \exp(0.043T)$
$BUN_{PN} / Q10_{PN}$	PON の分解速度(0°C)	1/day	$0.02 \cdot \exp(0.042T)$
$BUN_{PP} / Q10_{PP}$	POP の分解速度(0°C)	1/day	$0.02 \cdot \exp(0.052T)$
$BUN_{PDC} / Q10_{PDC}$	POC から DOC の溶存化速度(0°C)	1/day	$0.01 \cdot \exp(0.0693T)$
$BUN_{PDN} / Q10_{PDN}$	PON から DON の溶存化速度(0°C)	1/day	$0.01 \cdot \exp(0.0693T)$
$BUN_{PDP} / Q10_{PDP}$	POP から DOP の溶存化速度(0°C)	1/day	$0.01 \cdot \exp(0.0693T)$
$SINK_{PC}$	POC の沈降速度	m/day	1.0
$SINK_{PN}$	PON の沈降速度	m/day	1.0
$SINK_{PP}$	POP の沈降速度	m/day	1.0
■ 溶存態有機物			
$BUN_{DC} / Q10_{DC}$	DOC の分解速度(0°C)	1/day	$0.01 \cdot \exp(0.0693T)$
$BUN_{DN} / Q10_{DN}$	DON の分解速度(0°C)	1/day	$0.02 \cdot \exp(0.0693T)$
$BUN_{DP} / Q10_{DP}$	DOP の分解速度(0°C)	1/day	$0.03 \cdot \exp(0.0693T)$
■ 溶存酸素			
$Baki$	再ばっ気係数	1/day	0.20
yDO	底泥の酸素消費速度	mg/m ² /day	
■ 無機態栄養塩			
$yNO3N$	底泥からの溶出(NO ₃ N)	mg/m ² /day	-1.0
$yNH4N$	底泥からの溶出(NH ₄ N)	mg/m ² /day	60.0
yIP	底泥からの溶出(IP)	mg/m ² /day	5.0
■ 換算係数			
$rCChl$	植物プランクトンの C/Chl-a 重量比	-	55.3
rCN_p	植物プランクトンの C/N 重量比	-	6.3
rNP_p	植物プランクトンの N/P 重量比	-	10.1
rOC_p	植物プランクトンの O ₂ /C 重量比	-	3.4
$rCODC_p$	植物プランクトンの COD/C 重量比	-	1.6
rCN_z	動物プランクトンの C/N 重量比	-	4.6
rNP_z	動物プランクトンの N/P 重量比	-	14.7
rOC_z	動物プランクトンの O ₂ /C 重量比	-	3.6
$rCODC_z$	動物プランクトンの COD/C 重量比	-	1.6
$rCODC_{PC}$	懸濁態有機物の COD/C 重量比	-	1.6
$rCODC_{DC}$	溶存態有機物の COD/C 重量比	-	1.0
rOC_{PC}	懸濁態有機物の分解に伴う酸素消費	-	-
rOC_{DC}	懸濁態有機物の分解に伴う酸素消費	-	-

(4) 現状解析

1) 水質濃度分布

各領域の底層 DO 濃度、ODU 濃度もしくはクロロフィル a 濃度の分布を図 1.2.39～図 1.2.42 に示す。ここで底層とは、各計算格子の最下層を指している。各図は、6～9月の月平均濃度となっている。

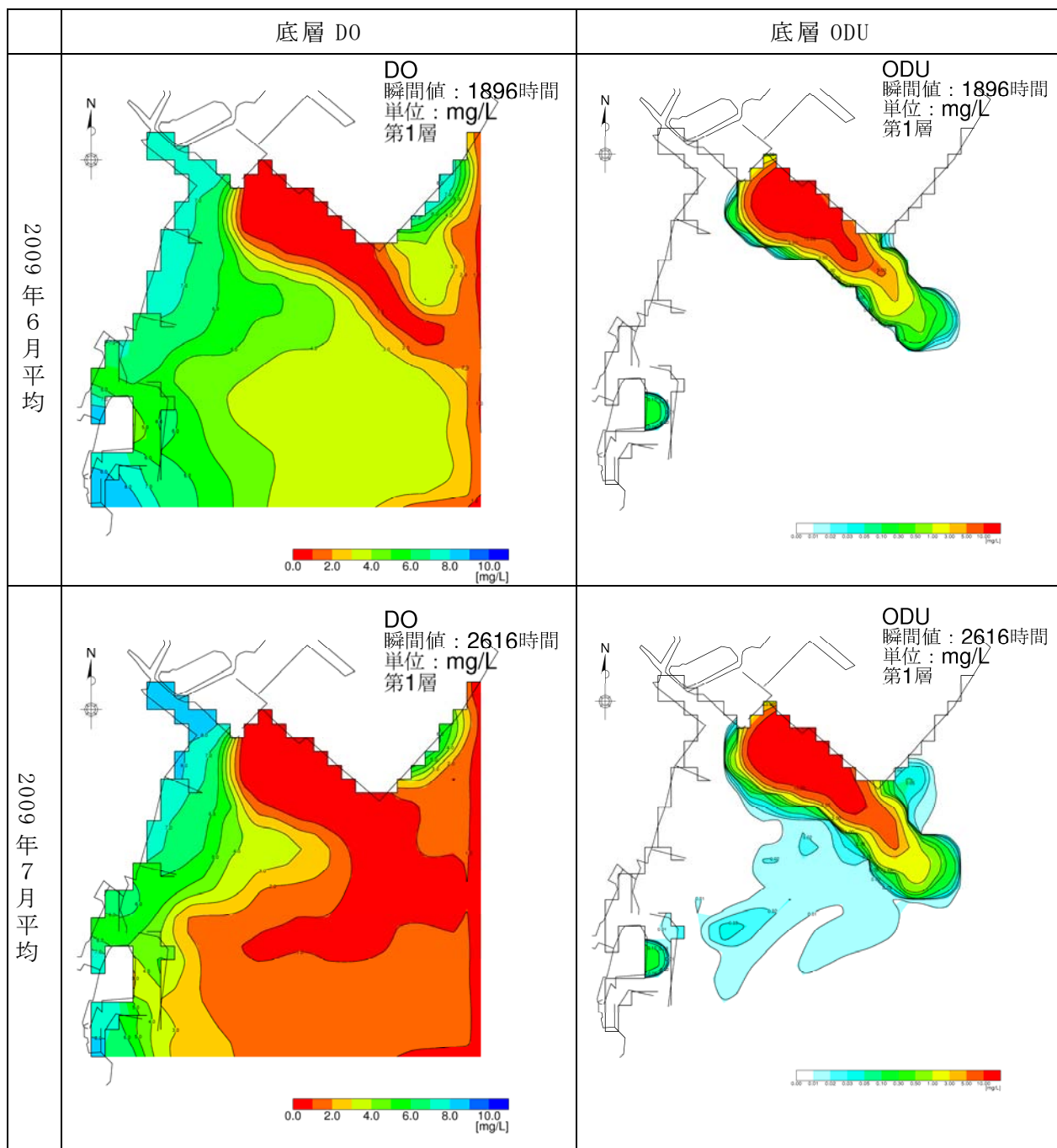


図 1.2.39(1) 水質濃度分布（底層 DO、底層 ODU、大規模泊地）

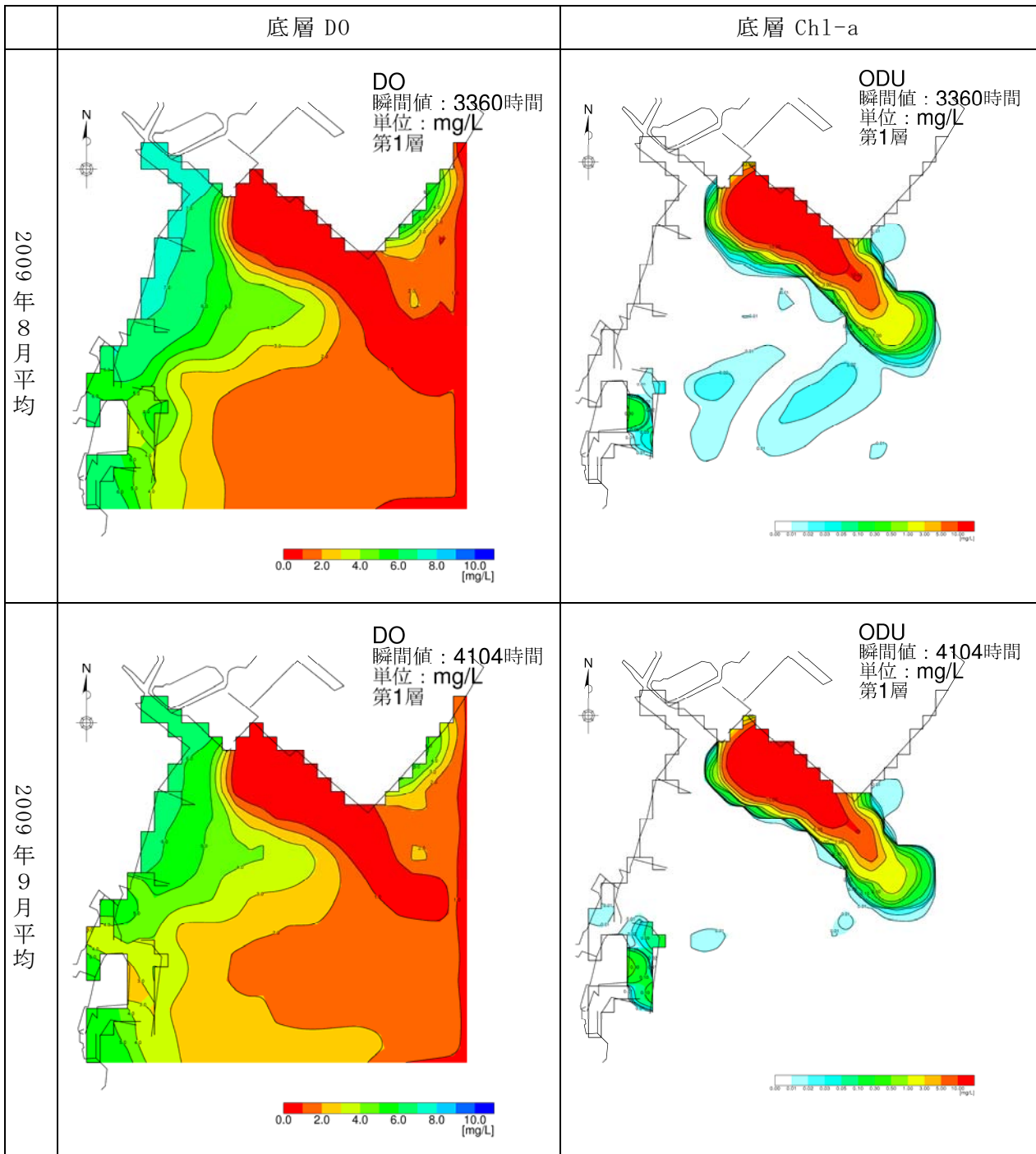


图 1.2.39(2) 水質濃度分布（底層 DO、底層 ODU、大規模泊地）

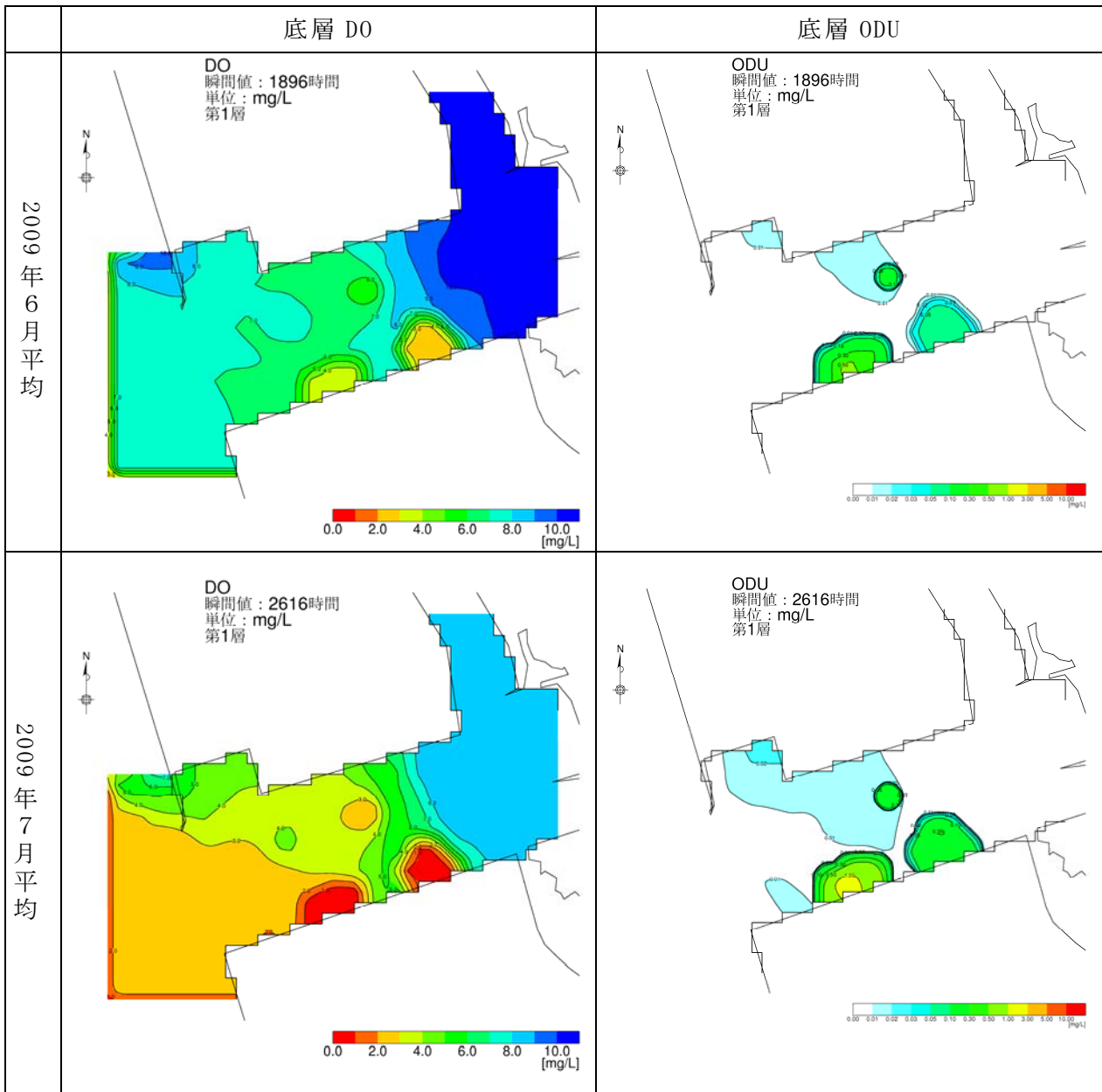


图 1.2.40(1) 水质浓度分布 (底层 DO、底层 ODU、窪地)

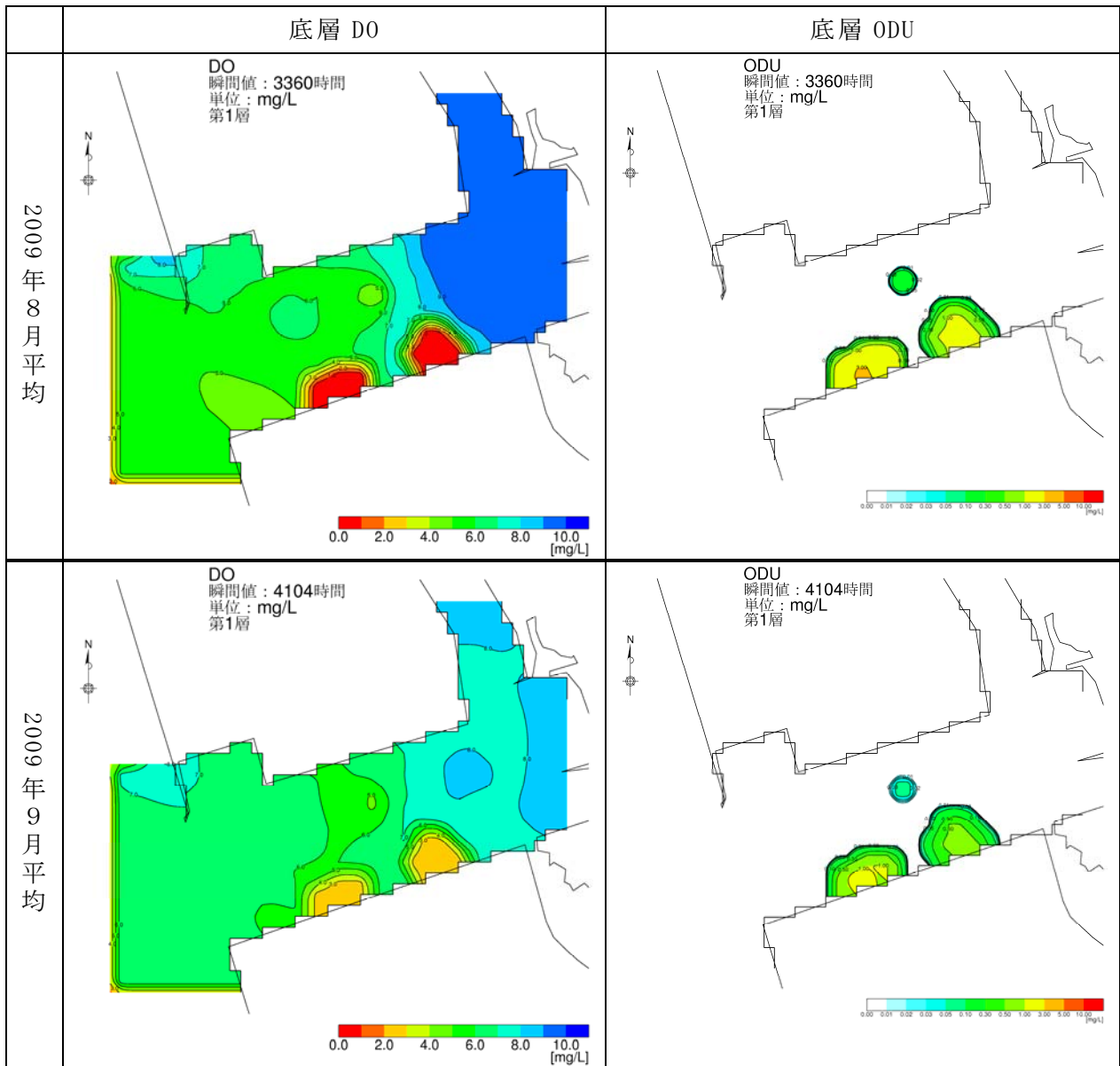


圖 1. 2. 40(2) 水質濃度分布 (底層 DO、底層 Chl-a、窪地)

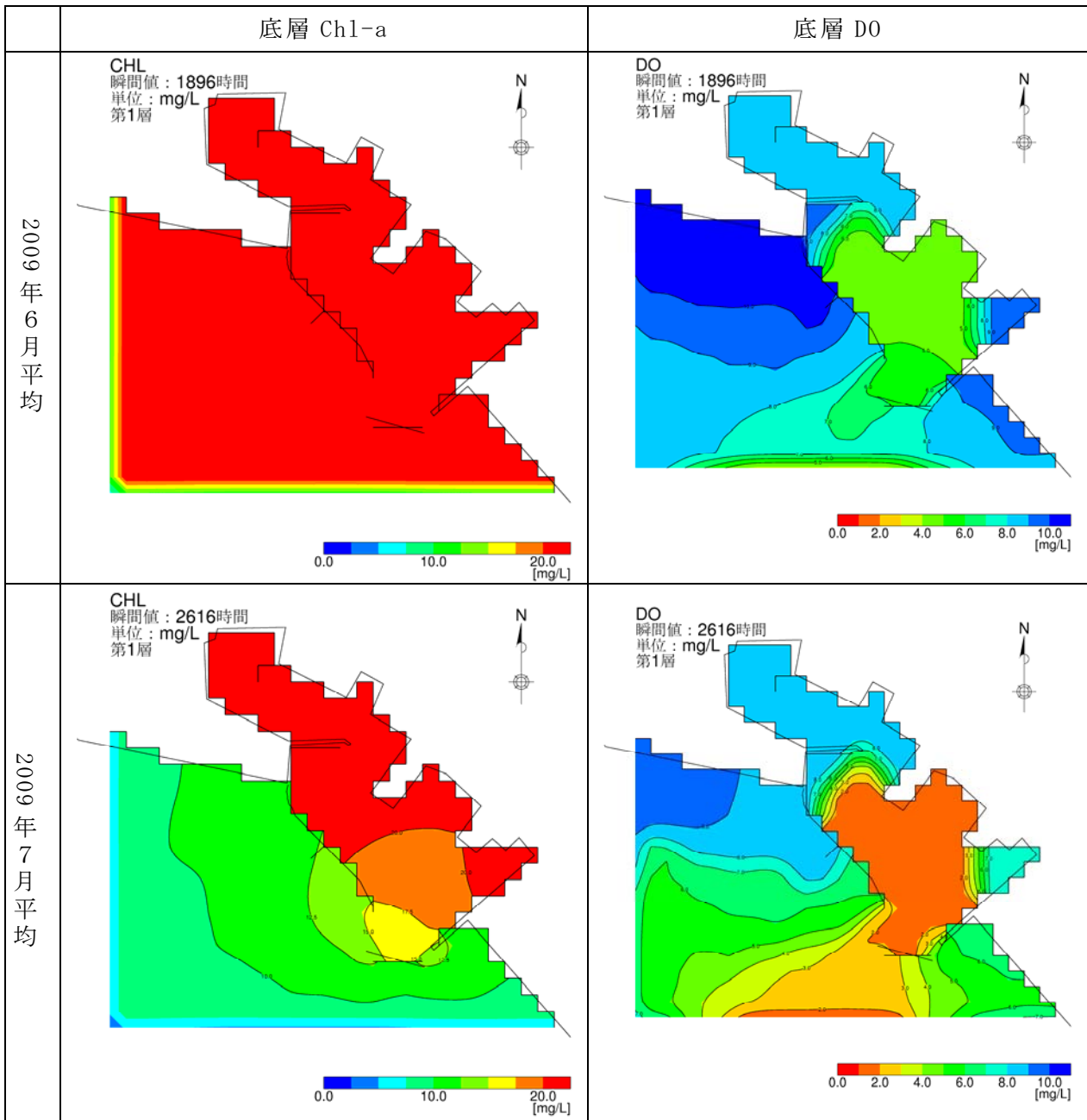


圖 1.2.41(1) 水質濃度分布 (底層 Chl-a、底層 DO、小規模泊地)

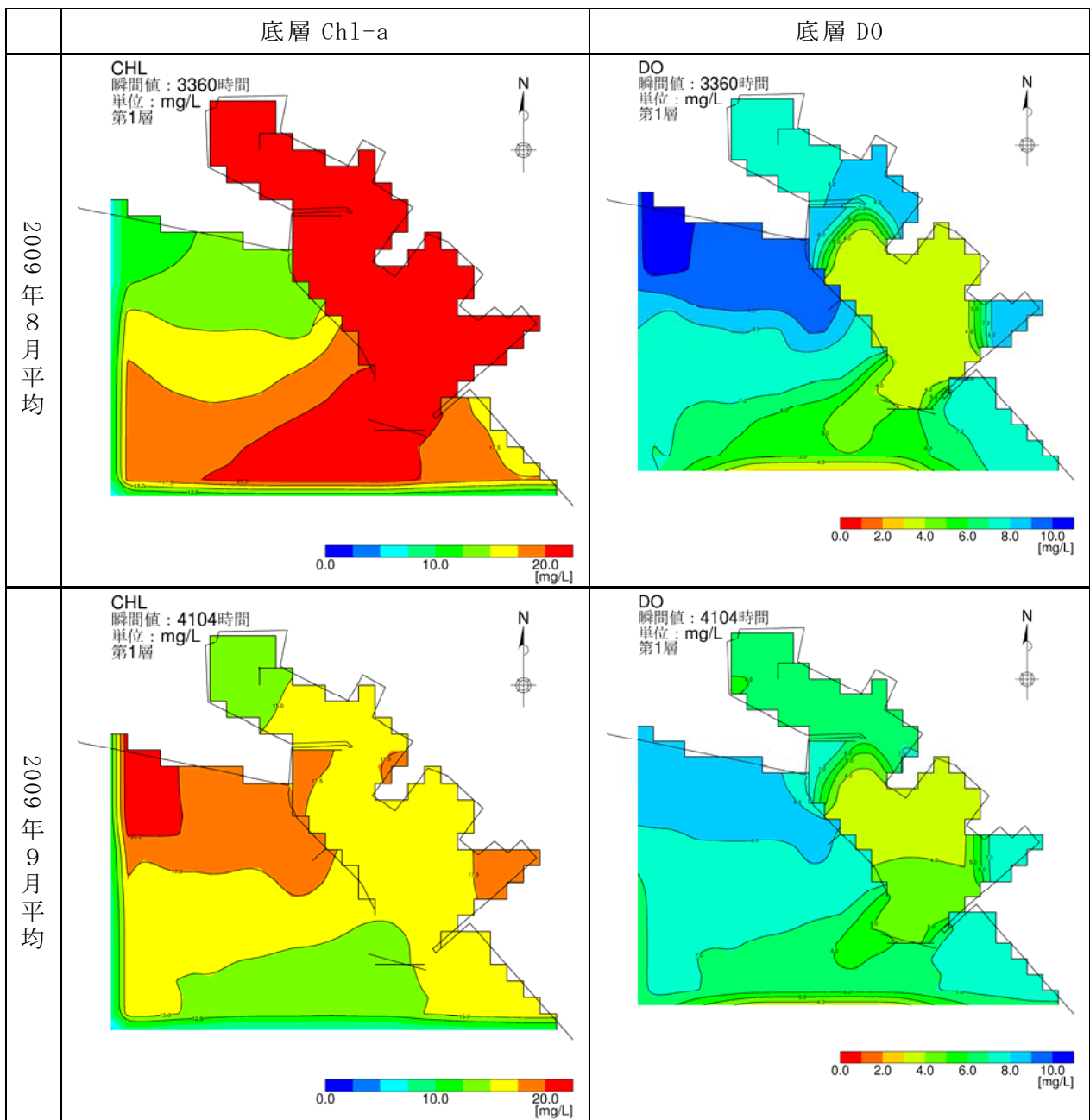


圖 1. 2. 41(2) 水質濃度分布 (底層 Chl-a、底層 DO、小規模泊地)

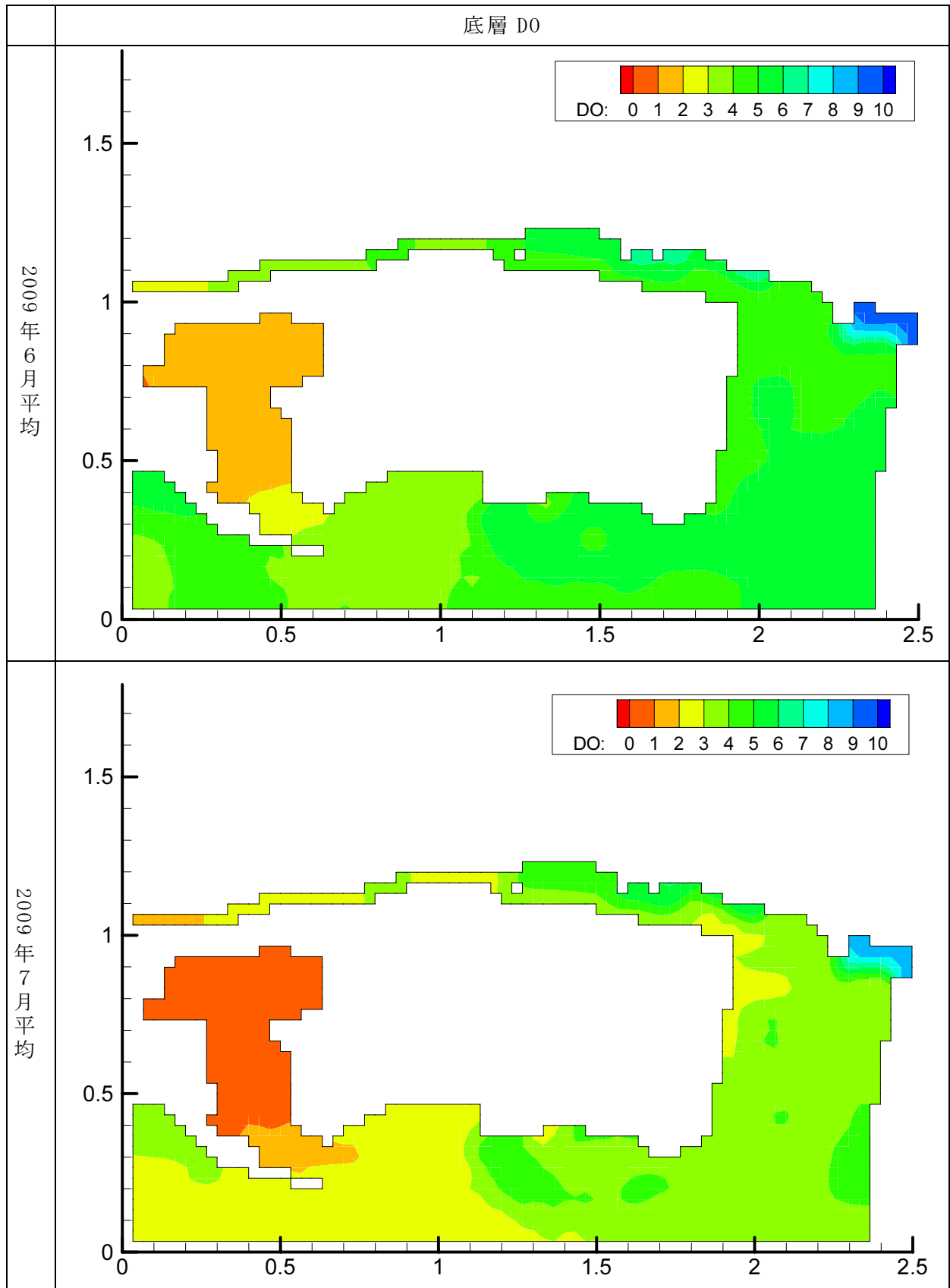


图 1.2.42(1) 水质浓度分布 (底层 D0、入江)

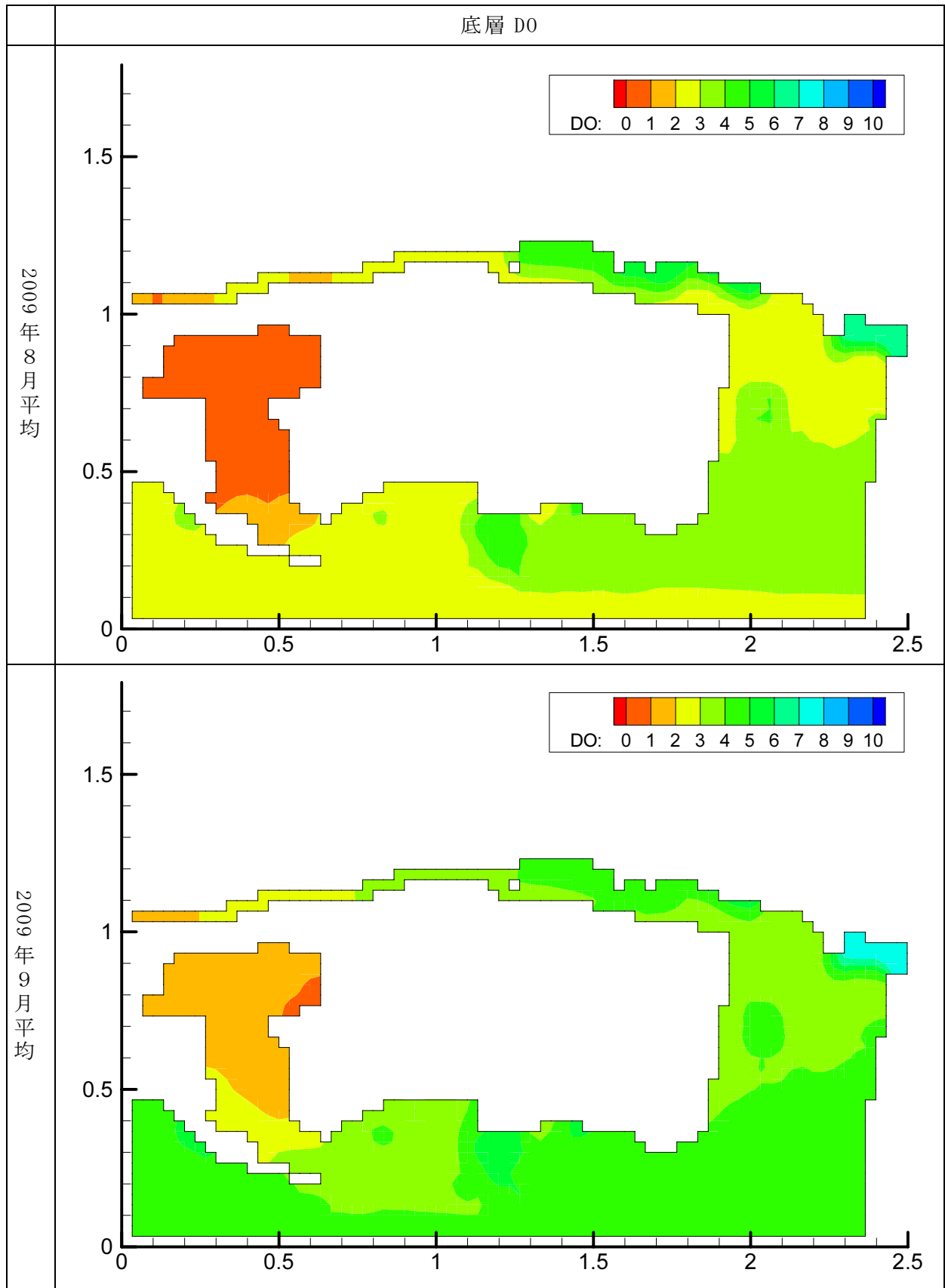
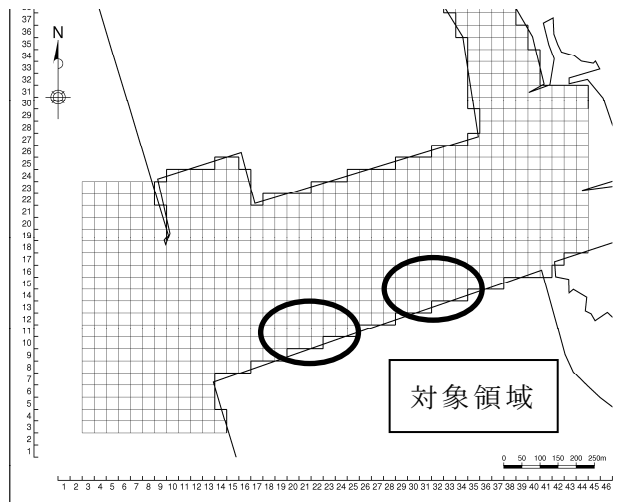


图 1.2.42(2) 水质浓度分布 (底层 D0、入江)

2) 精密検査結果

数値シミュレーションを用いて、現在の状況を再現した計算結果を用いて精密検査を実施した。精密検査の結果については、三河湾の不健康さを示す貧酸素化の一因である懸濁態有機物の収支と底生生物の生息を困難にする硫化水素（計算項目は酸素消費物質（ODU））に着目して整理を行った。具体的には、窪地と大規模泊地については ODU について、小規模泊地と入江については、懸濁態有機物（窒素）の収支、検査結果を示した。

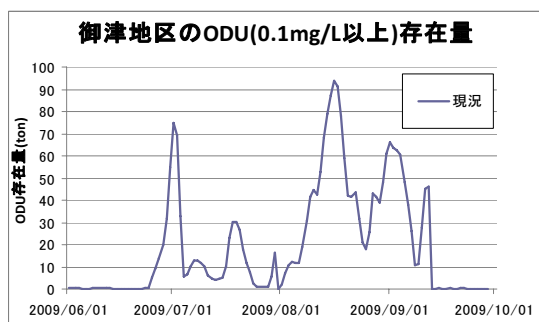
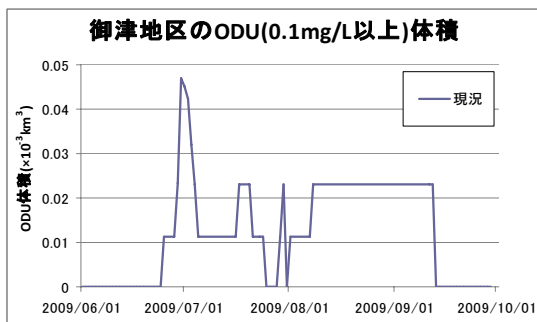
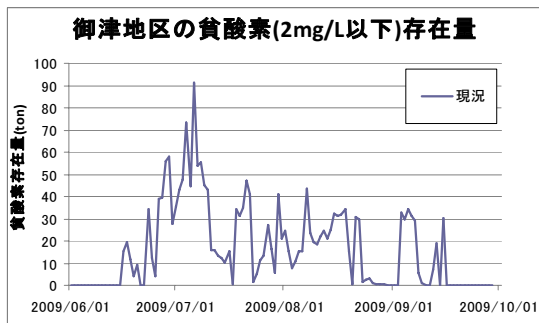
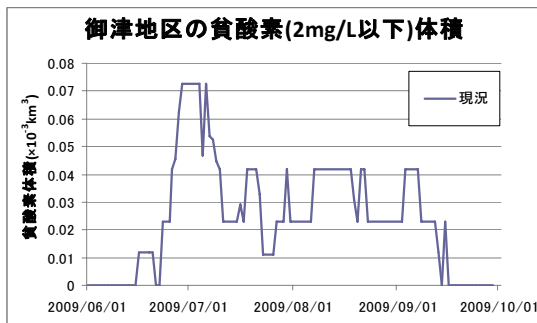
窪地（御津地区）



症状

- ・ 夏季に窪地内が貧酸素化するとともに底生生物現存量がゼロになる
- ・ 夏季に窪地内に硫化水素が蓄積され、周辺海域に対して脅威となる

精密検査結果（貧酸素および酸素消費物質（ODU）の体積と存在量）

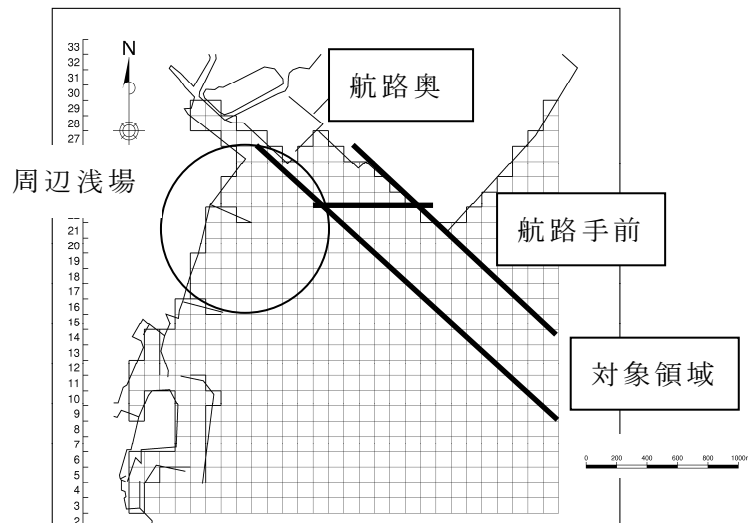


- ・ 最大で 72,000m³ の貧酸素水塊、47,000m³ の ODU が窪地内に蓄積されている。
- ・ 6 月下旬から 9 月中旬までほぼ間断なく貧酸素水と ODU が窪地内に存在している。

診断結果

- ・ 成層が強まり鉛直循環流が弱まる夏季に窪地内の海水交換は低下し、その結果、貧酸素化し、硫化水素を含む酸素消費物質（ODU）が蓄積されるようになる。

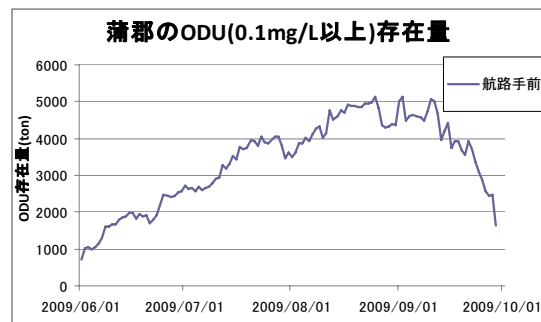
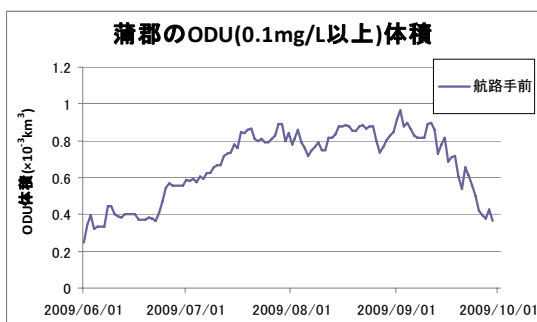
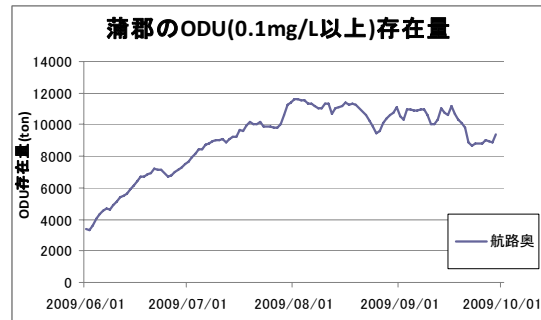
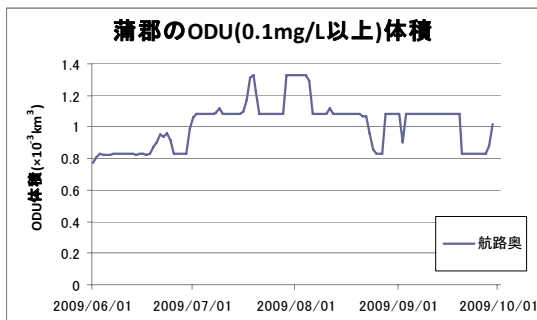
大規模泊地（蒲郡港）



症状

- ・ 夏季に航路内が貧酸素化するとともに底生生物現存量がゼロになる
- ・ 夏季に航路内に硫化水素が発生し、それが周辺海域にあふれ出すことにより、周辺海域の底生生物も死滅させる

精密検査結果（酸素消費物質（ODU）の体積と存在量）

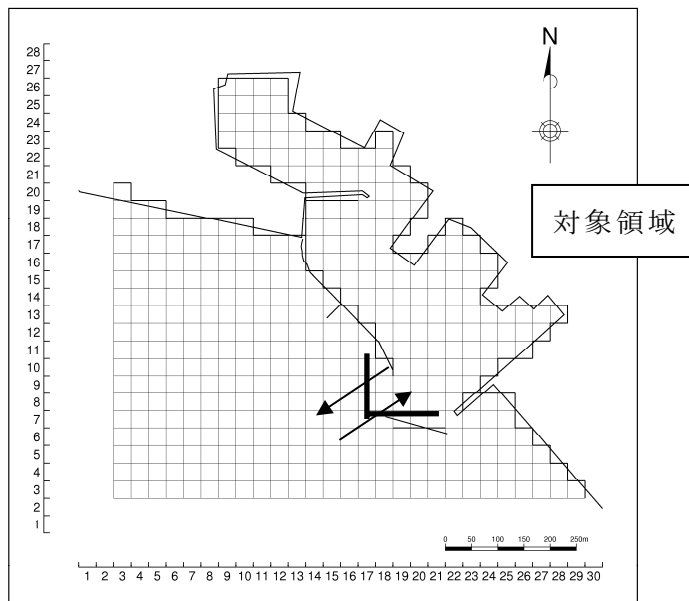


- ・ 最大で 2,300,000 m^3 の ODU が窪地内に蓄積されている。
- ・ 6～9月に周辺浅場に流出する ODU の合計は 1,081kg であった。

診断結果

- ・ 航路奥で恒常的に ODU が存在し、6月から8月にかけて存在量が増加して（濃度が高くなって）いる。また航路奥から周辺浅場へ ODU があふれだしていた。

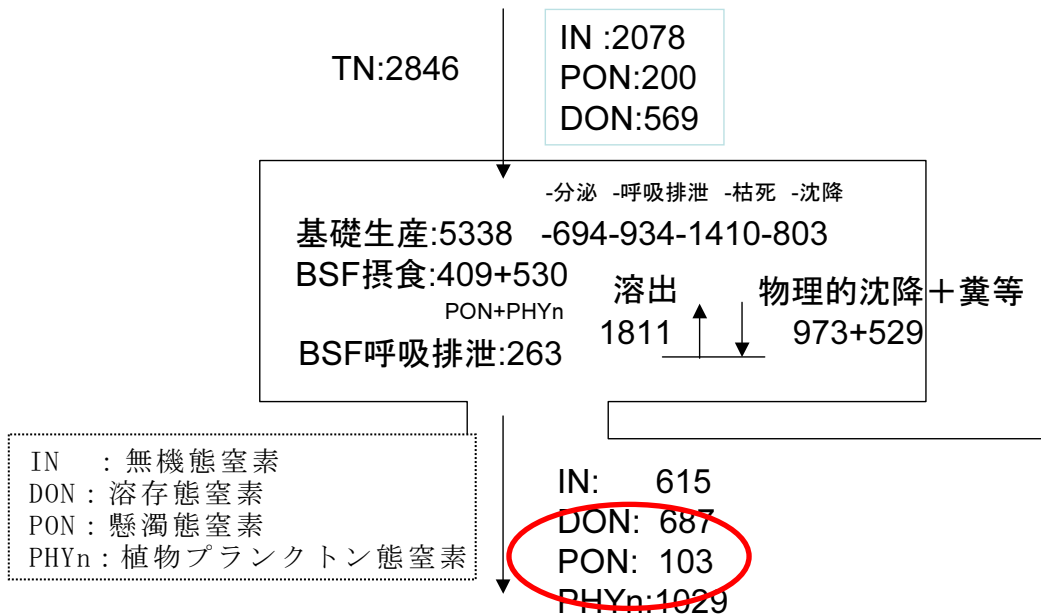
小規模泊地（三谷漁港）



症状

- ・夏季に底層が貧酸素化するとともに底生生物現存量が減少

精密検査結果（6～9月の窒素収支、単位：kgN）

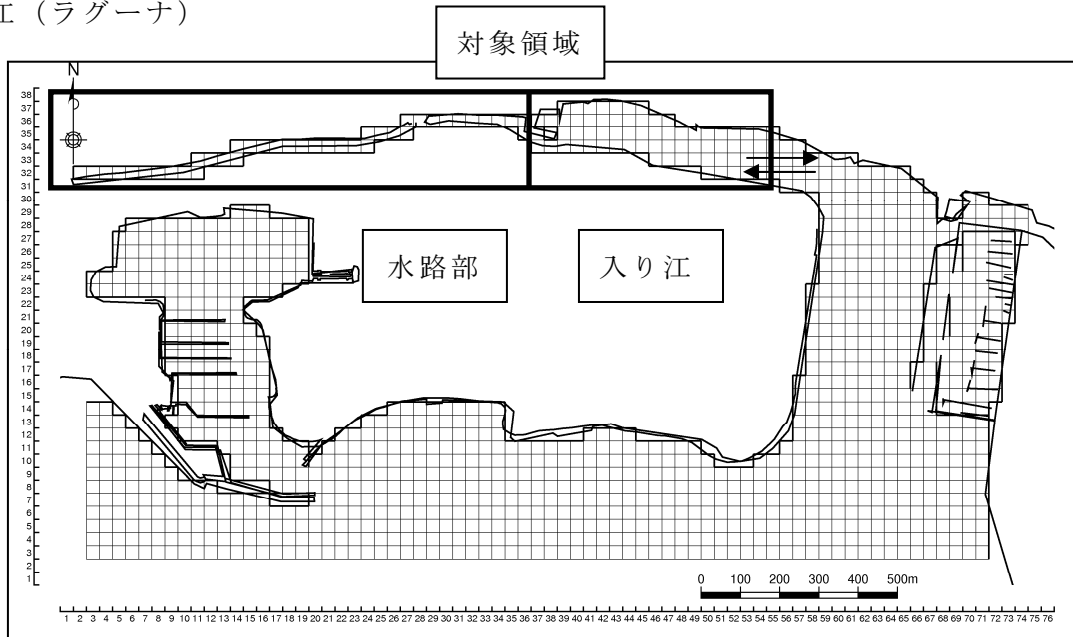


- ・夏季に1132kgN(103+1029)の懸濁態有機窒素負荷を周辺海域に与えている。

診断結果

- ・流れが遅く水が停滞しやすいため植物プランクトン濃度が高くなり、それらが沈降・分解することにより底層水が貧酸素化しやすい。
- ・夏季は堆積傾向が見られ、底質が悪化しやすい。

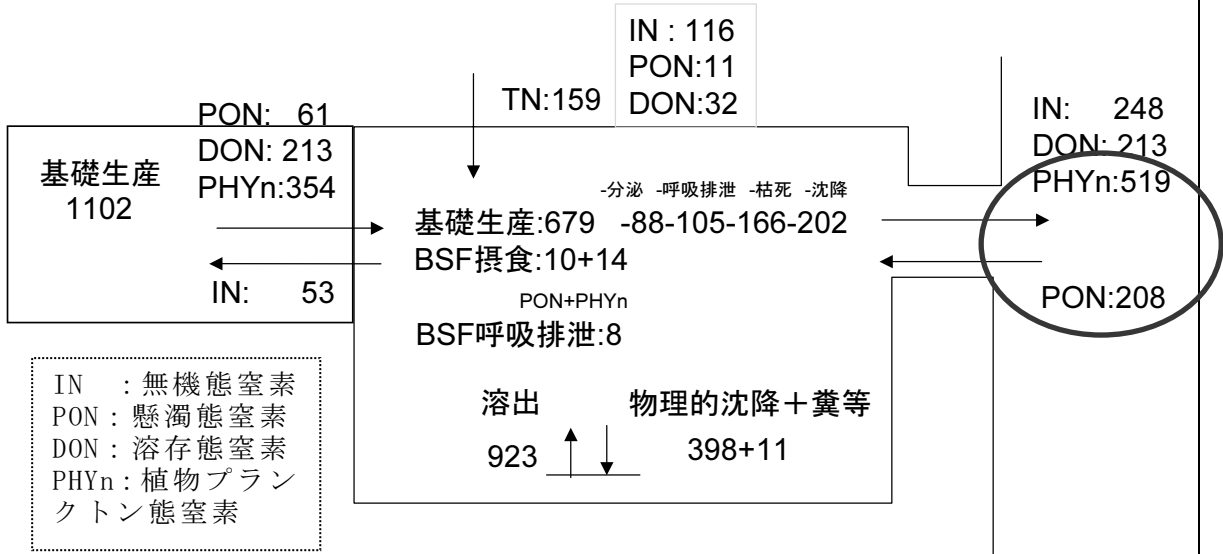
入江（ラグーナ）



症状

- ・ 夏季に底層が貧酸素化するとともに底生生物現存量が減少
- ・ 貧酸素化解消後も底生生物の加入が少ない

精密検査結果（6～9月の窒素収支、単位：kgN）



- ・ 夏季に 311 kg N (519-208) の懸濁態有機窒素負荷を周辺海域に与えている。

診断結果

- ・ 流れが遅く水が停滞しやすい水路部で植物プランクトン濃度が高くなり、それらが沈降・分解することにより底層水が貧酸素化しやすい。
- ・ 水路部から高い濃度の植物プランクトンと貧酸素水が入り江に流入する。

2. 処方箋の効果試算

2.1 対象とした処方箋

精密検査によって得られた悪化メカニズムから、三河湾の改善施策による効果を推定し、処方箋の有効性を判定した。

検討対象としたデッドゾーン解消の方策（処方箋）を表 2.1.1 に示す。

表 2.1.1 デッドゾーンの解消方策に関する予測条件と評価の着目点

	窪地	大規模泊地	小規模泊地	入江
	御津地区	蒲郡港	三谷漁港	ラグーナ蒲郡
悪化メカニズム	海水交換の低下に伴う貧酸素水および酸素消費物質（ODU）の蓄積	貧酸素水および酸素消費物質（ODU）の蓄積と周辺浅場への ODU の流出	海水交換の低下に伴う高い基礎生産とその沈降・分解に伴う貧酸素化	海水交換の低下に伴う高い基礎生産とその沈降・分解に伴う貧酸素化
精密検査結果	最大で 47,000m ³ の ODU が窪地内に蓄積されている	最大で 2.3×10 ³ km ³ の ODU が窪地内に蓄積されている。周辺浅場へ流出する ODU は 1,081kg。	夏季に 1132kgN の懸濁態有機窒素を周辺海域に負荷	夏季に 311kgN の懸濁態有機窒素を周辺海域に負荷
処方箋	窪地の埋め戻し（周辺地盤高まで）	周辺浅場への貧酸素水流出防止を目的とした潜堤の設置（海面下 5m 以深）	懸濁態有機物の固定を目的とした泊地内浅場への二枚貝 5kg/m ² の添加	後背地の流動性の確保を目的とした開削（33.3m×100m）1m のかさ上げと二枚貝 1kg/m ² の添加

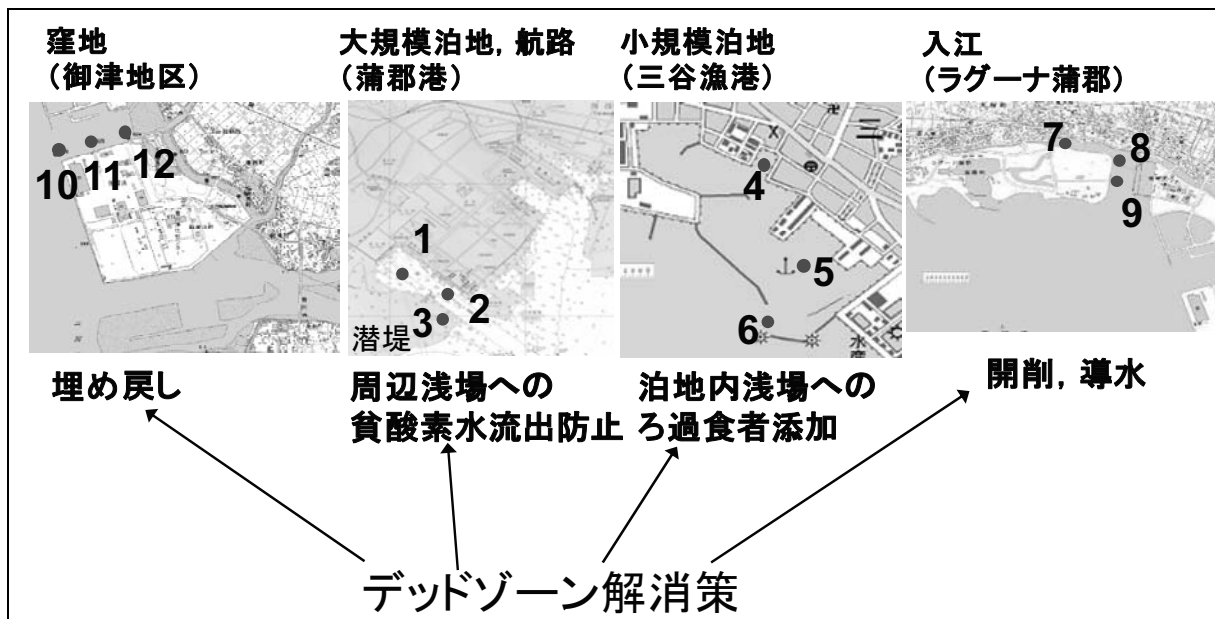


図 2.1.1 代表的なデッドゾーンとデッドゾーン解消策（処方箋）

2.2 処方箋による効果の推定検証

デッドゾーンを処方箋によって改善した場合の水質環境についてシミュレーションモデルを用いて計算し、その結果と底生生物群集予測（別添資料）により計算された生物生息量の増加予測値を用いて処方箋によるデッドゾーン改善の効果について推定した。

2.2.1 予測条件

(1) 大規模泊地（蒲郡港）

大規模泊地への処方箋は、周辺浅場への貧酸素水流出防止を目的とした潜堤の設置である。

潜堤の設置位置については、蒲郡港の航路から周辺浅場への貧酸素水流出防止を図るため、図 2.2.1 に示す位置に潜堤を設置した条件を予測条件とした。潜堤は海面下 5m よりも深い場所に設置するとし、第 5 層よりも下層側では潜堤を横切る流れは生じないとしている。

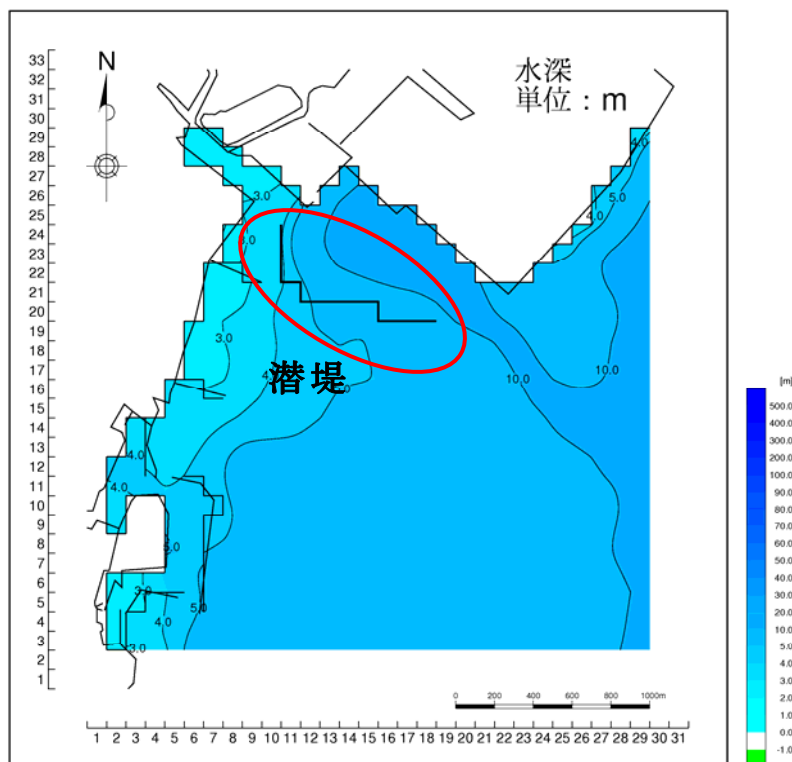


図 2.2.1 大規模泊地（蒲郡港）への処方箋（潜堤の設置）

(2) 窪地（御津地区）

窪地への処方箋は、窪地の埋め戻しである。窪地の位置および埋め戻し後の地形条件を図 2.2.2 に示す。

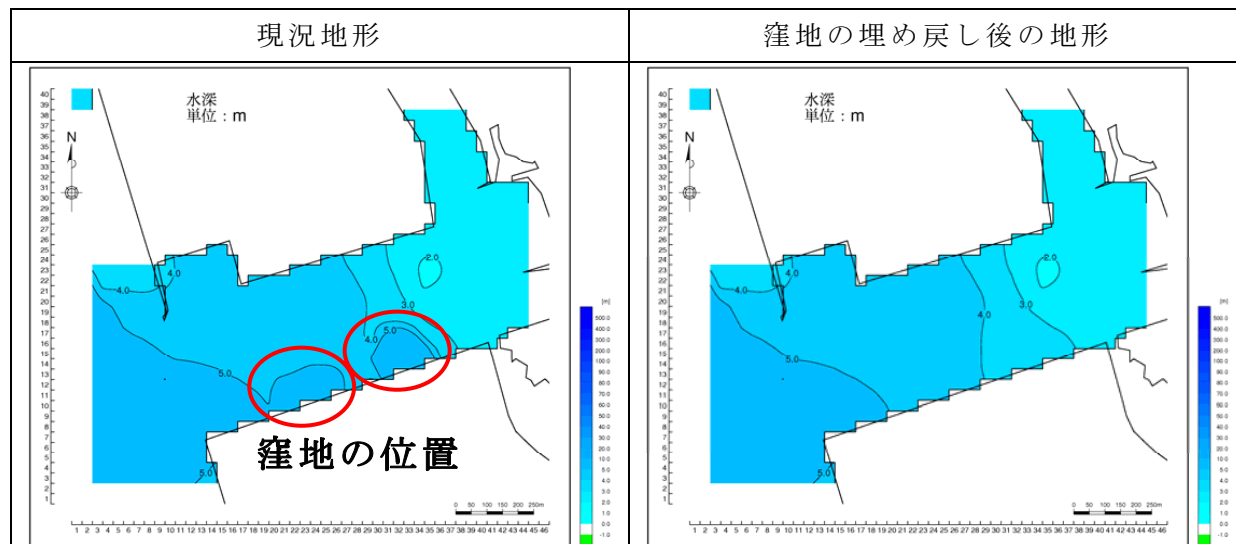


図 2.2.2 窪地（御津地区）への処方箋（窪地の埋め戻し）

(3) 小規模泊地（三谷漁港）

小規模泊地への処方箋は、泊地内浅場へのろ過摂食者の添加である。

(4) 入江（ラグーナ蒲郡）

入江への処方箋は、後背地の流動性の確保と目的とした開削、導水である。開削場所は図 2.2.3 に示す位置とし、ラグーナ蒲郡の後背地へ導水されるようにし、流動性を増加させるものである。さらに、開削後の入り江にろ過摂食者の添加を行う。

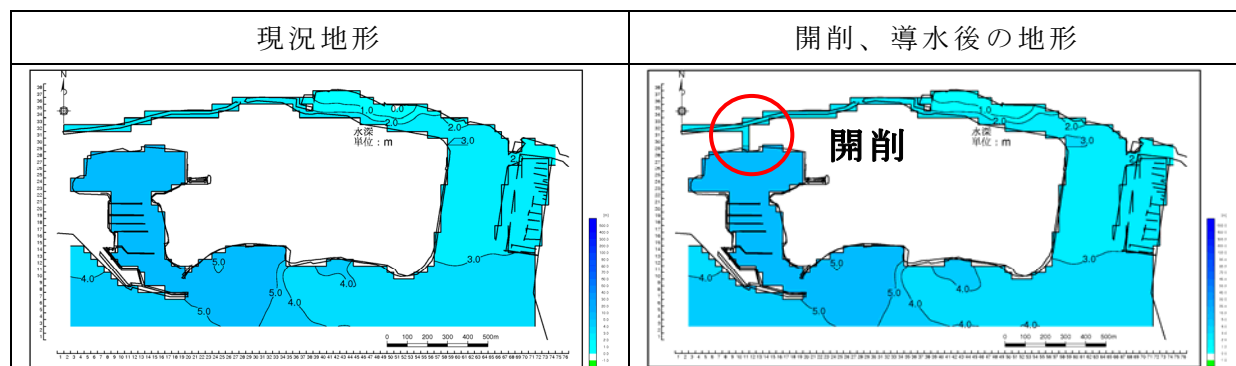


図 2.2.3 入江（ラグーナ蒲郡）への処方箋（開削、導水）

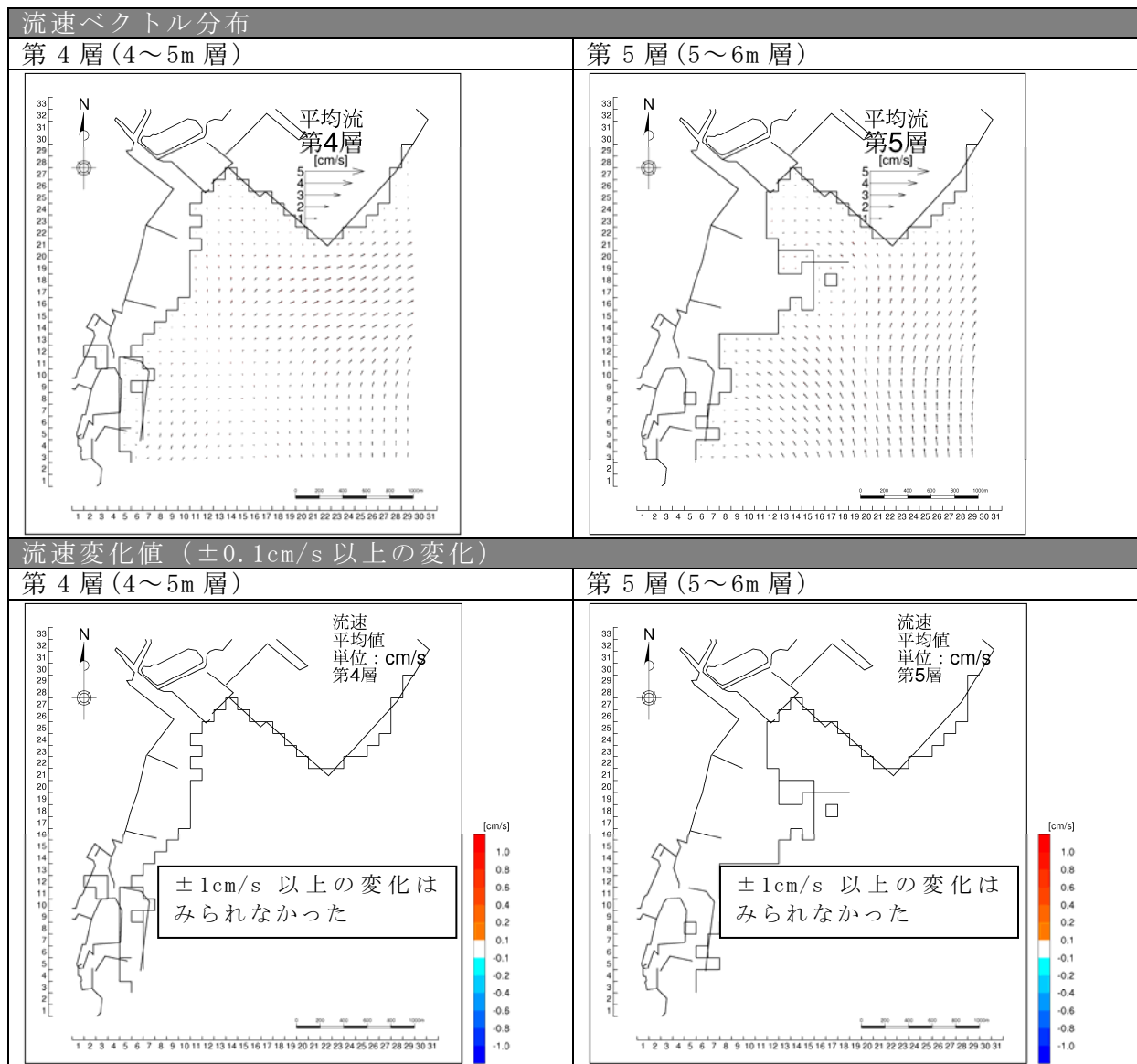
2.2.2 流動変化予測

処方箋による効果を確認するため、前述の予測条件を考慮した計算を実施した。ここでは、地形条件として考慮した大規模泊地（蒲郡港）、窪地（御津地区）、入江（ラグーナ蒲郡）の結果について以下に示す。

(1) 大規模泊地（蒲郡港）

処方箋として考慮した潜堤の設置による流速の変化を把握するため、月平均流速について現況との変化を求めた。流れの変化の状況について、代表として2009年5月平均の第4層および第5層における流速の流速ベクトルと流速変化値の分布を図2.2.4に示す。

この結果をみると、潜堤を設置した周辺での流向および流速に明瞭な変化はみられておらず、流速の変化は $\pm 0.1\text{cm/s}$ 未満となっている。



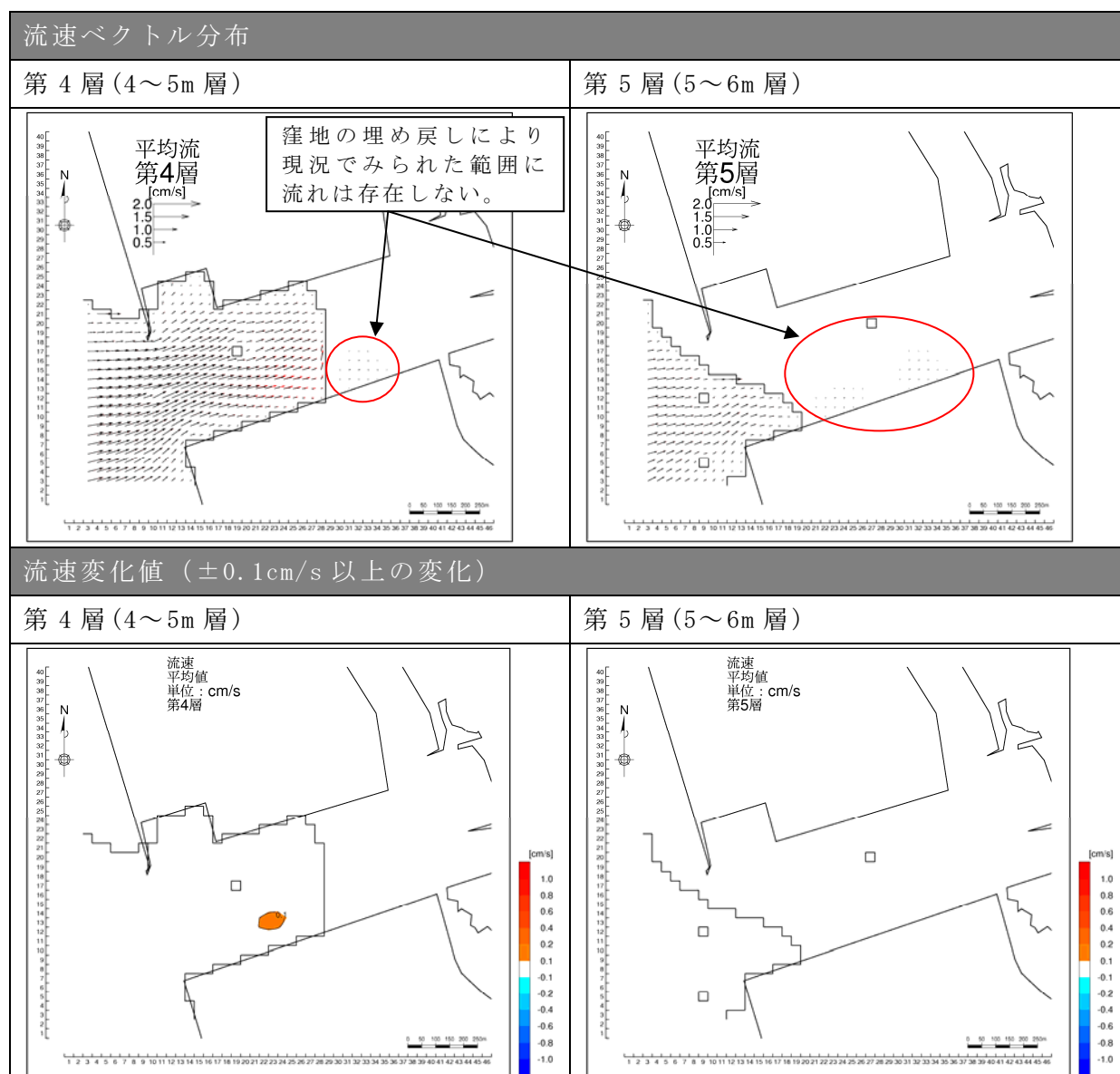
注) 流速ベクトルの黒は現況、赤は予測結果を表しており、流向に変化が生じている場合は、赤い流速ベクトルが表示されている。

図 2.2.4 大規模泊地（蒲郡港）への処方箋による流れの変化
(2009年5月の平均流)

(2) 窪地（御津地区）

処方箋として考慮した窪地の埋め戻しによる流速の変化を把握するため、月平均流速について現況との変化を求めた。流れの変化の状況について、代表として2009年5月平均の第4層および第5層における流速の流速ベクトルと流速変化値の分布を図2.2.5に示す。

この結果をみると、埋め戻され場合に周囲と遮断された窪地がなくなり、埋め戻しを行った窪地の上層側で流速の変化があり、第4層(4~5m)で0.1cm/s程度の流速の増加域が局所的にみられている。



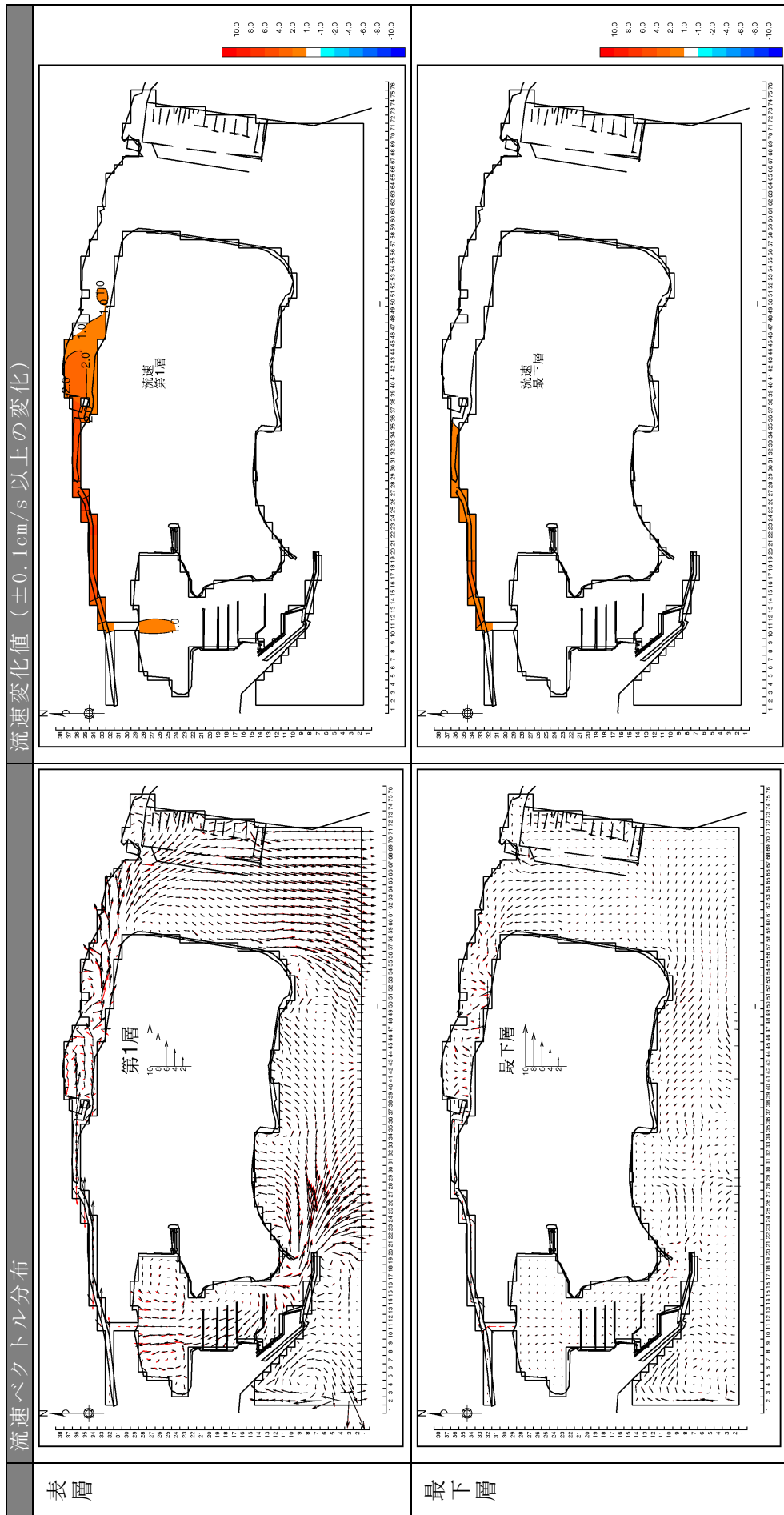
注) 流速ベクトルの黒は現況、赤は予測結果を表しており、流向に変化が生じている場合は、赤い流速ベクトルが表示されている。

図 2.2.5 窪地（御津地区）への処方箋による流れの変化
(2009年5月の平均流)

(3)入江（ラグーナ蒲郡）

処方箋として考慮した開削、導水による流速の変化を把握するため、月平均流速について現況との変化を求めた。流れの変化の状況について、代表として2009年7月～9月の表層および最下層における流速ベクトルと流速変化値の分布を図2.2.6に示す。

この結果をみると、1cm/s以上の流速の変化がラグーナ蒲郡奥部の水路部分とマリーナでみられている。また、流速の変化は、表層の方が広い範囲に及んでおり、開削・導水によって、マリーナ内やラグーナ蒲郡奥部の水路で流速の増大と流向の変化がみられている。



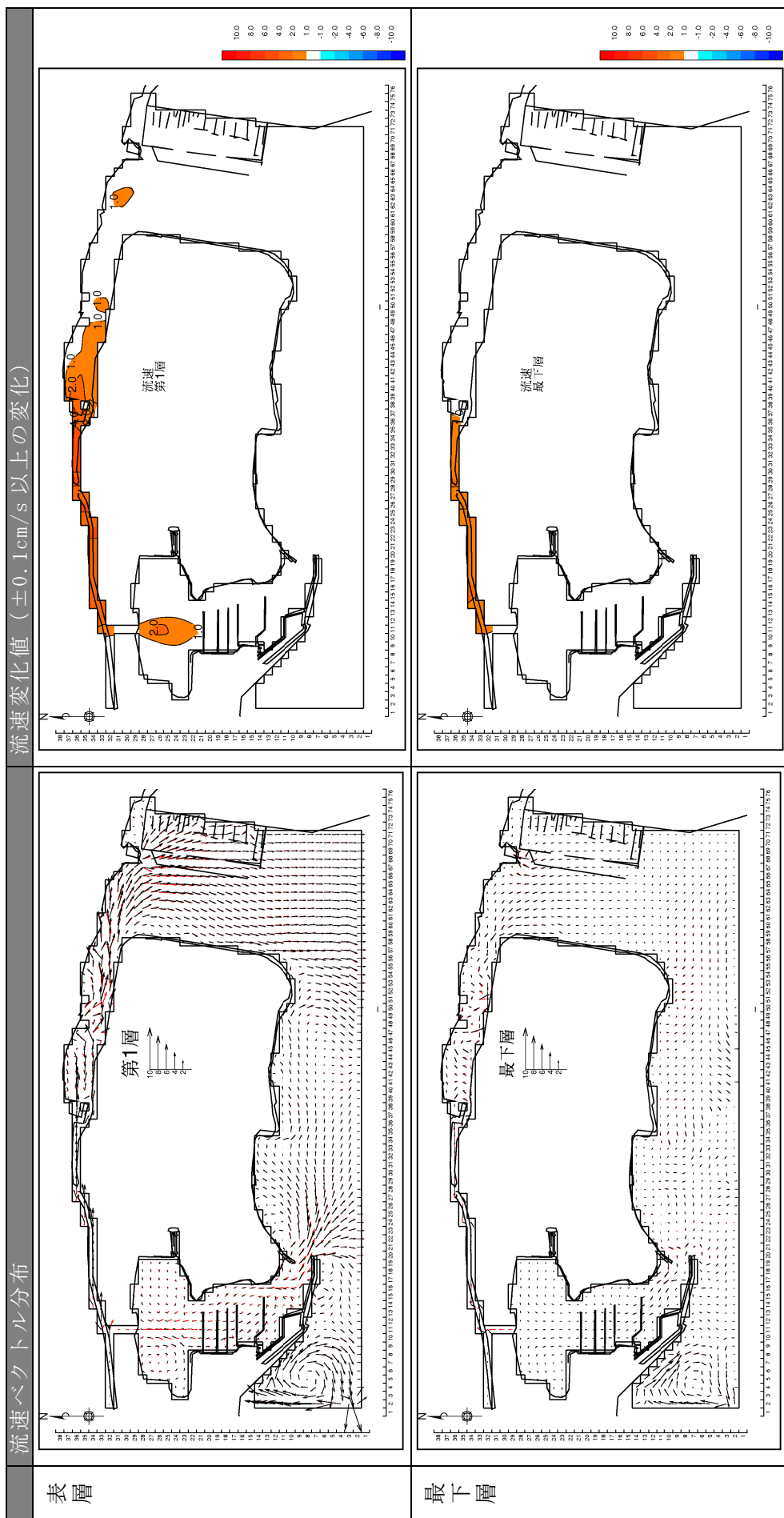
注) 流速ベクトルの黒は現況、赤は予測結果を表しており、流向に変化が生じている場合は、赤い流速ベクトルが表示されている。

図 2.2.6(1) 入江 (ラグーナ蒲郡) への処方箋による流れの変化 (2009 年 7 月の平均流)



注) 流速ベクトルの黒は現況、赤は予測結果を表しており、流向に変化が生じている場合は、赤い流速ベクトルが表示されている。

図 2.2.6(2) 入江 (ラグーナ蒲郡) への処方箋による流れの変化 (2009 年 8 月の平均流)



注) 流速ベクトルの黒は現況、赤は予測結果を表しており、流向に変化が生じている場合は、赤い流速ベクトルが表示されている。

図 2.2.6(3) 入江 (ラグーナ蒲郡) への処方箋による流れの変化 (2009 年 9 月の平均流)

2.2.3 水質変化予測

1) 水質濃度分布

対策時の効果をみるために、各領域の現状と対策時における底層 DO 濃度、ODU もしくはクロロフィル a 濃度の分布を示す。表示項目は、解消をめざす水質項目とした。

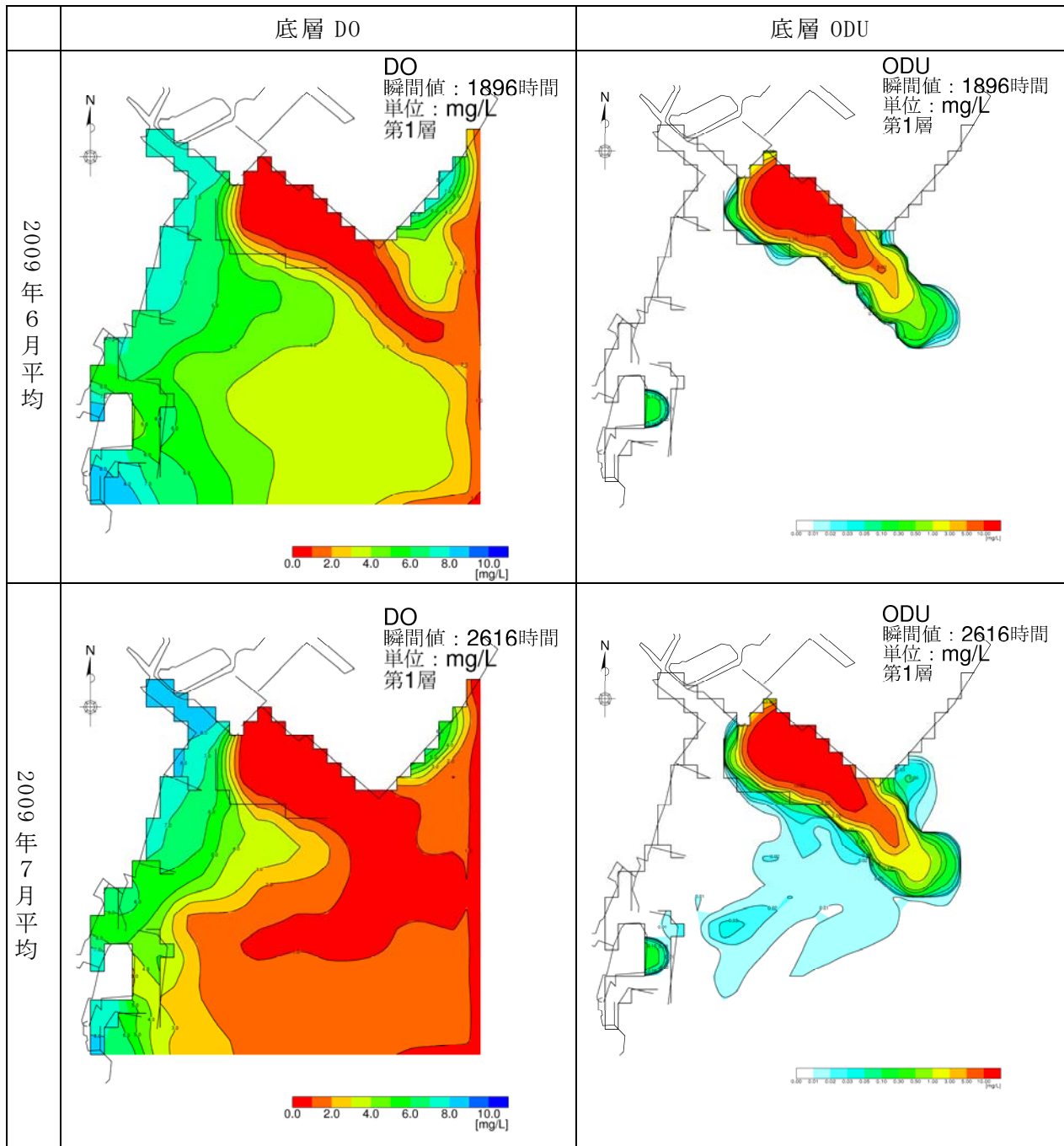


図 2.2.7(1) 水質濃度分布（底層 DO、底層 ODU、大規模泊地）

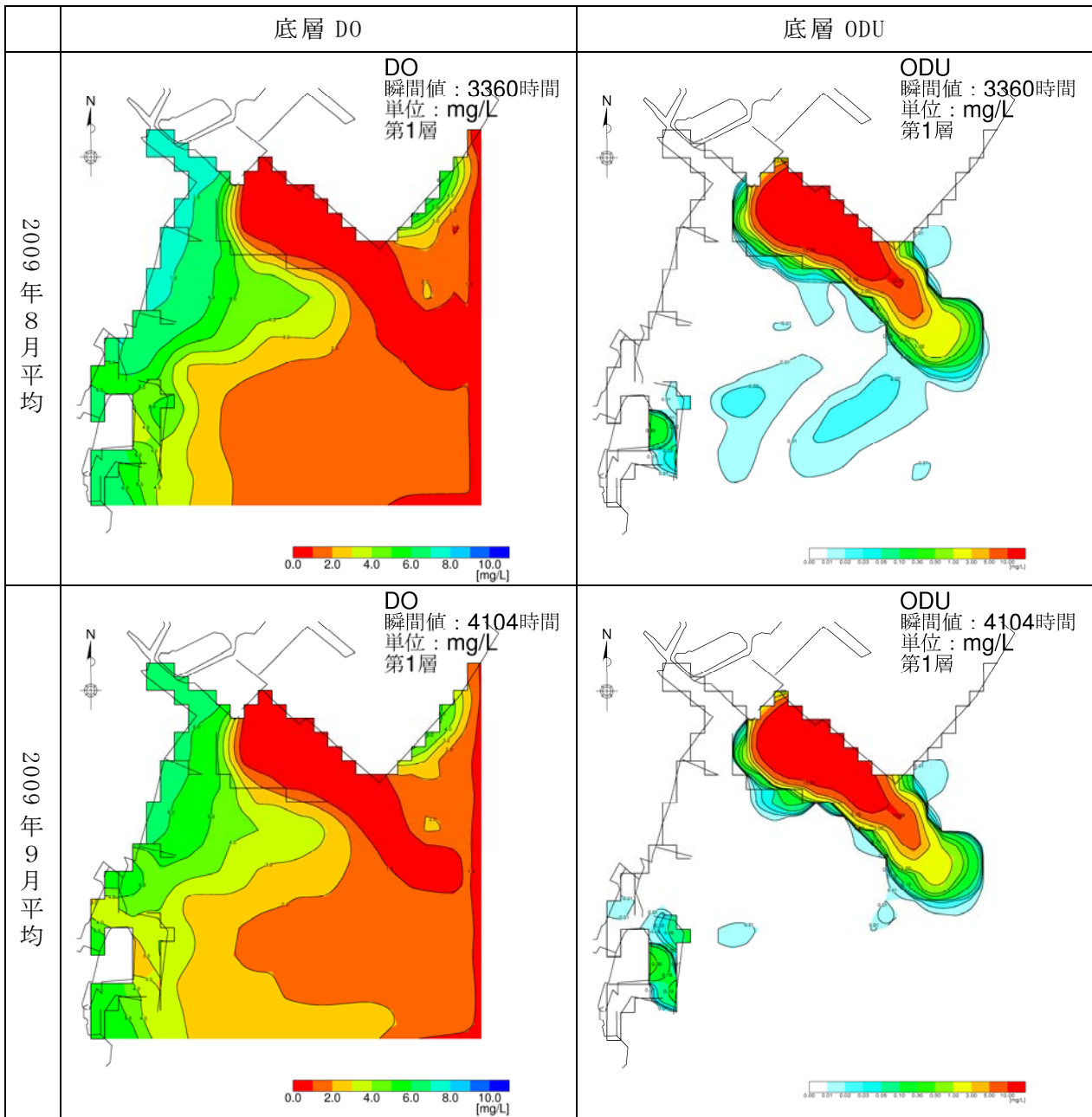


圖 2.2.7(2) 水質濃度分布 (底層 DO、大規模泊地)

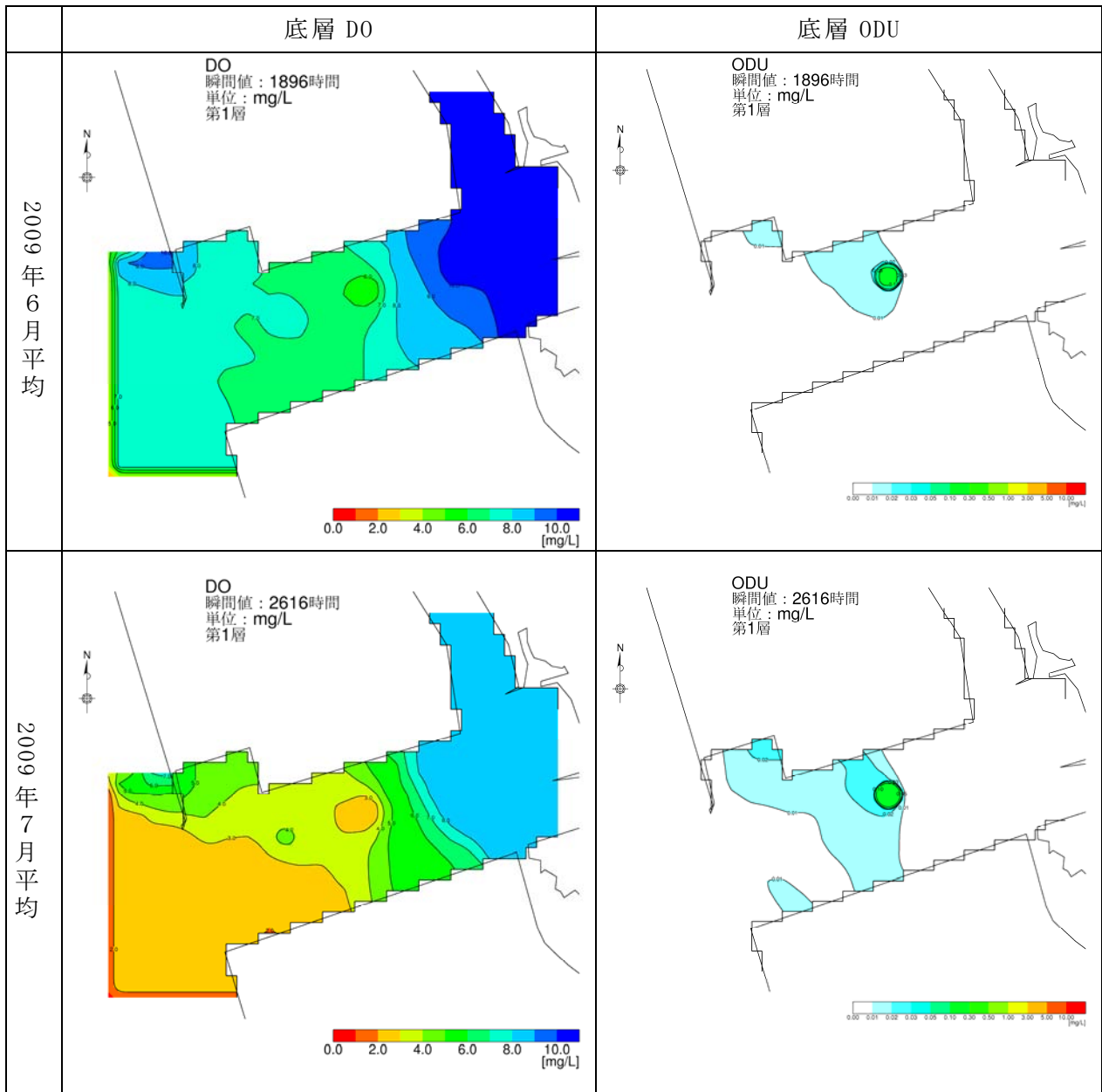


图 2.2.8(1) 水质浓度分布 (底层 DO、底层 Chl-a、窪地)

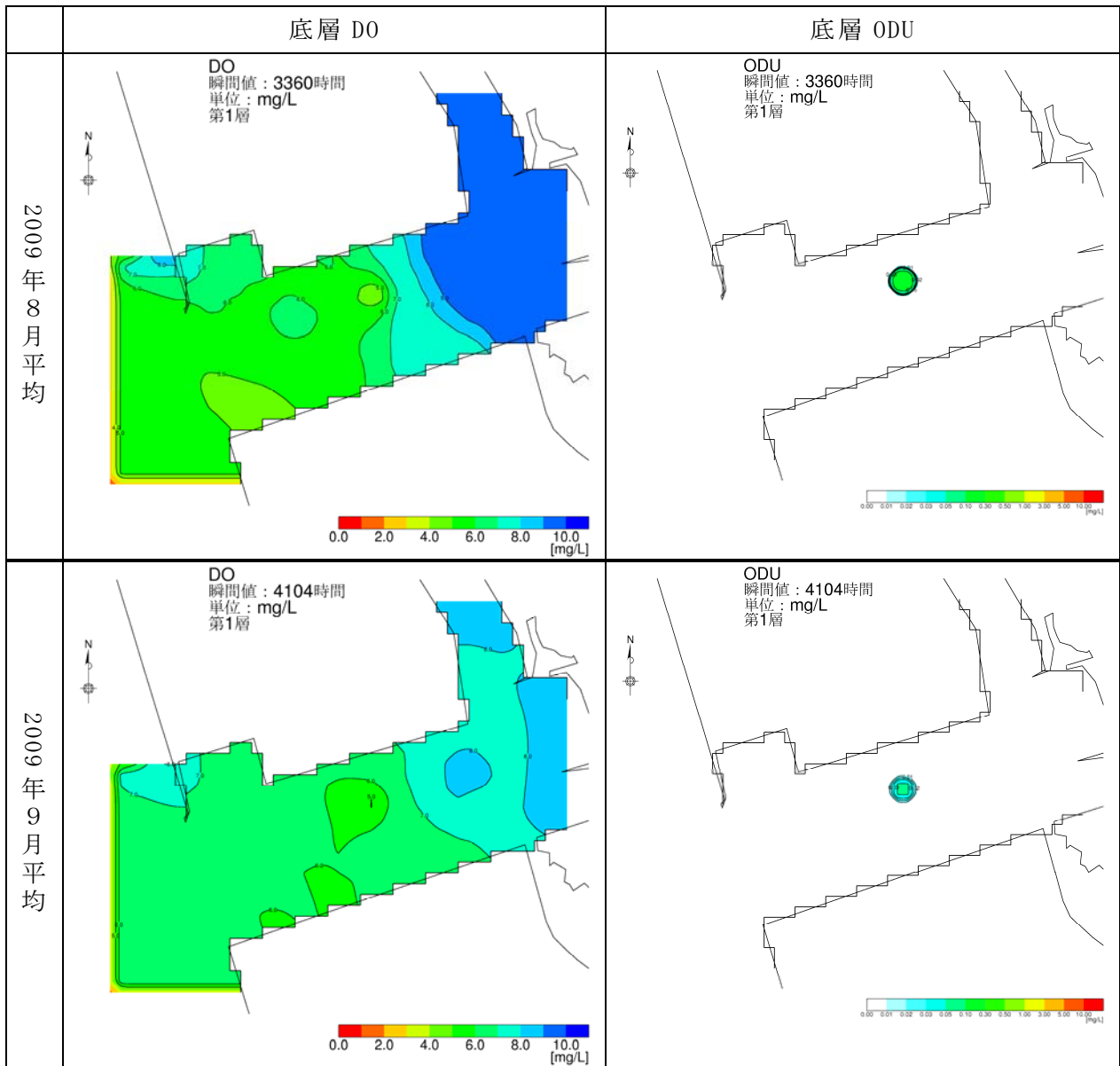


圖 2.2.8(2) 水質濃度分布 (底層 DO、窪地)

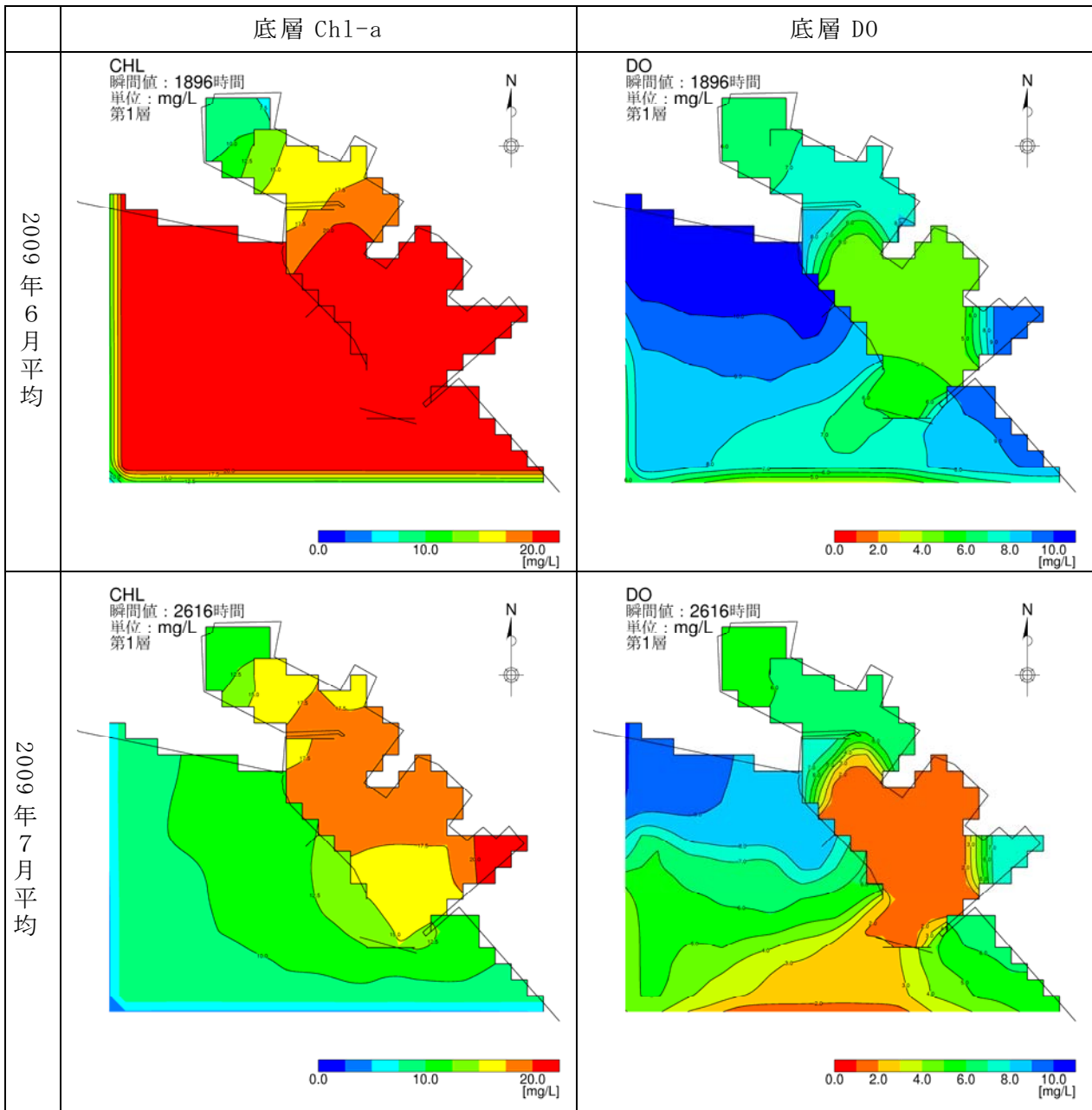


圖 2.2.9(1) 水質濃度分布 (底層 Chl-a、底層 DO、小規模泊地)

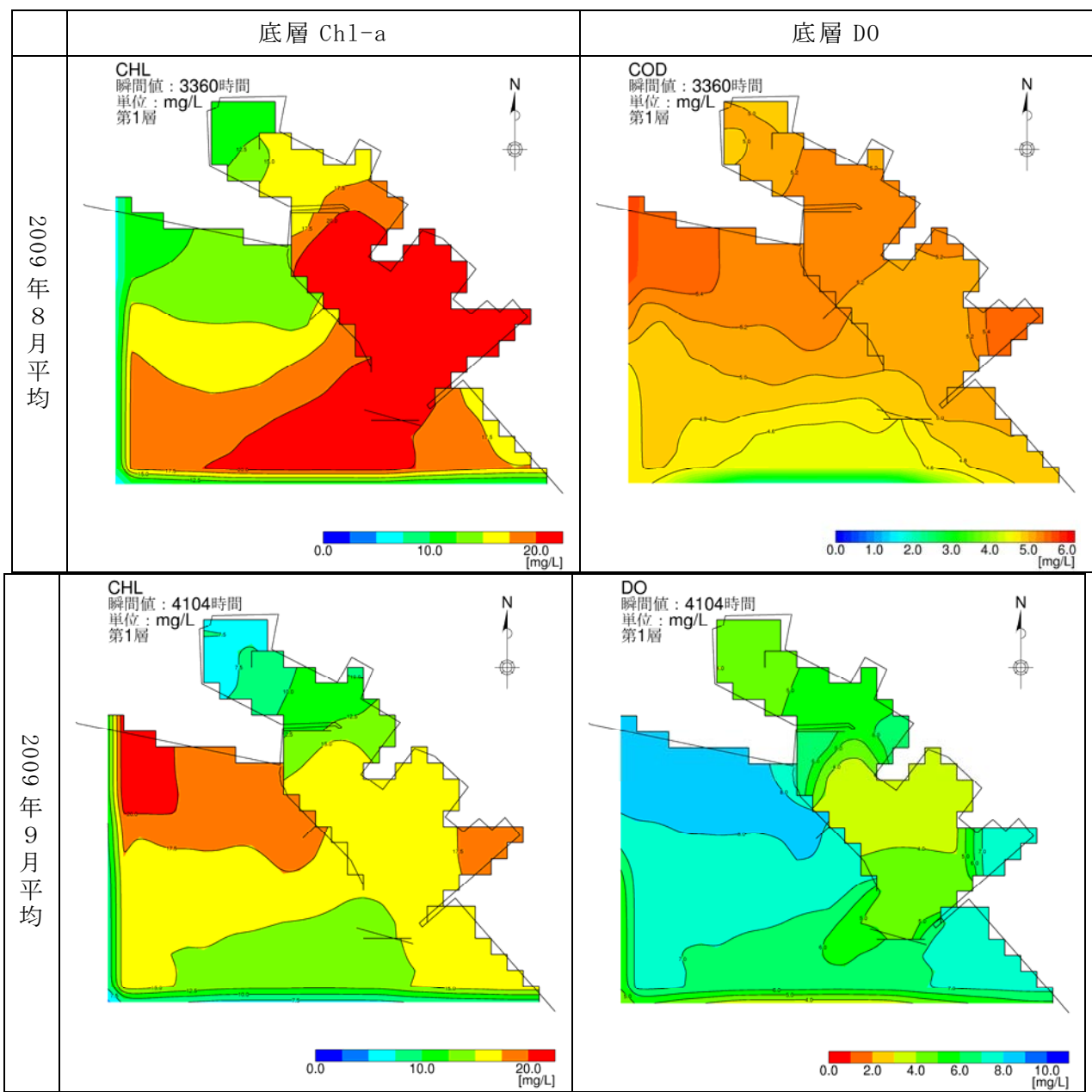


圖 2.2.9(2) 水質濃度分布 (底層 DO、底層 Chl-a、小規模泊地)

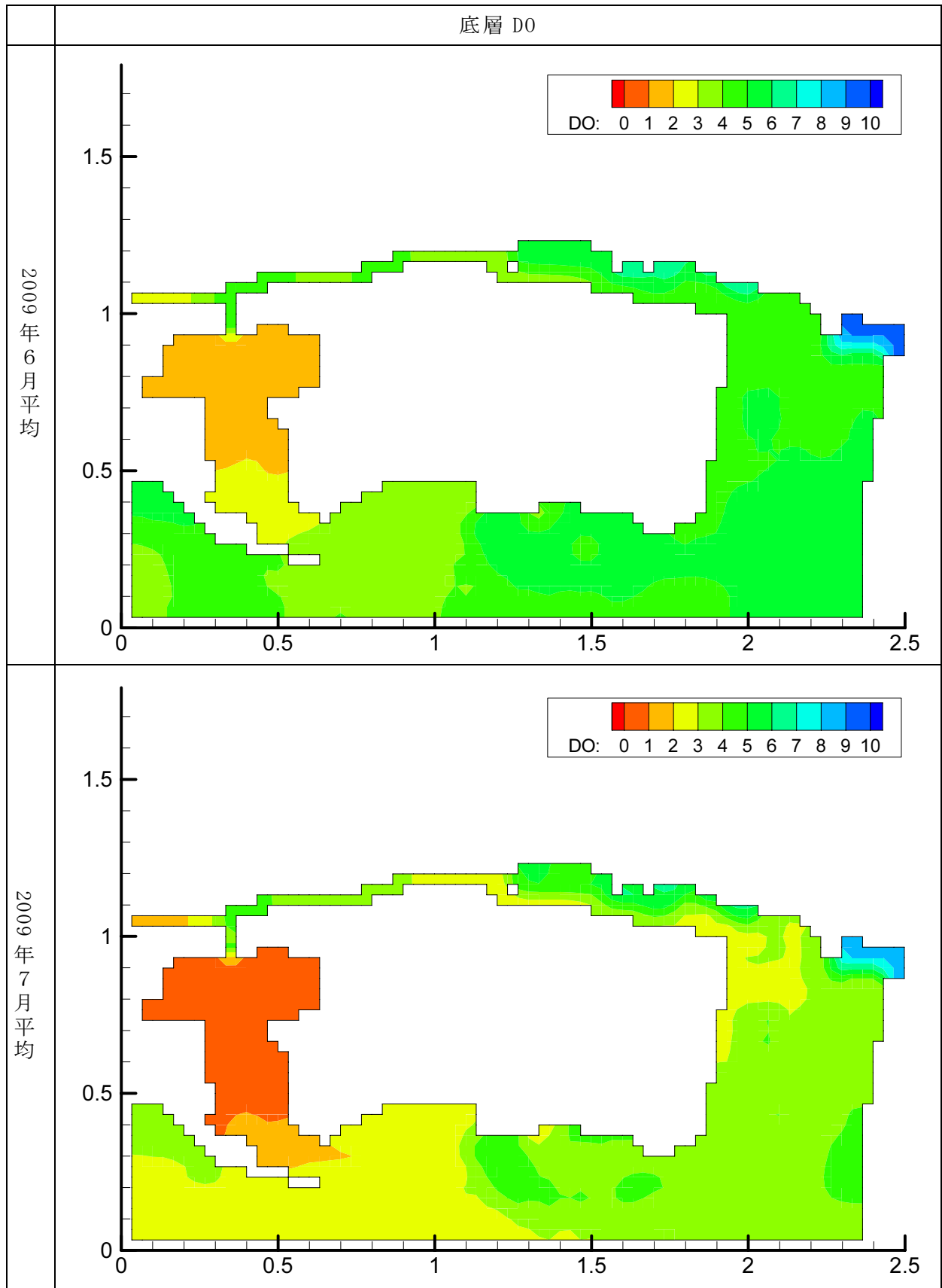


图 2.2.10(1) 水质浓度分布 (底层 DO、入江)

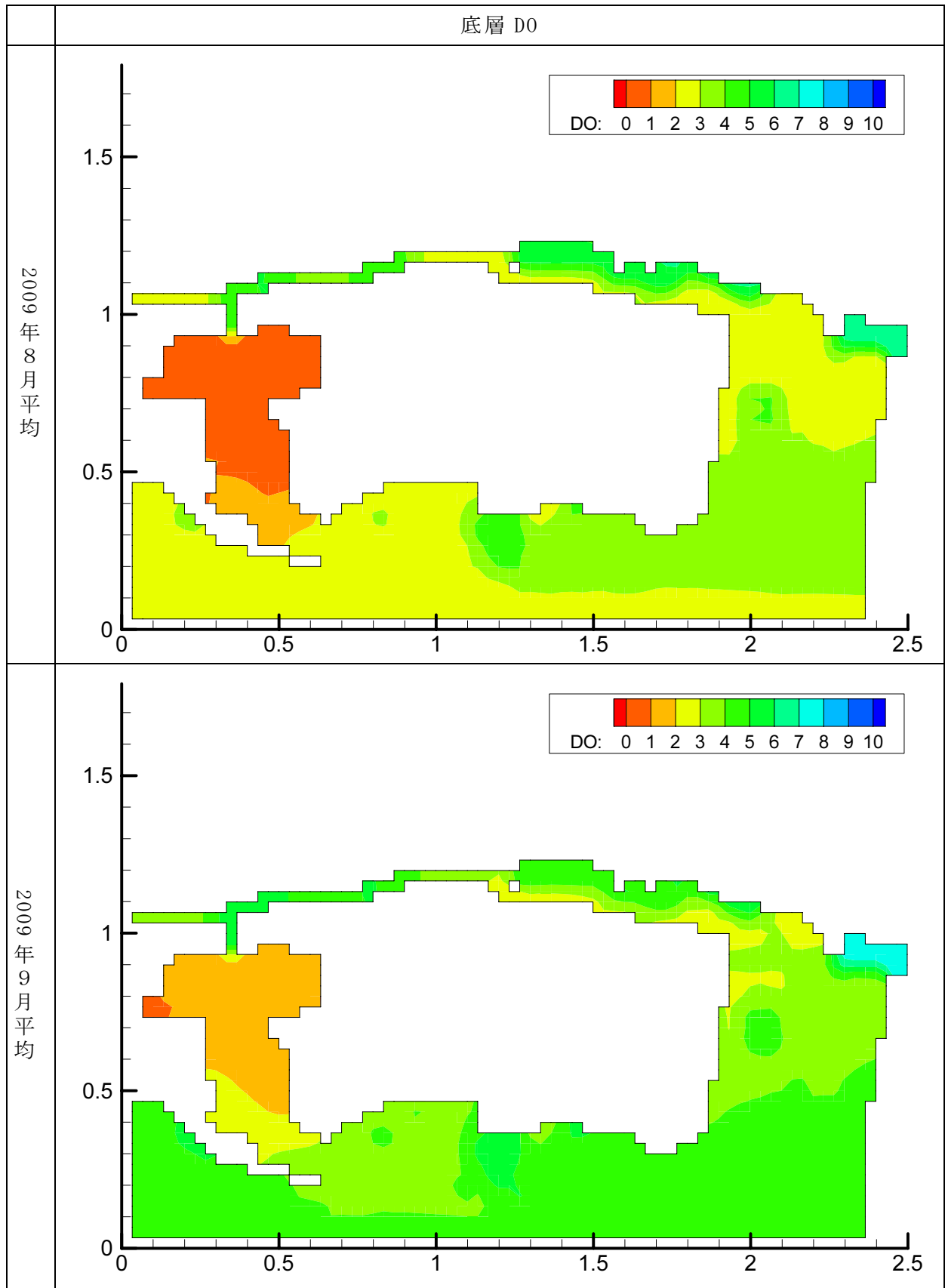
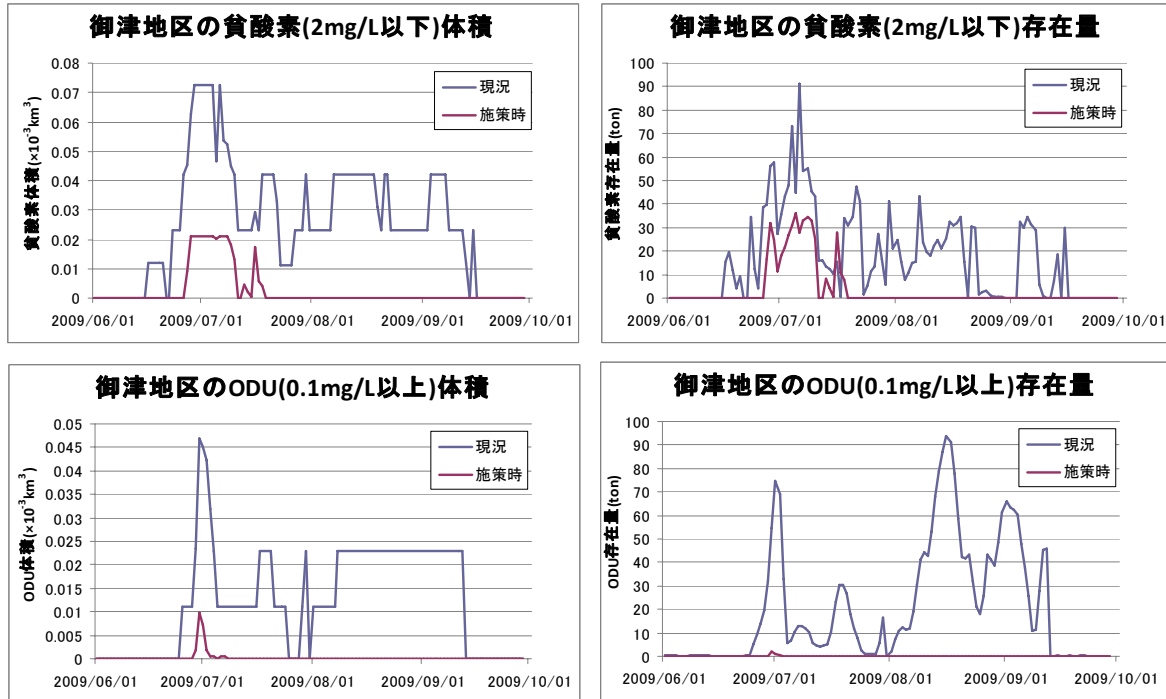


图 2.2.10(2) 水质浓度分布 (底层 D0、入江)

2) 処方箋の効果検証

窪地（御津地区）

精密検査時および処方箋適用時（貧酸素および酸素消費物質（ODU）の体積と存在量）

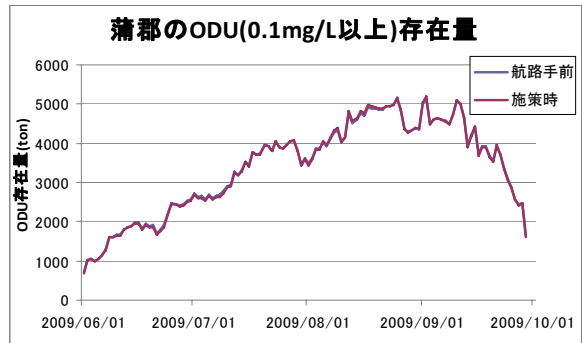
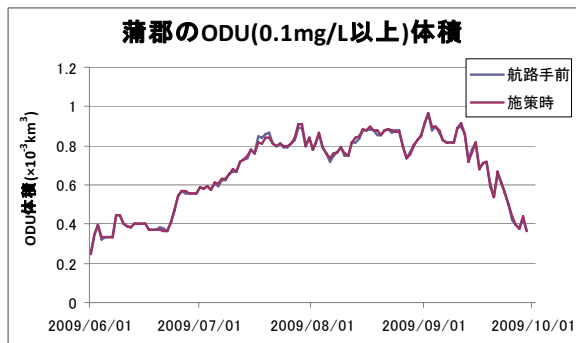
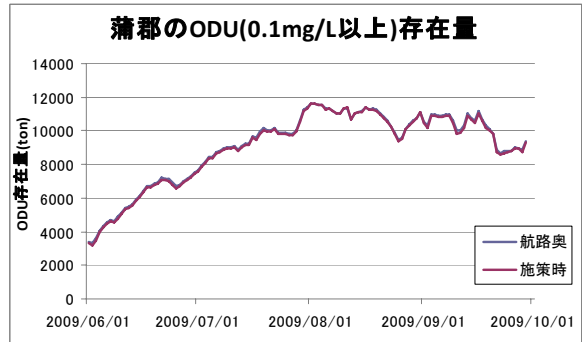
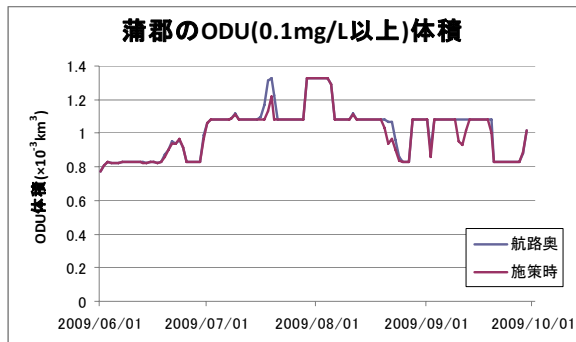


処方箋の効果（推定）

最大で 72,000m³ の貧酸素水塊、47,000m³ の ODU が窪地内に蓄積されていたが、処方箋の適用により、最大値は貧酸素水塊が 21,000m³、ODU が 10,000m³ に低減する。また、処方箋の適用により、周辺海域と同様に底生物が生息した場合、底生物によって 6~9 月に 423kgN の懸濁態有機窒素の摂取があると推測された。

大規模泊地（蒲郡港）

精密検査時および処方箋適用時（貧酸素および酸素消費物質（ODU）の体積と存在量）

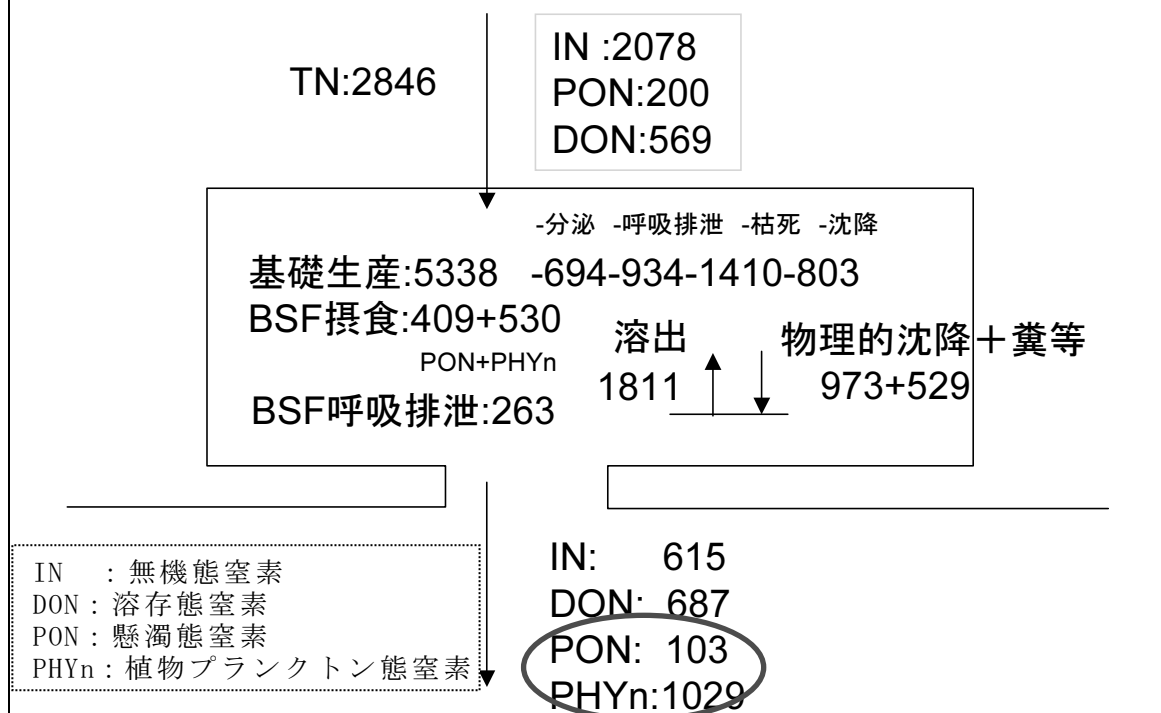


処方箋の効果（推定）

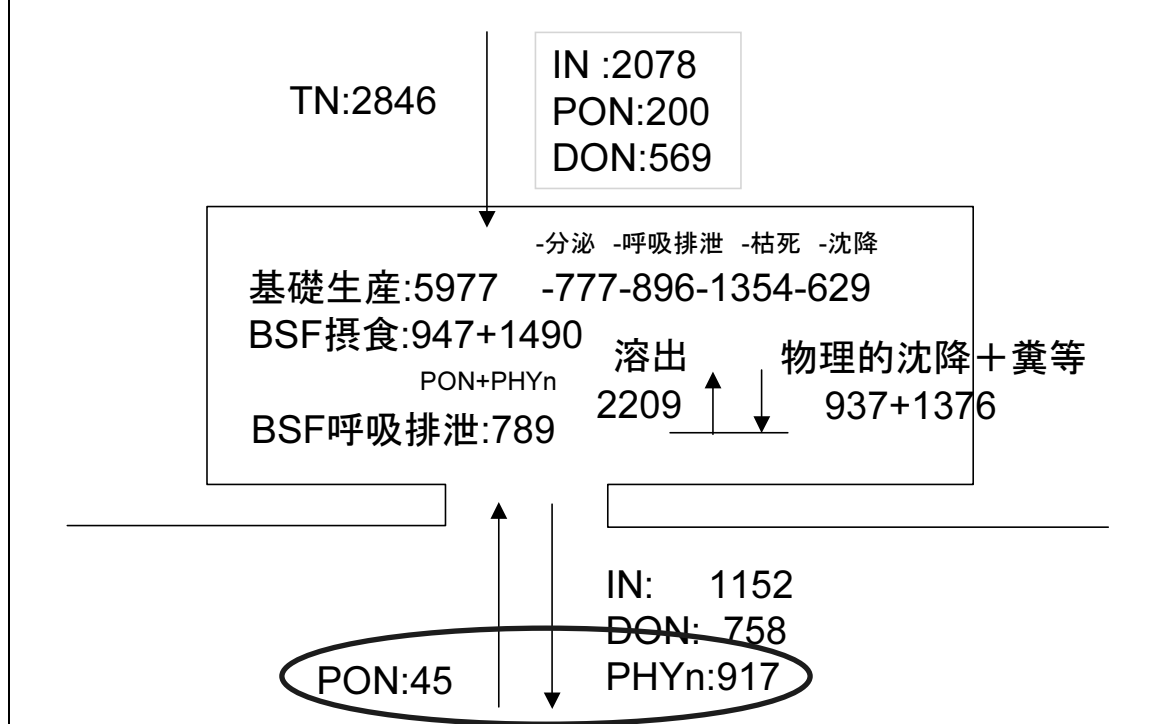
- ・ 窪地内に蓄積される ODU の体積・量には大きな変化は見られない。
- ・ 6～9月に周辺浅場に流出する ODU の合計は 1,081kg であったが、処方箋の適用により流出する ODU は 773kg に低減する。

小規模泊地（三谷漁港）

精密検査時（6～9月の窒素収支、単位：kgN）



処方箋適用時（6～9月の窒素収支、単位：kgN）

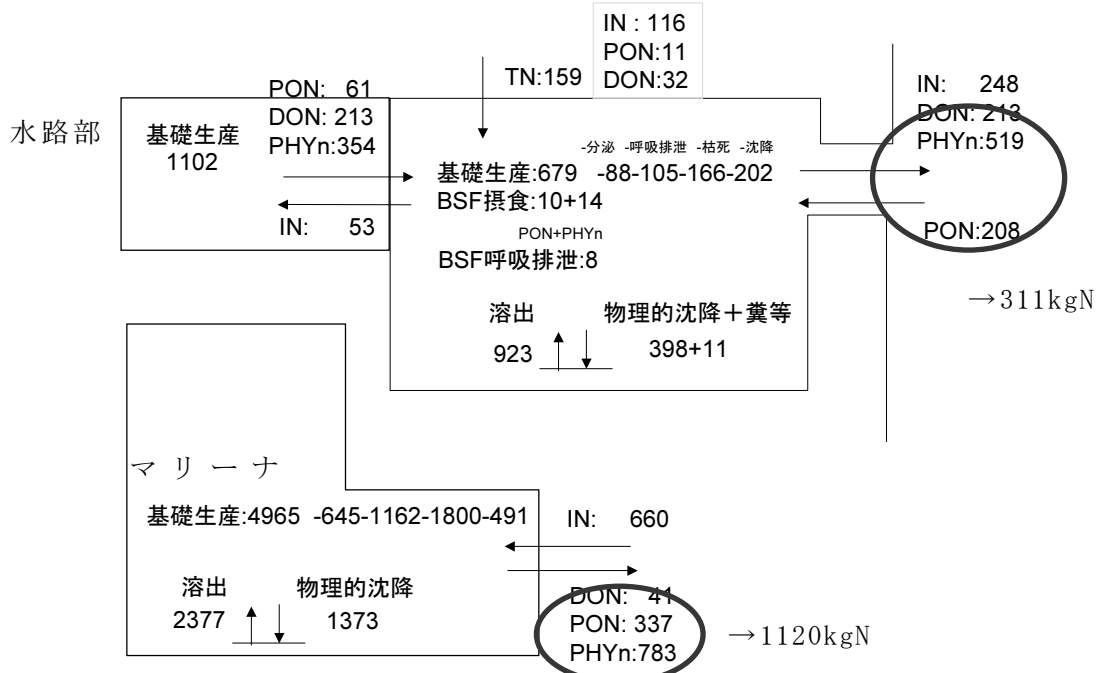


処方箋の効果（推定）

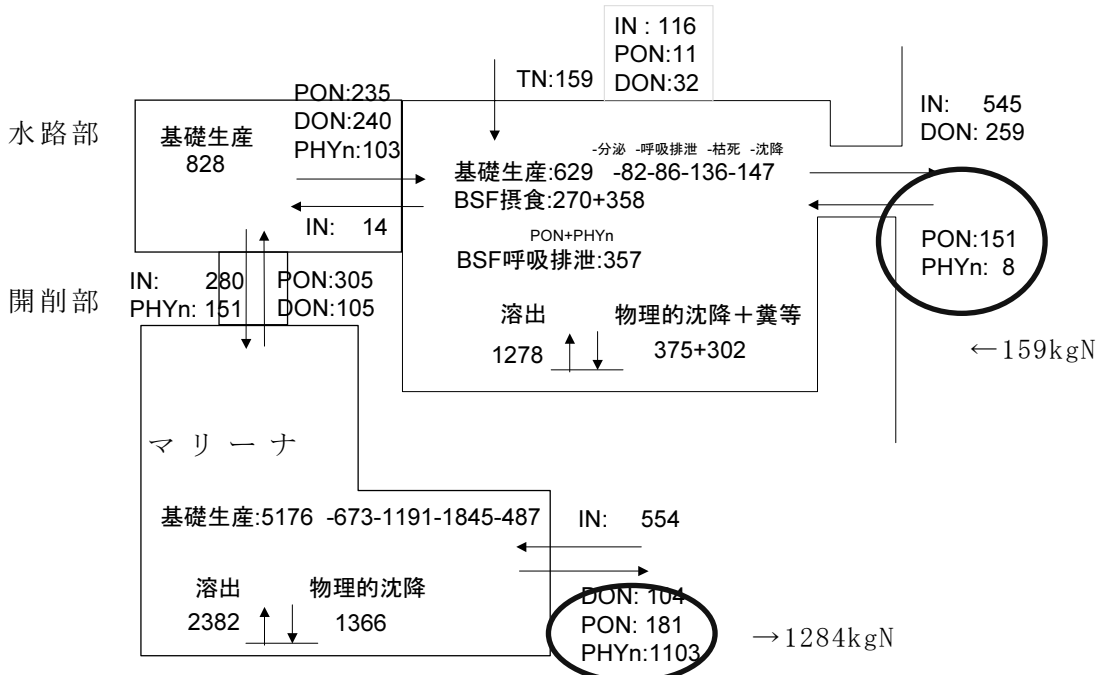
夏季に 1,132kgN (103+1029) の懸濁態有機窒素負荷を周辺海域に与えていたが、処方箋の適用により周辺に与える負荷は 872kgN (917-45) に低減する。

入り江（ラグーナ）

精密検査時（6～9月の窒素収支、単位：kgN）



処方箋適用時（6～9月の窒素収支、単位：kgN）



処方箋の効果（推定）

夏季に入り江から 311kgN、マリーナから 1,120kgN の懸濁態有機窒素負荷を周辺海域に与えていたが、処方箋の適用により入り江ではソースから 159kgN のシンクになり、マリーナ部から流出する増加分 164kgN（1284-1120）との差し引きで、このエリア全体として 5kgN に低減する。

底生動物群集予測計算結果

目 次

1. OSI (貧酸素感度指数) の計算.....	1
2. OSIから予測される底生生物の現存量 (相対値)	11
3. OSIから予測される底生生物の現存量 (絶対値)	28
参考文献.....	44

デッドゾーン化している局所海域において、環境修復（処方箋）を行った場合の底生生物群集の変化を予測した。

1. OSI（貧酸素感度指数）の計算

シミュレーションモデル計算から溶存酸素量と水温の計算結果を引継ぎ、環境の良し悪しの指標となるOSI (Oxygen-deficient sensitivity index)、貧酸素感度指数（橋口ら 論文投稿中）を計算した。

(1) 方法

Barettaら（1995）は、底生生物の生息環境の快適さは溶存酸素量と水温および塩分に依存すると考え、それらの物理的な環境要因をMonod型の双曲線で表現した。OSIではこの考え方と、溶存酸素飽和度と水温の連続観測値を指標化した今尾ら（2004）の考え方を参考にしている。

まず、底生生物の生残に影響を与える酸素環境を、(1)式に示すように溶存酸素飽和度と水温を用いて表現する指標 $f(Ox)$ を計算した。 $f(Ox)$ は、溶存酸素飽和度の変化に対応して、図-1aに示すように0から1までの値をとり、溶存酸素飽和度が高いほど1に近づく。さらに溶存酸素飽和度に対する $f(Ox)$ の応答は水温によっても変化するため、水温の影響度合いを(2)式に示す $g(T)$ で表現した。 $g(T)$ は、図-1bで示すように水温約20°Cから30°Cの範囲で1から2まで変化する。

$$f(Ox) = \frac{\{ROX / (k_{ox} \cdot g(T))\}^{p_{ox} \cdot g(T)}}{1 + \{ROX / (k_{ox} \cdot g(T))\}^{p_{ox} \cdot g(T)}} \quad (1)$$

$$g(T) = 1 + \frac{(RT / k_T)^{p_T}}{1 + (RT / k_T)^{p_T}} \quad (2)$$

ここで、(1)式のROXは溶存酸素飽和度(%)、 k_{ox} は $g(T)$ が1($T \approx 20^\circ\text{C}$)の時に $f(Ox)$ が最大値の1/2となる溶存酸素飽和度（半飽和値）、 p_{ox} は $g(T)$ が1の時の $f(Ox)$ の傾きを決める指数である。(2)式のRTは水温(°C)、 k_T は $g(T)$ が最大値の1/2となる水温（半飽和値）、 p_T は $g(T)$ の傾きを決める指数である。

(1)式に関する定数は、半飽和値(k_{ox})を35%、指数(p_{ox})を6に設定した。(2)式に関する定数は、過去の三河湾での研究事例（鈴木ら、1998；今尾ら、2004）を適用し、半飽和値(k_T)を25°C、指数(p_T)を20に設定した。

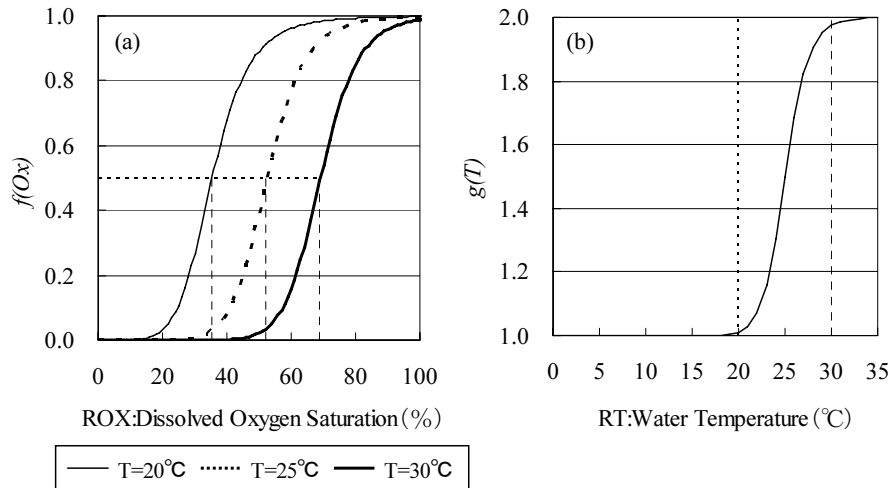


図-1 溶存酸素飽和度に対する $f(Ox)$ の変化(a) と水温に対する $g(T)$ の変化(b)

底生生物の中にはアサリのように、貧酸素環境下でも嫌氣的代謝を行い体内のグリコーゲンを消費することによりある程度の時間生存できる種が存在するため (Hochachka 1984)、斃死過程を予測するためには貧酸素に曝された履歴を考慮する必要がある。今尾ら (2004) は、この曝露履歴の影響を水温、溶存酸素飽和度から計算される指数を観測回ごとに乗算することで考慮したが (累積貧酸素死亡感度係数 ($czox$) : $0 \leq czox \leq 1$)、この方法では酸素環境が好転した場合に $czox$ は増加しないため、貧酸素化が解消した場合の酸素環境をうまく表現できない。そこで、 t 日の酸素環境を、過去2週間の $ave. f(Ox)$ ($f(Ox)$ の日平均値) の移動平均から計算される指標 “貧酸素感度指数 (Oxygen-deficient sensitivity index : OSI) ” で表現した。 OSI は貧酸素が継続すると減少し、貧酸素が解消すると増加することから、底生生物の経験する酸素環境の履歴が反映されると考えられる。

$$OSI_t = \frac{\sum_{i=0}^{13} ave. f(Ox)_{(t-i)}}{14} \quad (3)$$

(2) 結果

シミュレーションモデル計算から出力された溶存酸素量と水温を引き継ぎ、代表水域4水域 (図-2、大規模泊地・航路、小規模泊地、入江、窪地) の各メッシュ (33.3×33.3m) の OSI を計算した。ここでは、平成21年度に各水域内において愛知県水産試験場が行った調査結果を現況とした。

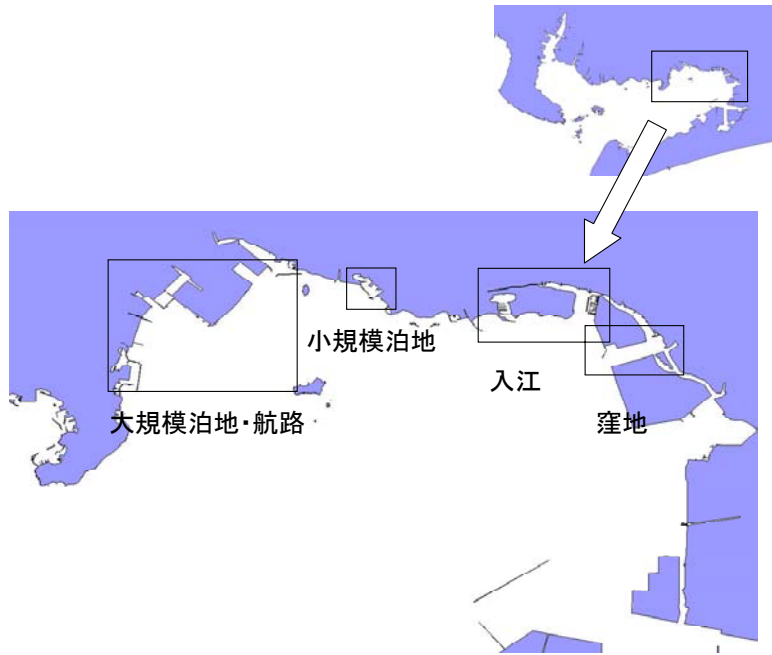


図-2 対象とした代表4水域

① 窪地

窪地では御津地区の窪地周辺海域を代表水域とし（図-3）、窪地を埋め戻すという処方箋を講じた場合について検討した。St. 10と11では窪地に位置するため、酸素環境は悪いが、修復後は回復した（図-4）。St. 12は浅場に位置するため、現況でも酸素環境は非常に良かった。

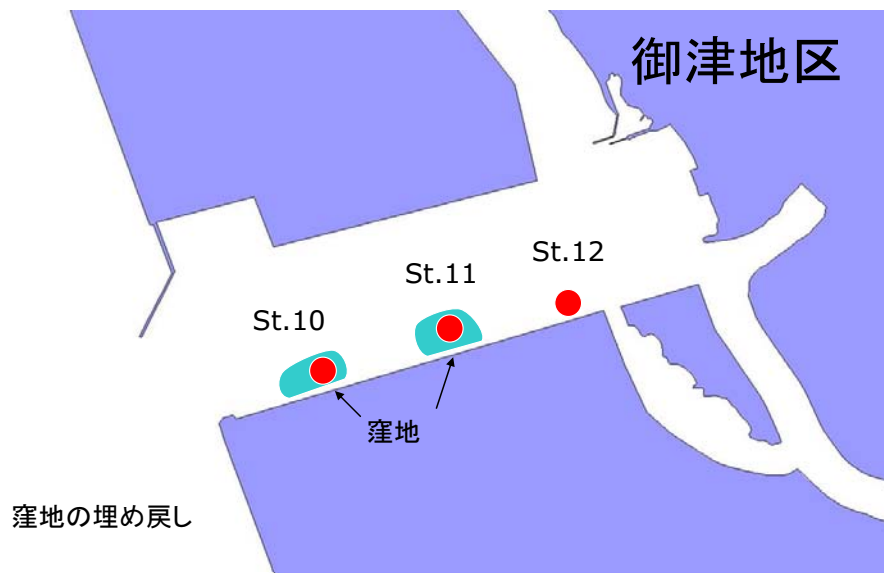


図-3 窪地における現地調査地点

青の塗り潰しは窪地を示す。

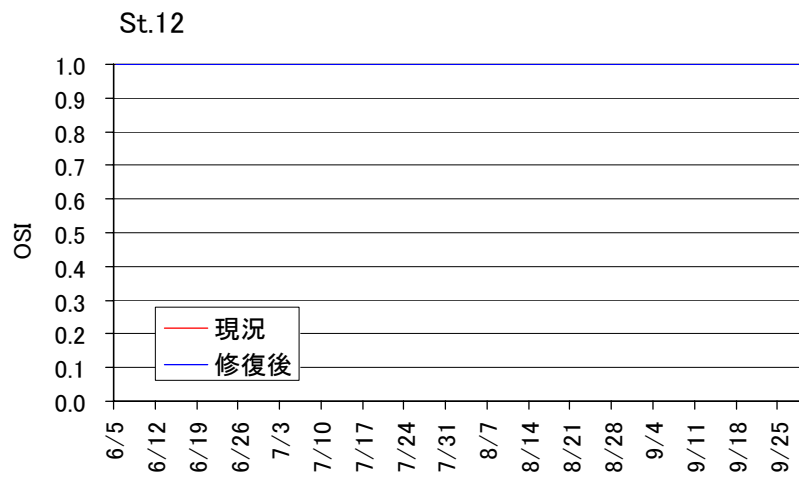
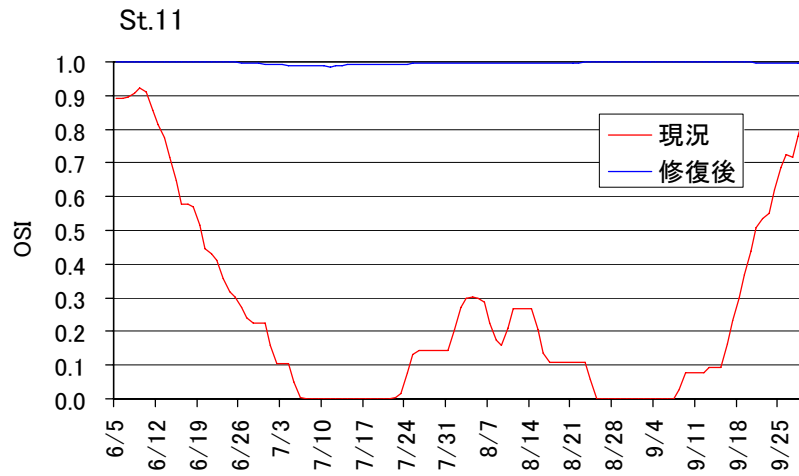
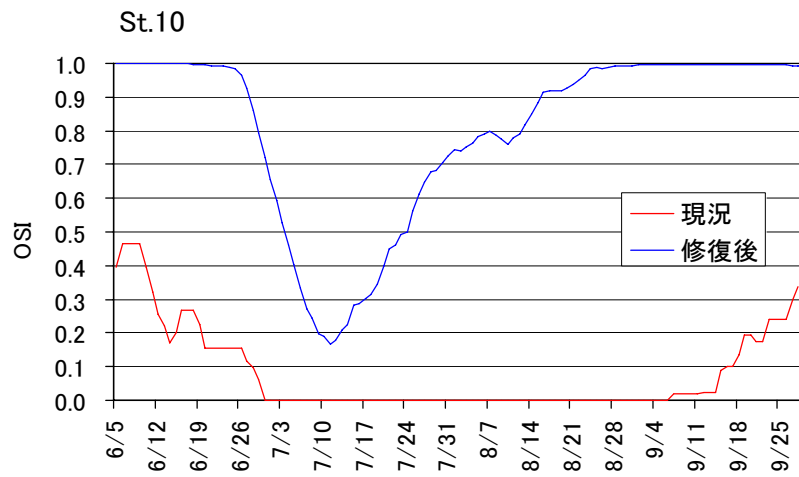


図-4 窪地における現況と修復後のOSIの経時変化

St. 12では現況および修復後ともにOSIはほぼ1である。

② 大規模泊地・航路

大規模泊地・航路では蒲郡港を代表水域とし（図-5）、潜堤を設置することにより、泊地・航路の貧酸素水が周辺海域に広がらないようにする処方箋を講じた場合について検討した。その結果、航路内に位置するSt. 1および2では現況のOSIはほぼ0であり、修復策を講じてもOSIに変化は認められずほぼ0のままであった（図-6）。一方、航路の近隣に位置するSt. 3では、現況のOSIは計算を開始した6月前半では0.9付近と酸素環境は良かったが、7月前半に急激に0.1以下まで低下し、8月以降は回復と悪化を繰り返した。修復した場合もほとんど変化がないと予測された。

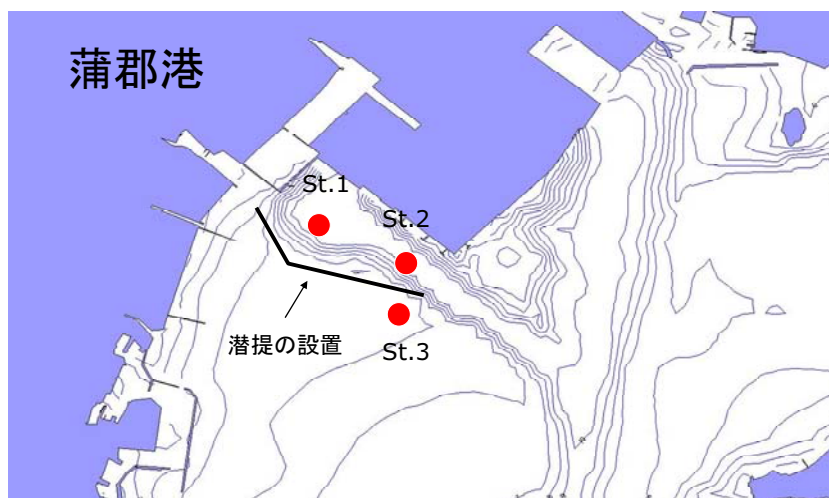


図-5 大規模泊地・航路における現地調査地点

図中の線は等深線を示す。

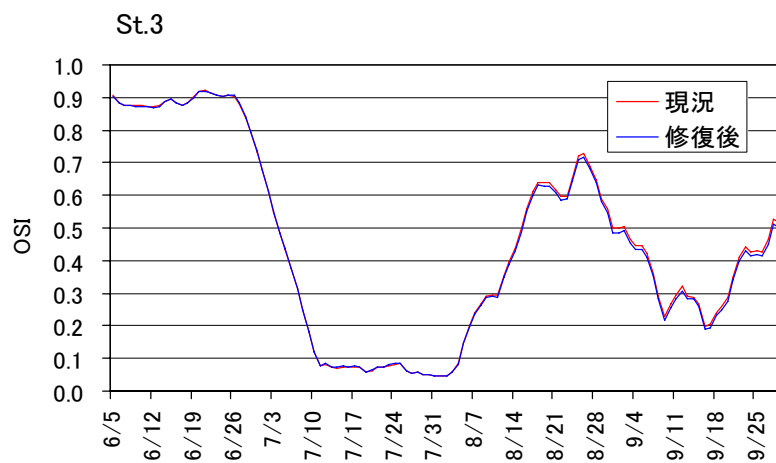
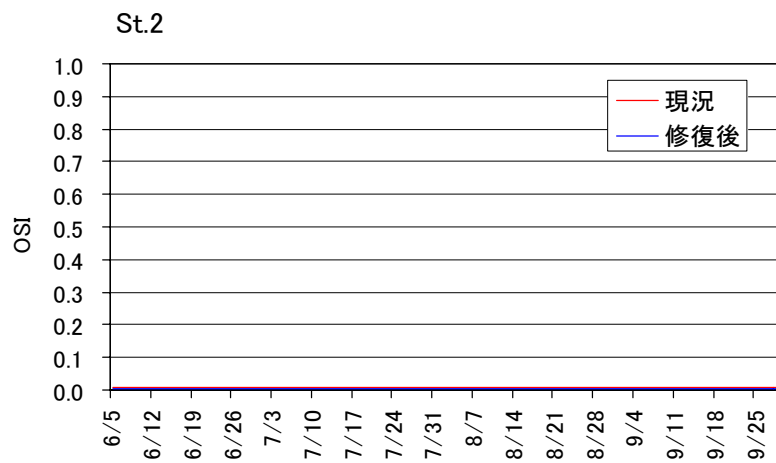
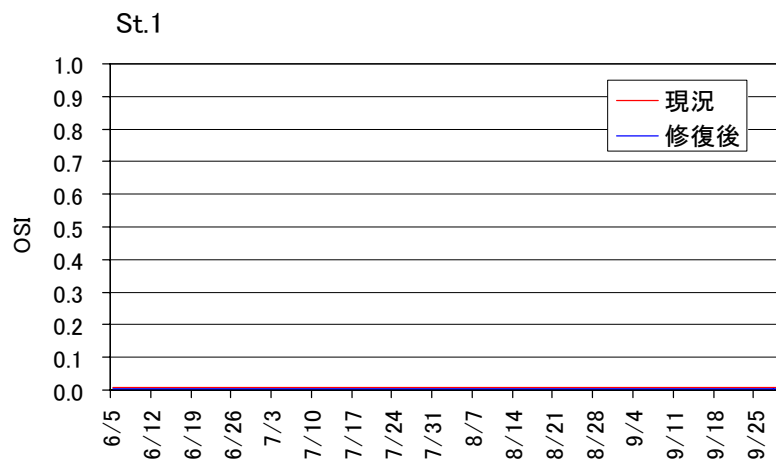


図-6 大規模泊地・航路における現況と修復後のOSIの経時変化

いずれの地点でも現況と修復後のOSIはほぼ一致したため、線が重なっている。

③ 小規模泊地

小規模泊地では三谷漁港を代表水域とし（図-7）、漁港内の浅場に懸濁物食者であるサルボウガイ（二枚貝）を5kg/m²の密度で添加することにより、漁港内の有機懸濁物を減少させる処方箋を講じた場合について検討する。サルボウガイを添加するSt. 4は比較的浅いため、現状でも酸素環境は良くOSIはほぼ1を示した（図-8）。一方、三谷漁港内の中央に位置するSt. 5では、6月半ばまで酸素環境は良かったが、その後悪化し、9月後半でも0.4程度であった。漁港の入り口付近に位置するSt. 6でも、6月半ばまで酸素環境は良くその後悪化したが、9月後半には0.8程度まで回復した。サルボウガイを添加しても計算上酸素環境は変わらないため、現況と修復後では同じ値を示している。

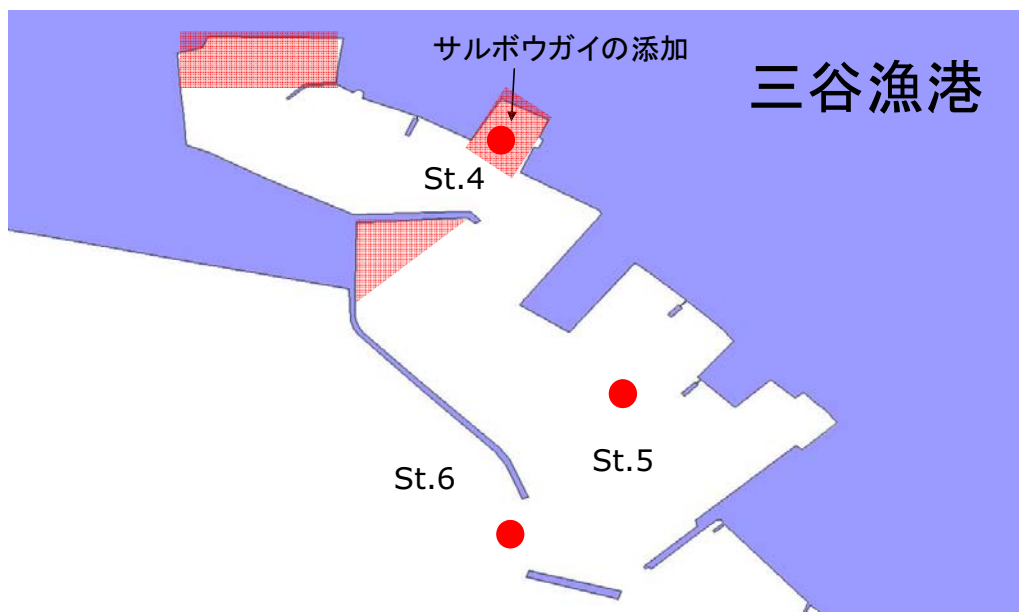


図-7 小規模泊地における現地調査地点

赤の塗り潰しはサルボウガイ（二枚貝）を添加する範囲を示す。

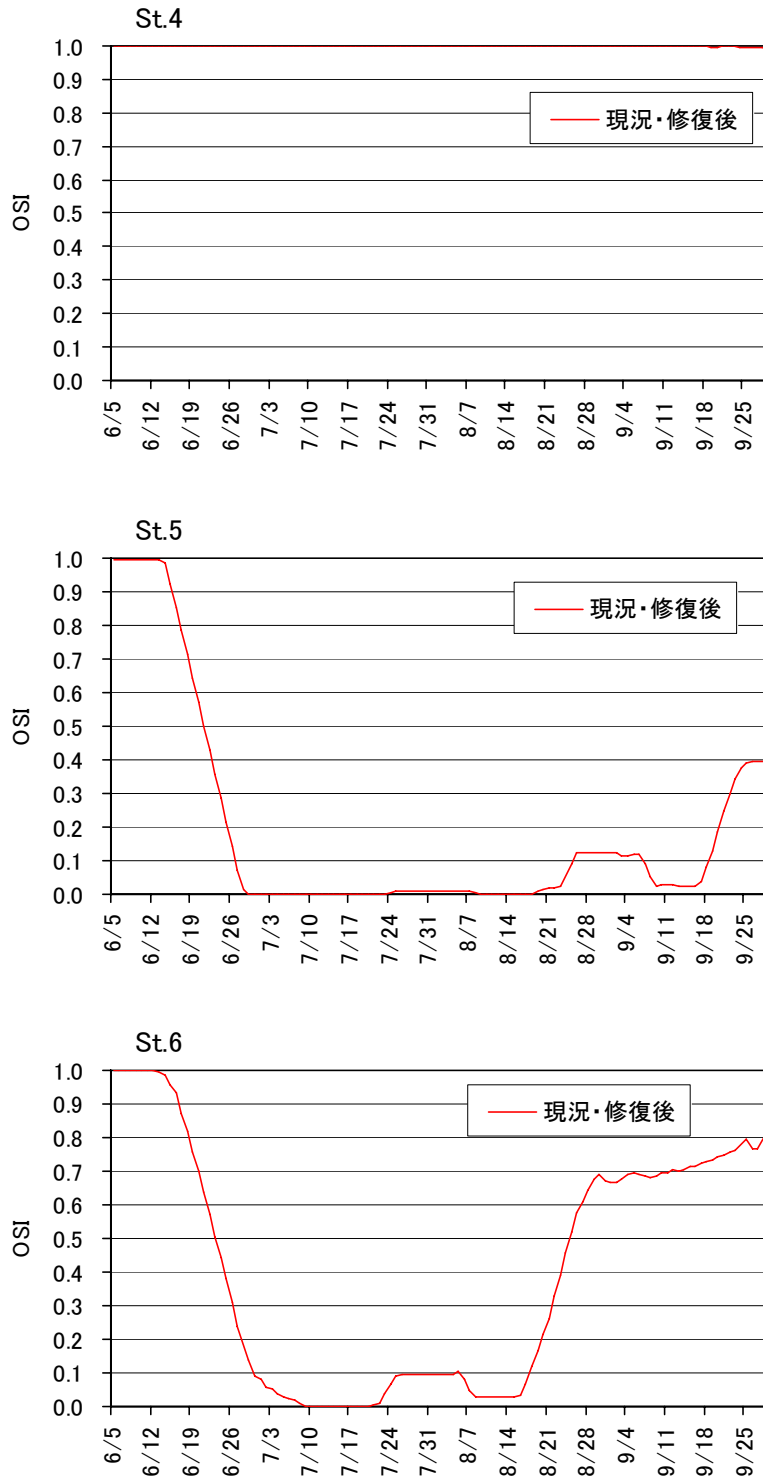


図-8 小規模泊地における現況と修復後のOSIの経時変化

④ 入江

入江ではラグーナ付近を代表水域とし（図-9）、入江奥部を開削するとともに入江の水深を1mまで嵩上げするという物理的な処方箋に加えて、懸濁物食者であるサルボウガイ（二枚貝）を $1\text{kg}/\text{m}^2$ の密度で添加する生物的な処方箋を講じた場合について検討した。現況ではいずれの地点でも、6月から8月半ばにかけてOSIは減少した後、回復し9月後半には0.8程度となった（図-10）。一方、修復後では、入江に位置するSt.7で0.8程度以上となったが、入江が面する泊地に位置するSt.8と9では、修復後のほうが若干酸素環境が悪化した。

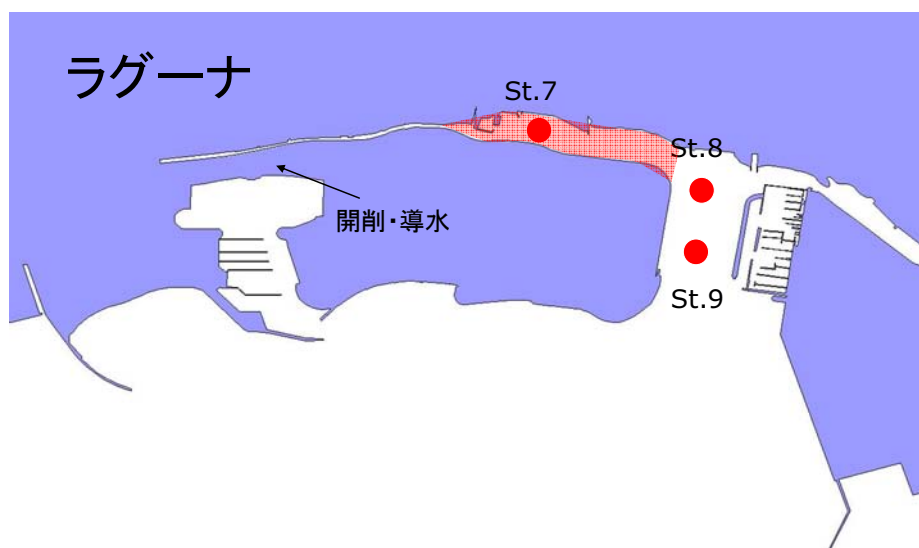


図-9 ラグーナにおける現地調査地点

赤の塗り潰しはサルボウガイ（二枚貝）を添加する範囲を示す。

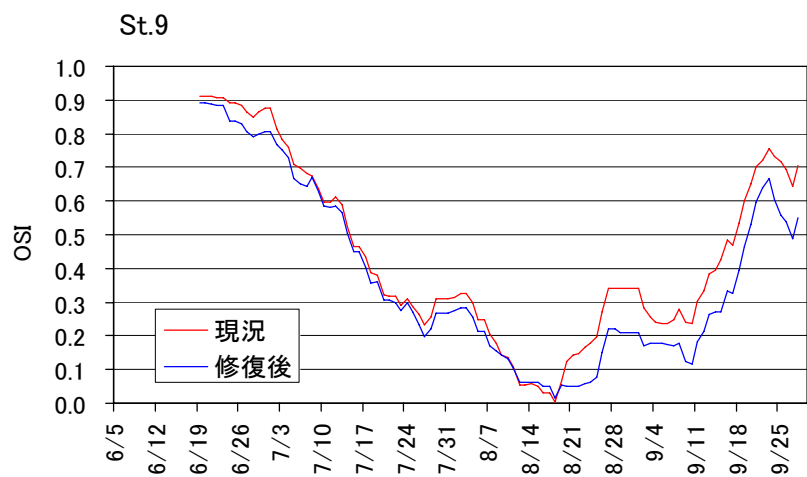
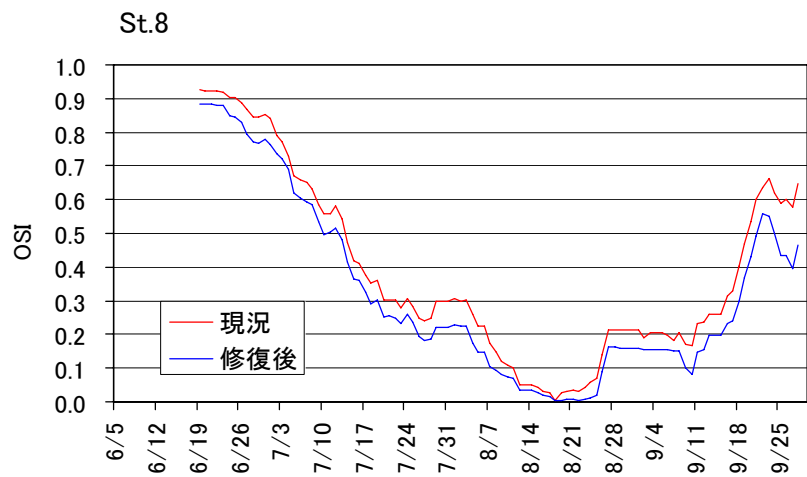
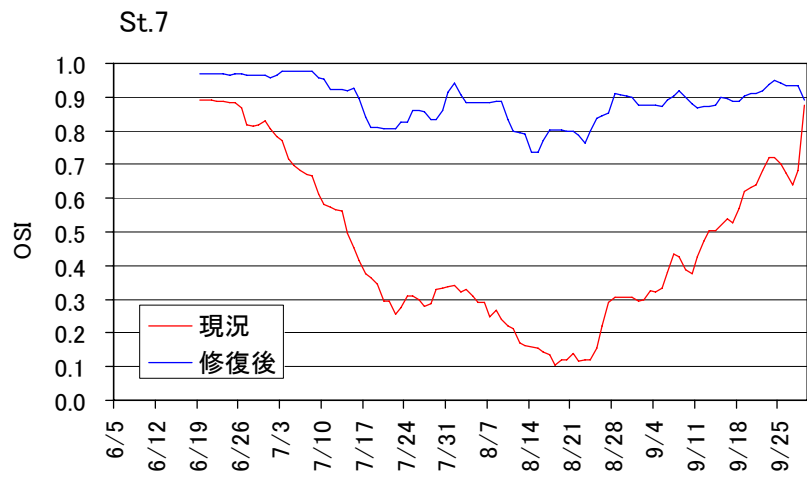


図-10 入江における現況と修復後のOSIの経時変化

2. OSIから予測される底生生物の現存量（相対値）

OSIと底生生物の現存量（相対値）との関係式については、過去に近隣海域で行った調査結果を用い（橋口ら 論文投稿中）、OSIから底生生物の現存量（相対値）を種毎に計算した。

OSIから現存量を予測するにあたって、最大現存量（ B_{max} ）で各時点の現存量（ B ）を除した最大現存量に対する相対値 B/B_{max} を現存量の指標に用いた。今尾ら（2004）は、得られた現存量の上限値は酸素環境からみた当該海域の生息可能量を表していると考え、現存量の上限値と指標化した酸素環境（ $czox$ ）との間に明瞭な関係があることを示していることから、ここでも出現個体数が多かった種について貧酸素の進行期における B/B_{max} の上限値とOSIとの関係を（4）式を用いて近似した（表-1）。

$$\frac{B}{B_{max}} = \frac{1}{1 + c_{mor} \cdot \exp(-r_{mor} \cdot OSI)} \quad (4)$$

ここで、 B は観測された現存量、 B_{max} は各地点の最大現存量、 r_{mor} は死亡率、 c_{mor} は死亡に関わる積分定数である。近似に用いた B/B_{max} の上限値については、OSIを0.10間隔で区切り、その範囲内における B/B_{max} の最大値を用いた。本手法は B/B_{max} の上限値とOSIとの関係から底生生物の現存量を推定していることから、推定された現存量は当該海域の酸素環境から許容される最大の現存量を表現している。

ここでは、愛知県水産試験場が平成21年6月5日から9月29日まで行った調査で出現した種について現存量の相対値 B/B_{max} の計算を行った。表-1に示されていない種あるいは分類群については、表-2に示す食性レベルの予測式を用いて計算を行った。食性の不明な種あるいは分類群も出現したが、出現量は極めて僅かであったことからここでは除外した。

表-1 現存量の予測に用いた種毎の死亡率 (r_{mor}) および死亡にかかわる積分定数 (C_{mor})

綱	種名	和名	r_{mor}	C_{mor}
腹足綱	<i>Crepidula onyx</i>	シマメノウフネガイ	28.06	3.38E+08
	<i>Retusa matusimana</i>	マツシマコメツブガイ	13.58	1.15E+04
二枚貝綱	<i>Scapharca kagoshimensis</i>	サルボウガイ	35.05	4.34E+06
	<i>Musculista senhousia</i>	ホトトギスガイ	9.04	9.73E+02
	<i>Pillucina pisidium</i>	ウメノハナガイ	16.41	3.86E+02
	<i>Phacosoma japonicum</i>	カガミガイ	24.91	7.24E+08
	<i>Ruditapes philippinarum</i>	アサリ	12.09	4.26E+02
	<i>Petricola</i> sp. cf. <i>lithophaga</i>	ウスカラシオツガイ	39.62	2.38E+10
	<i>Macoma incongrua</i>	ヒメシラトリガイ	30.23	7.61E+06
	<i>Hiatella orientalis</i>	キヌマトイガイ	71.61	2.76E+18
	多毛綱	<i>Harmothoe</i> sp.	<i>Harmothoe</i> 属の一種	28.67
<i>Sigambra hanaokai</i>		ハナオカカギゴカイ	48.66	5.18E+05
<i>Neanthes succinea</i>		アシナガゴカイ	21.94	7.51E+04
<i>Scoletoma longifolia</i>		カタマガリギボシイソメ	75.81	8.79E+06
<i>Paraprionospio patiens</i>		シノブハネエラスピオ	17.48	1.02E+02
<i>Cirriformia tentaculata</i>		ミズヒキゴカイ	35.95	1.89E+06
<i>Hydroides dianthus</i>		ナデシコカンザシゴカイ	25.43	3.42E+03
<i>Hydroides ezoensis</i>		エゾカサネカンザシゴカイ	39.89	6.97E+06
Serpulidae		カンザシゴカイ科	36.21	2.17E+06
花虫綱	Actinaria	イソギンチャク目	26.75	2.38E+04
-	Nemertinea	紐形動物門	23.32	4.32E+03
甲殻綱	<i>Corophium</i> sp.	<i>Corophium</i> 属の一種	38.75	1.47E+10
ホヤ綱	Cionidae	ユウレイボヤ科	27.59	9.19E+08

表-2 現存量の予測に用いた食性別の死亡率 (r_{mor}) および死亡にかかわる積分定数 (C_{mor})

食性区分	r_{mor}	C_{mor}
SF (ろ過食者)	30.90	8.26E+05
SD (表層堆積物食者)	53.28	1.65E+09
SSD (下層堆積物食者)	29.78	1.84E+04
C (肉食者)	26.95	2.54E+04

① 窪地

窪地では御津地区の窪地周辺海域を代表水域とし、窪地を埋め戻すという処方箋を講じた場合について検討した。St. 10と11では窪地に位置するため、酸素環境は悪く、現況では出現する底生生物はいないが、修復後は酸素環境が良くなるため、多くの底生生物が最大現存量を維持できると考えられた (図-11、12)。

St. 12は浅場に位置するため、現況でも酸素環境は非常に良く、多くの底生生物が最大現存量を維持できると考えられた (図-13)。

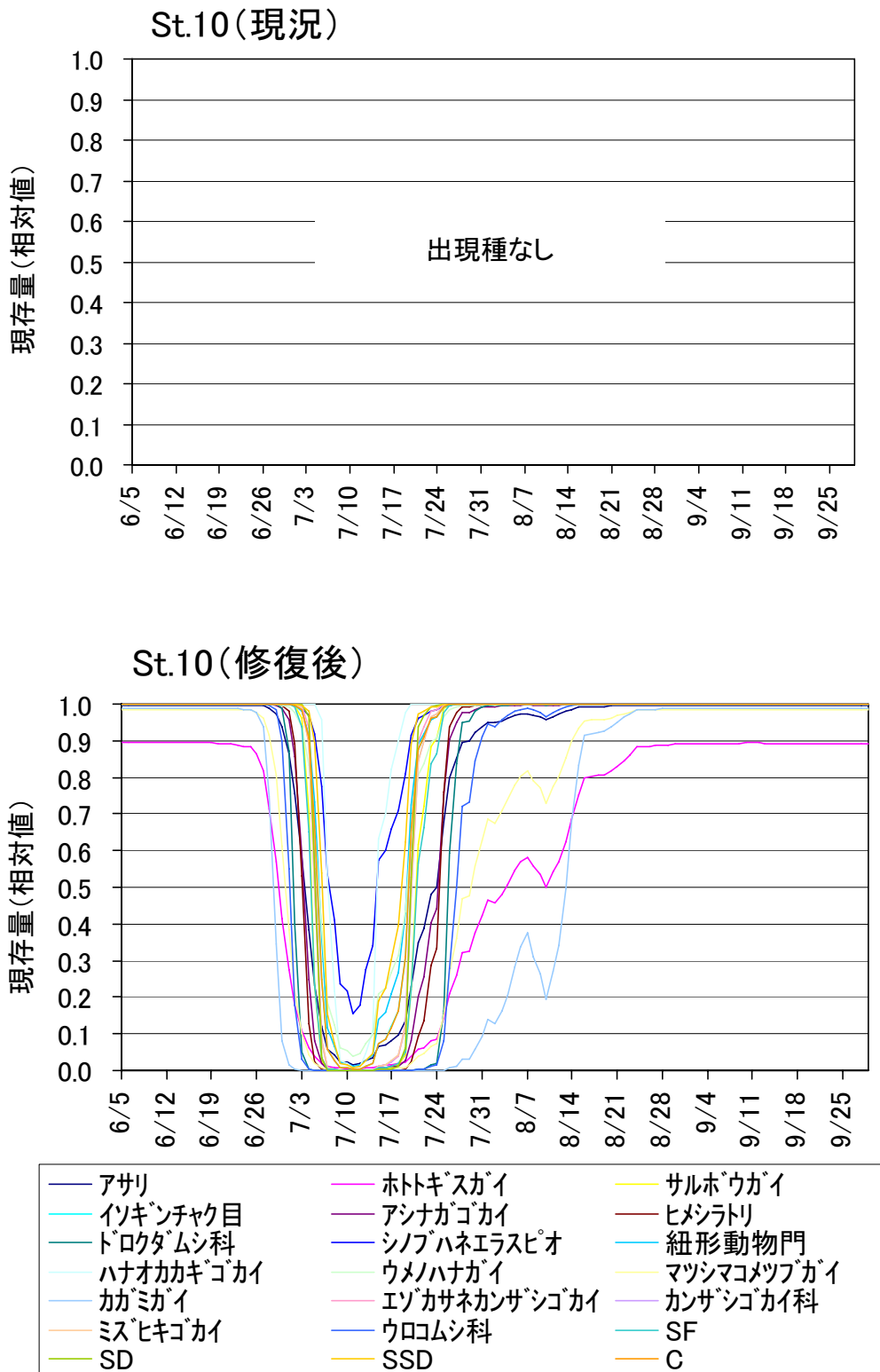


図-11 窪地における現況と修復後の現存量（相対値）の経時変化

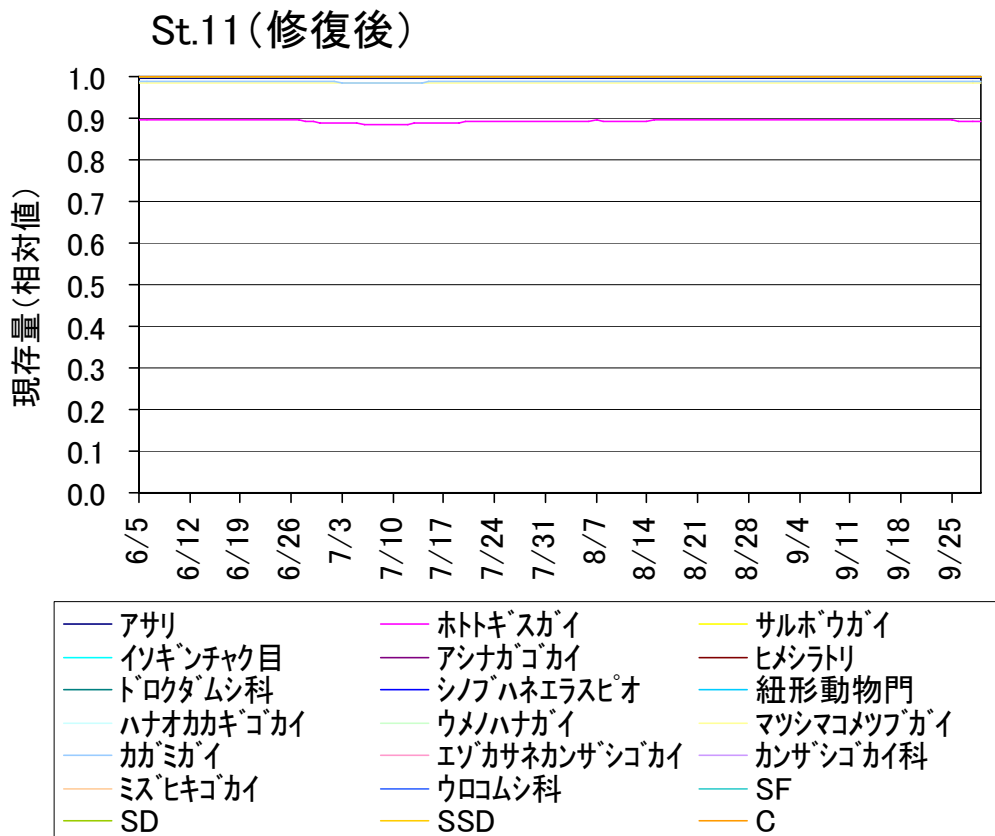
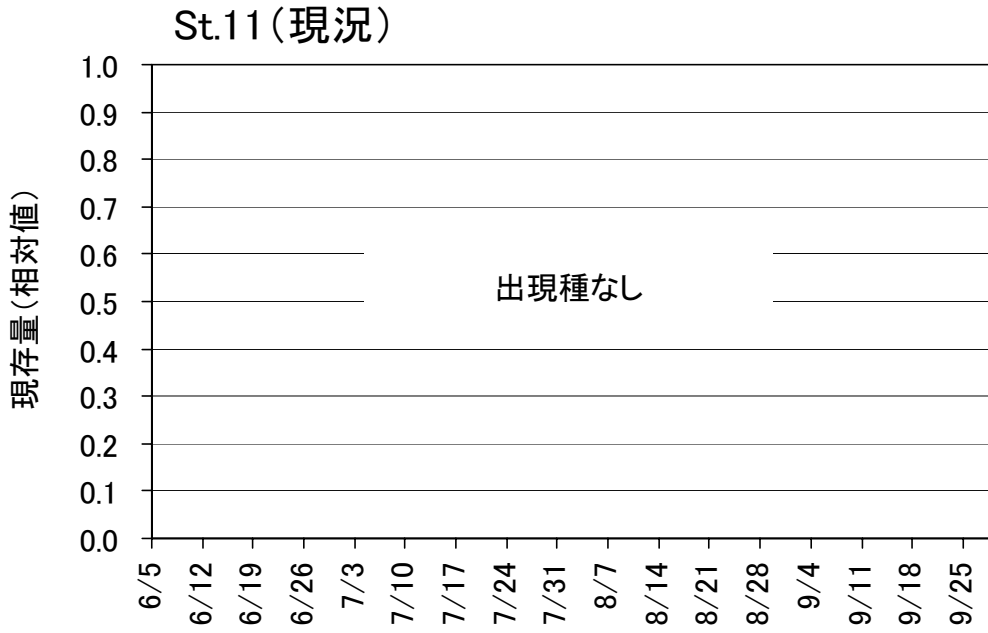


図-12 窪地における現況と修復後の現存量(相対値)の経時変化

修復後の現存量(相対値)はホトトギスガイを除きいずれの種でもほぼ1である。

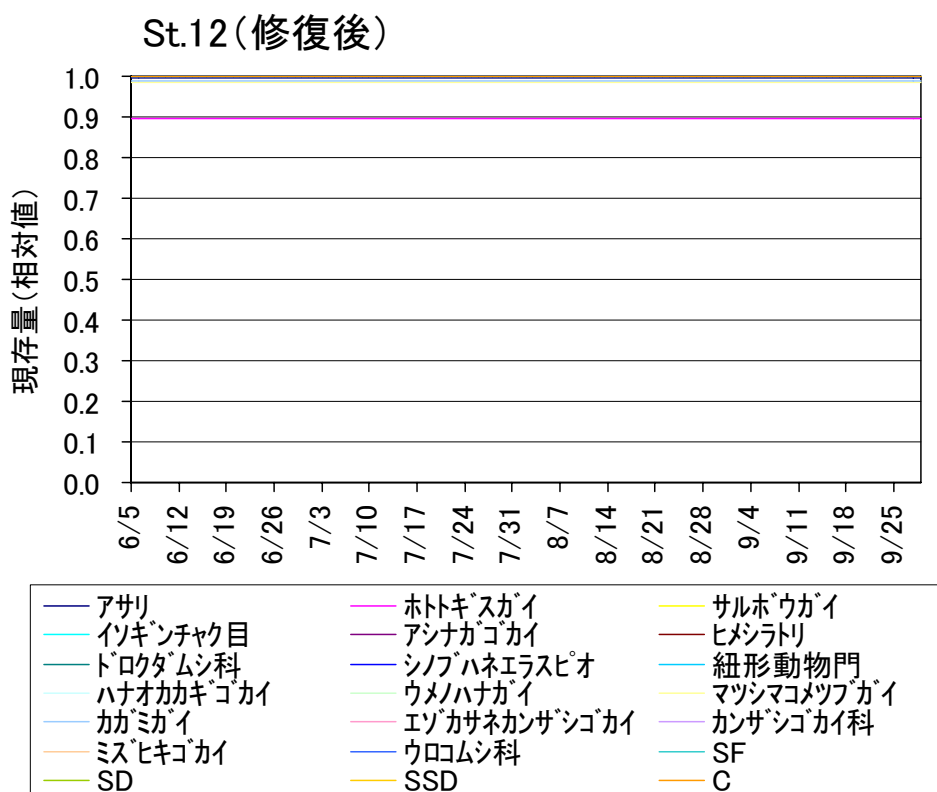
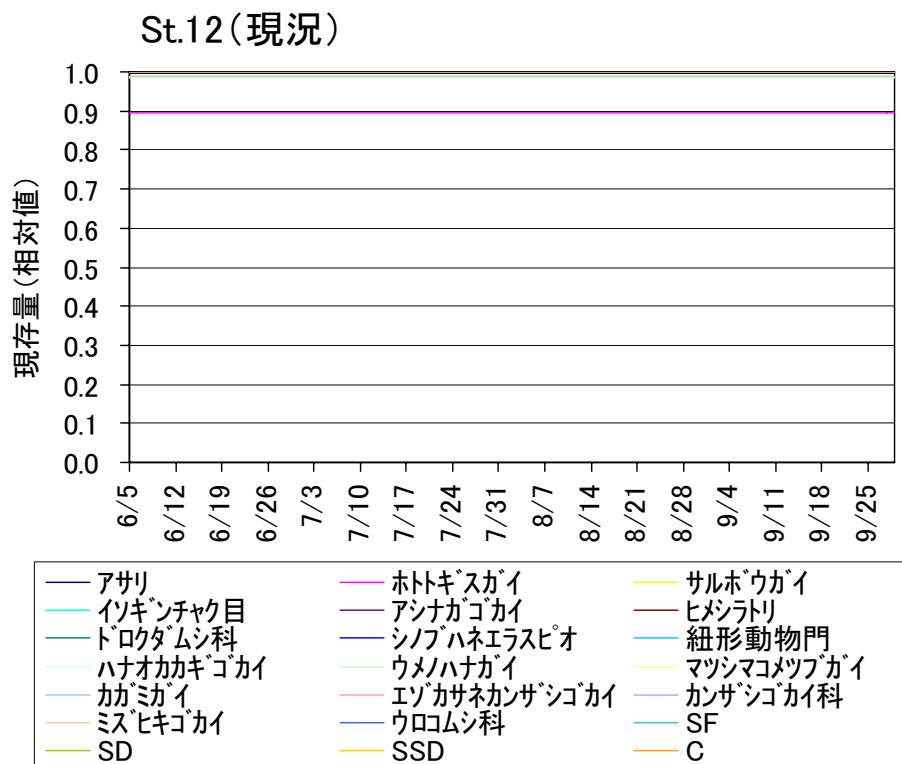


図-13 窪地における現況と修復後の現存量(相対値)の経時変化

現況および修復後のいずれでも現存量(相対値)はホトトギスガイを除きいずれの種でもほぼ1である。

② 大規模泊地・航路

航路内に位置するSt. 1および2では（図-14、15）、現況で極めてわずかに底生生物が出現したが、現況および修復後も酸素環境は極めて悪く、相対現存量はほぼ0であり、底生生物が生息できる環境になかった。一方、航路の近隣の浅場に位置するSt. 3では（図-16）、出現種は少ないが、7月を除き生息できる環境であった。しかし、修復後も現況とほぼ同じ値であり、修復した場合もほとんど変化がないと予測された。

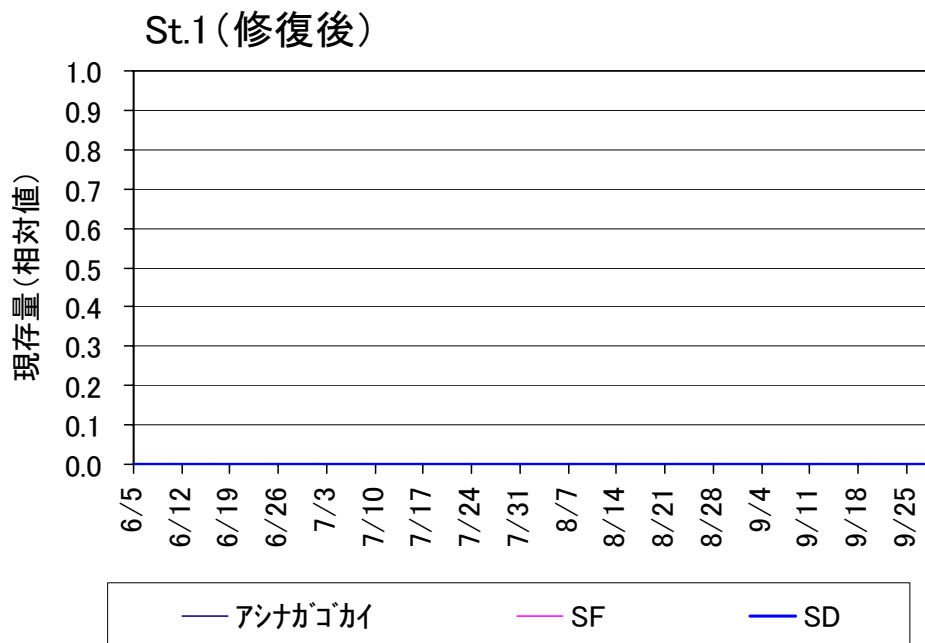
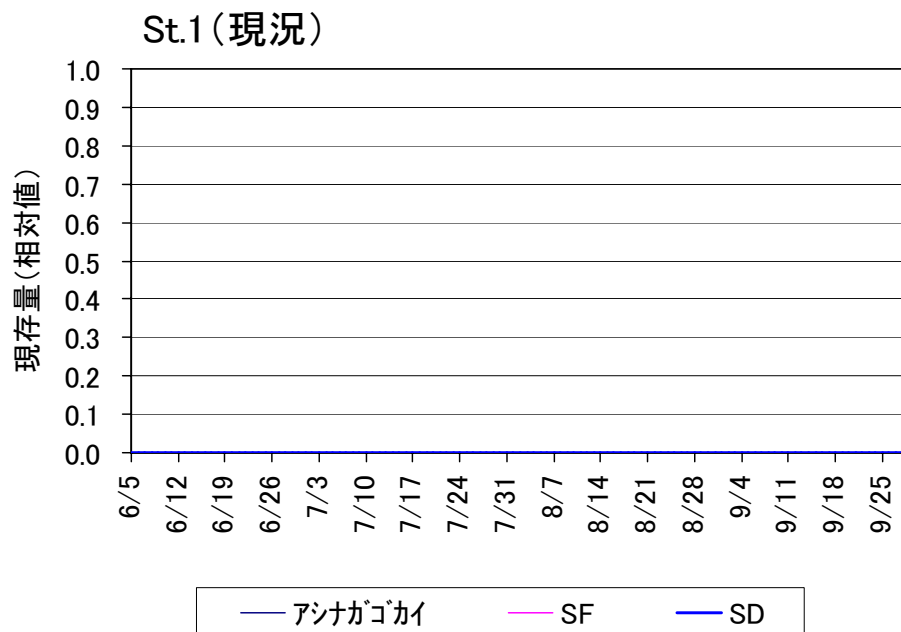


図-14 大規模泊地・航路における現況と修復後の現存量（相対値）の経時変化
 現況および修復後のいずれでも現存量（相対値）はいずれの種でもほぼ0である。

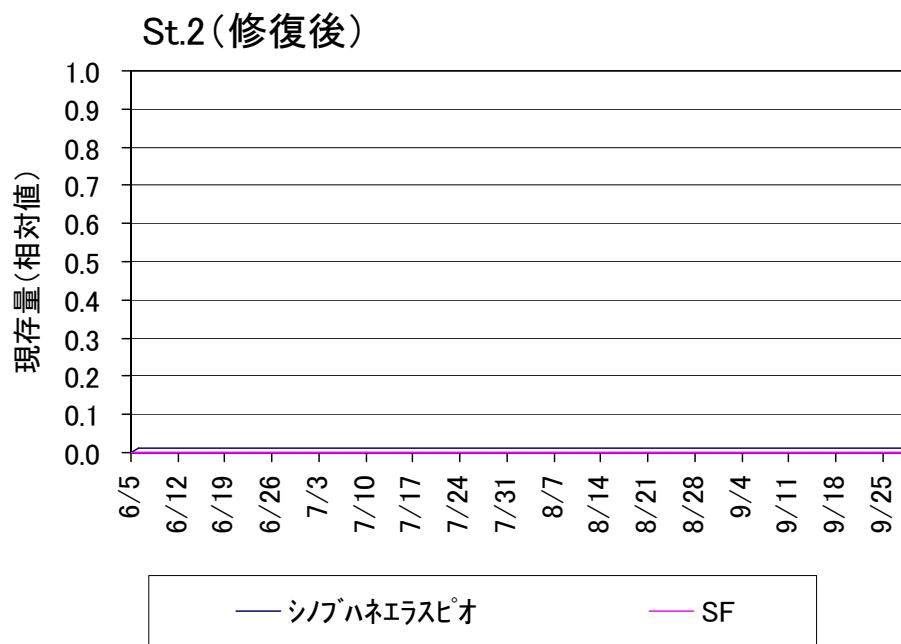
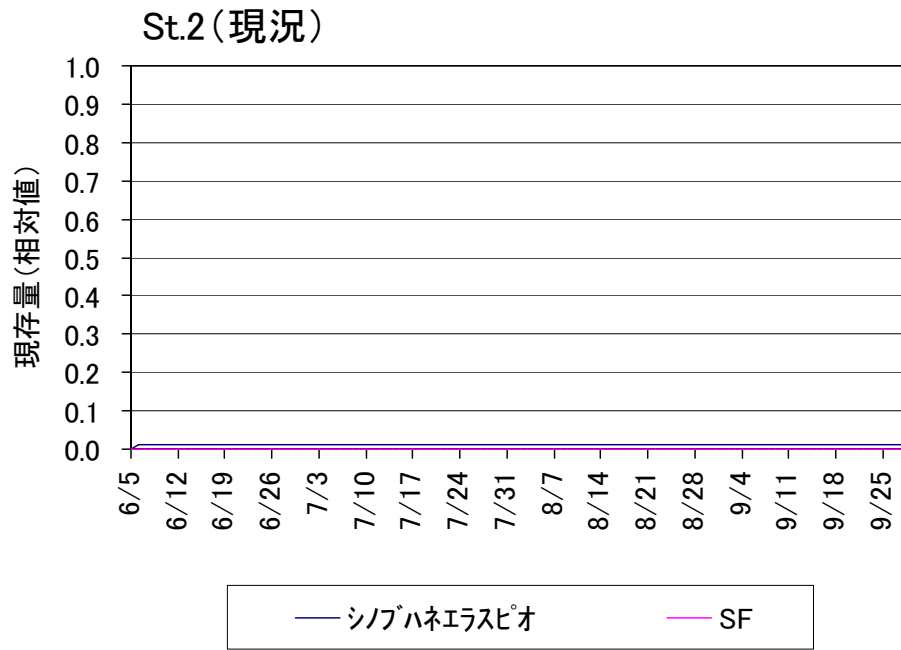


図-15 大規模泊地・航路における現況と修復後の現存量(相対値)の経時変化

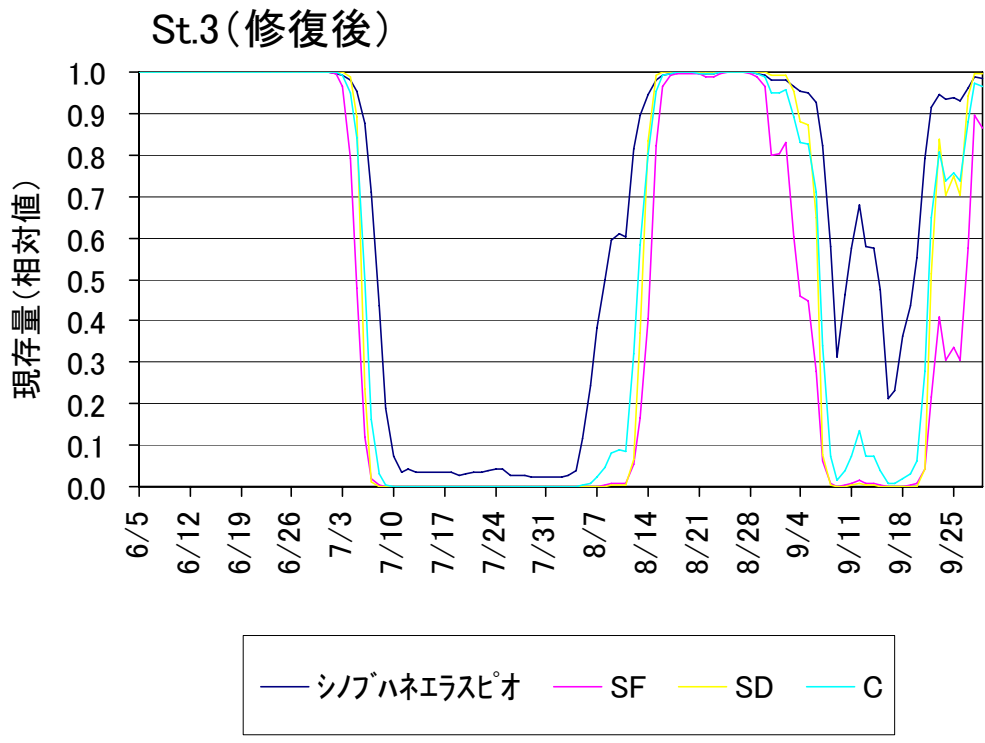
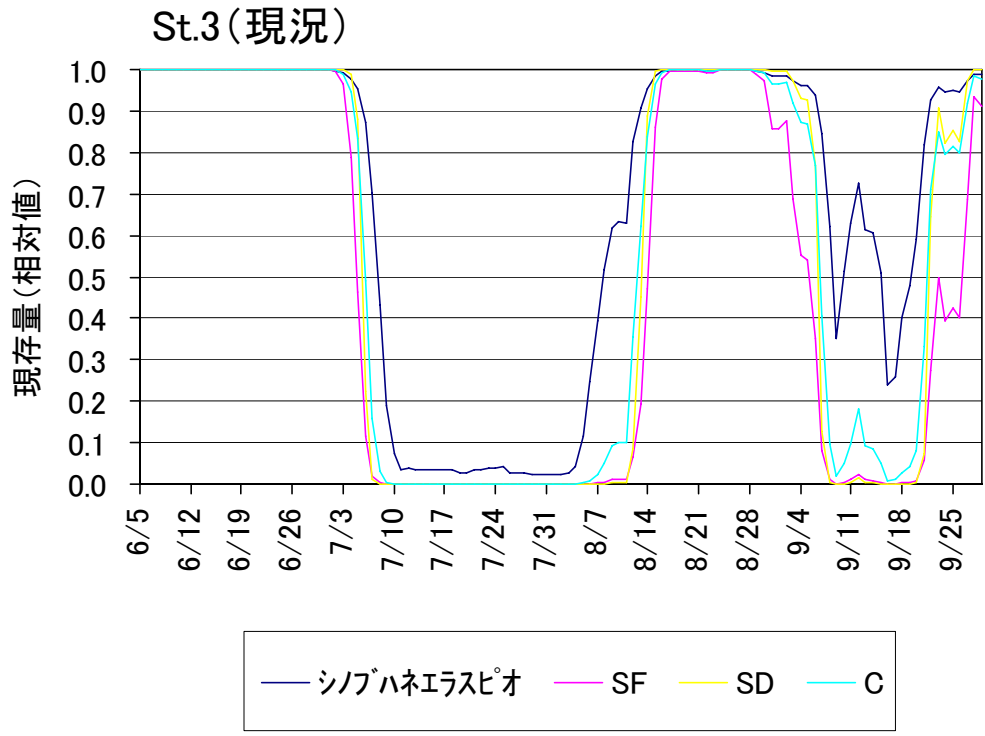


図-16 大規模泊地・航路における現況と修復後の現存量(相対値)の経時変化

③ 小規模泊地

サルボウガイ（二枚貝）を添加するSt. 4は比較的浅いため、現状でも酸素環境は良く、底生生物は死滅することはなく、添加したサルボウガイは生き続けると考えられた（図-17）。一方、三谷漁港内の中央に位置するSt. 5では、現況で底生生物の出現はなかったため、修復後も出現しないという予測になった（図-18）。漁港の入り口付近に位置するSt. 6でも、6月半ばから8月後半まで酸素環境は悪化するため、底生生物は死滅する予測となった（図-19）。いずれの地点においても、サルボウガイを添加しても計算上酸素環境は変わらないため、現況と修復後で変化はなかった。

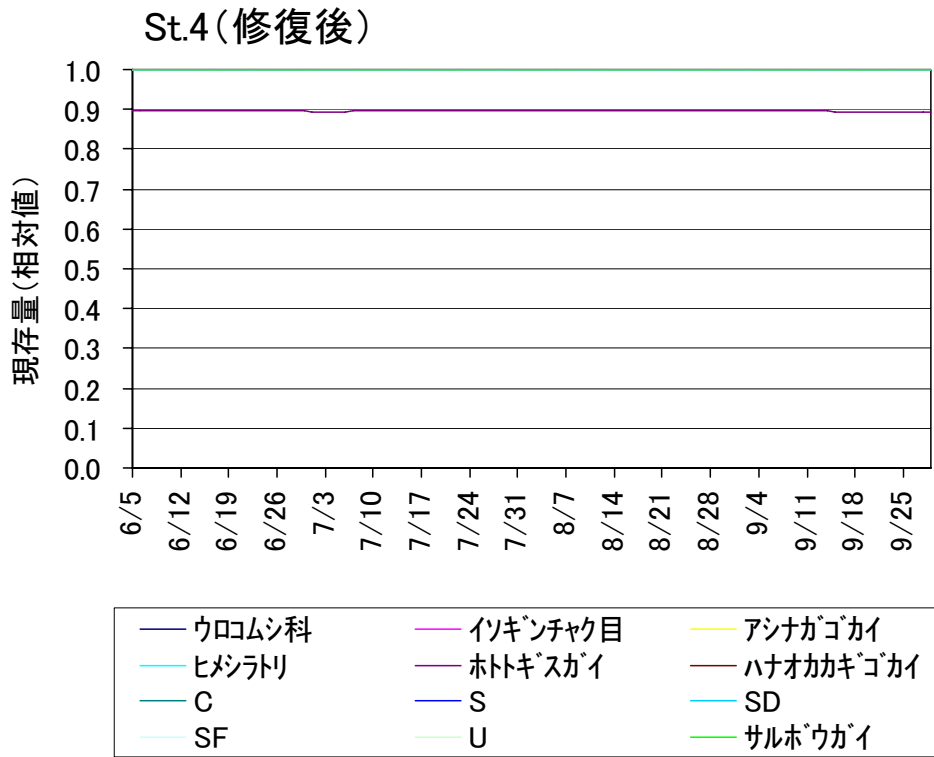
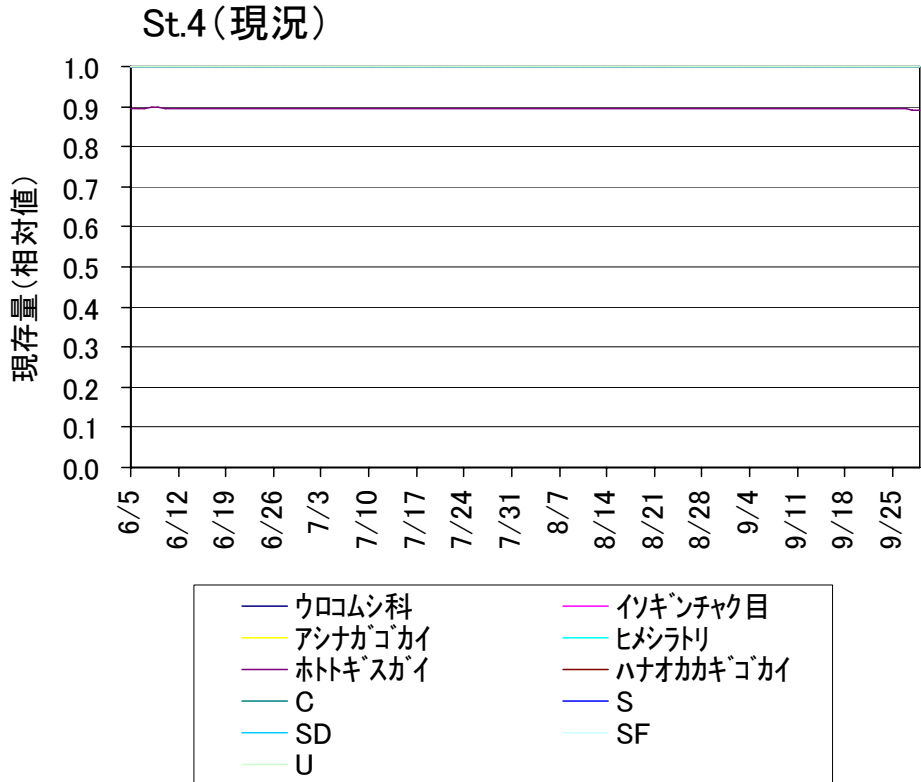


図-17 小規模泊地における現況と修復後の現存量(相対値)の経時変化

現況および修復後のいずれでも現存量(相対値)はホトトギスガイを除きいずれの種でもほぼ1である。

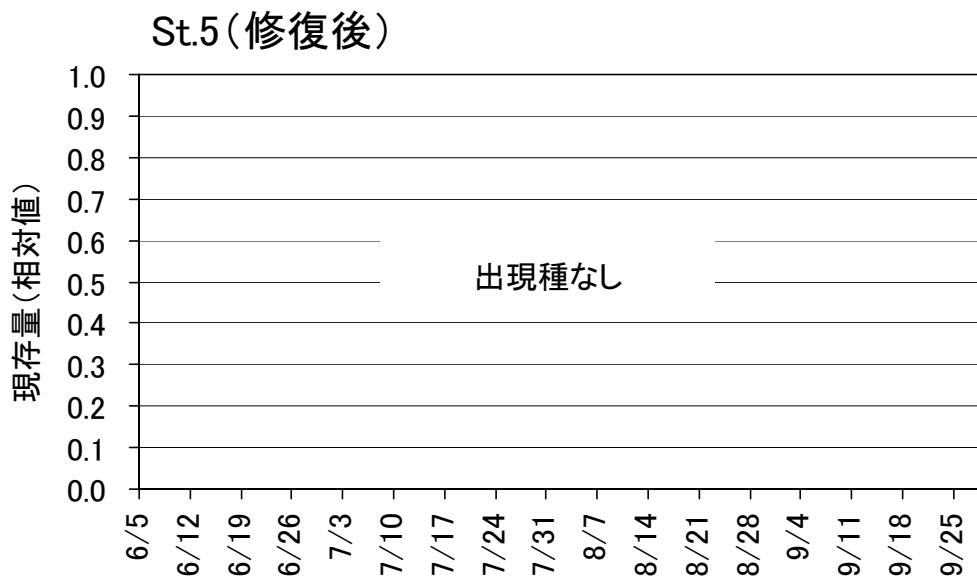
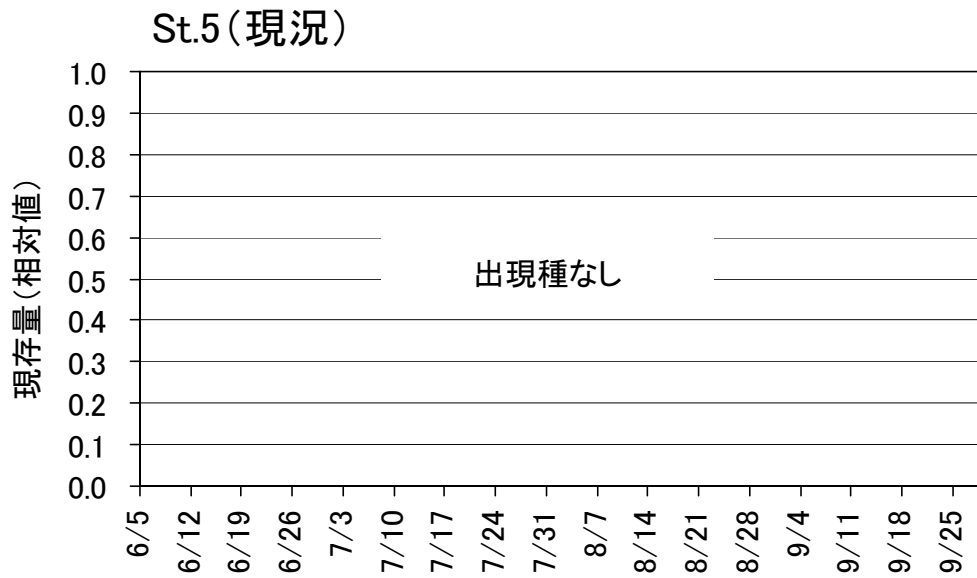


図-18 小規模泊地における現況と修復後の現存量 (相対値) の経時変化

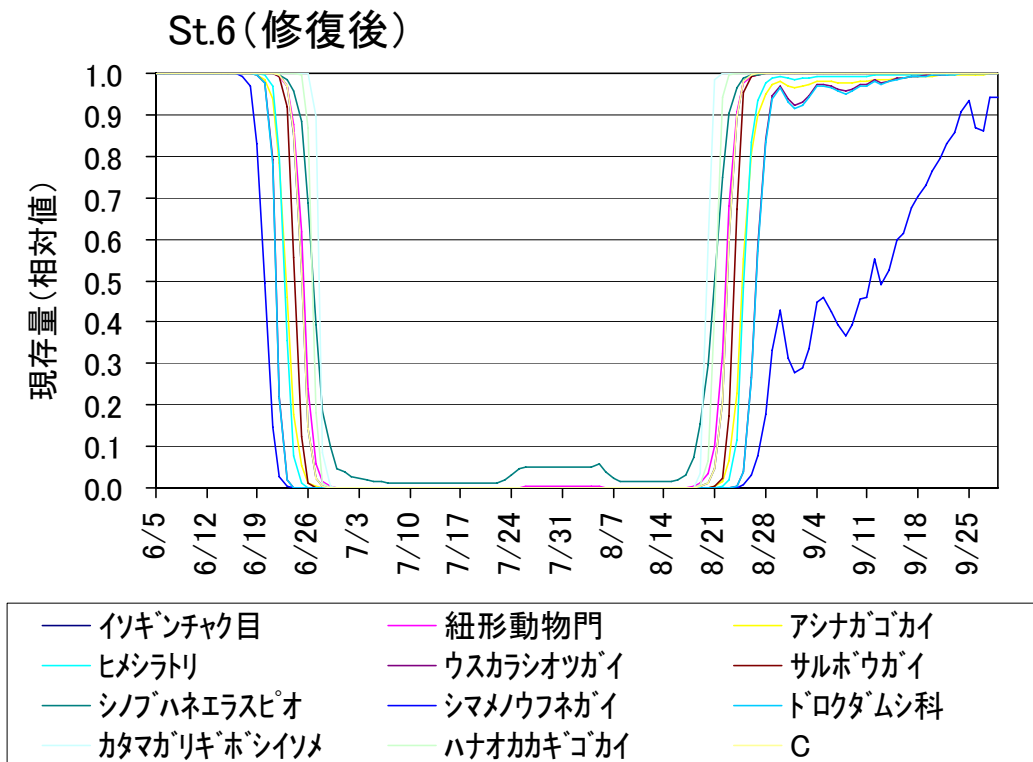
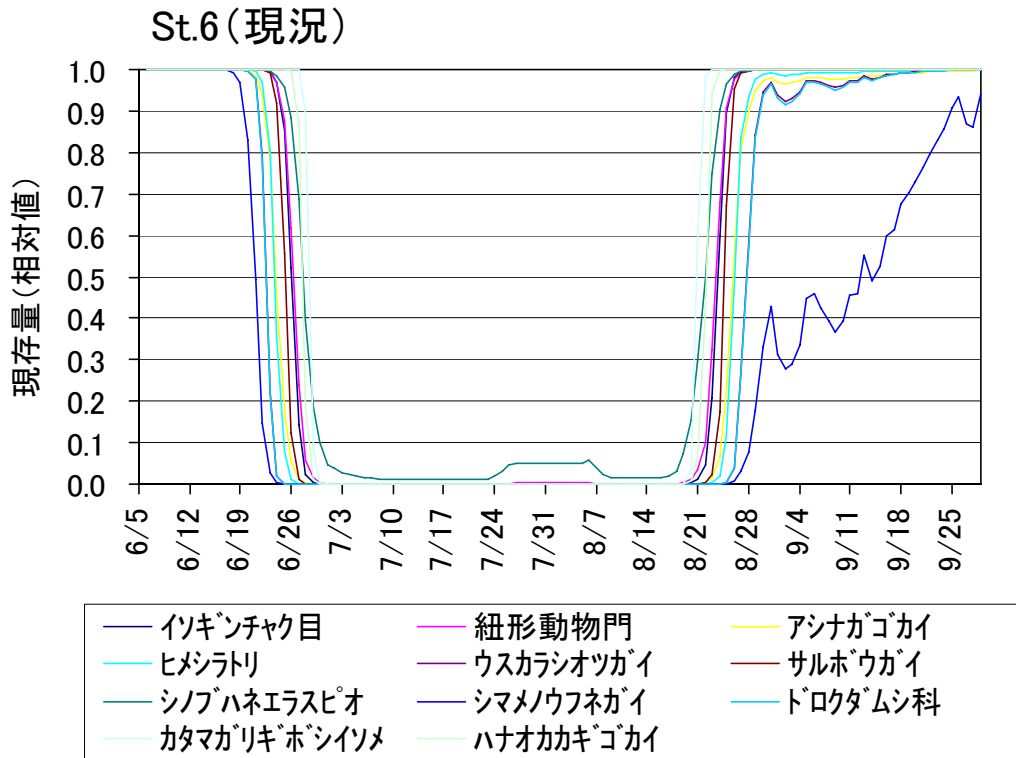


図-19 小規模泊地における現況と修復後の現存量 (相対値) の経時変化

④ 入江

入江内に位置するSt. 7についてみると(図-20)、現況では6月から8月半ばにかけてOSIは減少するため、その間に貧酸素化に弱い種は死滅すると予想されたが、修復後は酸素環境は良くなることから、ホトトギスガイを除くほとんどの種では、ほぼ最大現存量を維持できるという予測となった。一方、入江が面する泊地に位置するSt. 8と9では(図-21、22)、現況および修復後も8月前半から9月前半にかけて酸素環境が悪化するため、底生生物はほとんど死滅すると予測された。

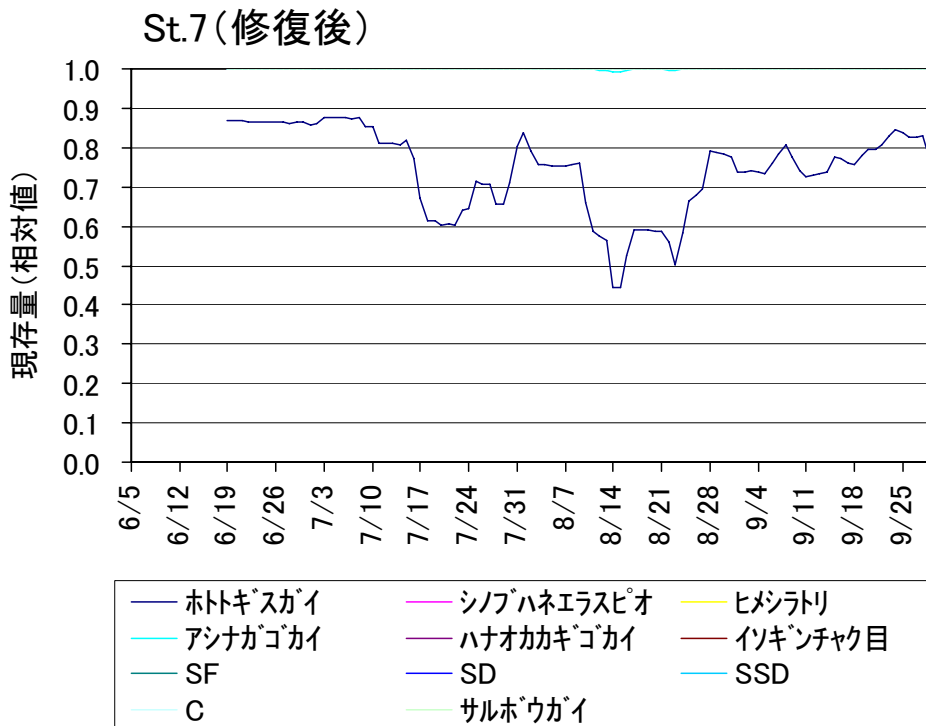
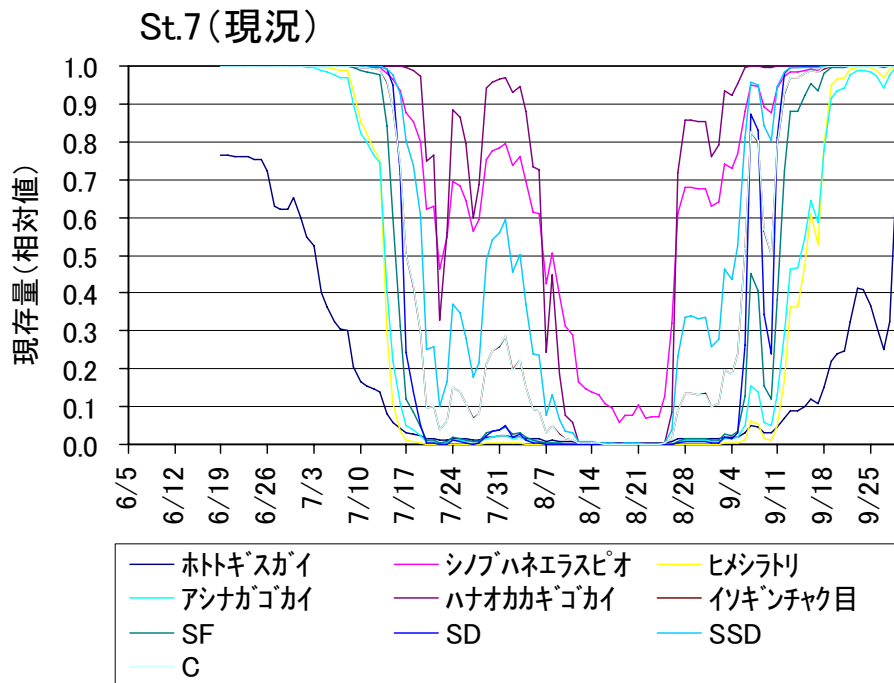


図-20 入江における現況と修復後の現存量(相対値)の経時変化

修復後の現存量(相対値)はホトトギスガイを除きいずれの種でもほぼ1である。

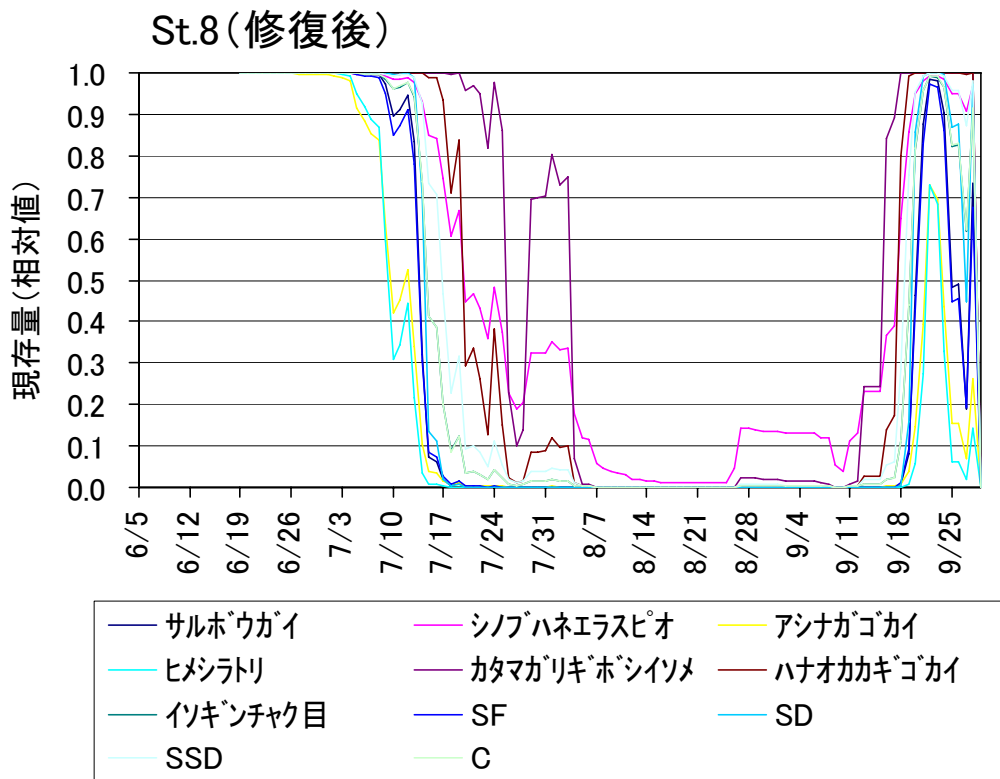
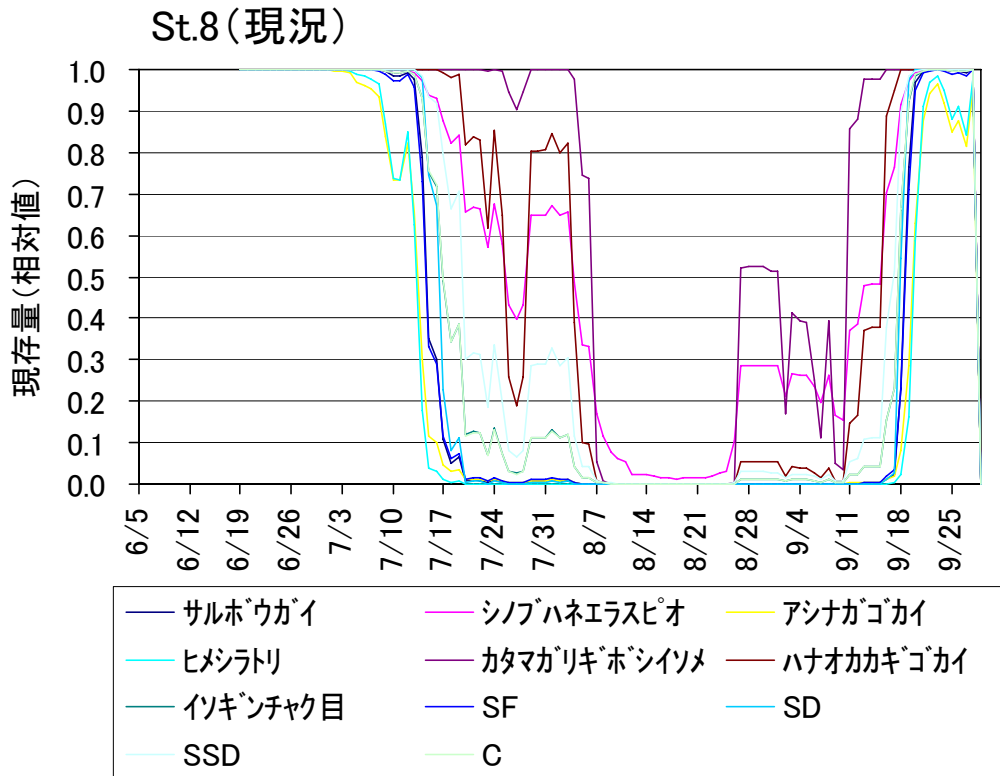
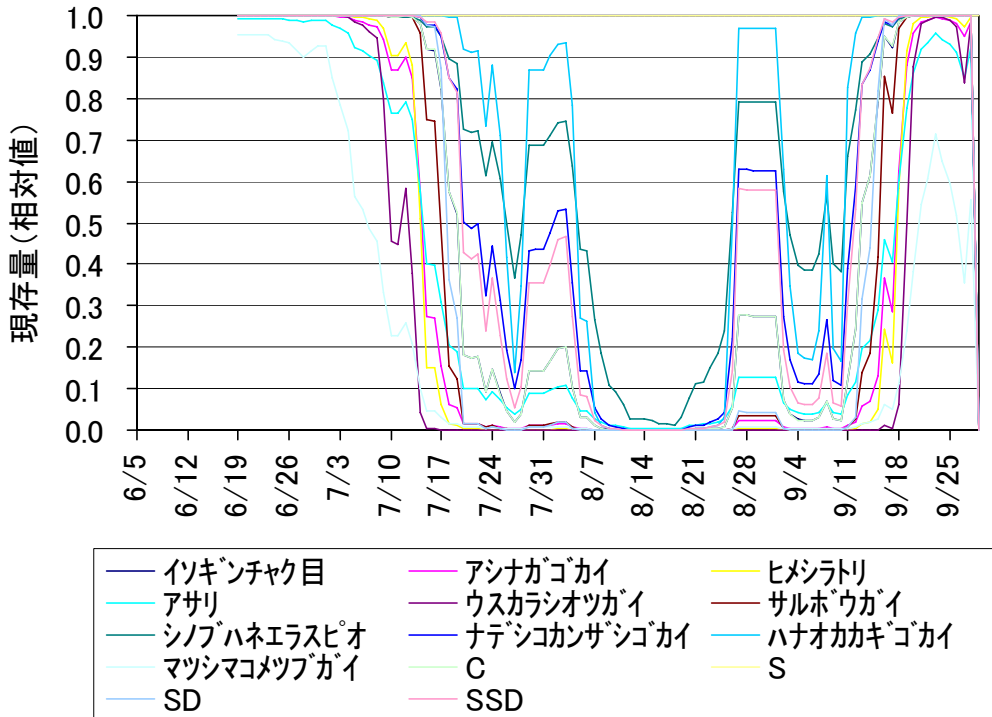


図-21 入江における現況と修復後の現存量(相対値)の経時変化

St.9(現況)



St.9(修復後)

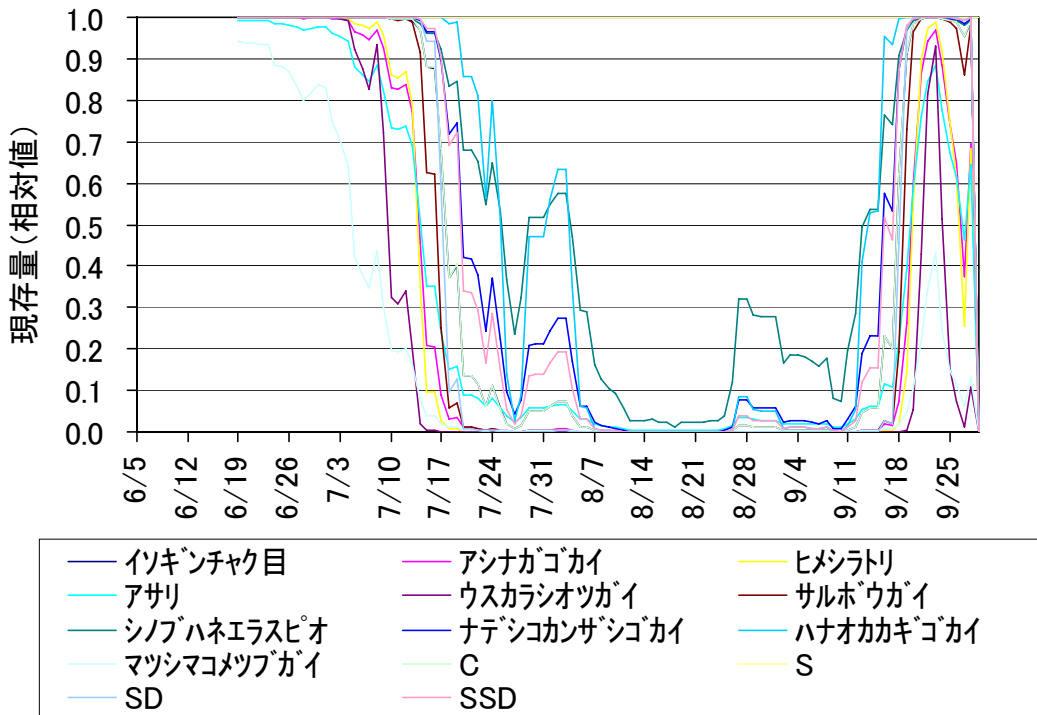


図-22 入江における現況と修復後の現存量(相対値)の経時変化

3. OSIから予測される底生生物の現存量（絶対値）

愛知県水産試験場が平成21年6月5日から9月29日まで行った調査結果を用いて、底生生物の種毎の最大現存量を求めた。通常、三河湾の底生生物は4～5月の春季に現存量が最大となり、その後貧酸素の影響で減少していくため、初めの調査の現存量を最大現存量とし計算を行うが、この年は初めの調査日（6月5日）よりもその後の調査日のほうが現存量が大きくなる場合が多く認められた。これは、酸素環境が好転したことによる加入や成長のためであると考えられる。したがって、ここでは、2回目以降の調査で最大となった場合はその都度最大現存量を更新していくことで現存量（絶対値）を予測した。

① 窪地

St. 10と11では窪地に位置するため、酸素環境は悪く、現況では出現する底生生物はいないが、修復後は酸素環境が良くなるため、貧酸素化しやすい7～8月でも多くの底生生物が現存量を増加させると考えられた（図-23、24）。St. 12は浅場に位置するため、現況でも修復後でも酸素環境は非常に良く、多くの底生生物が現存量を増加させると考えられた（図-25）。

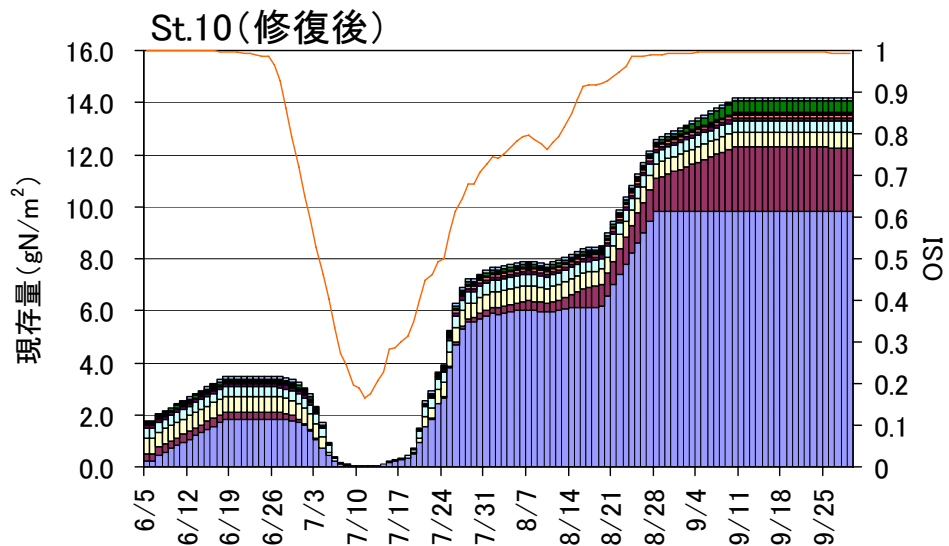
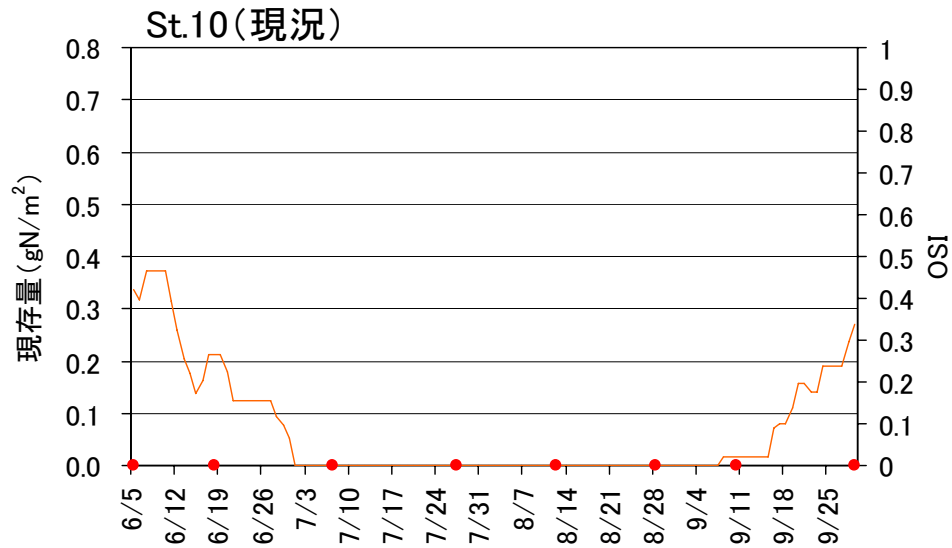


図-23 窪地における現況と修復後のOSIと底生生物の現存量の経時変化

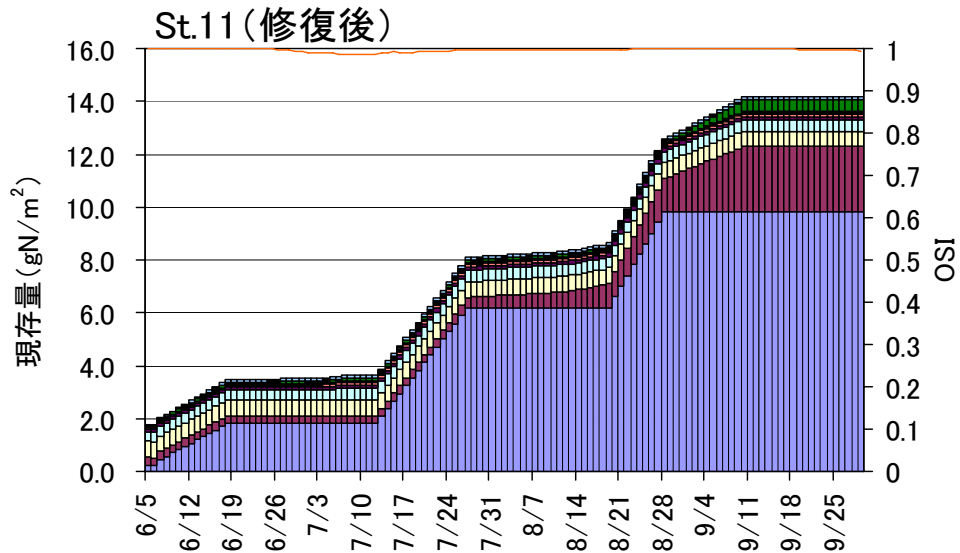
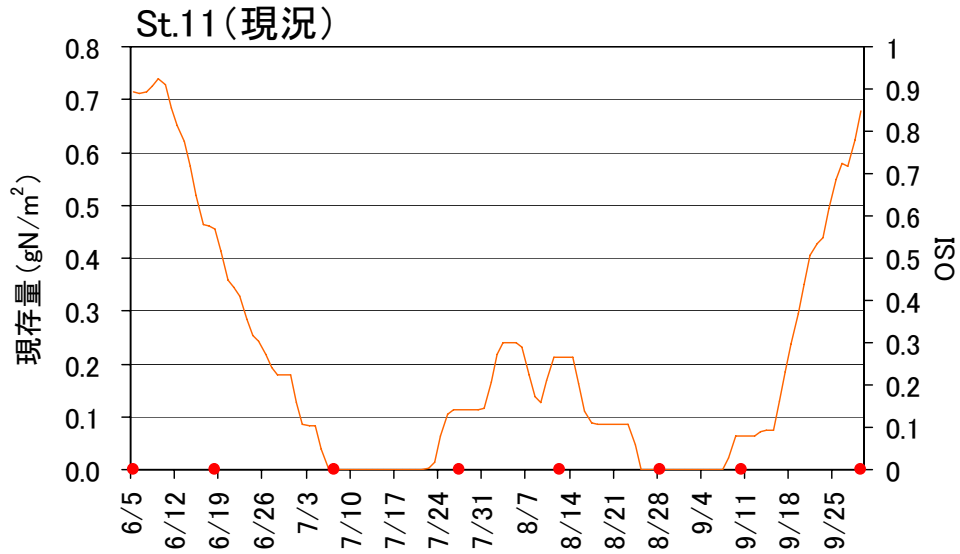


図-24 窪地における現況と修復後のOSiと底生生物の現存量の経時変化

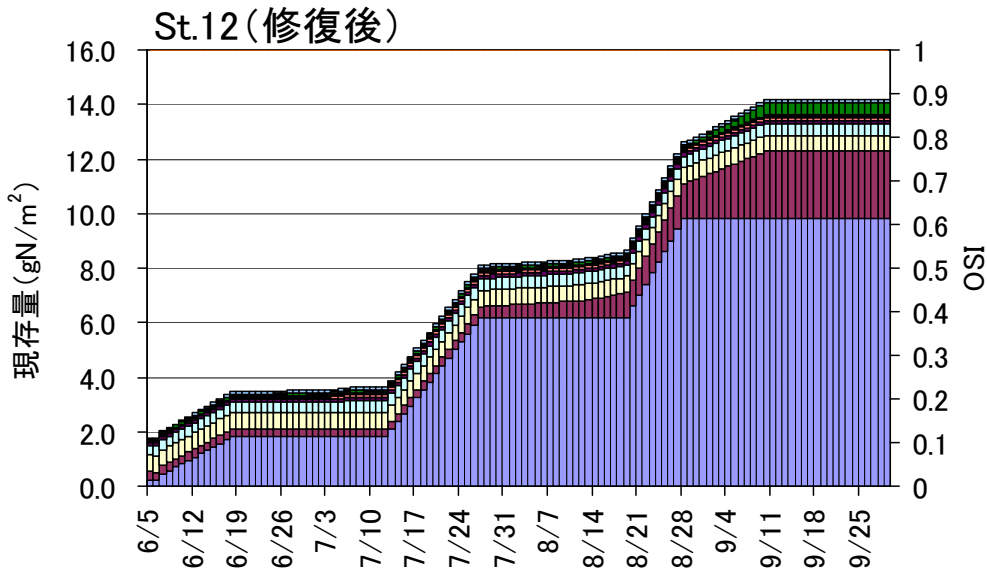
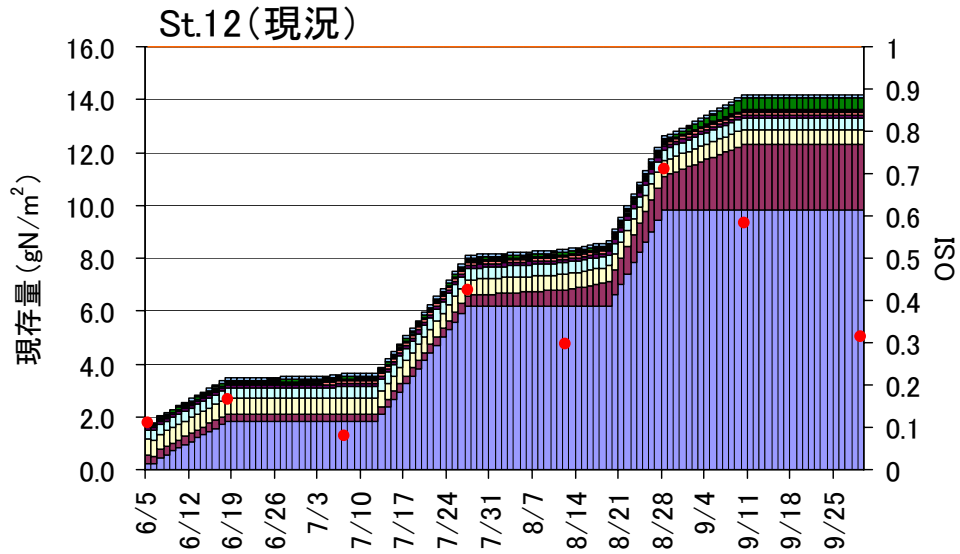


図-25 窪地における現況と修復後のOSIと底生生物の現存量の経時変化

② 大規模泊地・航路

航路内に位置するSt. 1および2では、修復後も酸素環境は極めて悪く底生生物は出現しないと予測された（図-26、27）。一方、航路の近隣の浅場に位置するSt. 3では、修復後も現況とほぼ同じ低い現存量であり、修復した場合もほとんど変化がないと予測された（図-28）。

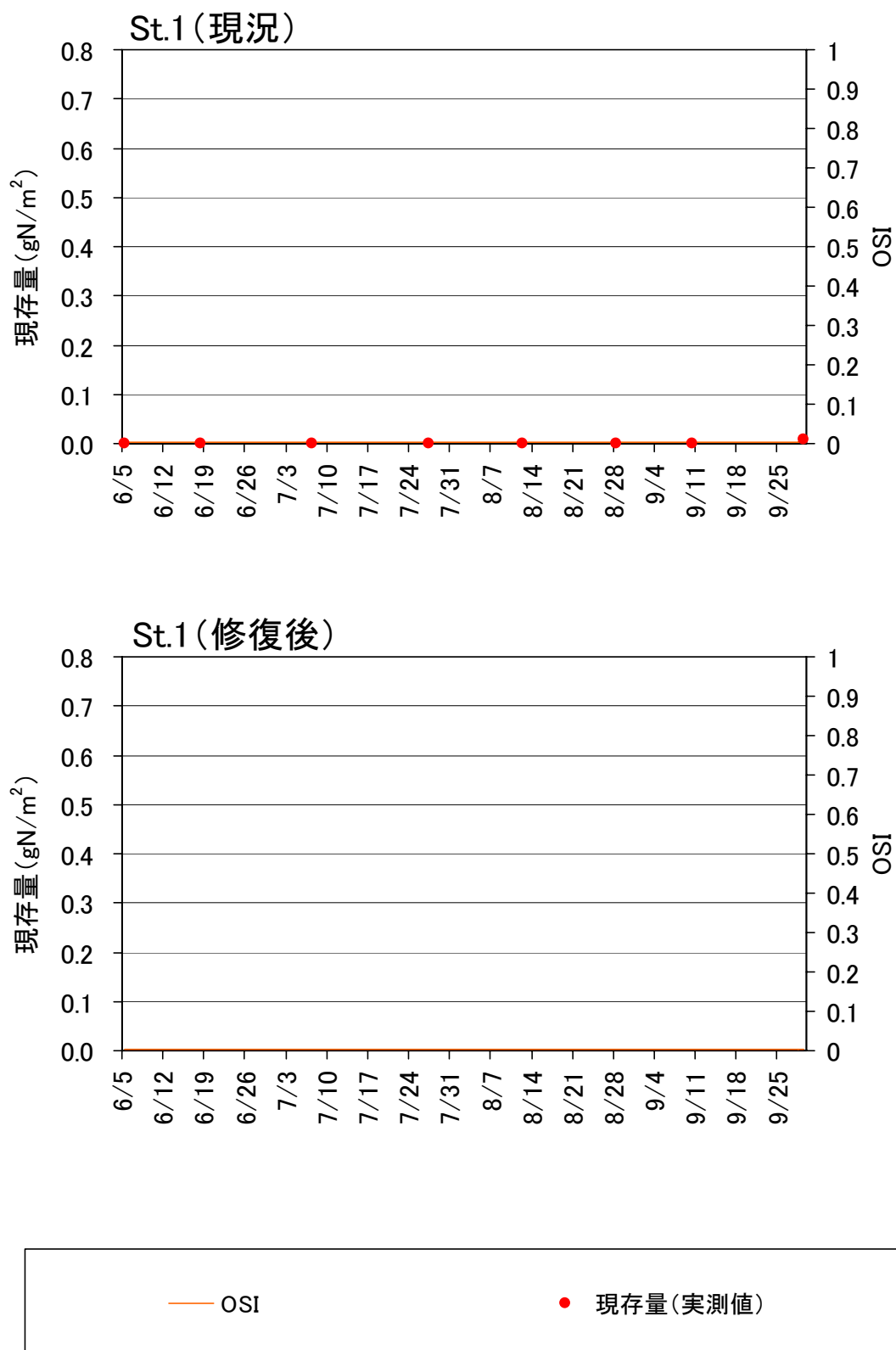


図-26 大規模泊地・航路における現況と修復後のOSIと底生生物の現存量の経時変化

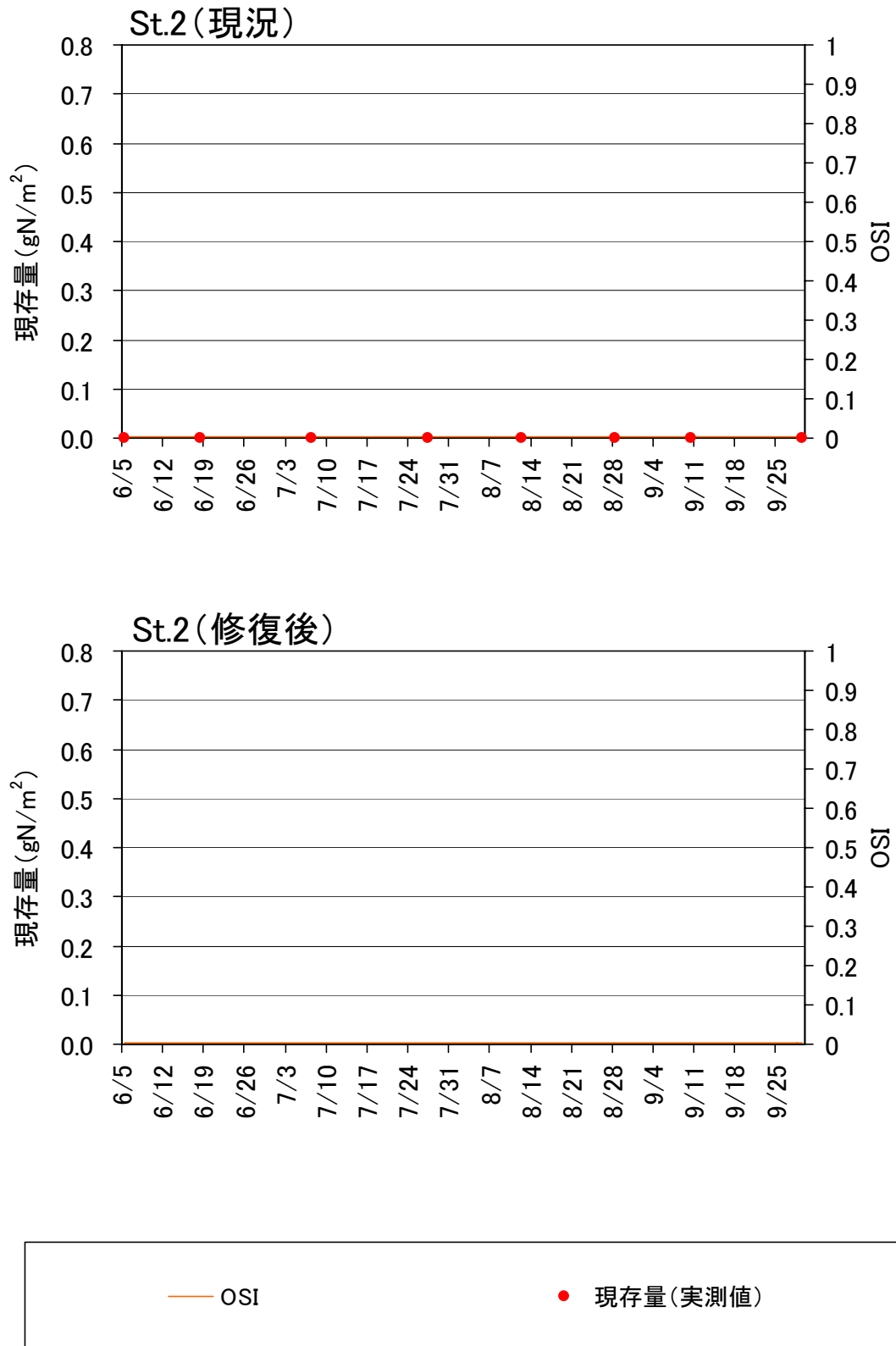


図-27 大規模泊地・航路における現況と修復後のOSIと底生生物の現存量の経時変化

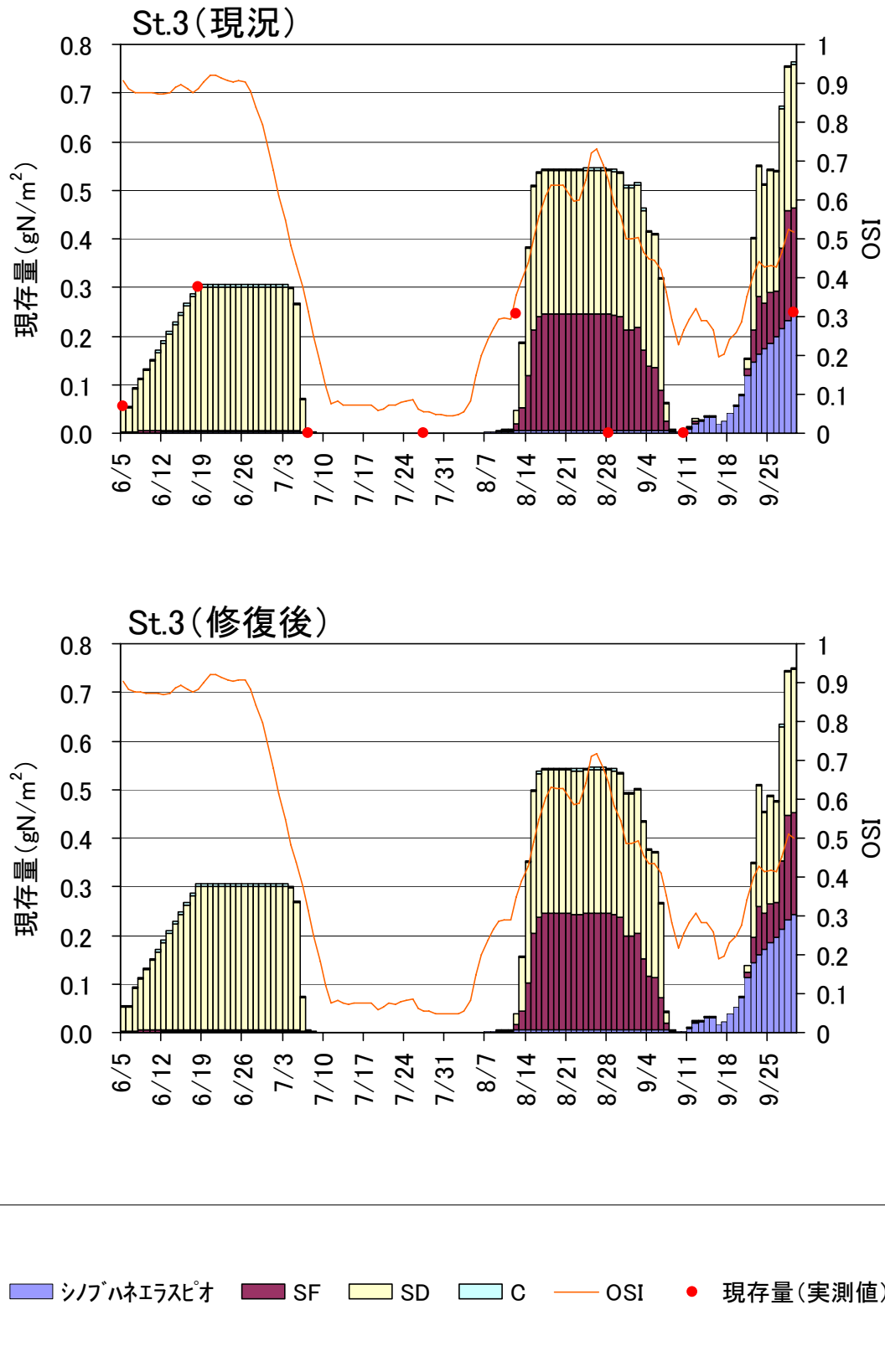


図-28 大規模泊地・航路における現況と修復後のOSIと底生生物の現存量の経時変化

③ 小規模泊地

サルボウガイ（二枚貝）を添加するSt. 4は比較的浅いため、現状でも酸素環境は良く、底生生物は死滅することはないと考えられた（図-29）。一方、三谷漁港内の中央に位置するSt. 5では、現況で底生生物の出現はなかったため、修復後も出現しないという予測になった（図-30）。漁港の入り口付近に位置するSt. 6では、6月半ばから8月後半まで酸素環境は悪化するため、底生生物は死滅する予測となった（図-31）。

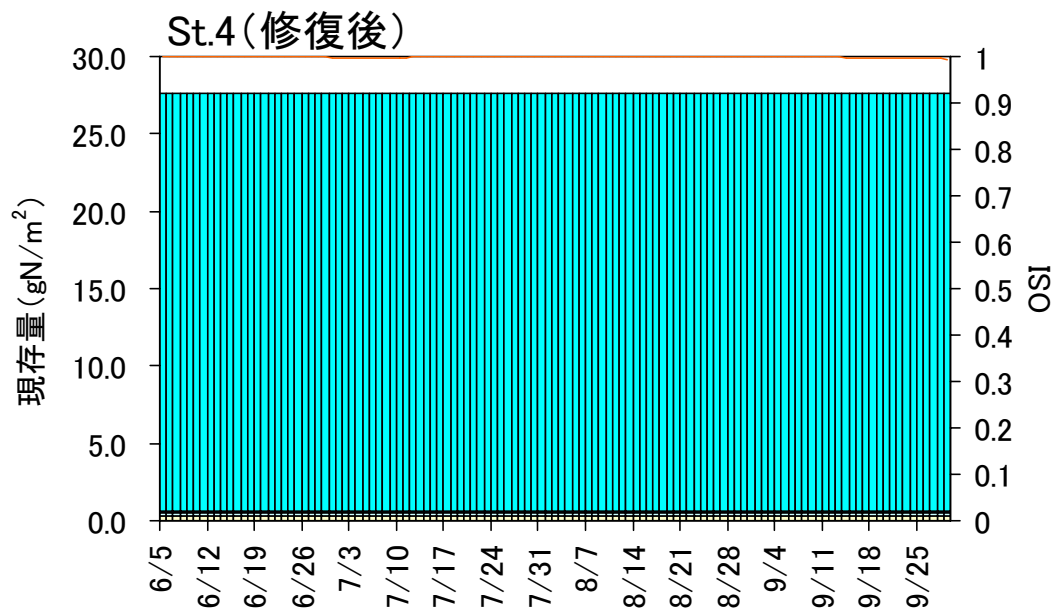
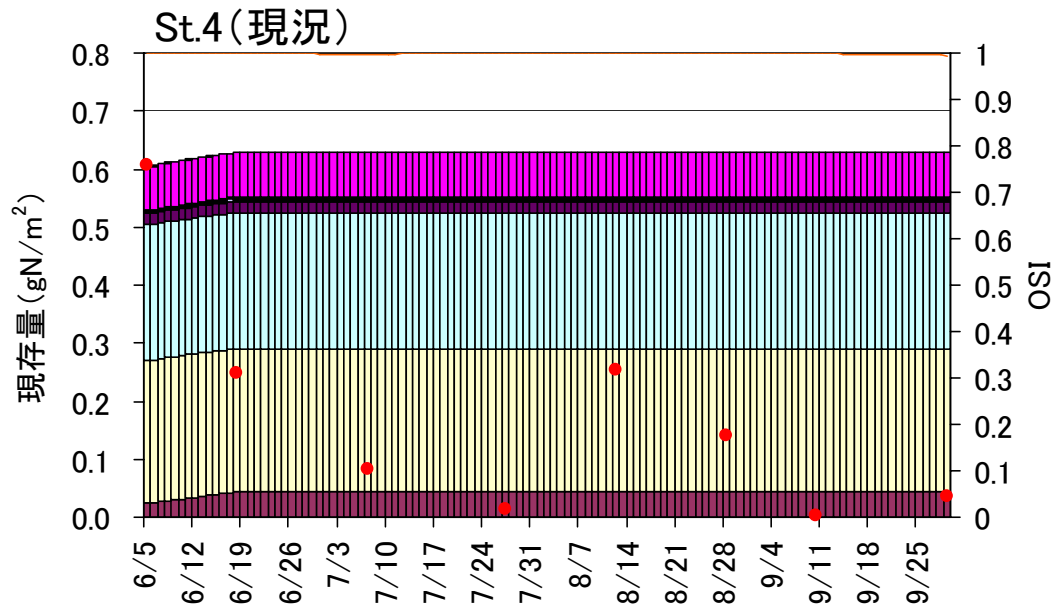


図-29 小規模泊地における現況と修復後のOSIと底生生物の現存量の経時変化

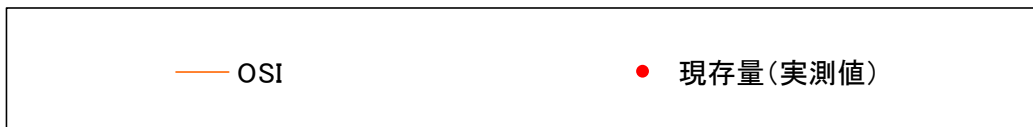
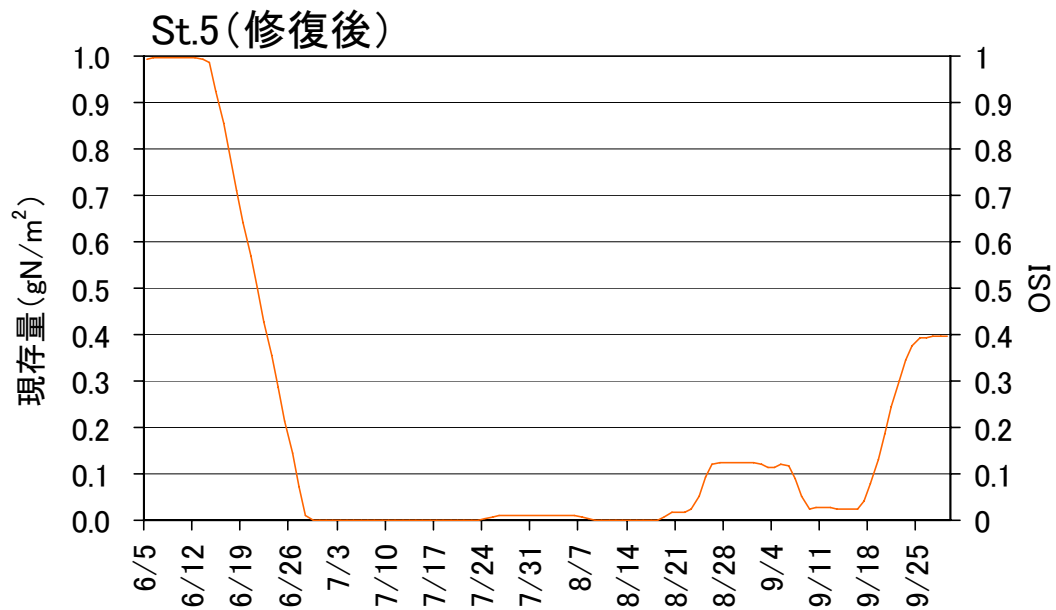
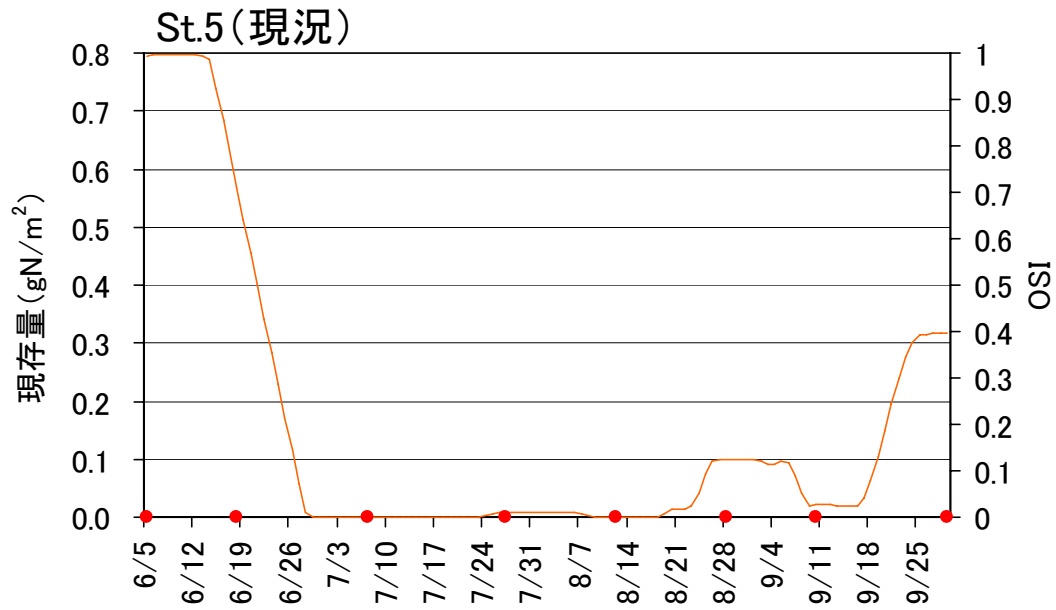


図-30 小規模泊地における現況と修復後のOSIと底生生物の現存量の経時変化

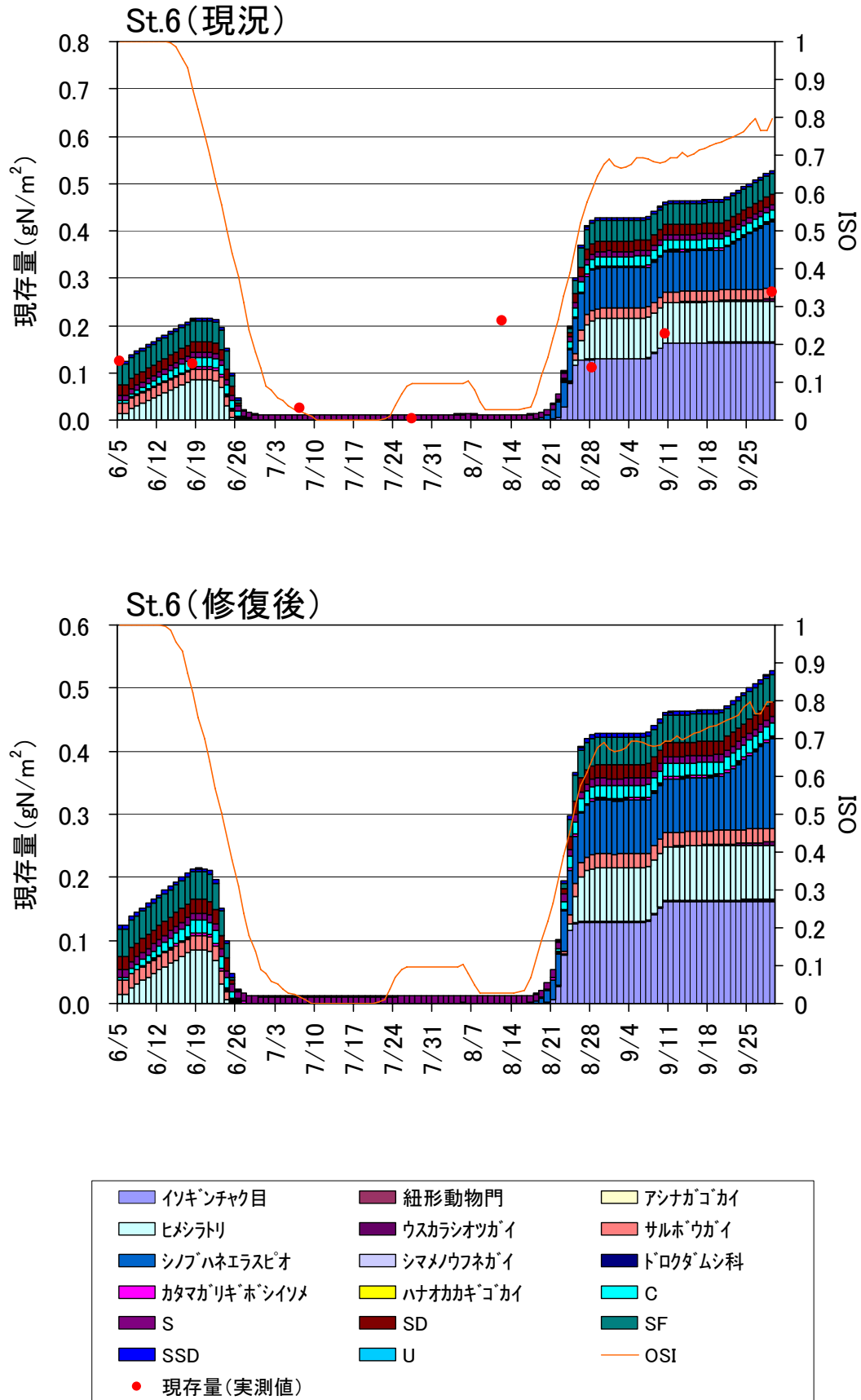


図-31 小規模泊地における現況と修復後のOSIと底生生物の現存量の経時変化

④ 入江

入江内に位置するSt. 7についてみると、現況では6月から8月半ばにかけてOSIは減少するため、その間にほぼ死滅すると予想されたが、修復後は酸素環境は良くなることから、添加するサルボウガイ（二枚貝）もほぼ最大現存量を維持できるという予測となった（図-32、33）。一方、入江が面する泊地に位置するSt. 8と9では、現況および修復後も8月前半から9月前半にかけて酸素環境が悪化するため、底生生物はほとんど死滅すると予測された（図-34）。

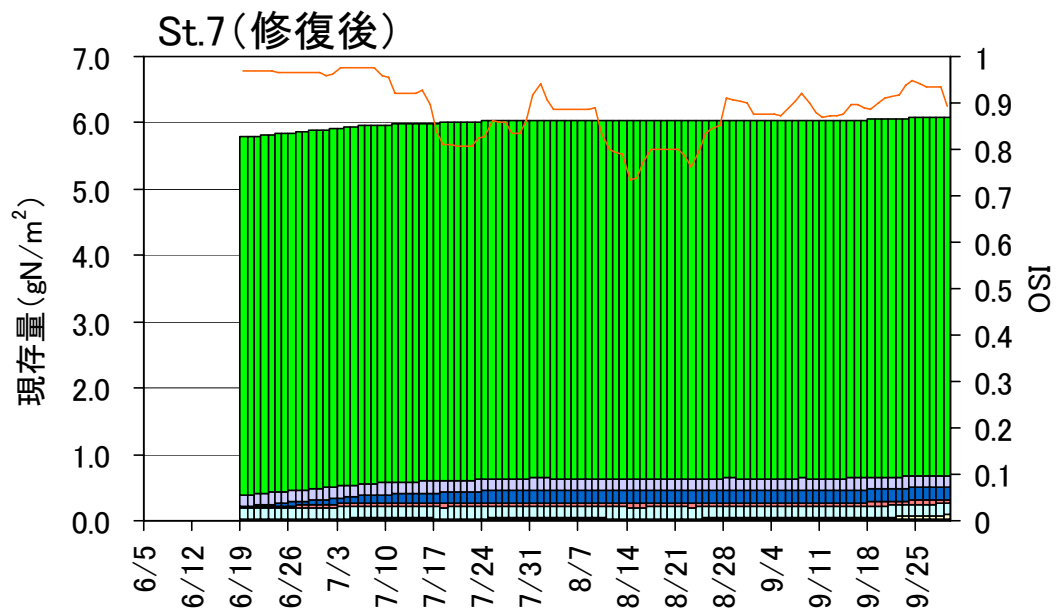
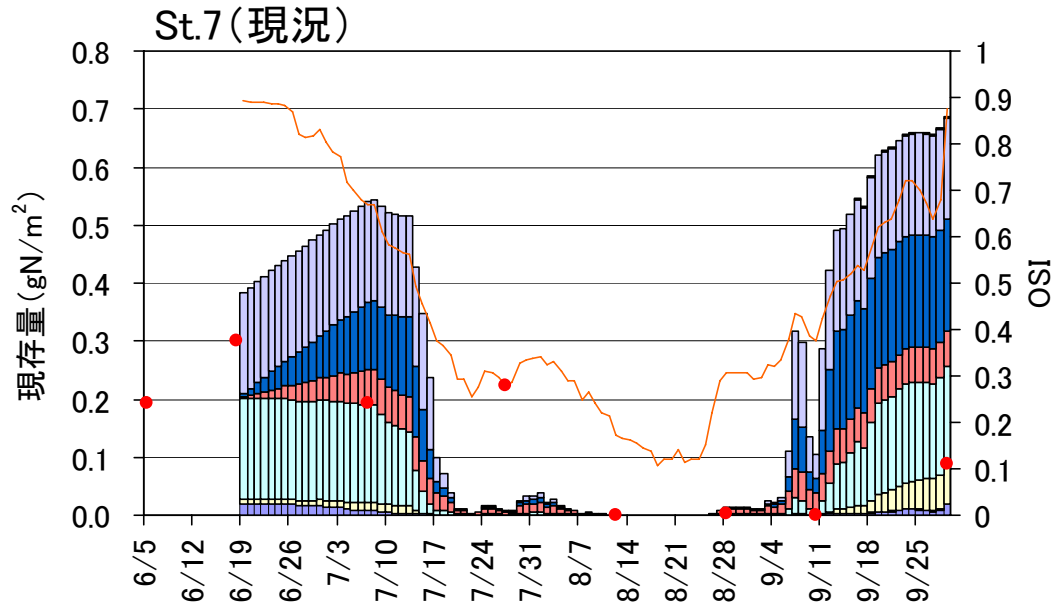


図-32 入江における現況と修復後のOSIと底生生物の現存量の経時変化

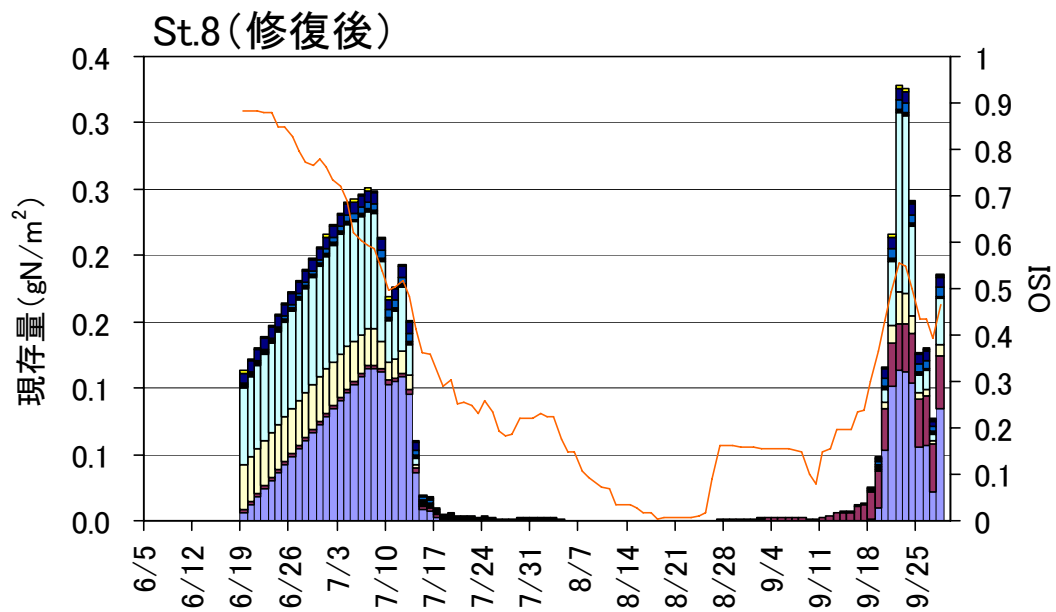
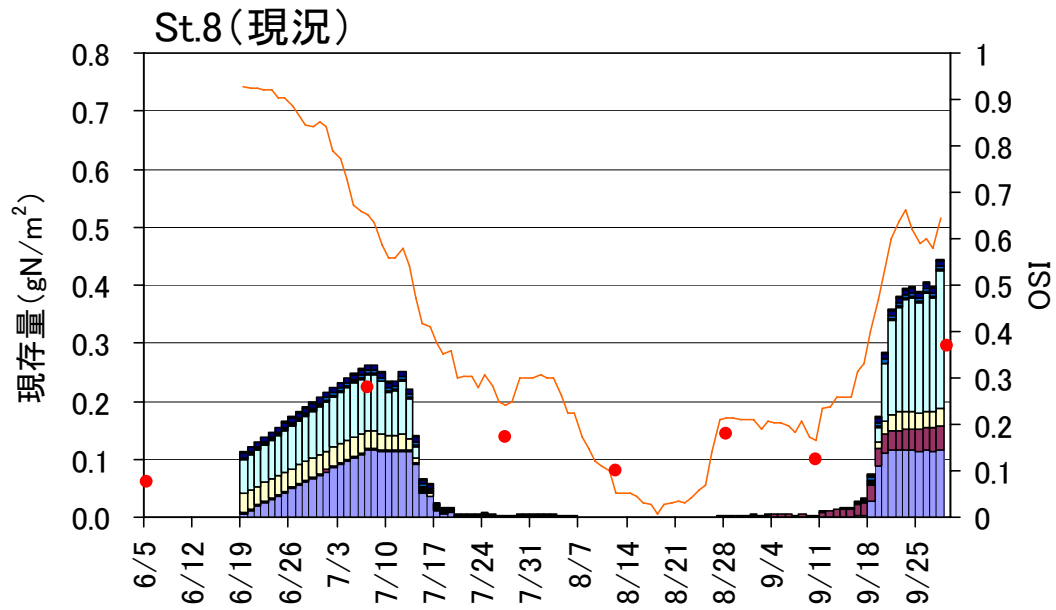


図-33 入江における現況と修復後のOSIと底生生物の現存量の経時変化

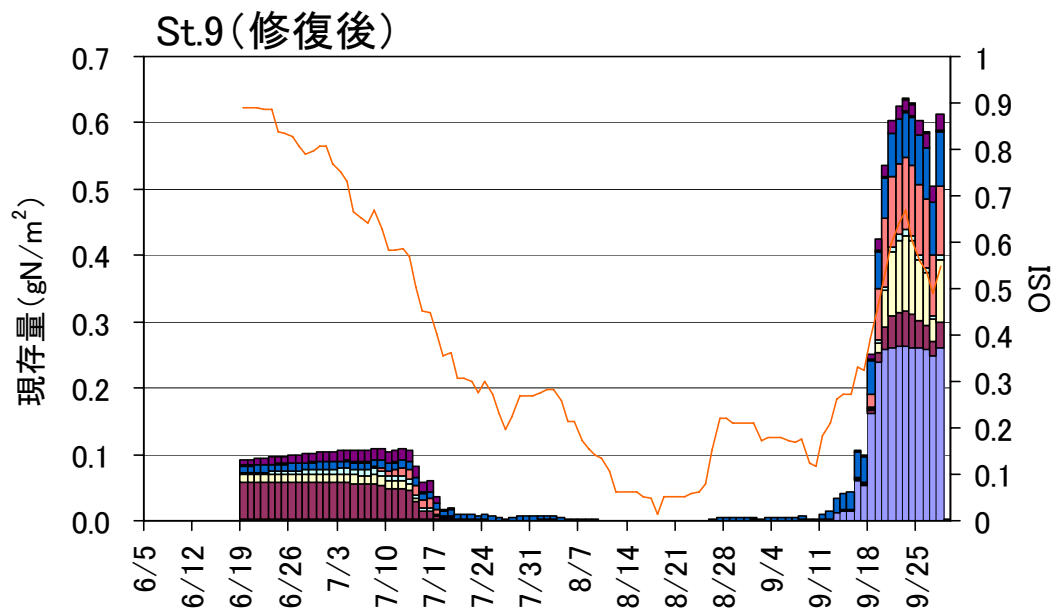
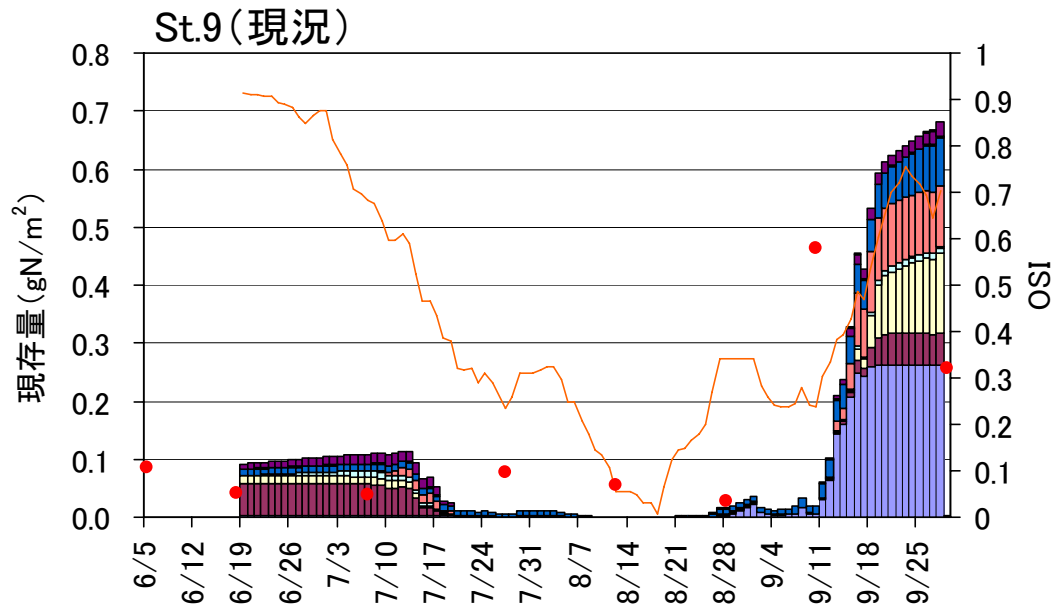


図-34 入江における現況と修復後のOSIと底生生物の現存量の経時変化

参考文献

橋口晴穂・今尾和正・金子健司・宮向智興・森敦史・豊原哲彦・和久光靖・石田基雄・鈴木輝明：浚渫
窪地周辺海域における貧酸素化とマクロベントス群集の応答の定量化－三河湾奥部を例として－水
産工学，投稿中.

Baretta, J. and P. Ruardij (ed.): Tidal flat estuaries, simulation and analysis of the Ems Estuary.
Springer-Verlag, pp. 353, 1988.

今尾和正・鈴木輝明・高部昭洋：溶存酸素環境の変化に伴うマクロベントス群集の構造と機能の変化予
測手法. 水産工学, 41: 13-24, 2004.

鈴木輝明・青山裕晃・甲斐正信：三河湾における貧酸素化によるアサリ (*Ruditapes phillipinarum*)
の死亡率の定式化. 海洋理工学会誌, 4: 35-40, 1998.

Hochachka P. W.: 低酸素適応の生化学－酸素なき世界で生きぬく生物の戦略(橋本周久, 阿部宏喜, 渡
辺終五訳). 恒星社厚生閣, 東京, pp. 194, 1984.



この報告書は、ボートレースの交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました。

平成22年度「海の健康診断」を活用した三河湾の極小海域における
環境評価手法の調査研究報告書 海の健康診断 三河湾モデル

平成23年3月発行

発行 海洋政策研究財団（財団法人シップ・アント・オーシャン財団）

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-15-16 海洋船舶ビル

TEL 03-3502-1828 FAX 03-3502-2033

<http://www.sof.or.jp> E-mail : info@sof.or.jp

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。 ISBN978-4-88404-263-9

