

# 第3回 伊勢湾漁業影響調査委員会

## 資料 3

---

### 伊勢湾シミュレーターの再現状況

#### 目次

1. 検討内容.....	1
2. 候補地周辺で発生する貧酸素水塊の挙動とその再現について .....	2
3. 動・植物プランクトン等の微生物ループの再現性について.....	5
4. アサリの浮遊幼生等の再現性について.....	9
5. 栄養塩・有機物の再現性について.....	15

平成 27 年 3 月 11 日

いであ(株)・全国水産技術者協会 設計共同体



# 1. 検討内容

予測・評価に用いる伊勢湾シミュレーターは、伊勢湾再生海域検討会研究ワーキング(座長:中田喜三郎 名城大学特任教授)にて再現性の検証作業が行われ、表 1 に示す成果が得られている。

本検討では 2014 年 4 月以降実施された伊勢湾漁業影響調査と伊勢湾シミュレーターの計算値との比較を通じて再現性の確認を行い、今後の漁業影響評価を実施するうえでの課題の抽出を行った。

表 1 現状の伊勢湾シミュレーターの再現状況および課題

項目	評価	再現状況/課題
潮流、流れの再現	○	・ 再現性は十分な精度
水温の再現	○	・ 再現性は十分な精度
塩分の再現	(▲)	・ 予測する時期によっては湾内の密度成層が十分に再現できない場合があり、再現に一部課題が残った。 ・ <b>その要因は鉛直混合スキームによるものであると推定した。今後、鉛直混合スキームの高精度化が必要である。</b>
動・植物プランクトンの再現	○ (▲)	・ 再現性は十分な精度 ・ 動物プランクトンやせん毛虫といった微生物については、観測データの蓄積することで更なる再現性の向上が図れる。 ・ <b>ユーカンピアの発生メカニズムを解明・発生予測手法を提案した。今後、この予測手法を伊勢湾シミュレーターに実装し、ユーカンピアの発生が再現できるかを検証する必要がある。</b>
有機物、栄養塩の再現	○	・ 再現性は十分な精度
溶存酸素の再現	△	・ 貧酸素水塊の厚みについて一部再現性に課題が残った。 ・ <b>上記の成層状況の再現性の向上に伴い、問題は解決されるものと推測した。</b>
底質中の有機物、栄養塩、硫化物の再現	○ (▲)	・ 再現性は十分な精度 ・ <b>砂質場では底質の巻き上げ等、物理的な底質の移動を考慮することで再現性の向上が図れる。</b>
底生物量の再現	○ (▲)	・ 再現性は十分な精度 ・ <b>モデル化されていない底質粒径の変化や浮遊幼生の着底量の変化に伴う現存量の変動は直接には予測できない。</b>

評価欄の凡例 ○：再現性良好  
△：一部課題はあるが計算条件の変更等により再現性の向上が見込める  
▲：伊勢湾シミュレーターの本体の改良が必要

※出典：平成 26 年度伊勢湾再生海域検討会第 3 回研究ワーキング資料より抜粋・一部改変

漁業影響調査による観測値と伊勢湾シミュレーターの計算値の比較項目を表 2 に示す。本資料では特に表 3 に示す内容について整理を行った。

表 2 伊勢湾シミュレーターの検証項目

調査区分	調査項目	略称	単位	検証項目
流況調査 (5.8,11,2月各30昼夜)	流向	—	°	●
	流速	—	cm/s	●
	水温	—	°C	●
	塩分	—	—	●
水質調査 I (毎月1回)	水温	T	°C	●
	塩分	S	—	●
	溶存酸素	DO	mg/l	●
	濁度	—	度	—
	透明度	—	—	—
	水色	—	—	—
	クロロフィルa	Chl-a	μg/l	●
	水素イオン濃度	pH	—	—
	光子(相対光子)	—	%	—
水質調査 II (毎月1回)	全有機炭素	TOC	mg/l	●
	溶存態有機炭素	DOC		●
	懸濁態有機炭素	POC		—
	化学的酸素要求量	COD		—
	全窒素	T-N		●
	懸濁態有機窒素	PON		—
	溶存態有機窒素	DON		●
	亜硝酸態窒素	NO <sub>2</sub> -N		●
	硝酸態窒素	NO <sub>3</sub> -N		●
	アンモニア態窒素	NH <sub>4</sub> -N		●
	全リン	T-P		●
	リン酸態リン	PO <sub>4</sub> -P		●
	懸濁態有機リン	POP		●
	溶存態有機リン	DOP		●
水素イオン濃度	pH	—		
ケイ酸態ケイ素	SiO <sub>2</sub> -Si	—		
水質調査 III (5.8,11,2月各1回)	クロロフィルa	Chl-a	μg/l	●
	フィオフィチン	—	—	—
	全菌数	—	細胞/ml	●
	浮遊物質質量	SS	mg/l	—
水質調査 IV (7~9月 90日間連続)	強熱減量	VSS	—	—
	水温	T	°C	●
	塩分	S	—	●
沈降・堆積量調査 (5.8,11,2月各1昼夜)	溶存酸素	DO	mg/l	●
	浮遊物質質量	SS	g/(day・m <sup>2</sup> )	—
	懸濁態有機炭素	POC	—	●
	懸濁態有機窒素	PON	mg/(day・m <sup>2</sup> )	●
生物調査①	懸濁態有機リン	POP	—	●
	動物プランクトン(毎月1回)	ZOO	mg・C/l	●
	微細植物プランクトン(年4回)	PHY	—	●

表 3 本資料での整理内容

視点	再現性の確認項目
・底生魚介類の生息環境	① 貧酸素化(とくに候補地周辺)
・魚類の採餌環境	② 動物プランクトン等の微生物
・アサリの稚貝の供給量	③ アサリの浮遊幼生、着底稚貝
・ノリの生育環境	④ 栄養塩類濃度

## 2. 候補地周辺で発生する貧酸素水塊の挙動とその再現について

### 2.1 候補地周辺での貧酸素水塊の発生状況

候補地周辺での貧酸素水塊の挙動を把握することを目的に、候補地周辺での水温・塩分・溶存酸素を7～9月の90日間連続して観測した。その結果、候補地周辺では図1に示すような2種類の貧酸素化のメカニズムが存在することが明らかとなった。本資料では、どのような状況で伊勢湾底層の高密度水塊が浅海域に運ばれるのかという視点で観測データを整理した。

図2には観測結果で得られた各地点の溶存酸素(DO)の経時変化を示している。観測では図1に示すN4～N7の計4地点において溶存酸素・水温・塩分の連続観測を実施した。いずれの地点においても底上0.5mにおいて観測を行った。N6では底上0.5mに加え、海面下5.0mにおいても観測を行った。また下段にはモニタリングブイ(湾奥ブイ)で観測された溶存酸素も併記している。

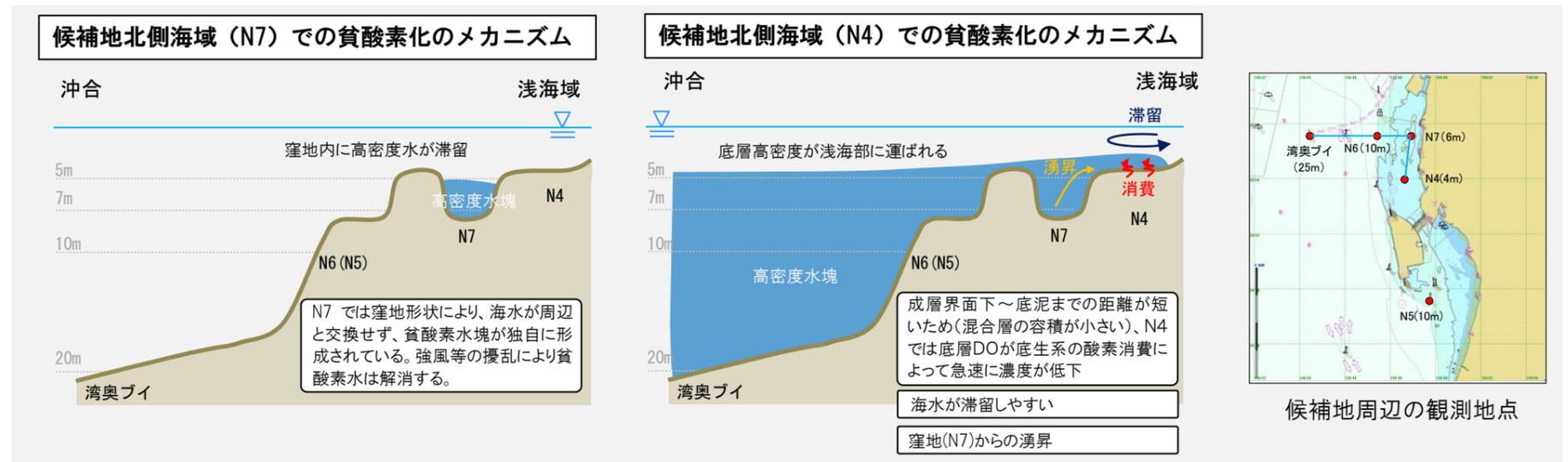


図1 推定した候補地周辺での貧酸素化のメカニズム

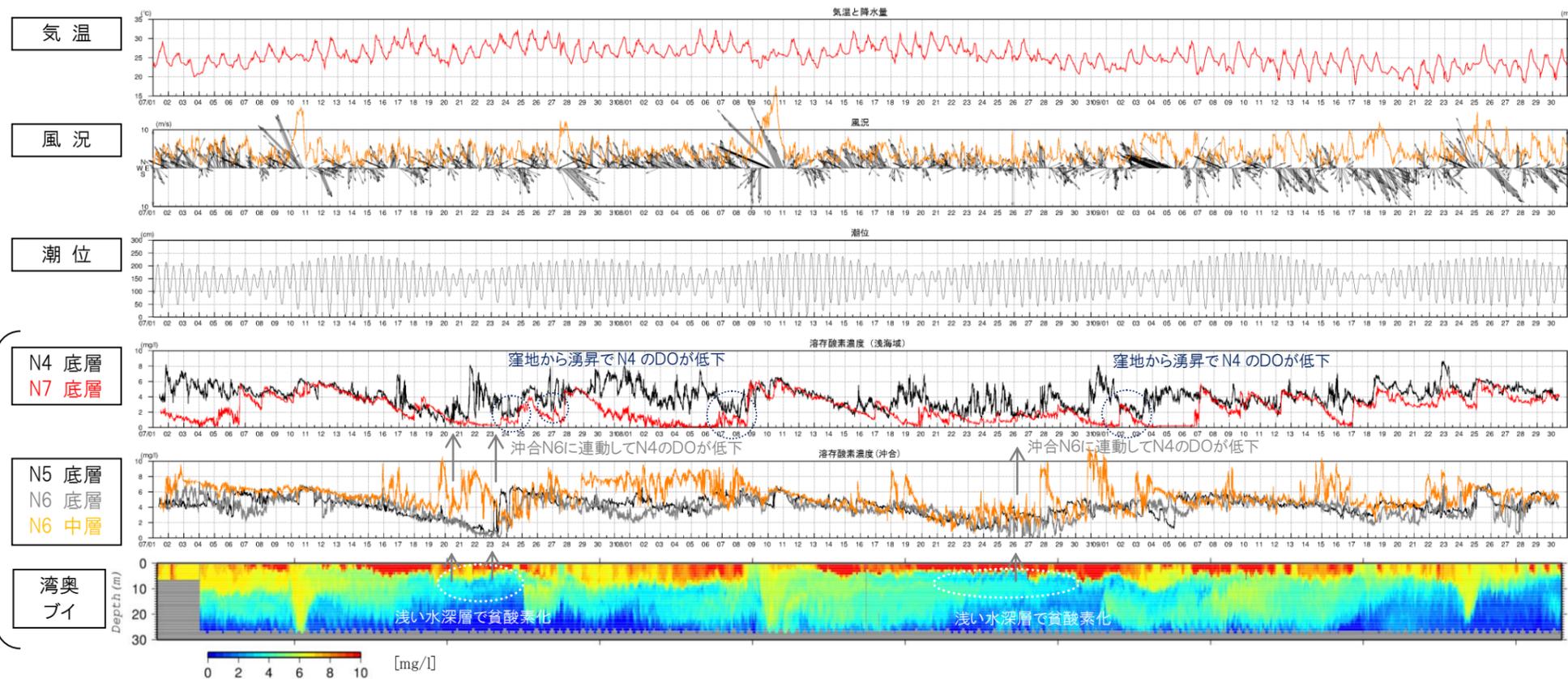
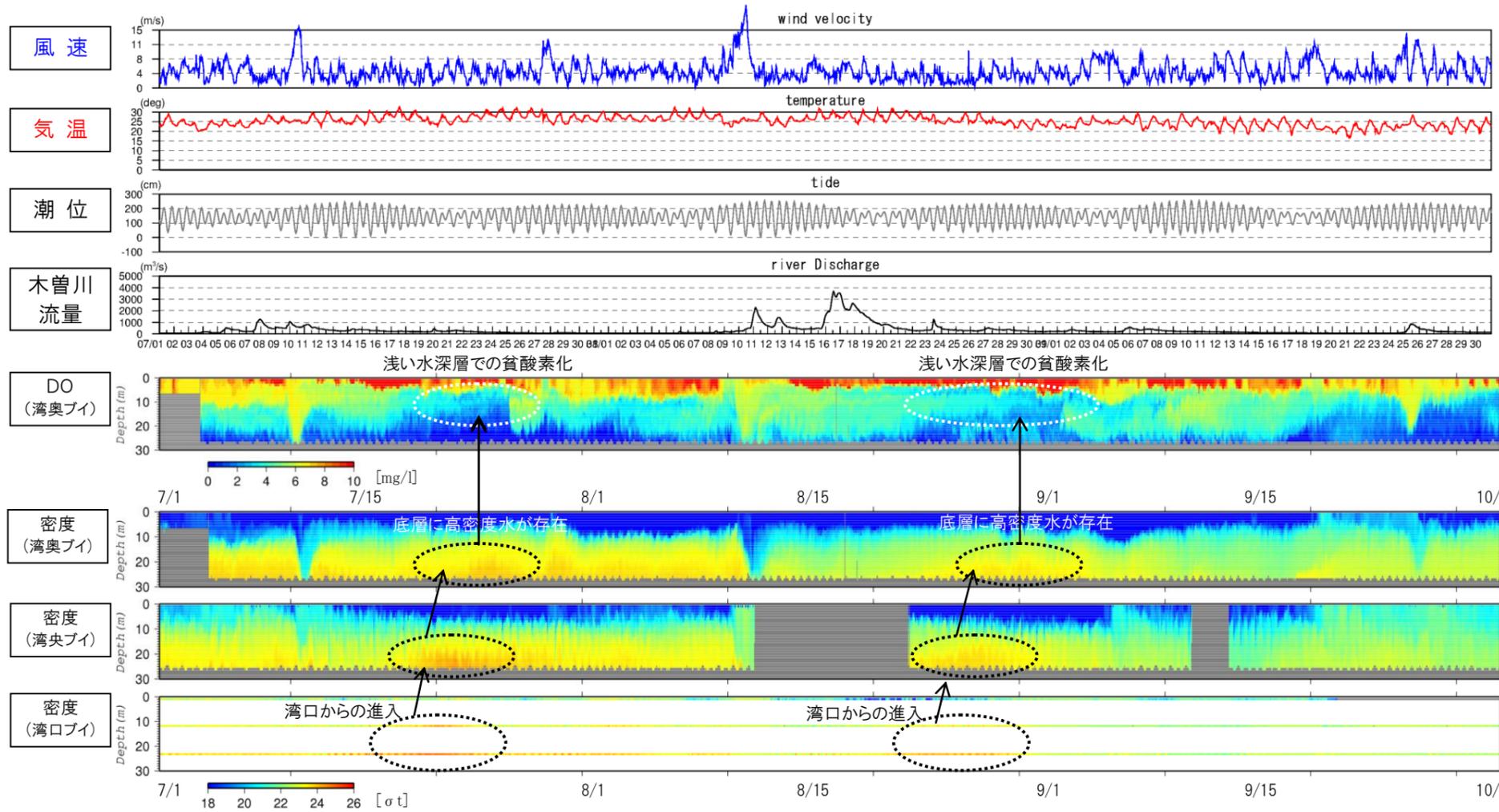


図2 候補地周辺で観測された溶存酸素の経時変化

#### ■ 観測された候補地北側での貧酸素化の特徴

- ① 窪地化したN7での貧酸素化と浅海域N4への湧昇
  - ・ 窪地化しているN7では他の地点に比べ、貧酸素水塊の発生頻度が高い。
  - ・ N7で発生した貧酸素水塊はしばしば窪地から湧昇していることが分かった。この湧昇によりN4の溶存酸素が低下するなど周辺の浅海域へ影響を与えている。
- ② 沖合のN6と連動した浅海域N4の貧酸素化
  - ・ 上記①とは別にN4で貧酸素化が生じる時期があり、その時期は沖合N6でも貧酸素化が生じていた。
  - ・ この時期のモニタリングブイ(湾奥)の溶存酸素濃度の鉛直分布をみると、水深5m付近にまで貧酸素水塊が上昇しており、この水塊が候補地周辺に運ばれたものと推測される。



**■浅い水深層での貧酸素化の発生**

- 伊勢湾奥ブイで浅い水深層で貧酸素化が発生したのは7月中下旬と8月中下旬であった。
- この2つの期間では共通して、底層に高密度水塊が存在していた。
- この高密度水塊は湾中央～湾口にも存在していることから考えると外洋から進入してきた可能性が高いと推測される。
- すなわち外洋水が伊勢湾底層に進入し、それまで底層に存在していた貧酸素水塊が浅い水深層に持ち上げられたと考えられる。
- 図5、図4には8月24日の伊勢湾のDOと密度の平面・断面図を示すが、外洋水が底層に進入している状況が確認される。

外洋水が底層に進入し、湾内に存在していた底層水(=貧酸素水塊)が浅い水深層へ押し上げられた可能性

図3 伊勢湾モニタリングブイ (湾口～湾中央～湾奥)における密度の経時変化と貧酸素水塊の浅い水深での発生時期の関係

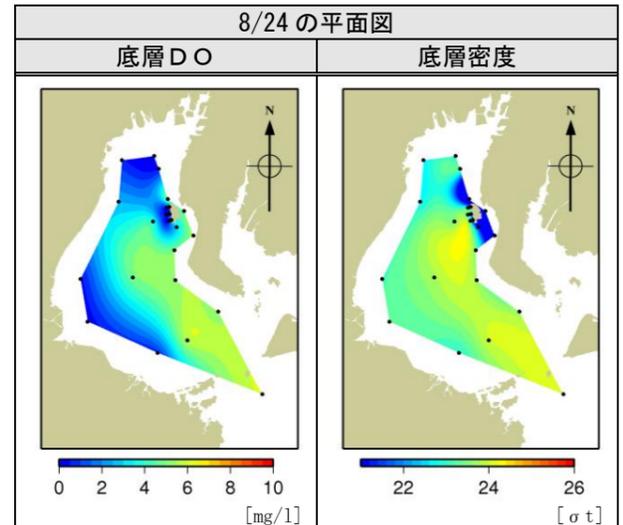


図5 8月24日のDOと密度の平面図

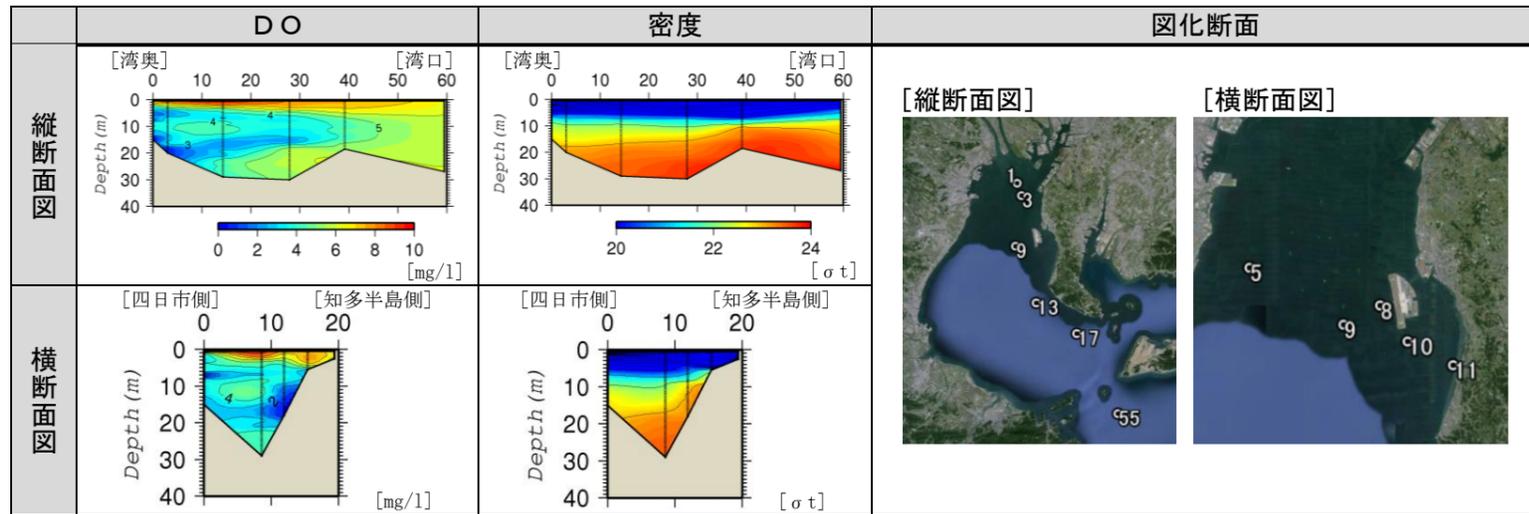
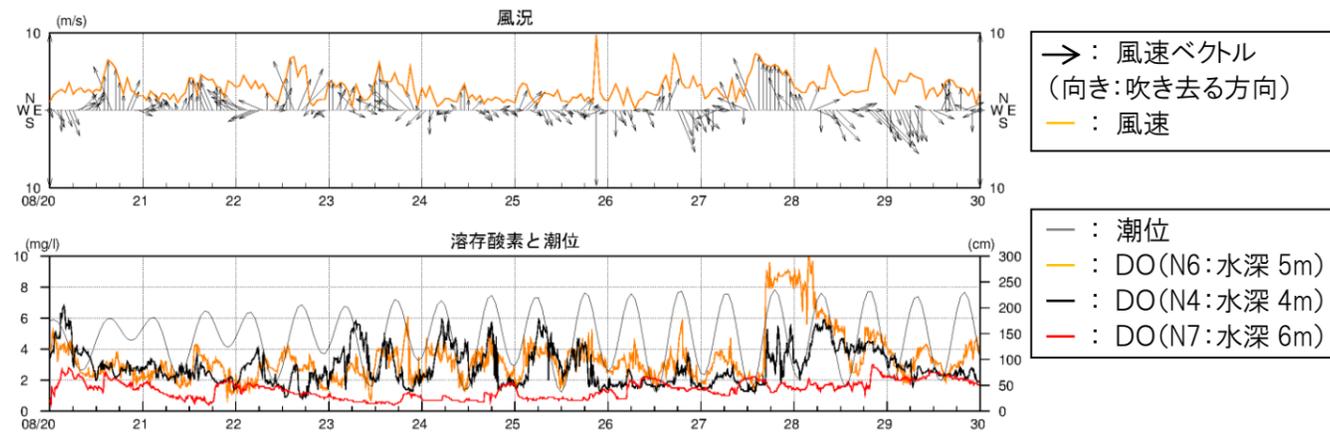
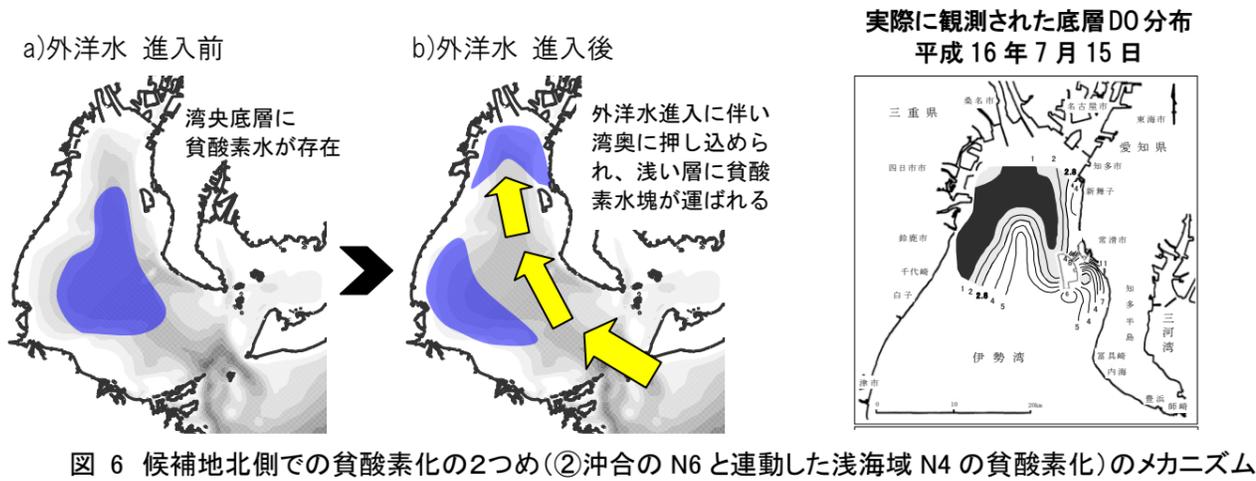


図4 8月24日におけるDOと密度の縦断面図と横断面図

これらを踏まえると、候補地北側での貧酸素化の2つめのメカニズム（②沖合のN6と連動した浅海域N4の貧酸素化）については図6のように整理される。外洋水の進入前において、伊勢湾中央底層に貧酸素水塊が広く分布している場合、外洋水の底層進入によってこの貧酸素水塊は湾奥に押し込められ、浅い水深層まで貧酸素水塊が及ぶものと考えられる。その結果として、候補地北側の浅海域にも貧酸素水塊が輸送されるものと推測される。

また図7はN6(中層:水深5m)とN4(水深4m)、N7(水深6m)で観測された溶存酸素と潮位を重ね書いたものであるが、候補地北側のN4で溶存酸素が低下する時期は下げ潮時から干潮時が多いことがわかる。このことから**湾奥に押し込められた貧酸素水塊が下げ潮時に南下して、候補地北側のN4付近に輸送されている**ことが推測される。



## 2.2 伊勢湾シミュレーターでの再現状況と課題

これらメカニズムを踏まえて、伊勢湾シミュレーターでの溶存酸素の再現状況を確認した。図8は先に示したモニタリングブイ(湾奥ブイ)での溶存酸素の経時変化について観測値と計算値を比較したものである。8月中下旬については**浅い水深層への貧酸素水塊が運ばれる時期やその水深層の再現が出来ている**が、7月中下旬については再現できていないといった課題もある。

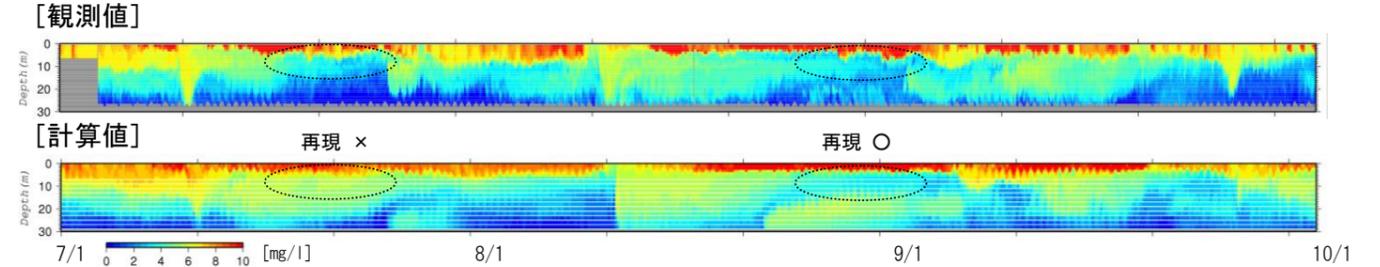


図8 モニタリングブイ(湾奥ブイ)での溶存酸素の観測値と計算値の比較

候補地北側のN4での底層溶存酸素の観測値と計算値の比較を図9に示す。図8の結果を受けて、8月中下旬の貧酸素化の状況は再現出来ているが、7月中下旬は再現出来ていない。またそれ以外の期間の溶存酸素の変動の再現も十分ではない。

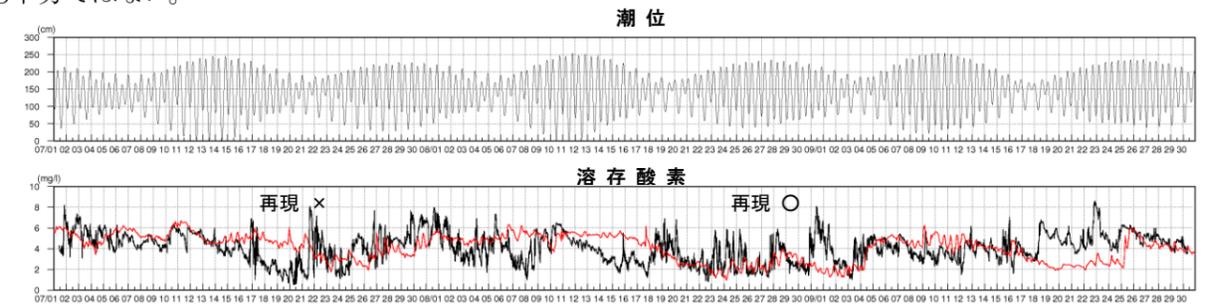


図9 候補地北側N4での溶存酸素の観測値と計算値の比較

## 2.3 本年度の検討成果と課題

### <本年度の検討の成果>

- 候補地周辺の貧酸素化のメカニズムが概ね把握された。
- 候補地北側では窪地化したN7からの貧酸素水塊の湧昇および、外洋水の湾奥底層侵入の2つの個々の要因で貧酸素化が生じることが明らかとなった。

### <課題>

- 上記の現象について、伊勢湾シミュレーターは伊勢湾奥での貧酸素水塊の挙動を再現できている時期もあるが、再現が出来ない時期もあるなどの課題があった。
- 候補地北側は複雑な地形であるため複雑な流れ場が形成されるものと推測されるが、この流れ場が再現されていないこともN4付近の貧酸素水塊の再現ができていない要因の一つとなっていると考えられる。

### <再現性の向上を図る検討案>

- 外洋水の湾奥底層への侵入に伴う伊勢湾奥の浅い水深層での貧酸素化については、別途検討予定の鉛直混合スキームの改良によりさらに再現性は向上するものと考えられる。
- 候補地北側の複雑な流れ場については、**現地観測により流動構造を詳細に把握**する必要がある。

### 3. 動・植物プランクトン等の微生物ループの再現性について

#### 3.1 微生物ループの再現手法

伊勢湾シミュレーターでは、図 10 に示す微生物の食物連鎖を再現している。これらの微生物の現存量の再現性について検証を行うとともに、上位種への転換量(フラックス)を算出した。なお、再現にあたって用いた計算パラメーターの一部を表 4 に示す。また動物プランクトンの死亡量の 15%は魚類による捕食と位置付け、系外除去としている。

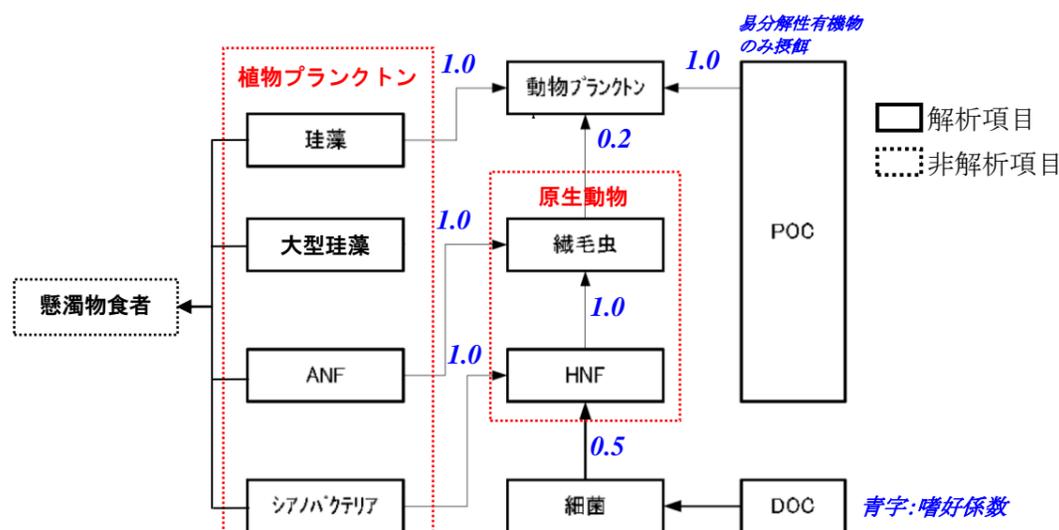


図 10 植物プランクトン・動物プランクトン・原生動物・好気性細菌の捕食関係

表 4 再現に用いた計算パラメーターの一部

計算パラメーター[単位]	値	出典
珪藻の 0°Cにおける最大光合成速度[s <sup>-1</sup> ]	1.12 × 10 <sup>-5</sup>	Brush,2002
ANF の 0°Cにおける最大光合成速度[s <sup>-1</sup> ]	1.17 × 10 <sup>-5</sup>	Nakata,2004
シアノバクテリアの 0°Cにおける最大光合成速度[s <sup>-1</sup> ]	1.63 × 10 <sup>-5</sup>	Nakata,2004
動物プランクトンの 0°Cでの捕食速度[s <sup>-1</sup> ]	2.20 × 10 <sup>-6</sup>	中田,1993
繊毛虫の 0°Cでの捕食速度[s <sup>-1</sup> ]	1.36 × 10 <sup>-6</sup>	M
HNF の 0°Cでの捕食速度[s <sup>-1</sup> ]	5.00 × 10 <sup>-6</sup>	M
好気性細菌の 0°Cでの ADOC の最大摂取速度[s <sup>-1</sup> ]	2.85 × 10 <sup>-5</sup>	Baretta-Bekker,1995

M:モデルチューニングにより調整した値

#### 3.2 微生物の現存量の再現性

図 11 に微生物現存量の比較結果を示す。調査結果と計算結果の現存量のオーダーは概ね一致しているが、動物プランクトンは過大、せん毛虫は過小に再現する傾向にある。また計算結果の現存量はいずれも数日周期で変化していることがわかる。福留ら(2000)<sup>1</sup>による伊勢湾での調査結果では、動物プランクトンは平均で約 50 μgC/L と本年度の調査結果よりも大きく、計算値に近い値であった。その他の計算項目は本年度の調査結果と同等の現存量であったため、計算値と比較するために動物プランクトンの個体数を炭素量へ変換する際の手法についても再度検証する必要がある。

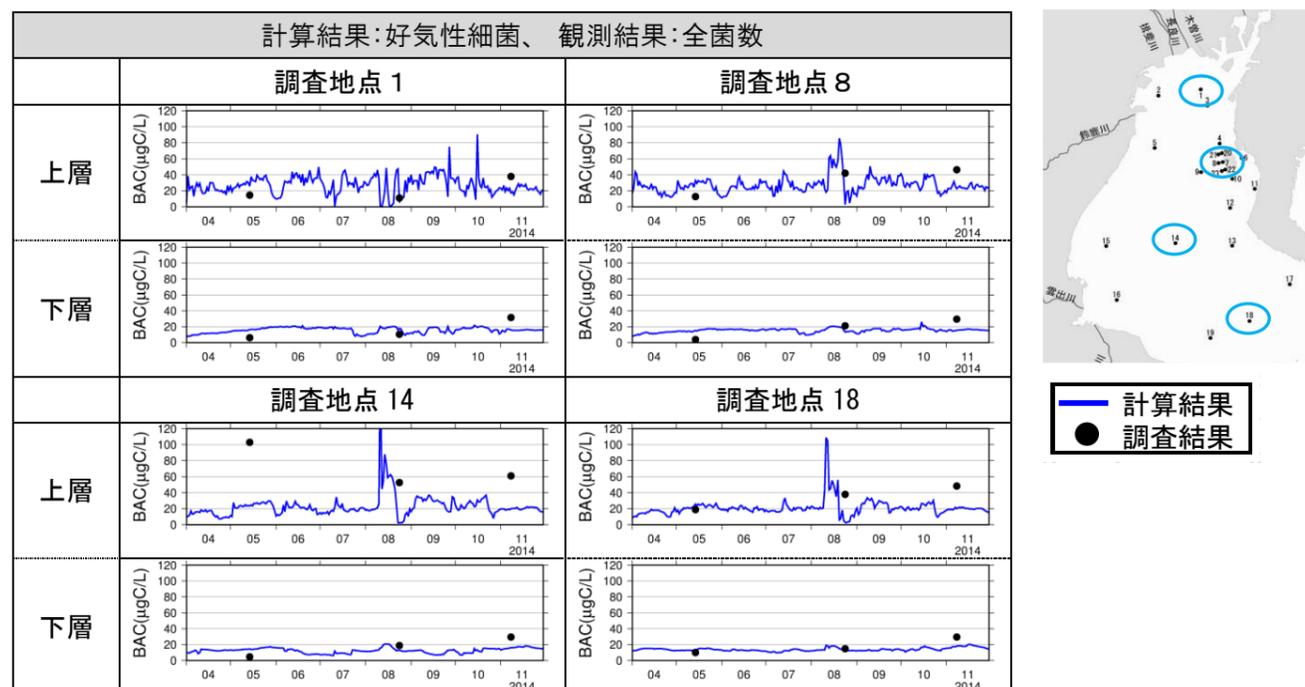


図 11(1) 微生物現存量の調査結果と計算結果の比較(好気性細菌)

<sup>1</sup> 福留真樹、畑恭子、中田喜三郎(2000):1995年5月～1996年3月の伊勢湾における細菌、Synechococcus、ANF、HNF、植物プランクトン、ネット動物プランクトンの変動と相互の関係、海洋理工学会誌、Vol6. No.1 & 2、pp59-72

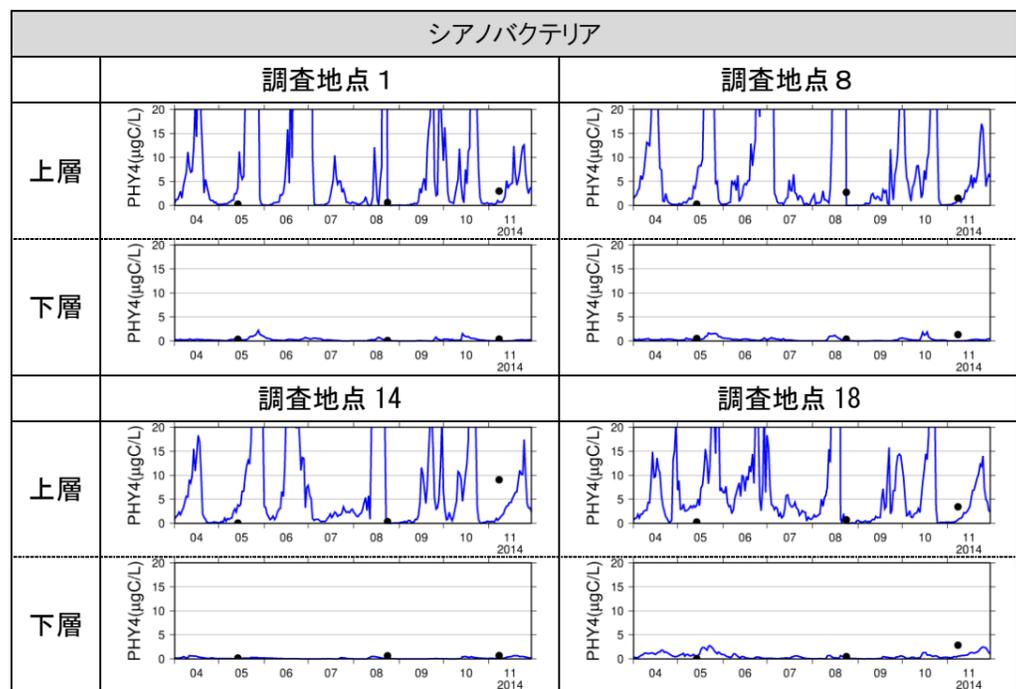


図 11(2) 微生物現存量の調査結果と計算結果の比較(シアノバクテリア)

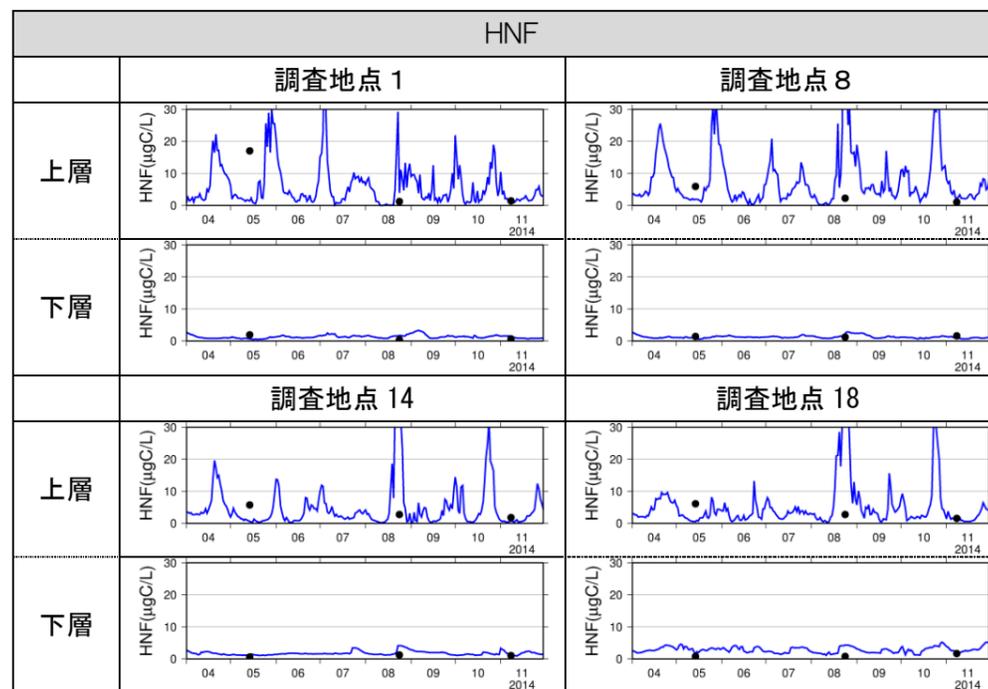


図 11(4) 微生物現存量の調査結果と計算結果の比較(HNF)



— 計算結果  
● 調査結果

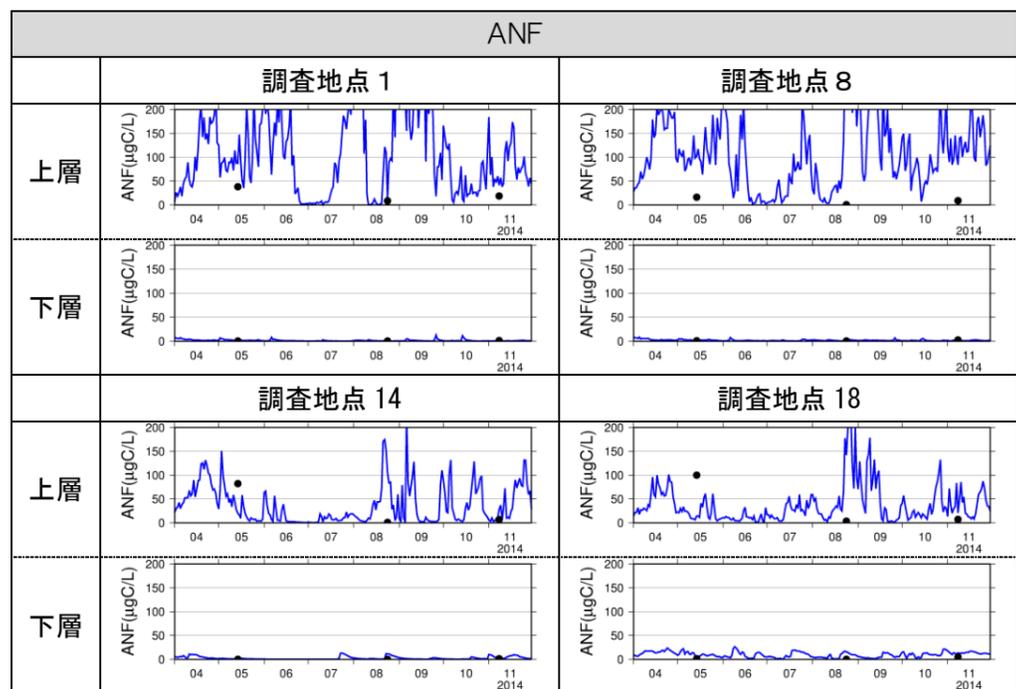


図 11(3) 微生物現存量の調査結果と計算結果の比較(ANF)

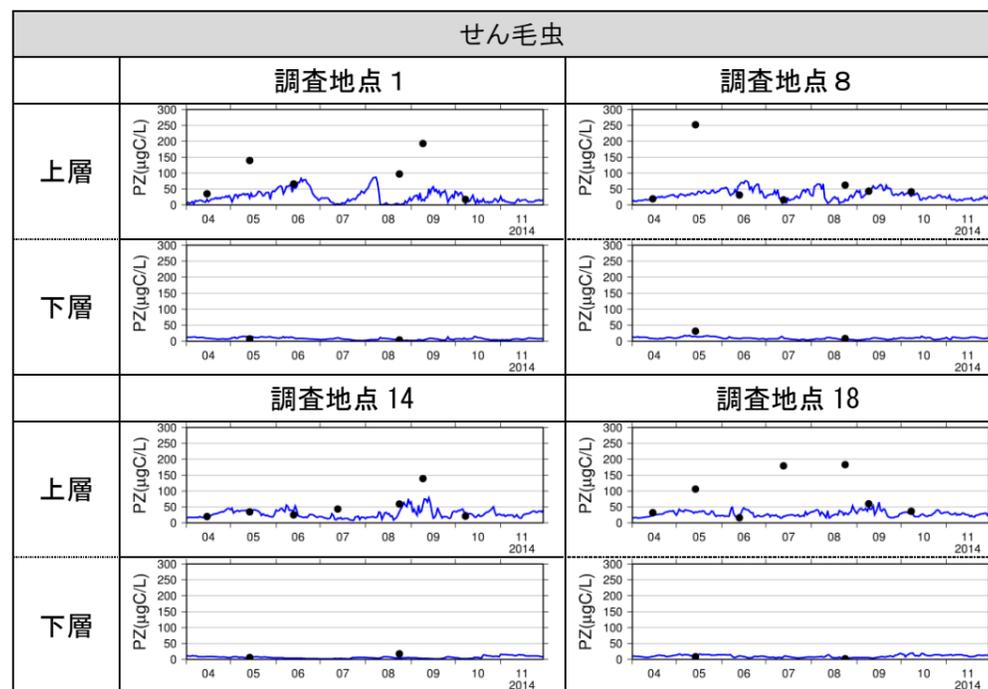


図 11(5) 微生物現存量の調査結果と計算結果の比較(せん毛虫)

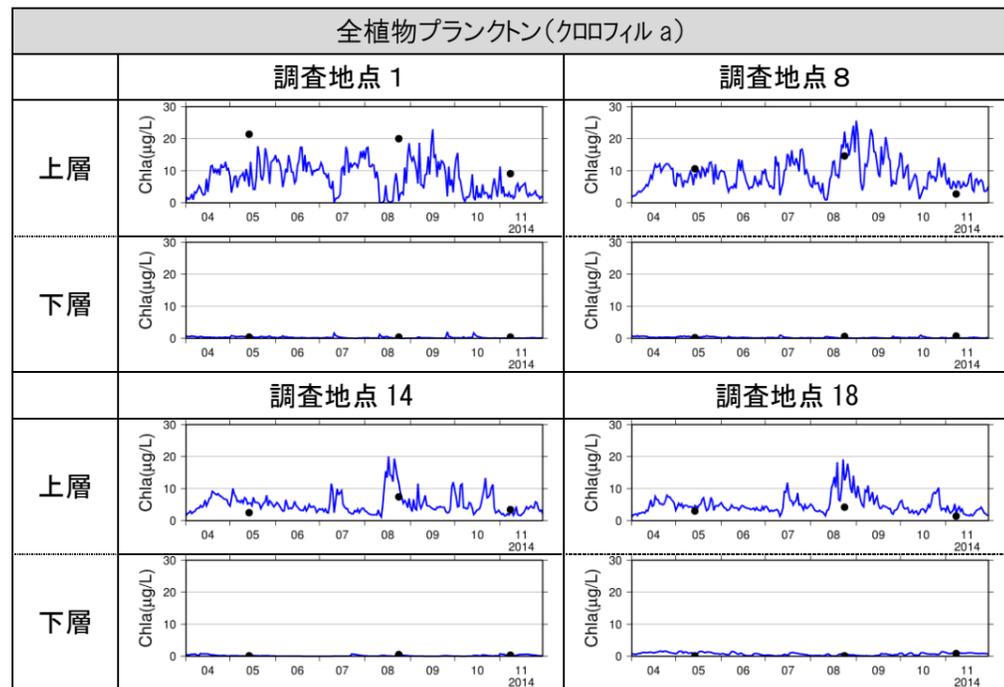


図 11 (6) 微生物現存量の調査結果と計算結果の比較(クロロフィル a)

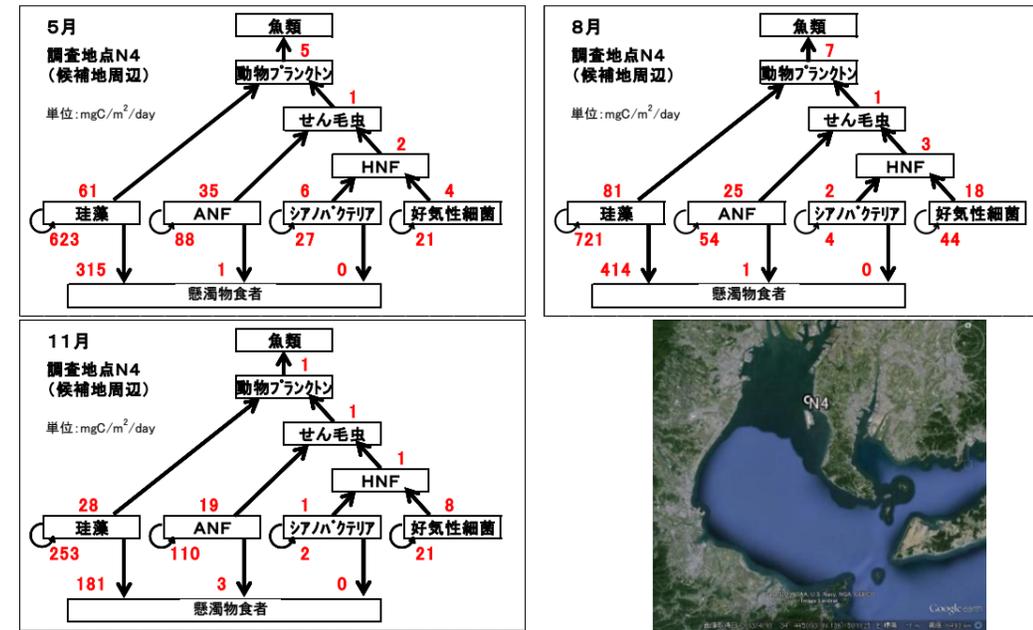


図 12 微生物の捕食-被捕食の量的関係(月平均値、計算値、候補地周辺)

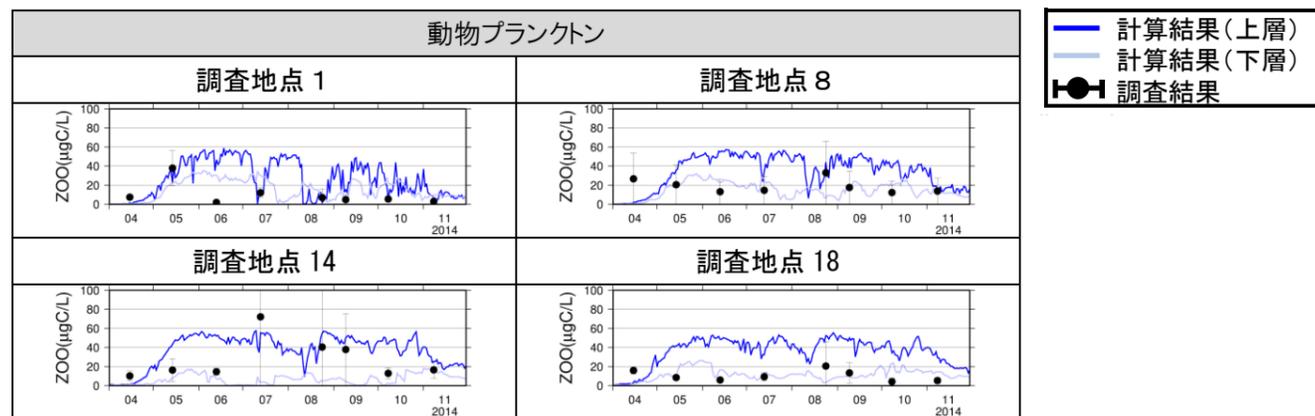


図 11 (6) 微生物現存量の調査結果と計算結果の比較(動物プランクトン)

### 3.3 上位種への転換量(フラックス)

候補地北側に位置する調査地点 N4 における微生物の上位種への転換量(フラックス)を図 12 に示す。いずれの月も捕食としては、動物プランクトンは主に珪藻、せん毛虫は主にANFが多い。上位種への転換量は5月、8月に多く、11月に少ない。珪藻は、動物プランクトンよりも懸濁物食者による捕食が約 5 倍以上大きい結果であった。

福留ら(2000)の好気性細菌の純生産/珪藻の純生産比の年平均値は本計算値が 0.09、福留ら(2000)の調査結果が 0.12 であった。同様に、好気性細菌の純生産/HNFによる捕食比は本計算値が 0.74、福留ら(2000)の結果が 0.78 と、両者は概ね整合する結果であった。

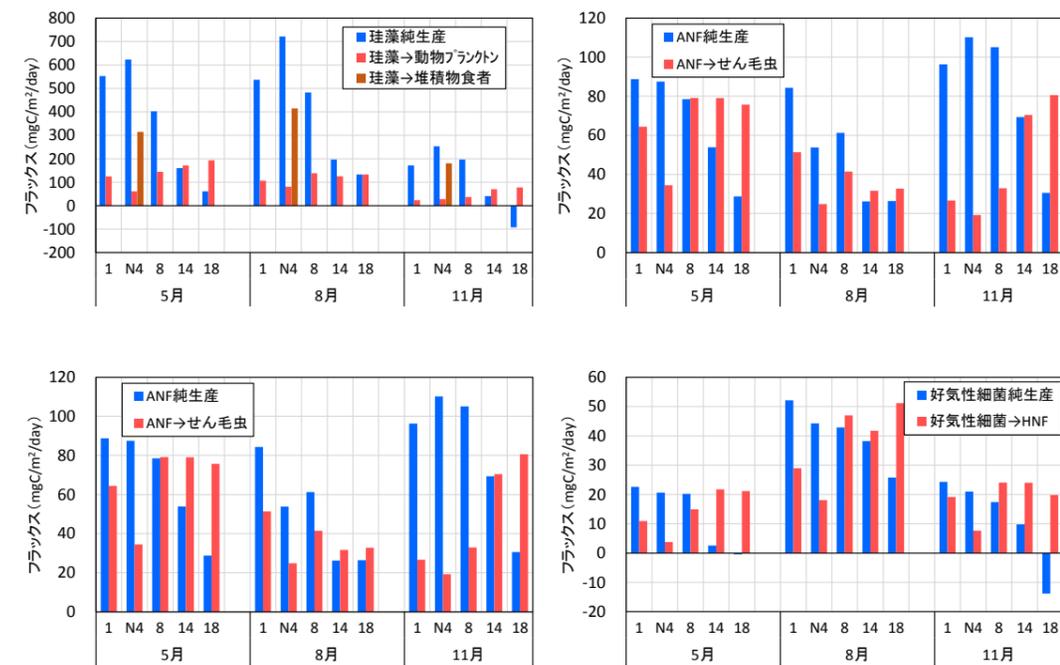


図 13 植物プランクトンおよび好気性細菌の純生産と上位種への転換量の比較



### 3.4 本年度の検討成果と課題

本年度の検討を得られた結果と課題を下記に示す。

#### <本年度の検討の成果>

- ・四季毎に観測された微生物の現存量のオーダーを計算値は再現できた。
- ・上位種への転換量(フラックス)を定量化し、既往の知見を用いて検証した。

#### <課題>

- ・動物プランクトン・せん毛虫は観測値との整合が一部取れていない。とくに高次生物(魚類等)による動物プランクトンの捕食などの転換量(フラックス)の妥当性を検証する必要があると考えられる。
- ・計算値で再現された数日周期で変動する現存量の妥当性が検証されていない。

#### <更なる再現性の向上を図る場合の検討案(検証データの取得)>

##### ○調査間隔について

図 14 に示すように、捕食関係に応じて数日単位での大きな変動が連動している。これを検証するためには、**数日～1週間間隔での複数回の調査**が望ましい。

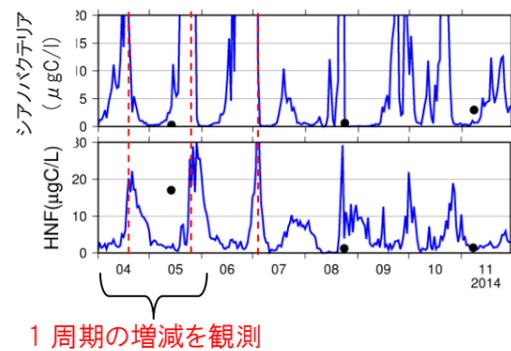


図 14 シアノバクテリア、HNF の現存量(調査地点1、上層)(再掲)

##### ○調査地点について

伊勢湾の代表的な地点(調査地点1、8、14、18 等)および懸濁物食者の存在による微生物ループの変化を考察するためには候補地周辺の調査地点 N4 等が適当と考えられる。

## 4. アサリの浮遊幼生等の再現性について

### 4.1.1 予測モデルの概要

#### 1) 予測モデルの概念

アサリに見立てた粒子の漂流シミュレーションを基本とし、粒子は成長、貧酸素水により影響を受ける(蒲原ら(2013)<sup>2)</sup>ものとし、干潟・浅場への着底量を推定する手法を採用した。

#### 2) 浮遊幼生の成長の表現方法

アサリの浮遊幼生は、ふ化時の殻長は約 100 μm であり<sup>3)</sup>、その後の成長は水温を関数として予測される<sup>4)</sup>。殻長の成長式は、鳥羽(1992)の殻長の成長式を改変した下式<sup>5)</sup>を用いた。

$$\text{殻長}(\mu m) = \sum_{i=1} \frac{0.4 \times \text{Temp}_i}{24} + 100 \quad (1)$$

ここで Temp<sub>i</sub> は毎時の水温である。

#### 3) 浮遊中の鉛直移動の表現方法

アサリの浮遊幼生は能動的な移動能力を有しており<sup>6)</sup>、浮遊幼生が鉛直方向の移動が湾内での幼生の輸送過程を大きく左右する可能性が指摘されている。ここでは、粒子は流れに受動的に移動させており、幼生の泳動活動は一切表現していない。

#### 4) 干潟・浅場への着底の表現方法

浮遊幼生は着底と再浮上を繰り返し、好適な底質を探索して着底することが知られている<sup>7)</sup>。そこで、本検討では、着底条件を表 5 のように設定した。まず殻長が 200 μm を超えた浮遊幼生は、水深が 6m 以浅に存在する場合に着底するものとした。すなわち、殻長が 200 μm を超えた粒子でも水深が 6m 以深に存在する場合は、未だ着底せず水深が 6m 以浅の海域に移動するまで浮遊するものとした。ただし殻長が 250 μm を超えた場合には、干潟・浅場には着底できず、生産に寄与しない浮遊幼生(無効分散)であるとみなした。また着底時には一回の上げ潮で沖側から輸送されてきた浮遊幼生の 90% が着底するものと仮定し、着底確率の概念を取り入れた。

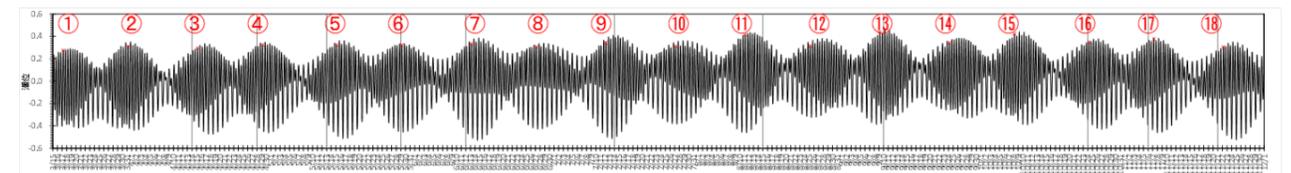
表 5 設定した着底条件

項目	内容
着底可能時期	200 μm ~ 250 μm
着底条件	水深 6m 以浅
着底確率	水深 6m 以浅の海域において一潮(6 時間)で 90% の粒子が着底

### 4.1.2 計算条件の設定

#### 1) 計算開始時期と粒子の初期配置

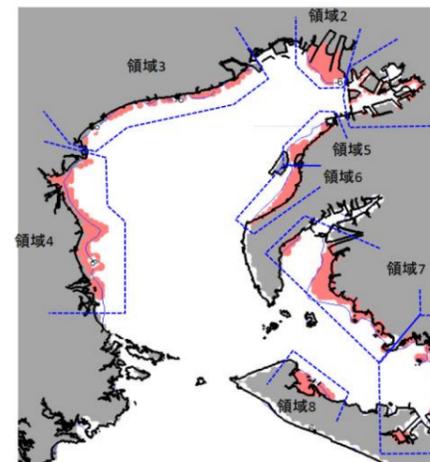
年間を通じた浮遊幼生の挙動を把握するため、春季から冬季にかけて合計 18 回分(以降 18 シリーズと呼称)の粒子追跡の計算を行うこととした。浮遊幼生の浮遊期間は 2 週間~1 ヶ月程度と報告がある<sup>4)</sup>ため、2 週間ごとに春季から冬季にかけて 1 年間分の浮遊幼生の挙動を把握できると考えられる。計算の開始時期は、ここでは大潮満潮時に一齐に粒子が浮遊を開始する設定とした(図 15)。また、粒子の配置箇所と個数は、母貝の観測結果とその他の周辺情報を基に、図 16 のとおり設定した。



【計算の開始日時】

① 3月17日 6時	⑦ 6月13日 5時	⑬ 9月9日 5時
② 3月31日 6時	⑧ 6月27日 5時	⑭ 9月24日 5時
③ 4月15日 5時	⑨ 7月12日 4時	⑮ 10月8日 5時
④ 4月29日 5時	⑩ 7月27日 5時	⑯ 10月24日 6時
⑤ 5月15日 5時	⑪ 8月11日 5時	⑰ 11月7日 6時
⑥ 5月29日 5時	⑫ 8月25日 5時	⑱ 11月22日 5時

図 15 浮遊幼生の挙動の再現性の検証フロー



領域	面積(ha)	粒子の配置個数
1	878	59897
2	2490	7950
3	841	25107
4	3384	5423
5	1100	9560
6	1732	2674
7	3152	79600
8	858	6000
9	1124	732800

漁獲量データと観測値を勘案して設定した。概ね漁獲量 1t あたり 100 個の粒子を発生させている。

図 16 粒子の初期配置場所と配置数

<sup>2)</sup> 蒲原聡・山田智・曾根亮太・堀口敏宏・鈴木輝明(2013) 貧酸素水塊がアサリ浮遊幼生の遊泳停止と沈降後のへい死に及ぼす影響. 水産海洋研究, 77(4), 282-289.

<sup>3)</sup> 鳥羽光晴, 山川紘, 庄司紀彦, 小林豊(2013): 東京湾盤洲沿岸での夏季 1 潮汐間におけるアサリ幼生の鉛直分布の特徴, 日本水産学会, 79(3), 355-371

<sup>4)</sup> 鳥羽光晴(1992): アサリ幼生の成長速度と水温の関係, 千葉水試技報, 50, 17-20

<sup>5)</sup> 平成 19 年度 特殊案件等環境影響審査調査(三河港陣野西地区埋立事業に係る環境影響基礎調査)報告書, 平成 20 年 3 月, いであ株式会社

<sup>6)</sup> 石田基雄, 小笠原桃子, 村上知里, 桃井幹夫, 市川哲也, 鈴木輝明(2005): アサリ浮遊幼生の成長に伴う塩分選択行動特性の変化と鉛直移動様式再現モデル, 水産海洋研究 69(2), 73-82

<sup>7)</sup> 関口秀夫(2009): 3 章 幼生加入過程: アサリ資源研究の新しい視点, アサリと流域環境—伊勢湾・三河湾での事例を中心として, 生田和正, 日向野純也, 桑原久実, 辻本哲郎編, 恒星社厚生閣, 36-60

2) 浮遊幼生量と着底稚貝量の計算結果の定量的な表現方法の考え方

浮遊幼生・着底稚貝ともに定量的な評価を行うため、**粒子1つにつき100万個の浮遊幼生の個体数を表現**するものとして、浮遊幼生の個体数密度・着底稚貝の個体数密度ともに定量的に再現性の確認を行うこととした。この粒子一つにつき、100万個の浮遊幼生の個体数を表現することの妥当性の参考となる情報を図17に整理した。



【妥当な産卵量に相当するか？】

漁獲量1tにつき100個の粒子を設定しているため、**漁獲量1tにつき10億個の幼生の産卵**を行っている設定とした。

漁獲量1tの成貝は、個体数1万個\*と想定すると、1回の産卵で1個のアサリの産卵数は10万個となる。

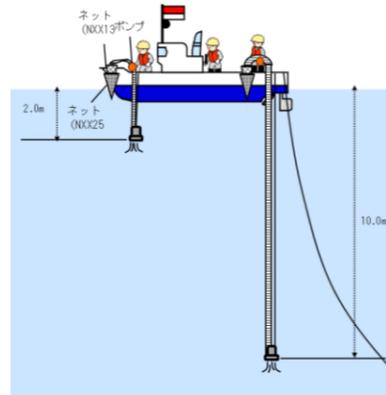
今回の計算では4月～1月にかけて18回産卵させているので、年間の1個のアサリの産卵数は最大180万個、後述する産卵強度を考慮すると、**1個体につき年間約50万個の産卵**を行うような設定となっている。

既存の報告では1個のアサリの産卵数は数万～2百万個程度\*\*であり、オーダーとしては概ね妥当と考えられる。

【浮遊幼生観測結果との比較】

観測結果は、個体数/500Lの単位で整理されている。

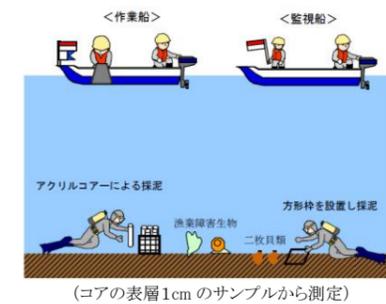
計算結果も、粒子の個数が100万個の浮遊幼生の個体数があるとして、計算格子の体積を500L相当に割り戻せば同じ単位での比較が可能である。



【着底稚貝量との比較】

観測結果は、個体数/m<sup>2</sup>の単位で整理されている。

着底した粒子の数に100万個をかけて、集計した格子の面積で割り戻せば、同じ単位で比較が可能である。ただし、着底稚貝が幼貝に成長するまでの時間遅れも考慮する必要がある。(詳しくは後述)



\*長谷川ら(2010):伊勢湾における浅い殻長・重量換算式、水産増殖 58(1), 155-158 によると、アサリ湿重量[gWW]は  $2.4 \times 10^{-4} \times \text{殻長}[\text{mm}]^{2.97}$  で算定 成貝1~2年で35~40mm以上(wikipedia),35mmとすると湿重量は約10g, 1tの漁獲は成貝1万個相当

\*\*鳥羽, 深山(1995):アサリ人口産卵における産卵量および卵径と、卵・幼生の生き残りの関係、水産増殖 43(3), 315-321 では、単位産卵数が整理 鳥羽, 深山(1992):アサリ産卵誘発方法の比較、水産増殖 40(3), 303-311 では、1個のアサリの産卵数として4.3~262万個の報告がある 鳥羽, 深山(1994):飼育アサリのサイズと成熟、産卵の関係、日本水産学会誌 60(2)では、32~234万個の報告がある

図17 成貝の現存量の季節変化(観測結果を参照して作成)

3) 産卵量の季節変化

成貝の現存量の季節変化と水温に依存した産卵強度を考慮して、**産卵量に季節変化を考慮**した。

$$\begin{aligned}
 (\text{季節変化を考慮した産卵量}) &= (\text{産卵量}) \\
 &\times (\text{成貝量の季節変化}[0-1]) \quad \text{!観測値を基に設定} \\
 &\times (\text{産卵強度}[0-1]) \quad \text{!水温の依存性を考慮}
 \end{aligned}$$

(1) 成貝量の季節変化[0-1]の設定方法

成貝量の現存量は、観測データを線形補間することで、図18のとおり成貝現存量の季節変化を表現した。

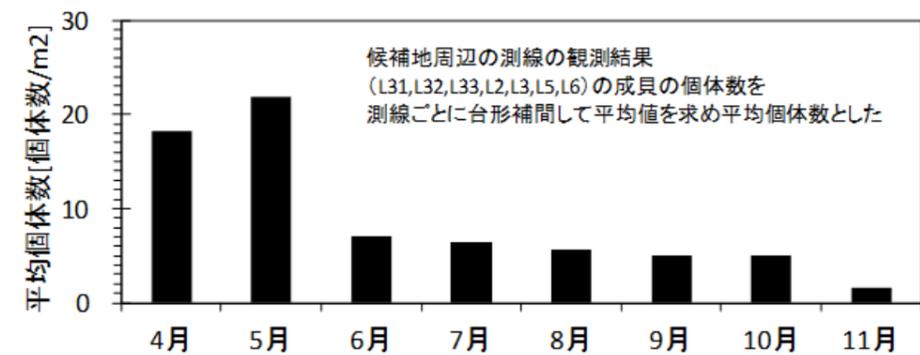
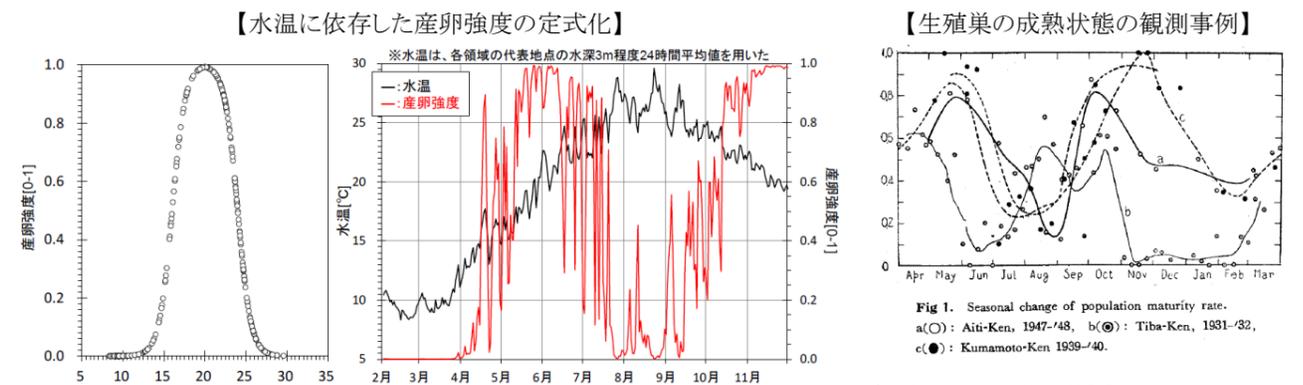


図18 成貝の現存量の季節変化(観測結果を参照して作成)

(2) 産卵強度[0-1]の設定方法

産卵への水温の影響は、既往の文献等を参照し図19のような関数型(最適水温20度)で表現した。アサリの成熟度は湾によって異なる周期となっていることが報告されているが、今回設定された産卵強度の季節変化は、三河湾において過去に観測された成熟度の季節変化(図19右側)と概ね一致している。



【出典】:有明海の事例を参照した。 楠田哲夫編著(2012):蘇る有明海—再生への道程, 恒星社厚生閣, p.161

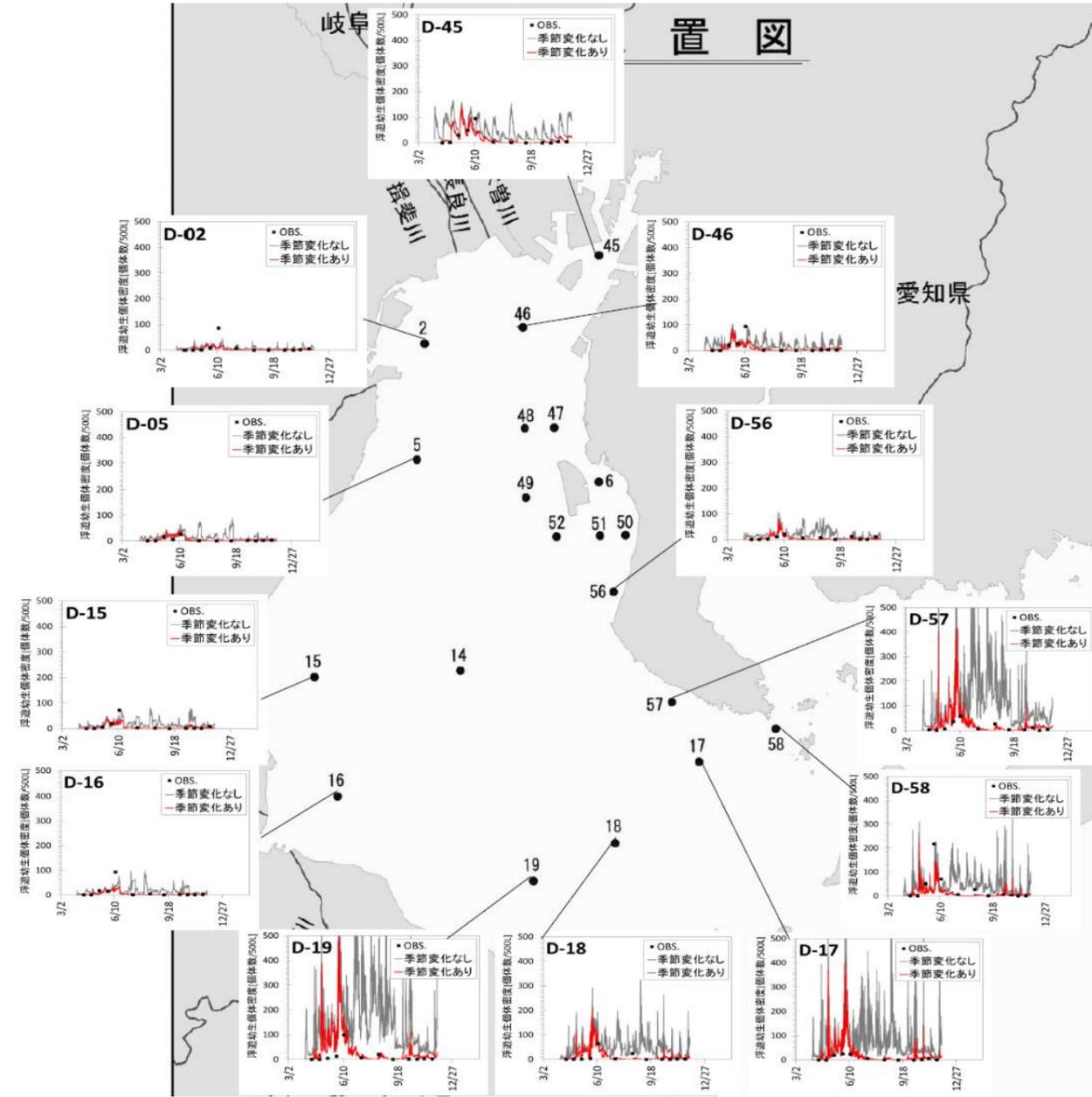
図19 産卵強度に及ぼす水温の影響

安田ら(1945):アサリの産卵期について, Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, Vol.20(4), 277-279

### 4.1.3 浮遊幼生の挙動の再現性の検証

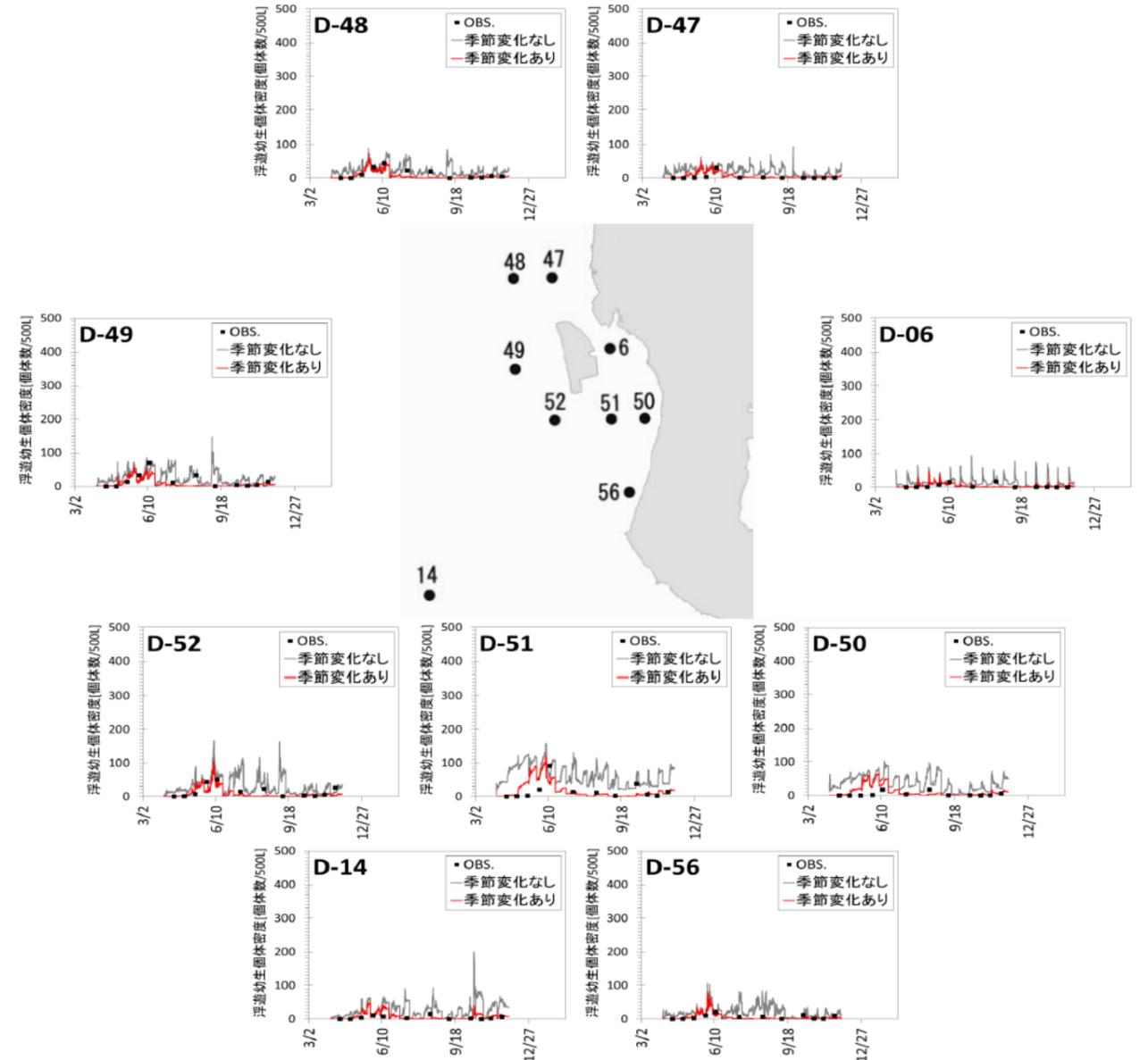
#### 1) 浮遊幼生の再現性

調査地点別の浮遊幼生の計算結果(鉛直平均値)を図 20 に整理した。ただし、計算粒子 1 つにつき浮遊幼生 100 万個を想定して、観測値(鉛直平均値)との比較を行っており、前述した産卵の季節変化の考慮したものと、考慮せず常に一定の産卵量があると仮定した 2 種類の計算結果を併記した。また浮遊幼生の鉛直分布を図 21 に示した。



計算結果は粒子一つあたり 10 億個の幼生を想定して整理(1 個の成員が 10 万個産卵している状況を想定)

図 20(1) 浮遊幼生量の計算結果

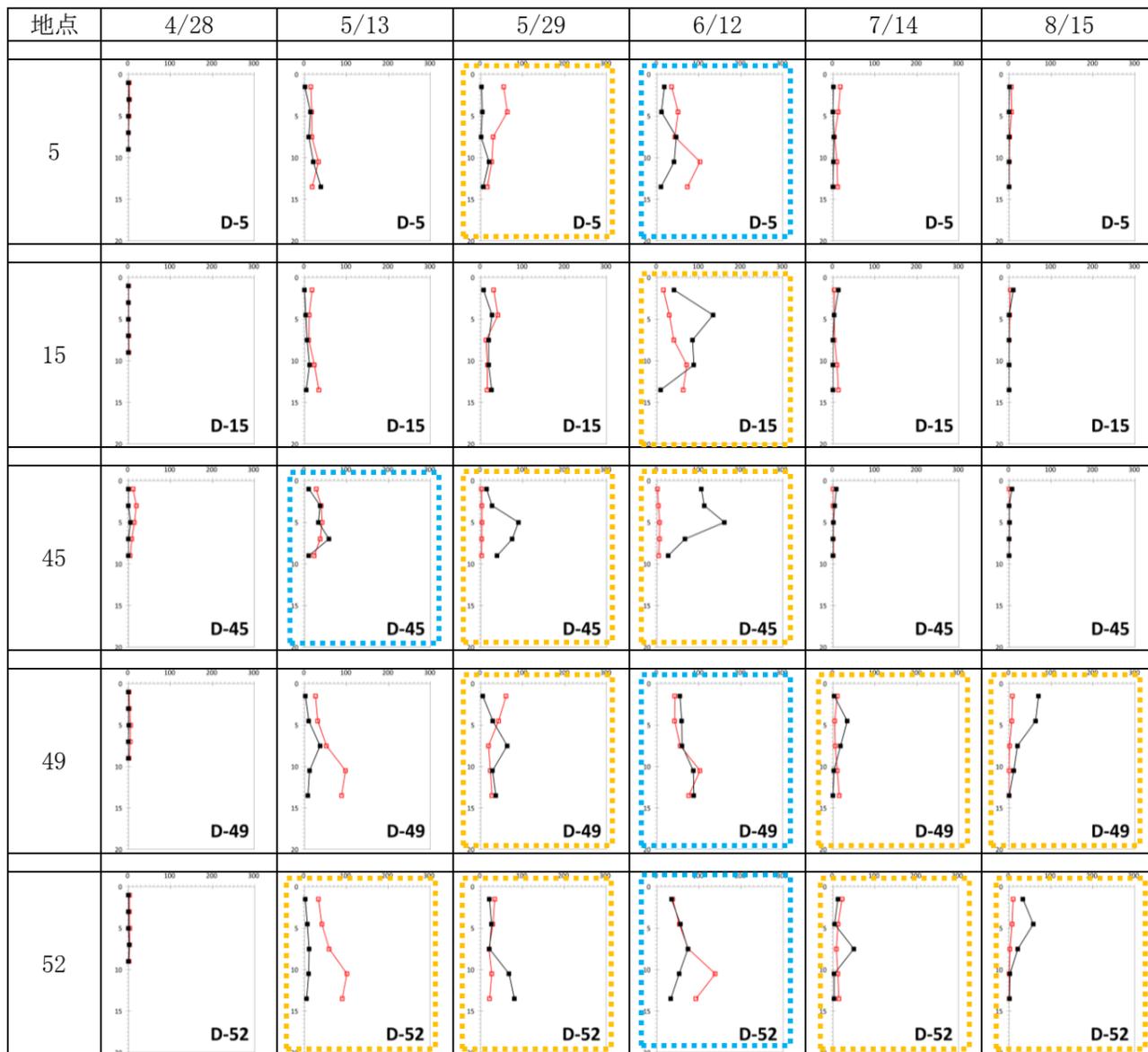


計算結果は粒子一つ分で 10 億個の幼生を想定して整理(1 個の成員が 10 万個産卵している状況を想定)

図 20(2) 浮遊幼生量の計算結果(空港島周辺の調査地点)

- 鉛直平均で見た浮遊幼生量の時空間的な分布状況は概ね再現できている。
- 産卵の季節変化を考慮することで湾内の浮遊幼生の浮遊量の再現性が向上した。
- 地点 45 など、2 週間おきに鋭いピークを持っているが、これは大潮満潮時に一斉に浮遊を開始する計算条件の影響を強く受けている。
- 浮遊幼生の鉛直プロファイル(次ページ)については、分布の特徴を捉えられているタイミングと、捉えられていないタイミングがある。

:ピークの位置や数値のオーダーが観測値と概ね一致している計算結果  
  :鉛直分布の形状や数値のオーダーが観測値と整合していない計算結果



縦軸:水深[m], 横軸:浮遊幼生個体密度[個体数/500L]

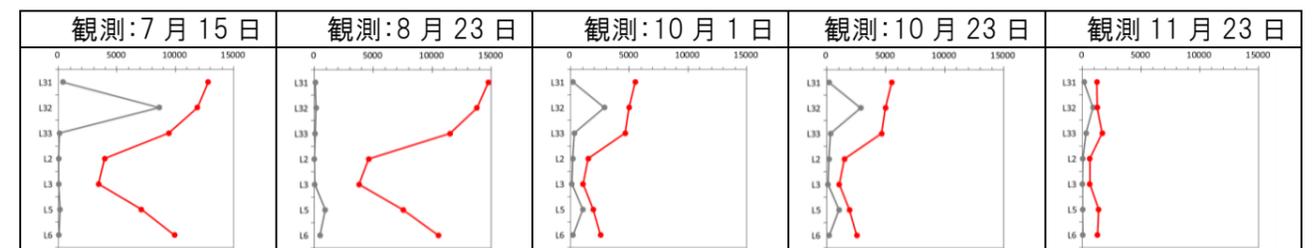
■:観測結果, □:計算結果

図 21 浮遊幼生量の計算結果(鉛直分布の比較)

## 2) 着底稚貝の再現性

測線別の着底稚貝の計算結果と観測結果との比較を図 22 に整理した。ただし、着底稚貝量は、浮遊幼生同様、粒子 1 つあたり 100 万個の着底稚貝を想定した。また着底稚貝の観測では、殻長 1mm 未満のものを集計しているため、着底した浮遊幼生が殻長 1mm を超えるまでの期間(前述の式(1)を用いると、着底時の殻長 250 μm として、2.5 ヶ月(水温 25℃)~4 カ月(水温 15℃)程度で 1mm にまで成長する試算となり、ここでは 3 か月間の累積値を整理した)を累積して整理する必要がある。ここでは 3 か月間の累積結果との比較を図 22 に整理した。

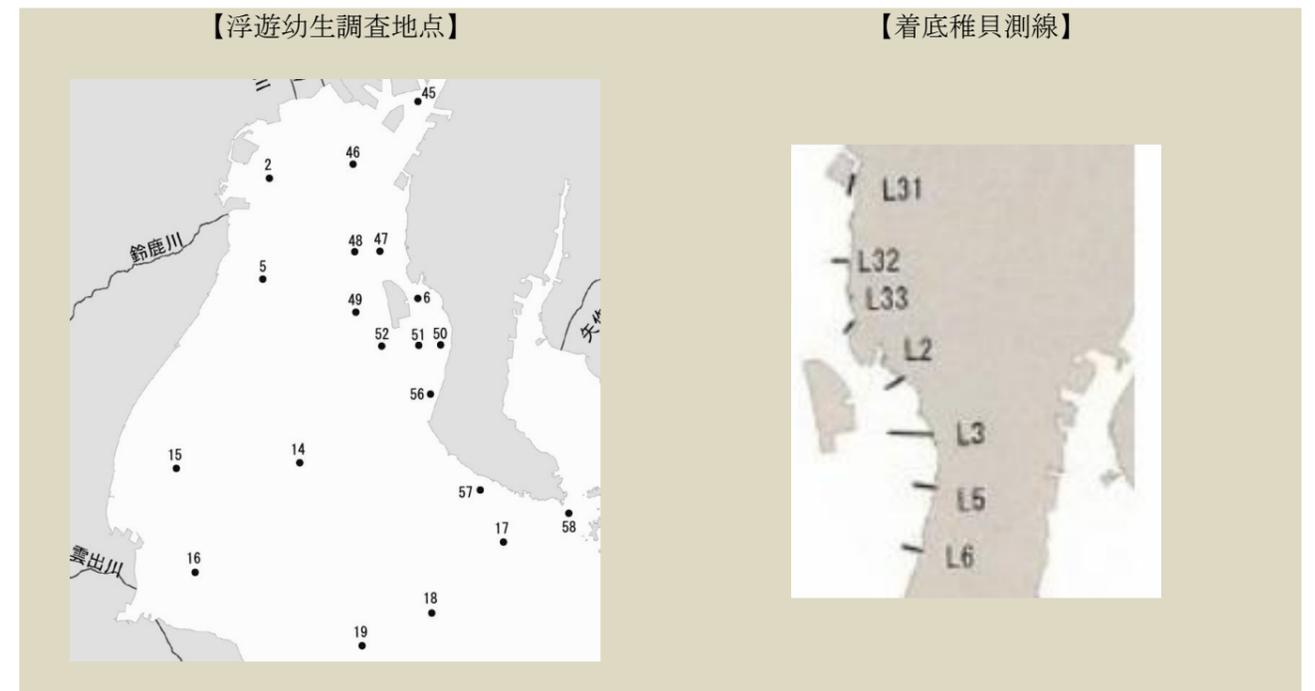
3 か月間累積した結果では、8 月 23 日の結果が計算値と観測値で値が大きくことなることを除けば、**観測値の個体密度のオーダーを再現できており**、測線毎の空間分布とその季節変化も概ね再現できている。8 月 23 日については、前述の水質調査IVで示したように測線周辺で貧酸素化が生じていた可能性が高く、**貧酸素化の影響で 8 月 23 日には着底稚貝が斃死した可能性**が考えられる。



縦軸は測線(地点図は下に記載), 横軸の単位は[個体数/m<sup>2</sup>]

●:観測値, ●:計算値

図 22 測線別の着底稚貝の個体数密度(3 か月[直近までの 6 シリーズ]の累積値)



### 3) 計算された着底率について

浮遊幼生のシミュレーションの妥当性検証の一環として、どのような計算が行われているかを確認するために『着底率』に着目した計算結果の整理を行った。ここでは、『初期配置された粒子のうち、任意の場所に着底した粒子が全体の何%であったか』を、着底率として定義した。

全領域における着底率の分布状況を可視化したものを、名古屋港と一色干潟から放流された浮遊幼生に着目して図 23 に結果の一部を示し、着底率を①産卵場所に着底・②産卵場所以外に着底したものに分類して整理したものを図 24 に整理した。

- ▶ 幼生が最終的にどこかの干潟・浅場に着底できる確率(無効分散にならない確率)は、大きい場所で20%程度であった。
- ▶ 無効分散が大きい場所は、伊勢・松坂などの伊勢湾三重県側南部(領域 4)、伊勢湾の知多半島北部(領域 5)・南部(領域 6)で、無効分散が小さい場所は名古屋港内(領域 1)、三河湾内(領域 7~9)であった。
- ▶ 名古屋港内・木曾川河口・鈴鹿や津などの伊勢湾三重県側北部(領域 1~3)では、産卵場所に着底する幼生よりも産卵場所以外に着底する幼生の方が多傾向にあった。

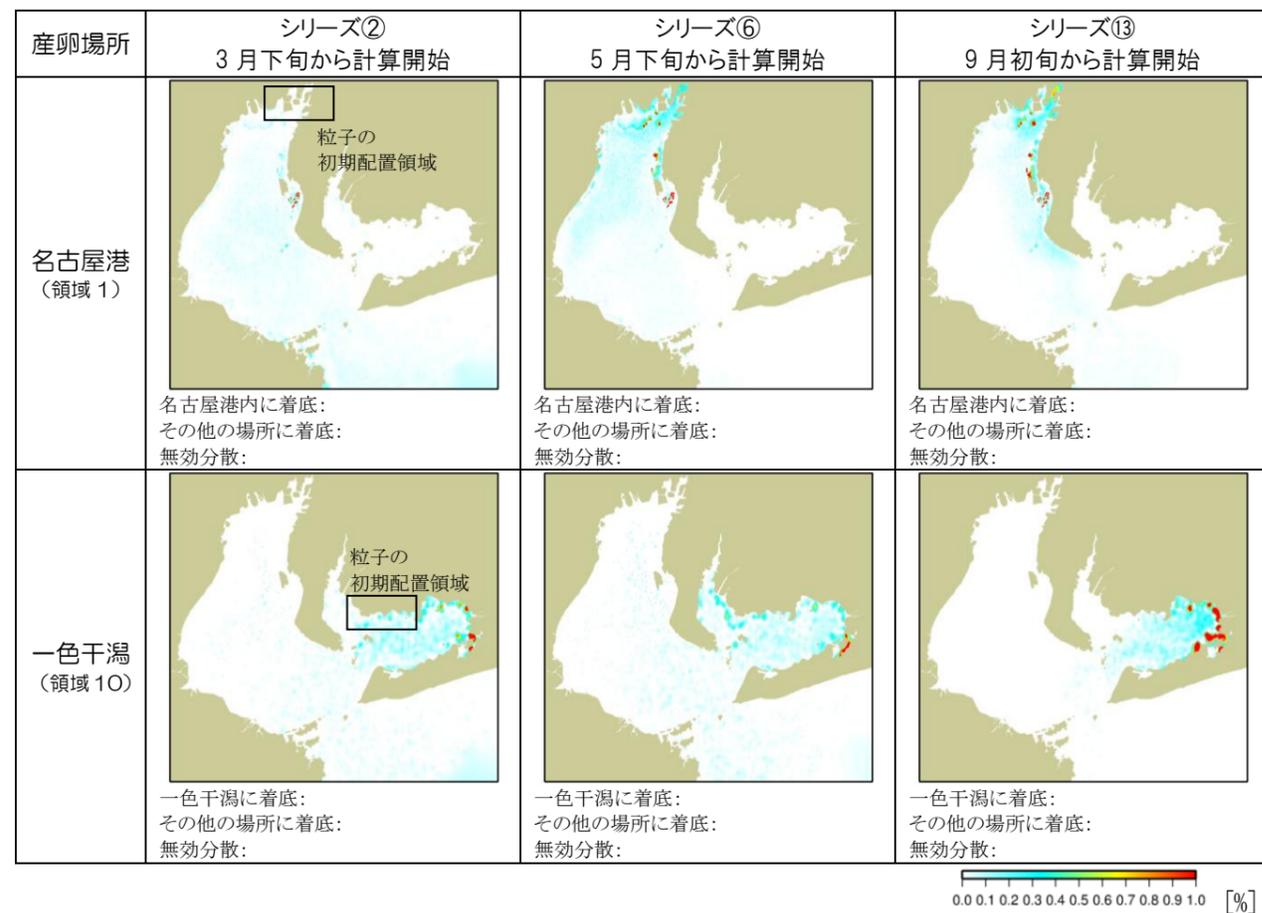


図 23 着底率の空間的な分布状況

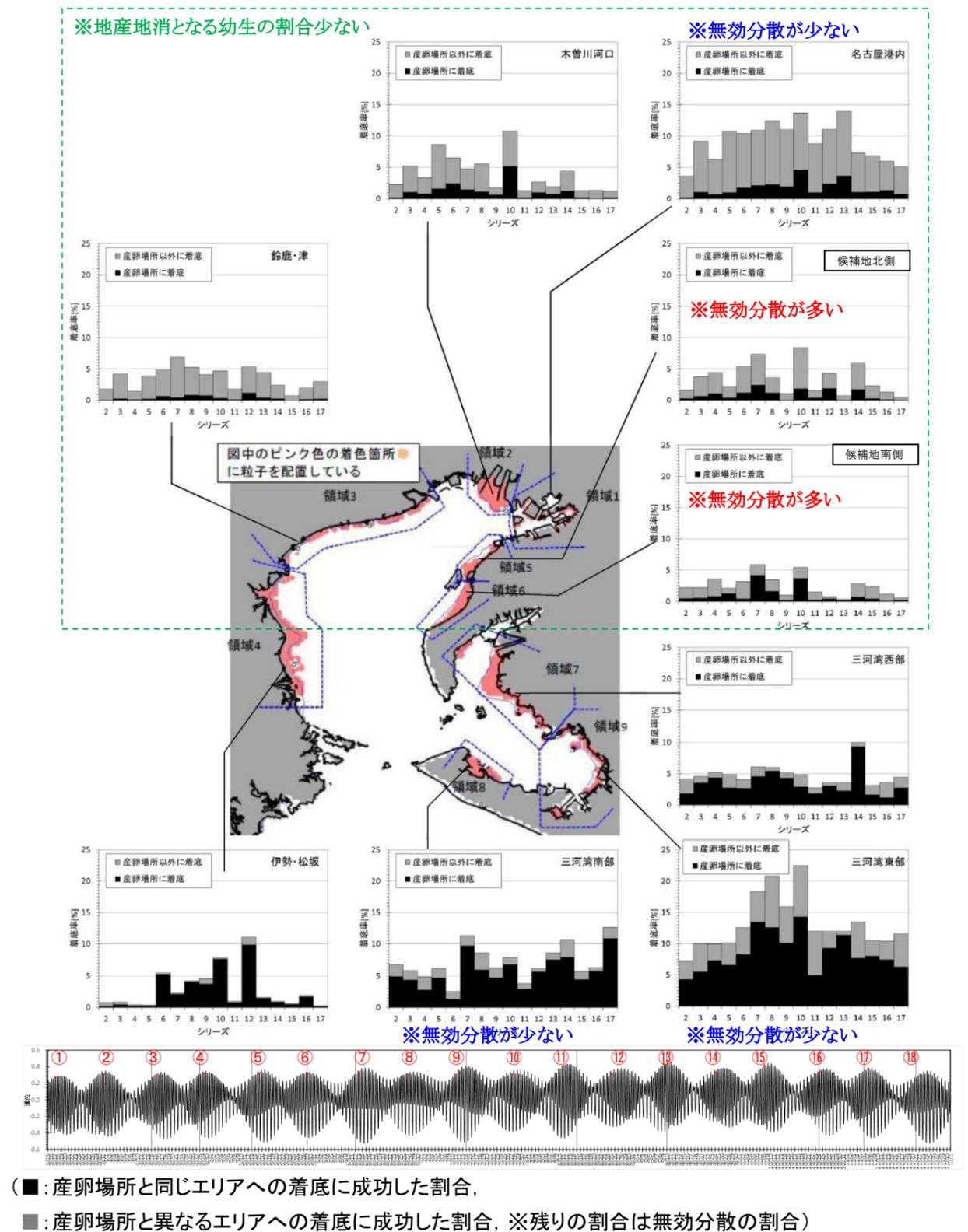
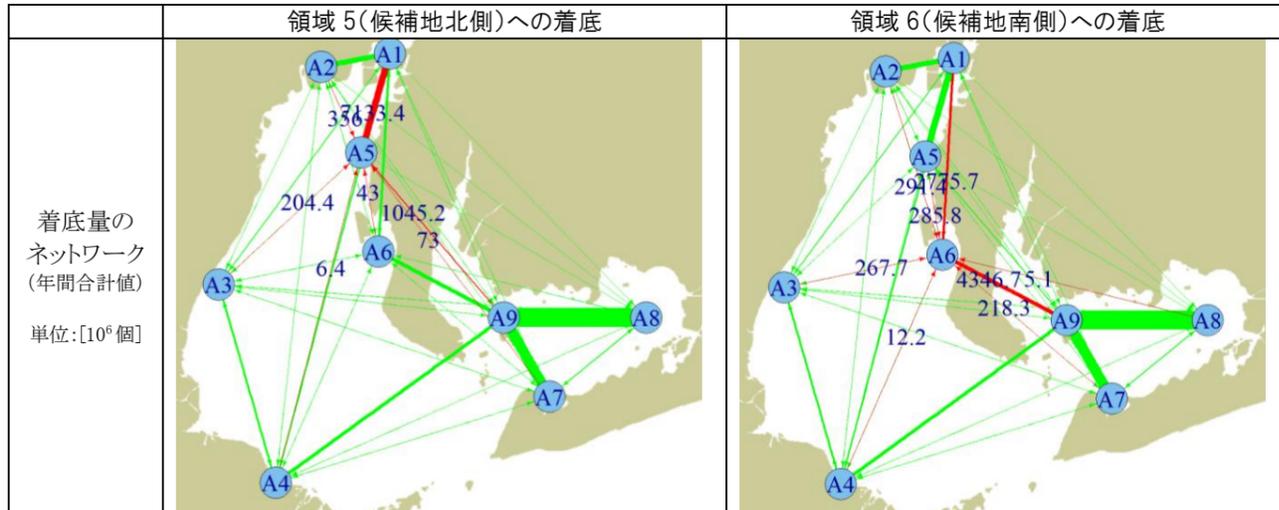


図 24 着底に成功した浮遊幼生の割合(着底率)

#### 4) 浮遊幼生のネットワーク等の可視化

浮遊幼生の着底量をネットワークの形で図 25 のように可視化した。ただし、候補地周辺の海域(領域 5 と 6)への着底量を赤線で示した。また、年間の着底稚貝の総量として計算結果を整理したもの、さらに年間の産卵した幼生量と着底量の比率(0-100%)の分布状況を図 26 に示した。



※値の大小を線の太さで表現した。左図は領域 5 に着底するバスの着底率、右図は領域 6 に着底するバスの着底量をそれぞれ赤線で示し、値を併記した。  
※図では産卵場所への着底は描画しておらず、他の領域間を移動して着底するバスのみを可視化した。

図 25 着底量のネットワークの可視化

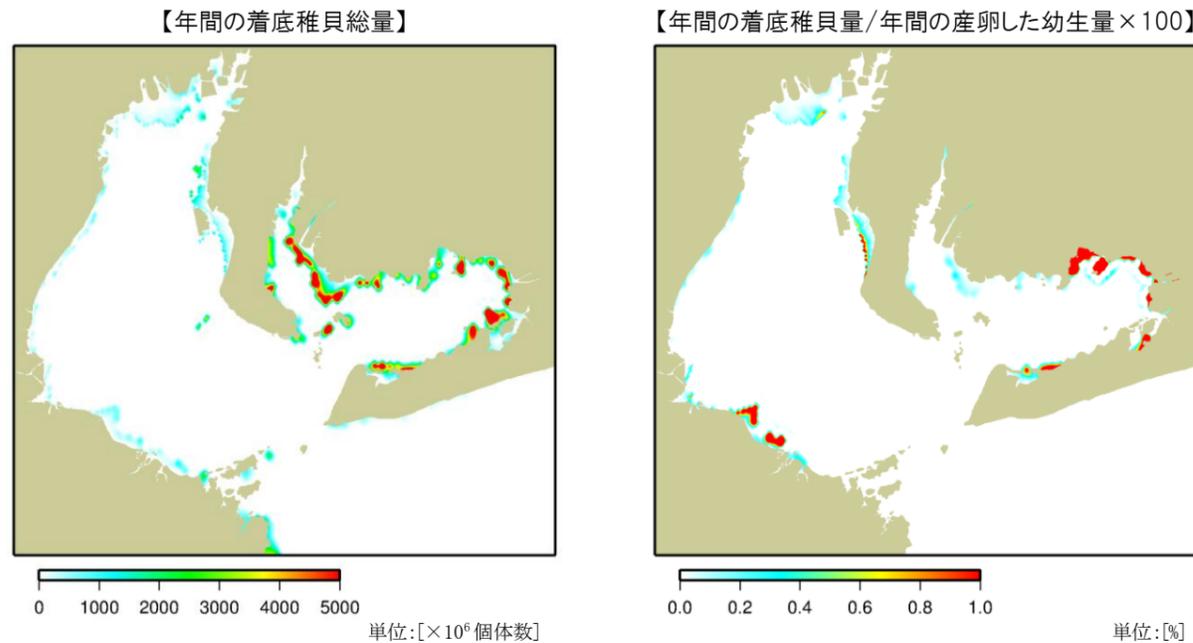


図 26 年間の着底稚貝の総量の分布状況

#### 4.2 本年度の検討成果と課題

##### 1) 浮遊幼生のネットワークの把握に向けて

##### <本年度の検討の成果と課題>

- ・ 湾内の浮遊幼生量と着底稚貝量について概ね再現できた。
- ・ 候補地周辺へのアサリのネットワークの特徴としては、①相対的に見て無効分散となる浮遊幼生の割合が高く、地産地消のアサリの量も少ない傾向であると考えられること、②名古屋港や三河湾からの幼生の供給がアサリの現存量を決定づける重要なパスになっている可能性が高いことが示された。
- ・ 以上の今回の検討で得られた知見を踏まえると、名古屋港内・三河湾から候補地周辺へのアサリ浮遊幼生の供給パスに関わる範囲(例えば図 27)における鉛直分布構造の再現性確保等が重要な課題となる。具体的には、以下の条件の精査により、シミュレーションの再現性向上が図れるものと考えられる。
  - ①:産卵時期の精査(今回は大潮満潮時に一斉産卵)
  - ②:浮遊幼生の鉛直移動に関するモデル式の選択
  - ③:成貝量の分布の精査(深い場所での成貝量など)

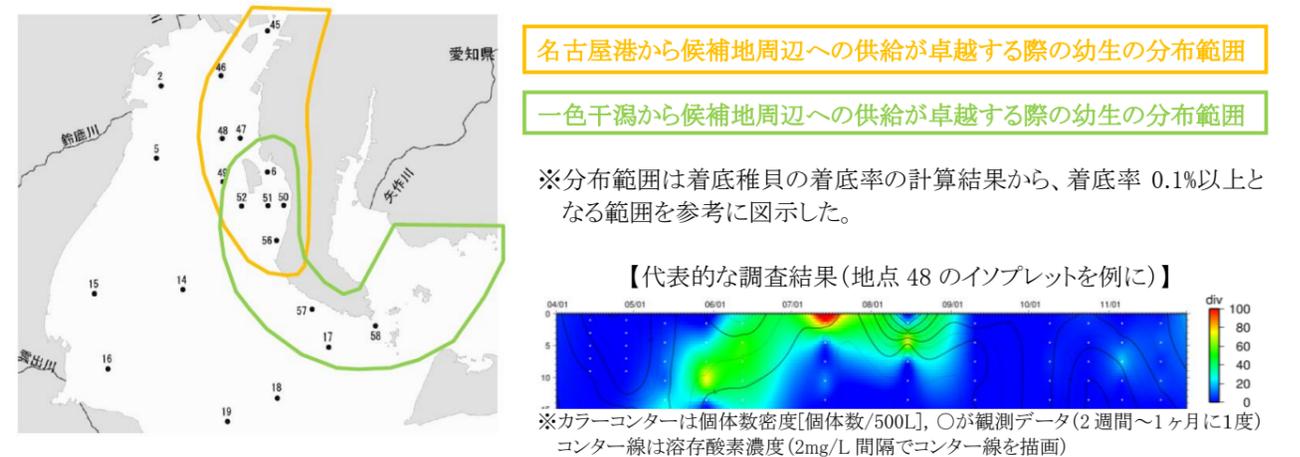


図 27 再現性を重点的に検証すべきと考えられる範囲と調査結果の特徴

## 5. 栄養塩・有機物の再現性について

### 5.1 定量的な再現性の確認

水質調査Ⅱの結果を対象に、観測結果と計算結果の比較を整理したものを項目別に図 29 に整理した(図の見方や整理方法の詳細は、図 28 に示した)。ただし、ここでは、水質項目の空間的な分布状況の定量的な再現性の確認を目的とし、観測結果および計算結果は、地点(層)別に調査期間中の全ての値の平均値として整理し、関係性を比較することとした。

再現性を定量的に評価することを目的として、表 7 に相関係数と RMSE の数値を整理した。今回の整理に用いた、再現性の定量評価のための指標とその考え方は、表 6 に整理しているとおりである。

今後は、これで行ってきた計算値が再現している現象自体の検証に加えて、計算結果の定量的な評価も併せて実施していく。

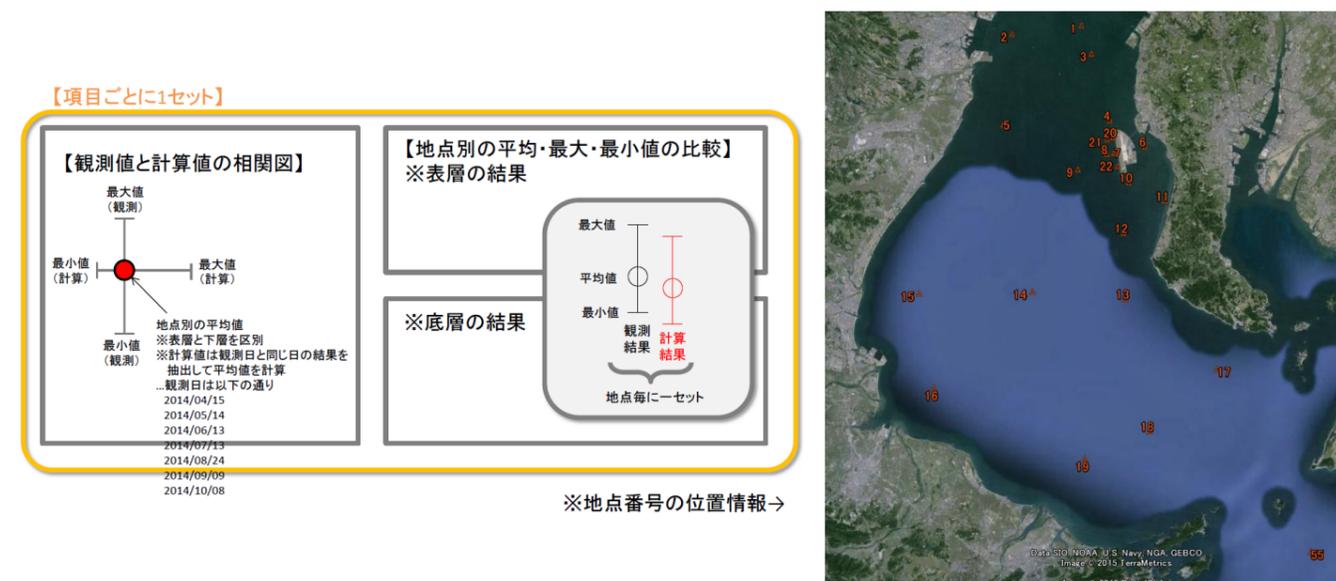


図 28 観測値と計算値の比較図の見方

表 6 再現性の定量的な評価のために用いた指標

指標	定量評価の考え方	計算方法
相関係数	データの類似性の度合いを評価する指標 ※観測と計算の絶対値があっているかどうかは問わない 値は-1~1の範囲をとり、絶対値が1に近づくほど相関が高く、0に近づくほど相関が低い。 ⇒空間的なパターンがあっているかどうか？	$R = \frac{\sum (A_i - \bar{A})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum (A_i - \bar{A})^2 \sum (P_i - \bar{P})^2}}$ $A_i$ : 観測値, $P_i$ : 計算値
RMSE (平方根平均二乗誤差)	モデルの予測精度の悪さを評価する指標 単位は本資料では全て[mg/L] 0に近いほど精度が高い ⇒予測値の絶対値があっているかどうか？	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_i - A_i)^2}{n}}$ $A_i$ : 観測値, $P_i$ : 計算値

⇒これらの2つの指標を評価することで、空間パターンと値の絶対値の両方の視点で評価ができる

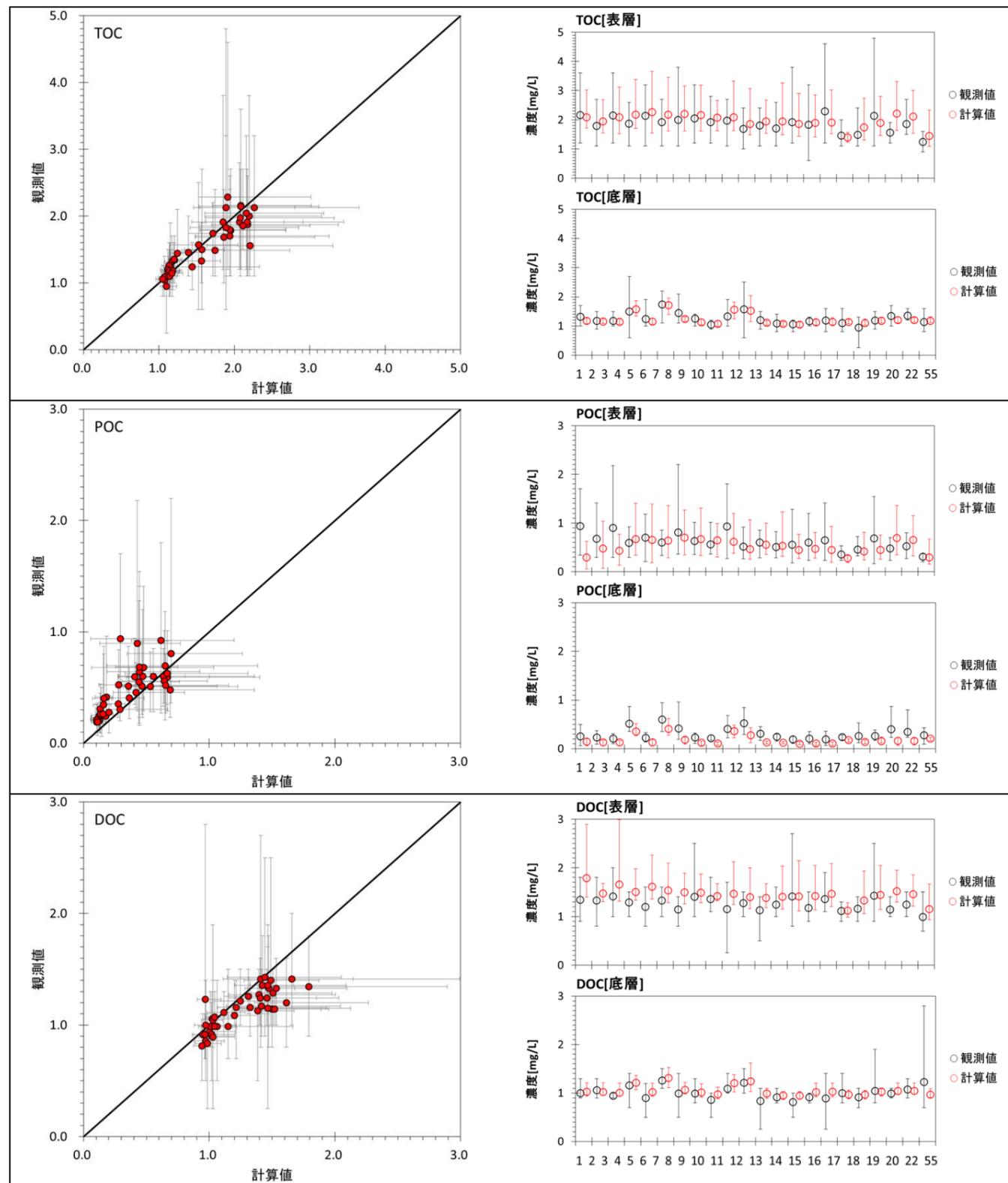


図 29(1) 観測値と計算値の比較[TOC,POC,DOC]

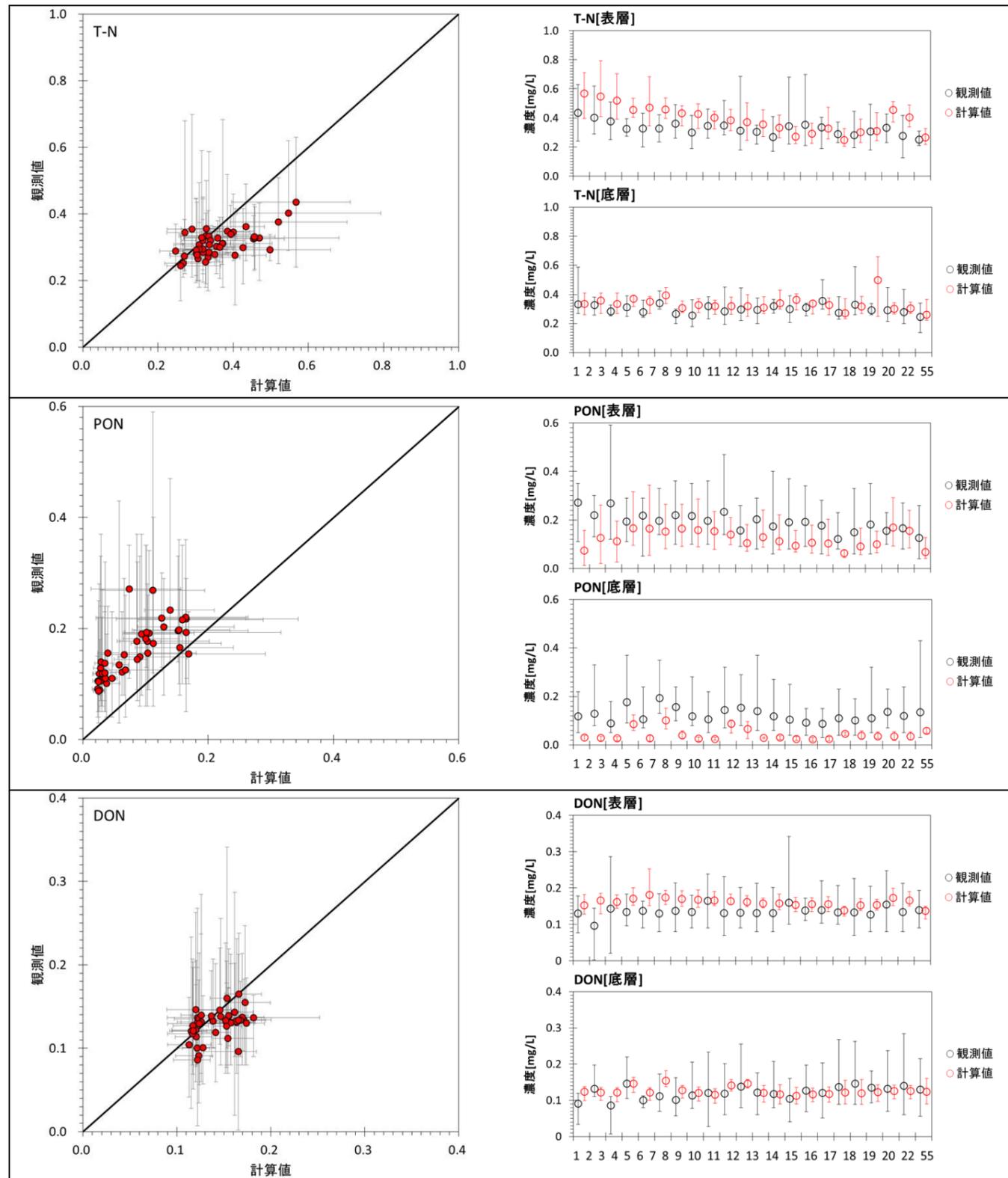


図 29(2) 観測値と計算値の比較[TN,PON,DON]

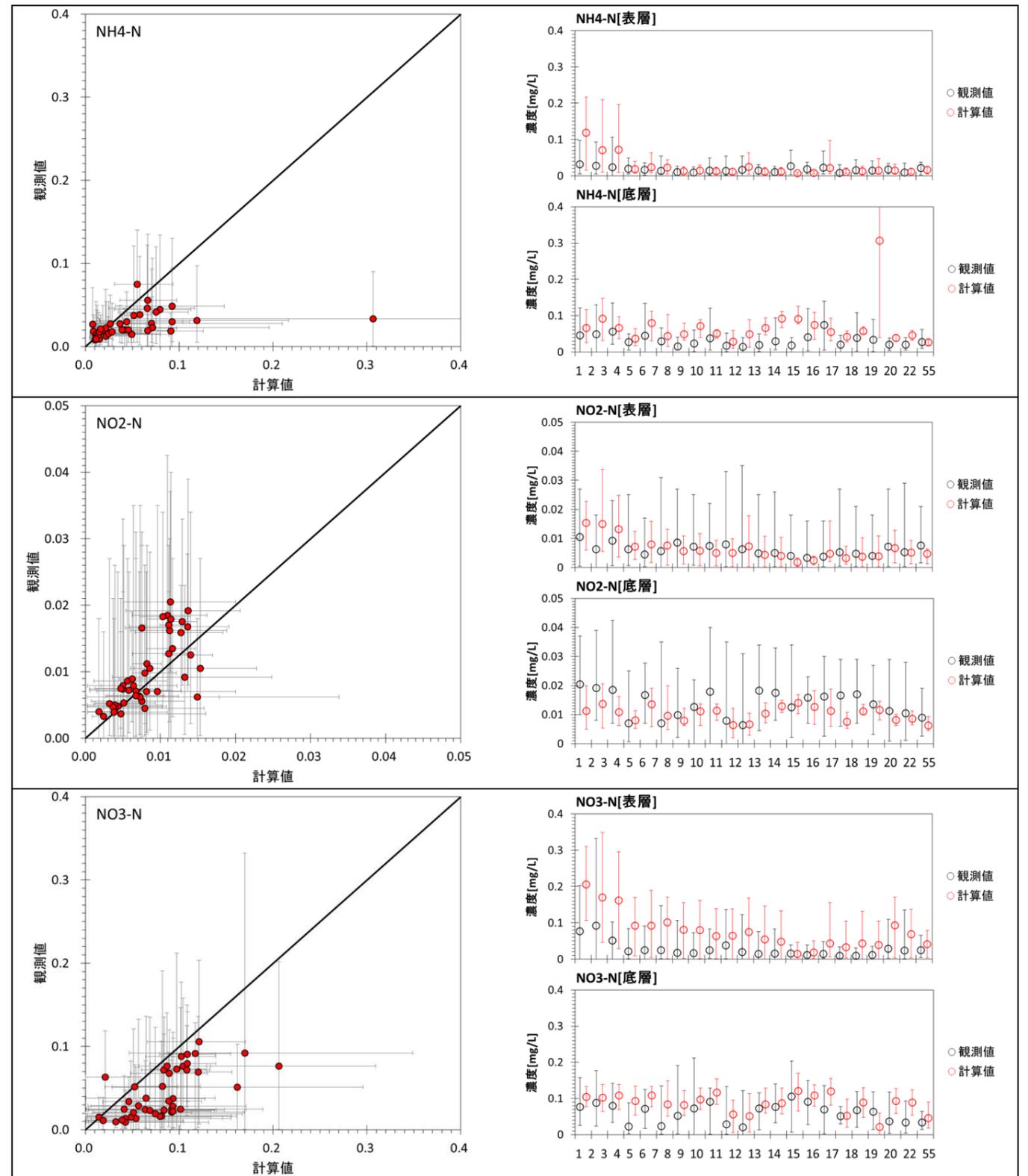


図 29(3) 観測値と計算値の比較[NH4-N,NO2-N,NO3-N]

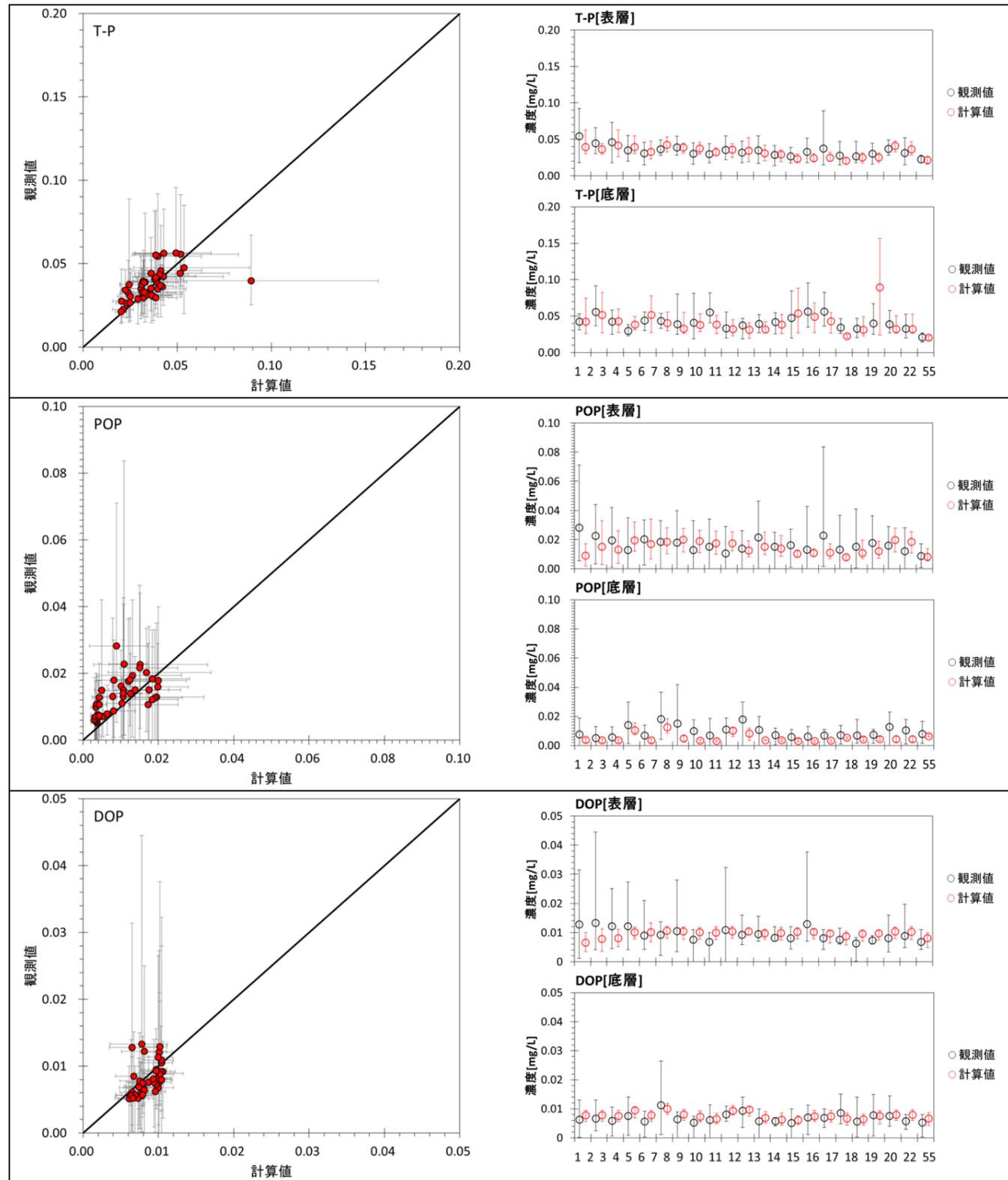


図 29(4) 観測値と計算値の比較[TP,POP,DOP]

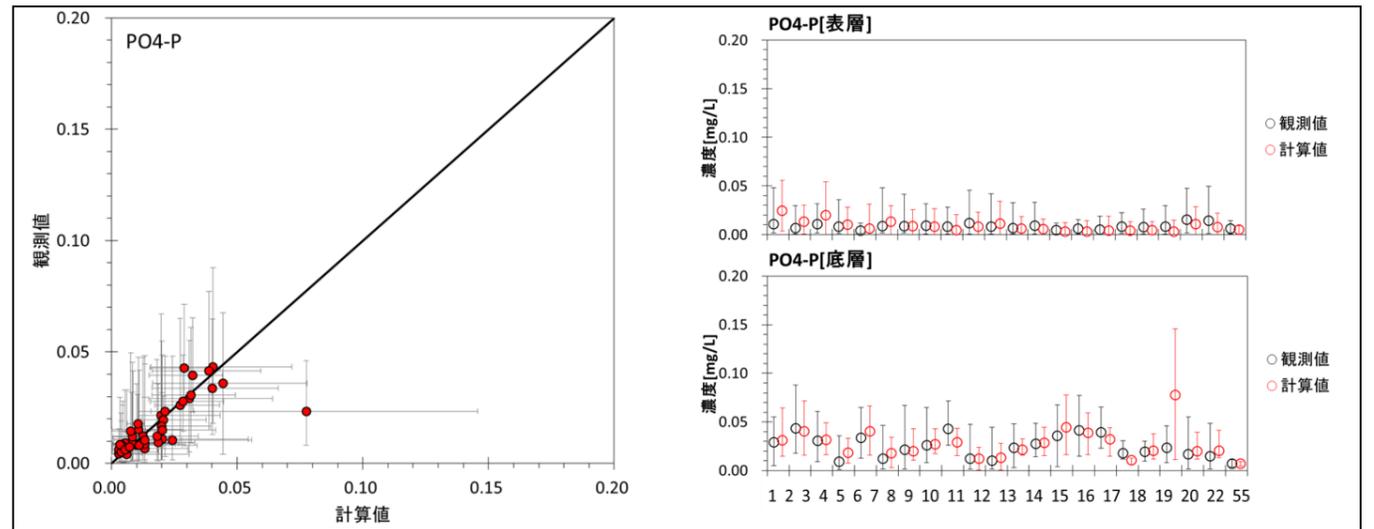


図 29(5) 観測値と計算値の比較[PO4-P]

表 7 再現性の定量的な評価

項目	相関係数[-]	RMSE [mg/L]	標準偏差		
			観測値	計算値	
C	TOC	0.91	0.181	0.375	0.426
	POC	0.76	0.181	0.209	0.205
	DOC	0.83	0.179	0.175	0.236
N	T-N	0.64	0.078	0.039	0.077
	PON	0.76	0.083	0.047	0.049
	DON	0.43	0.025	0.017	0.020
	NH <sub>4</sub> -N	0.42	0.050	0.014	0.049
	NO <sub>2</sub> -N	0.71	0.0039	0.0051	0.0036
P	NO <sub>3</sub> -N	0.64	0.049	0.029	0.039
	T-P	0.56	0.0099	0.0088	0.0116
	POP	0.61	0.0059	0.0055	0.0057
	DOP	0.45	0.0021	0.0022	0.0014
	PO <sub>4</sub> -P	0.76	0.0096	0.0115	0.0147
備考	$R = \frac{\sum (A_i - \bar{A})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum (A_i - \bar{A})^2 \sum (P_i - \bar{P})^2}}$ <small>A<sub>i</sub>: 観測値, P<sub>i</sub>: 計算値</small>		$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_i - A_i)^2}{n}}$ <small>A<sub>i</sub>: 観測値, P<sub>i</sub>: 計算値</small>		

## 5.2 本年度の検討成果と課題

本年度の検討を得られた結果と課題を下記に示す。

### <本年度の検討の成果>

- ・ 栄養塩、有機物濃度の観測値を概ね再現できた。

### <課題と解決策>

- ・ 窒素類については他の項目に比べると観測値と計算値の相関係数が低く、再現性の向上には別途検討を予定している鉛直混合スキームの検討により流れ場の再現性を向上させたいと、有機物の分解速度や沈降速度といった計算パラメーターの最適化を図る必要がある。