

水質予測モデル説明資料

平成19年3月30日

中国地方整備局
出雲河川事務所

目 次

1. 基本事項	1
1.1 予測の基本的考え方と水質予測モデルの役割	1
1.2 水質予測モデルの構築の基本的考え方	1
2. 水質予測モデルの課題整理	2
2.1 モデルの基本構造に関する課題と対応	2
2.2 モデルパラメータの設定に関する課題と対応方針	3
3. 観測値の再整理・分析とモデル検証における着眼点の整理	4
3.1 観測値の再整理（中海・宍道湖の内部生産特性）	4
3.2 モデルの検証における着眼点整理	6
3.3 検証計算	8
3.4 その他項目の再現性	14
4. 水質予測モデルの概要	17
4.1 水質予測モデルの基本構造	17
4.2 水域分割	22
4.3 境界条件・気象条件	23
4.4 溶出速度の設定方法	27
4.5 脱窒の考慮方法(算定式)	27

1. 基本事項

1.1 予測の基本的考え方と水質予測モデルの役割

- ・大橋川改修による影響は、水質予測モデルの予測結果や現状の水質特性を総合的に判断し、予測する。
 - ・水質予測モデルでは、溶存酸素や富栄養化などに係わる代表的水質指標の季節変化特性や年間の平均的な水質濃度を予測する。

大橋川改修による疎通能力の向上は、直接的には両湖の物質交換量の変化として現れる。また、塩分成層を形成する宍道湖及び中海においては、物質交換量の変化による直接的な変化に加えて、塩分成層の変化に伴う溶存酸素への影響、さらにはそれに伴う内部生産への影響など2次的、3次的な影響(間接影響)が想定される。

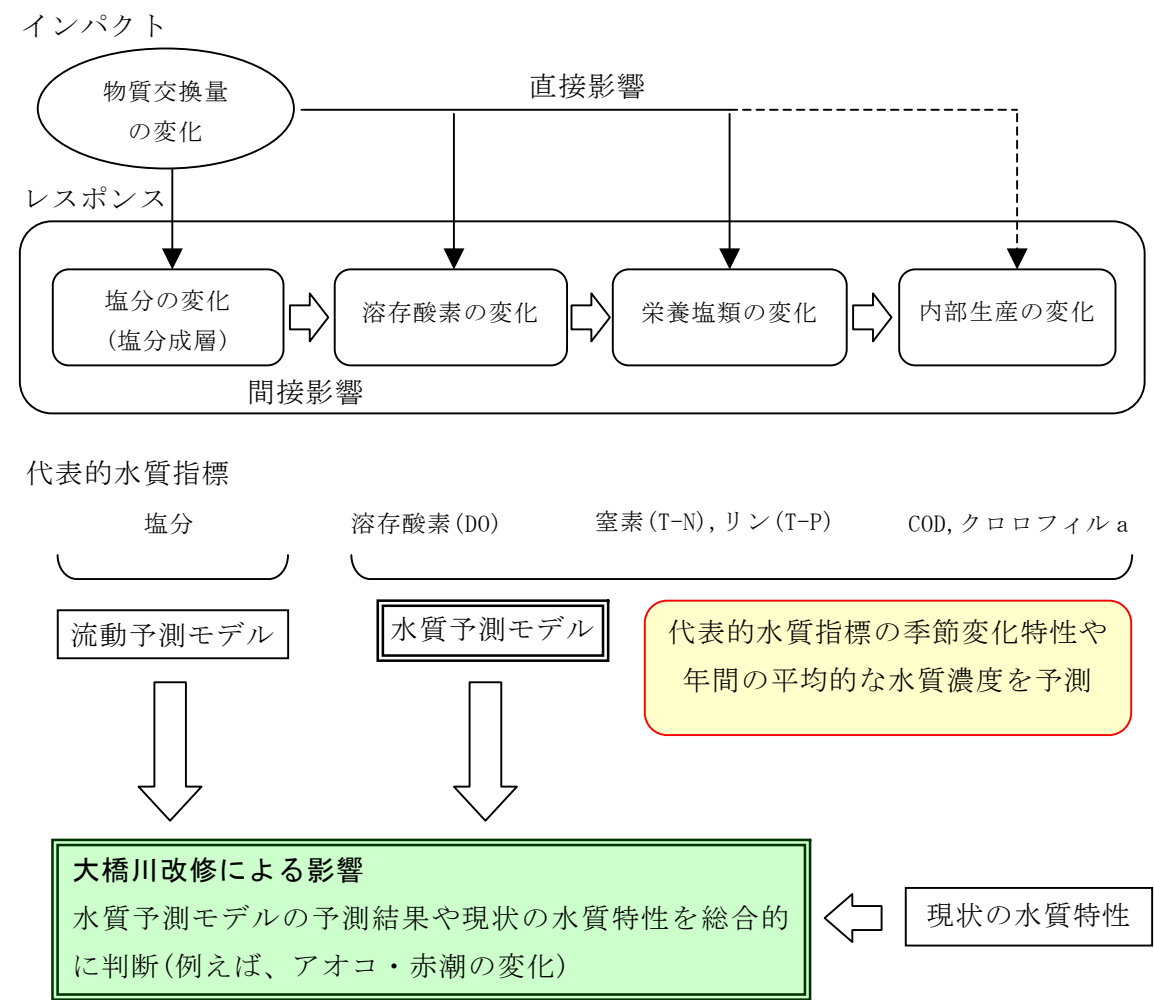


図 1.1 水質予測モデルの役割

1.2 水質予測モデルの構築の基本的考え方

- ・水質予測モデルは、中海・宍道湖における既往の水質等観測結果を活用し、計算条件などを設定する。

- ・モデルの基本構造：植物プランクトンを介した窒素及びリンの湖内循環(物質収支)をモデル化
- ・反応式：一般的な知見を参考に中海・宍道湖における内部生産特性を考慮して設定
- ・モデルパラメータ：原則として現地調査に基づき設定し、湖内の観測値を再現できるよう調整
- ・境界条件：原則として現地観測データに基づき設定

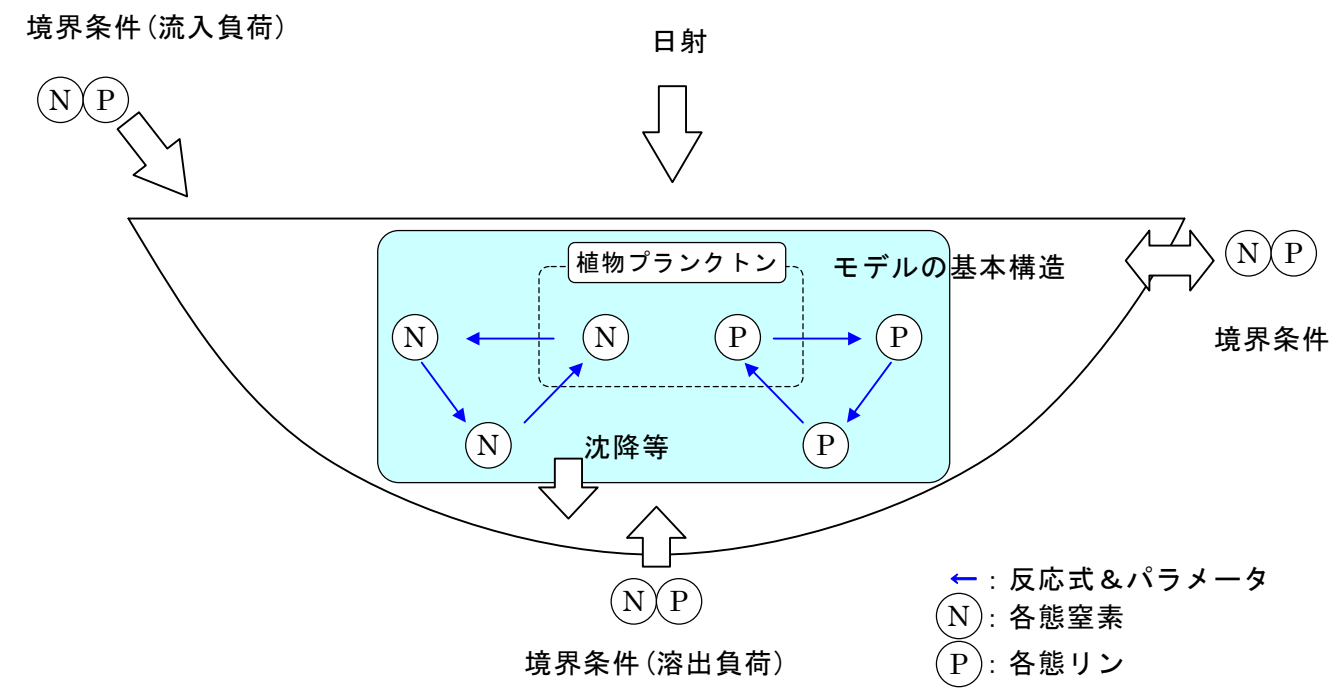


図 1.2 水質予測モデルの構築の考え方

2. 水質予測モデルの課題整理

2.1 モデルの基本構造に関する課題と対応

(1) 前回委員会における指摘

- 植物プランクトンの増減に係る物質収支の考え方に不明瞭なところがある。
- COD や窒素, リンなどの項目別の物質収支が不明瞭であり、陸域からの流入形態や湖内における有機態・無機態などの変化過程が分かりにくい。
 - 植物プランクトンの代謝に伴いクロロフィル a が減少するのは適切ではない。

(2) 指摘に対する対応

- 水質観測項目を基に水質予測モデルの物質収支概念を再整理した。
 - 植物プランクトンによる代謝は日周活動である。一方、本モデルでは植物プランクトンの日周活動は対象としないため、植物プランクトンの代謝は考慮しないこととする。

内部生産の物質収支概念図は、図 2.1 のとおりであり、計算項目の定義及び反応項の考え方は後述のとおりである。

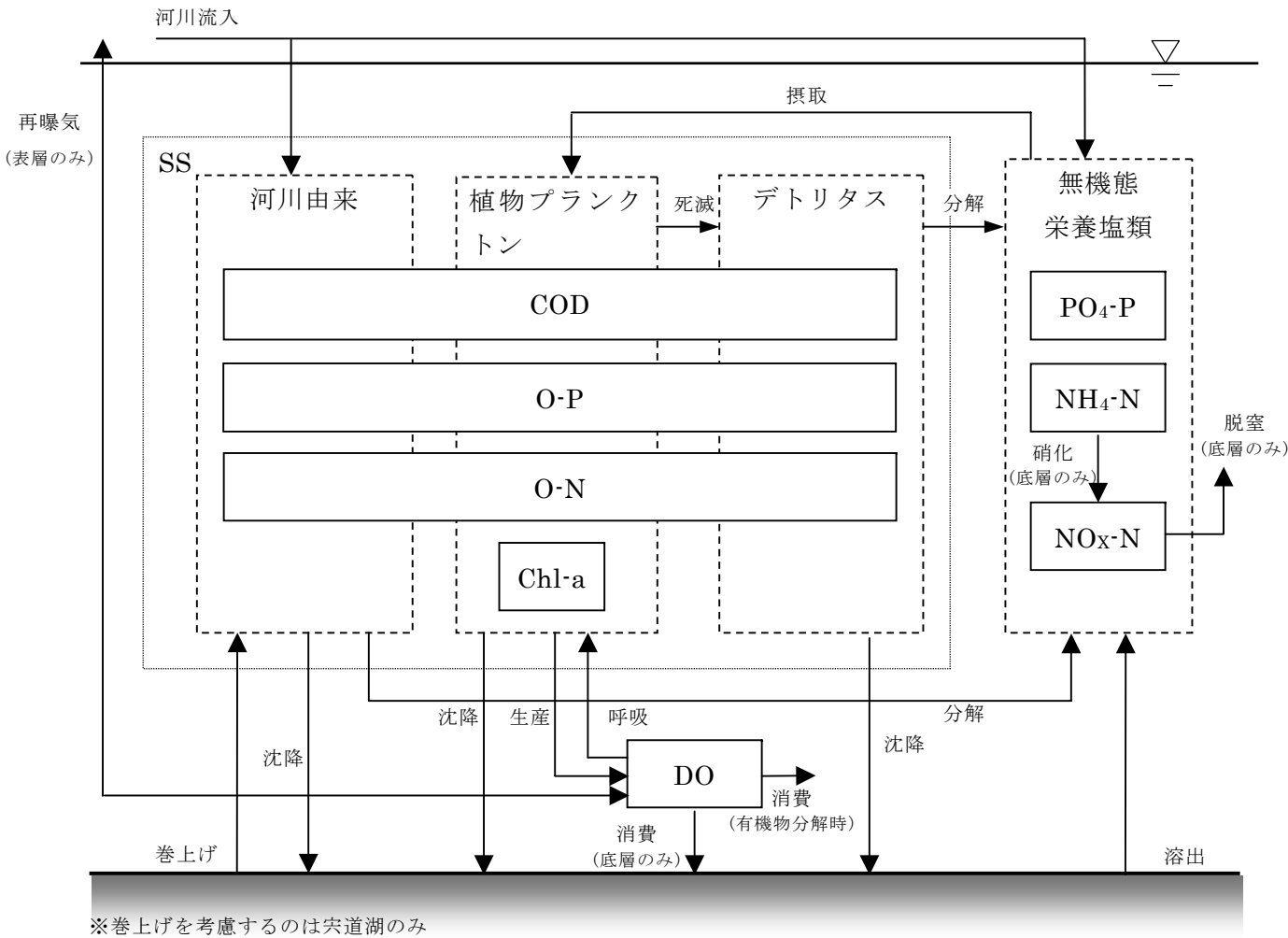


図 2.1 物質収支概念図

表 2.1 物質収支概念図の定義

区分	項目	記号	定義
河川由来	化学的酸素要求量	COD	陸域から流入する有機物
	有機態リン	O-P	流入及び巻き上げにより増加し、分解及び沈降により減少する。
	有機態窒素	O-N	
	リン酸態リン	PO ₄ -P	陸域から流入する無機物 流入により増加する。
	アンモニア態窒素	NH ₄ -N	
植物プランクトン	硝酸・亜硝酸態窒素	NO _x -N	
	化学的酸素要求量	COD	植物プランクトンに含まれる有機物
	有機態リン	O-P	クロロフィル a との比率で変化する。内部生産により増加し、死滅及び沈降により減少する。
	有機態窒素	O-N	植物プランクトンの現存量を代表する量として設定 内部生産により増加し、死滅及び沈降により減少する。
デトリタス	クロロフィル a	Chl-a	
	化学的酸素要求量	COD	内部生産由来のデトリタスに含まれる有機物
	有機態リン	O-P	植物プランクトンの死滅により増加し、分解及び沈降により減少する。
無機態栄養塩類	有機態窒素	O-N	
	リン酸態リン	PO ₄ -P	湖水に溶存する無機態の栄養塩類
	アンモニア態窒素	NH ₄ -N	有機物の分解及び底質からの溶出により増加し、植物プランクトンの摂取により減少する。
溶存酸素	硝酸・亜硝酸態窒素	NO _x -N	硝酸・亜硝酸態窒素は脱室により減少する。
	溶存酸素	DO	水中の酸素量 光合成により増加し、有機物の分解及び底質による消費により減少する。大気からの再曝気により増減する。
浮遊物質	浮遊物質	SS	湖水に含まれる不溶解性の粒子状物質 流入、巻き上げ及び植物プランクトンの増殖により増加し、沈降及び植物プランクトンの死滅により減少する。

2.2 モデルパラメータの設定に関する課題と対応方針

(1) 前回委員会における指摘

- ・クロロフィル a や硝酸・亜硝酸態窒素の観測値の再現性に不十分なところがある。
- ・ 冬季における硝酸・亜硝酸の増加が十分表現できていない。冬季における植物プランクトンの無機態栄養塩類の取り込みの設定が不十分である可能性がある。
 - ・ 冬季におけるクロロフィル a の増加が表現できていない。

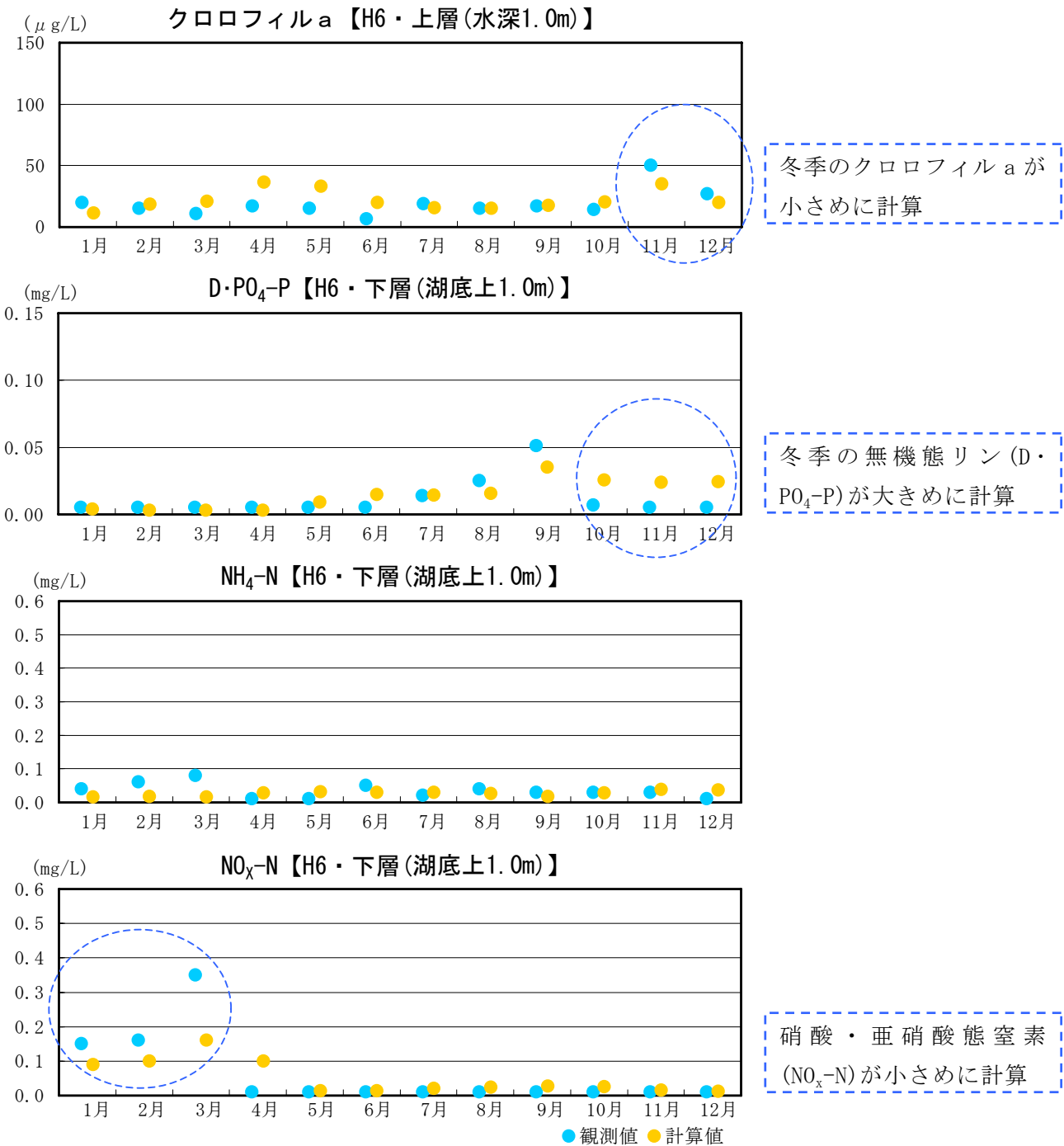


図 2.2 検証計算結果（前回委員会提示：H6, 矢道湖湖心）

(2) 指摘に対する対応方針

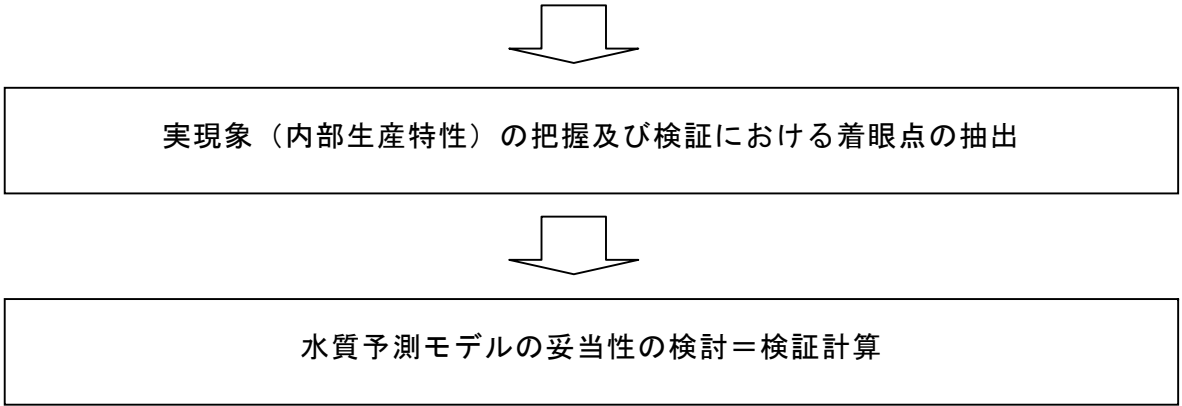
- ・ 水質予測モデルの修正にあたって、中海・矢道湖の実現象（内部生産特性）を把握し、検証において着目する項目の抽出を行う。
 - ・ 抽出した項目について水質予測モデルの妥当性の検討を行う。

検証計算を実施し、水質予測モデルのパラメータを設定する場合には、実現象に合わせて計算条件やパラメータを調整し、観測値の再現性を向上するべきと考える。これまでの検討でも、この考えに従いモデルの検証を行い、溶存酸素の変動特性や COD、窒素及びリンなどの年間の平均的な水質濃度の再現性について、一定の成果を得ている。

しかしながら、いまだ再現性が不十分なところがあることから、再度、観測値の整理分析を行い、水質予測モデルの再現性を向上させるために必要な項目の抽出を行う。

表 2.2 現行の課題と観測データ再整理・分析の着眼点

現行の課題	観測データ再整理・分析の着眼点
冬季無機態リンが大きめに計算	無機態栄養塩類に着目して、内部生産に係わる季節変動を再整理
春先の硝酸・亜硝酸態窒素が小さめに計算	
冬季のクロロフィル a が小さめに計算	クロロフィル a の季節変化と植物プランクトンの出現状況を再整理



3. 観測値の再整理・分析とモデル検証における着眼点の整理

3.1 観測値の再整理（中海・宍道湖の内部生産特性）

(1) 内部生産に係わる季節的な水質の特徴

- クロロフィル a は、宍道湖では大きな変動はなく推移しているが、中海及び米子湾では冬季(12月～3月)に高くなる傾向にある。
- 宍道湖及び中海では、植物プランクトン増殖に係る制限因子は夏季に窒素となり、冬季にリンとなる傾向にある。

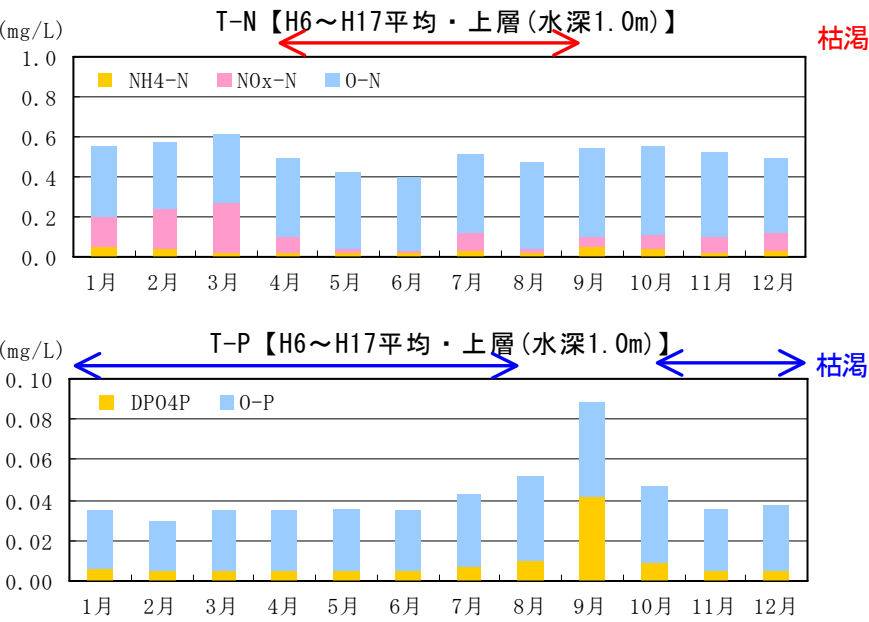
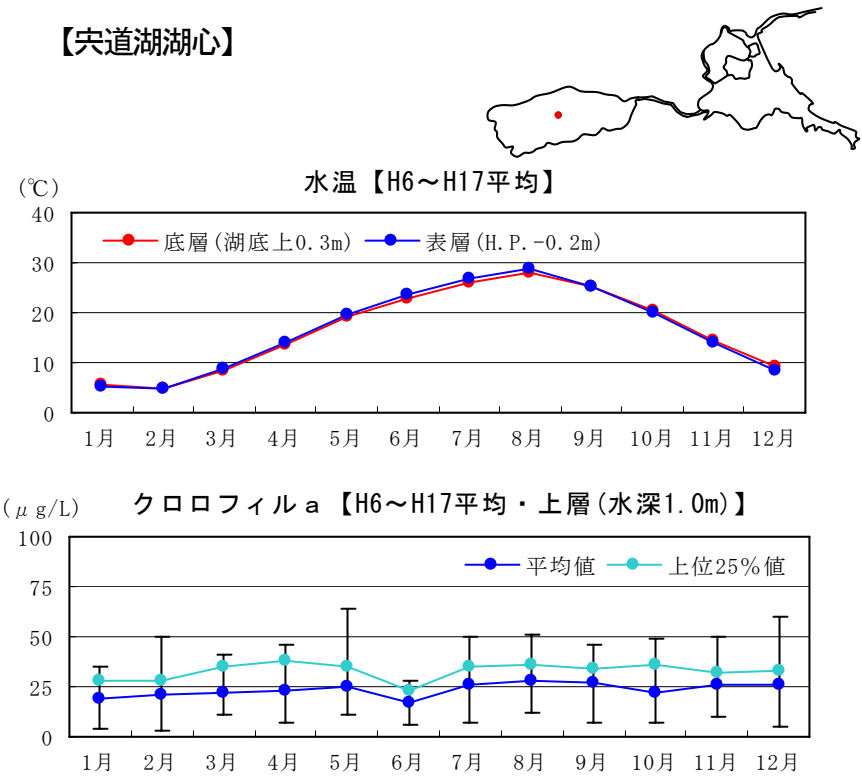


図 3.1 宍道湖湖心水質(クロロフィル a と栄養塩類) 月別変化(H6～H17 平均)

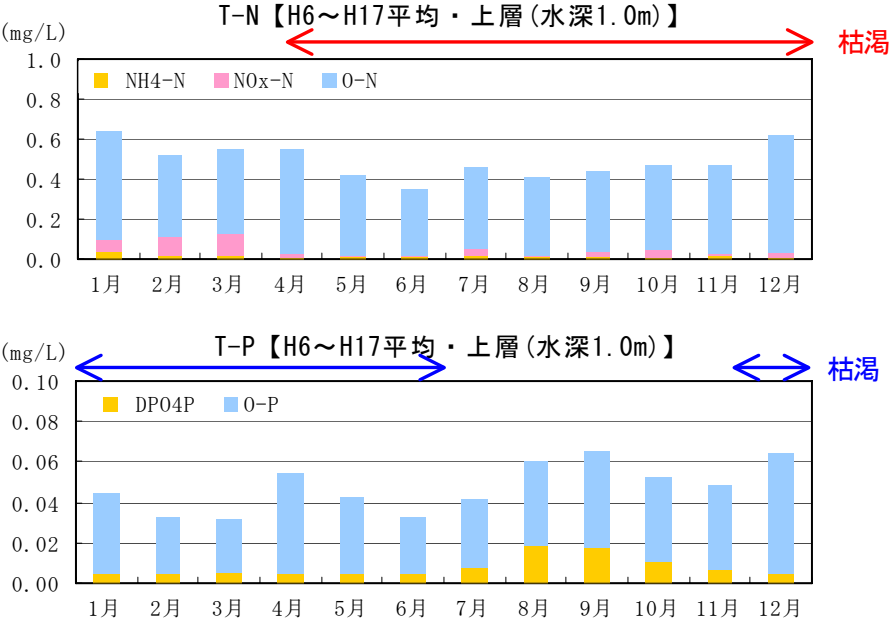
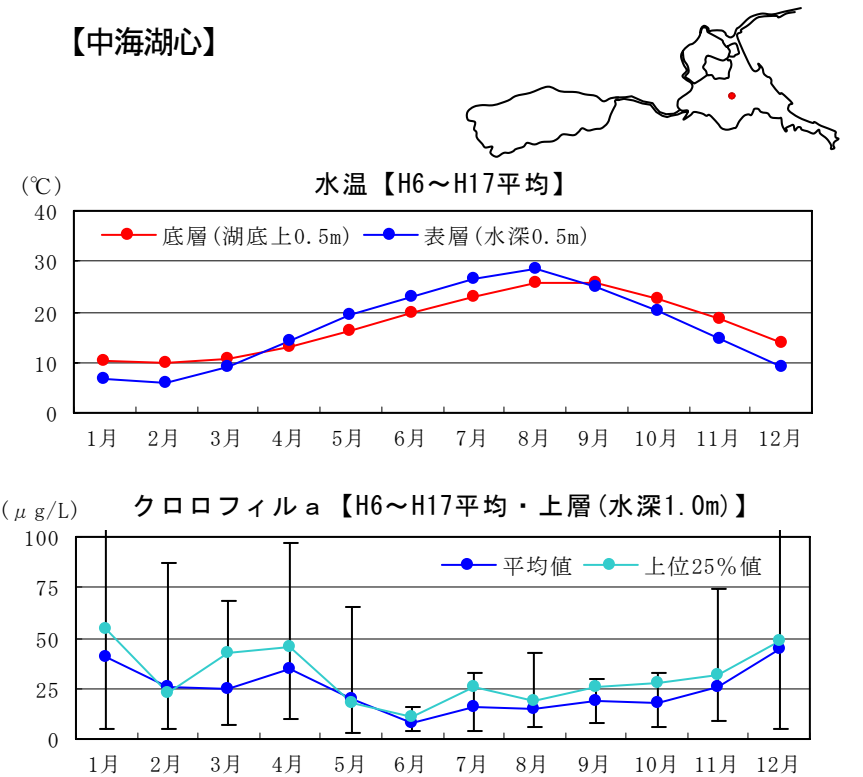


図 3.2 中海湖心水質(クロロフィル a と栄養塩類) 月別変化(H6～H17 平均)

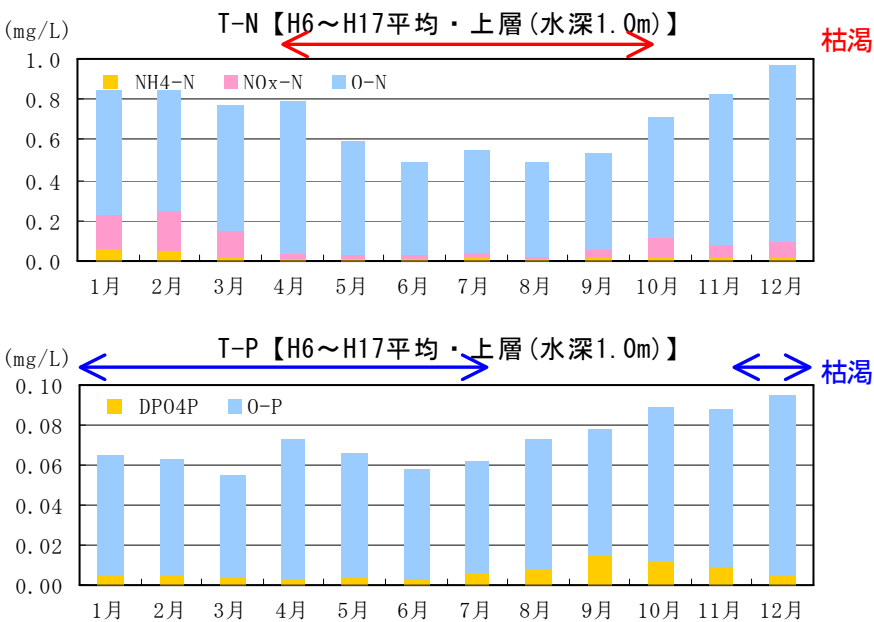
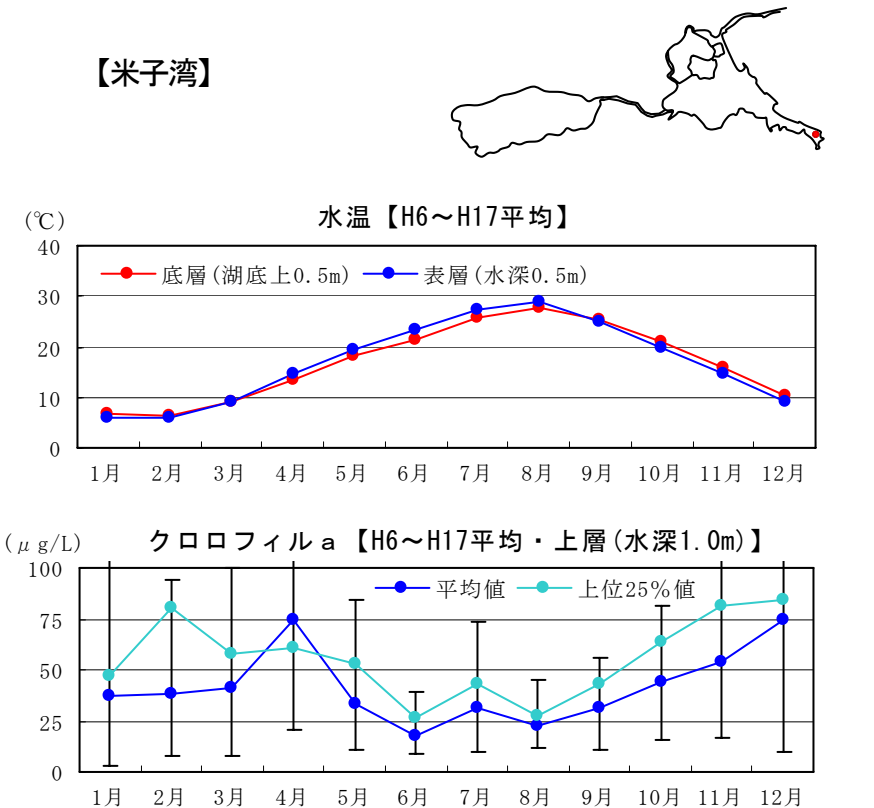


図 3.3 米子湾水質(クロロフィル a と栄養塩類) 月別変化(H6～H17 平均)

(2) クロロフィル a の季節変化と植物プランクトン出現種の状況

- ・ 宍道湖と中海では優占する植物プランクトンの種類が異なる。
- ・ 宍道湖では珪藻類が優占し、中海では渦鞭毛藻類、珪藻類が優占する傾向にある。
- ・ 中海では、秋～春季にクロロフィル a が高く、渦鞭毛藻類が優占する傾向にある。

図 3.5 は宍道湖湖心及び中海湖心における塩分、クロロフィル a 及び植物プランクトンの種別体積割合の月変化を示している。

宍道湖で出現する植物プランクトンは、珪藻類が多く、次いで渦鞭毛藻類や藍藻類となり、緑藻類が出現する割合は低い。宍道湖において H6～H17 の 12 年間でクロロフィル a が $50 \mu\text{g/L}$ を超える月は 6 回あり、発生月はすべて異なる。クロロフィル a が高くなる時に優占する植物プランクトンは、珪藻類が多いが H9.12 や H16.5 など渦鞭毛藻類の割合が高くなる時もある。

これに対し中海では、渦鞭毛藻類が出現する割合が高く、次いで珪藻類となり、藍藻類及び緑藻類が出現する割合は低い。中海において H6～H17 の 12 年間でクロロフィル a が $50 \mu\text{g/L}$ を超える月は 14 回あり、11～5 月に発生している。また、クロロフィル a が $100 \mu\text{g/L}$ を超える月も 3 回あり、12 月及び 1 月に発生している。クロロフィル a が高くなる時に優占する植物プランクトンは、ほとんどが渦鞭毛藻類である。中海において、秋から春にかけてクロロフィル a が増減する要因は明瞭ではないが、夏季に渇水傾向が見られる年でクロロフィル a 最大値が $100 \mu\text{g/L}$ 程度まで上昇していることや夏から秋において流量が増加する年(月平均流量が $100\text{m}^3/\text{s}$ 超の月あり)でクロロフィル a が低くなる傾向が見られることなどから、流量との関係が示唆される。

[植物プランクトンの出現状況]

宍道湖

- ・ 珪藻類が主体
- ・ 渦鞭毛藻類及び藍藻類も出現
- ・ 緑藻類が出現する割合は低い

中海

- ・ 渦鞭毛藻類が主体
- ・ 珪藻類も出現
- ・ 藍藻類及び緑藻類が出現する割合は低い(ほとんどない)

[クロロフィル a の変化]

宍道湖

- ・ $50 \mu\text{g/L}$ を超える月は 6 回/12 年間
- ・ $50 \mu\text{g/L}$ を超える月の発生はバラバラ
- ・ クロロフィル a が高いときの優占種は珪藻類 4 回、渦鞭毛藻類 2 回

中海

- ・ $50 \mu\text{g/L}$ を超える月は 14 回/12 年間、 $100 \mu\text{g/L}$ を超える月もある(3 回)
- ・ $50 \mu\text{g/L}$ を超える月は 11～5 月に発生
- ・ クロロフィル a が高いときの優占種はほとんど渦鞭毛藻類

秋～春のクロロフィル a の増減と夏～秋の流量の関係が示唆される。

- ・ 渇水年→クロロフィル a 高い($100 \mu\text{g/L}$ 程度まで上昇)
- ・ 豊水年→クロロフィル a 低い($50 \mu\text{g/L}$ 未満)

図 3.4 中海・宍道湖の植物プランクトンの出現特性

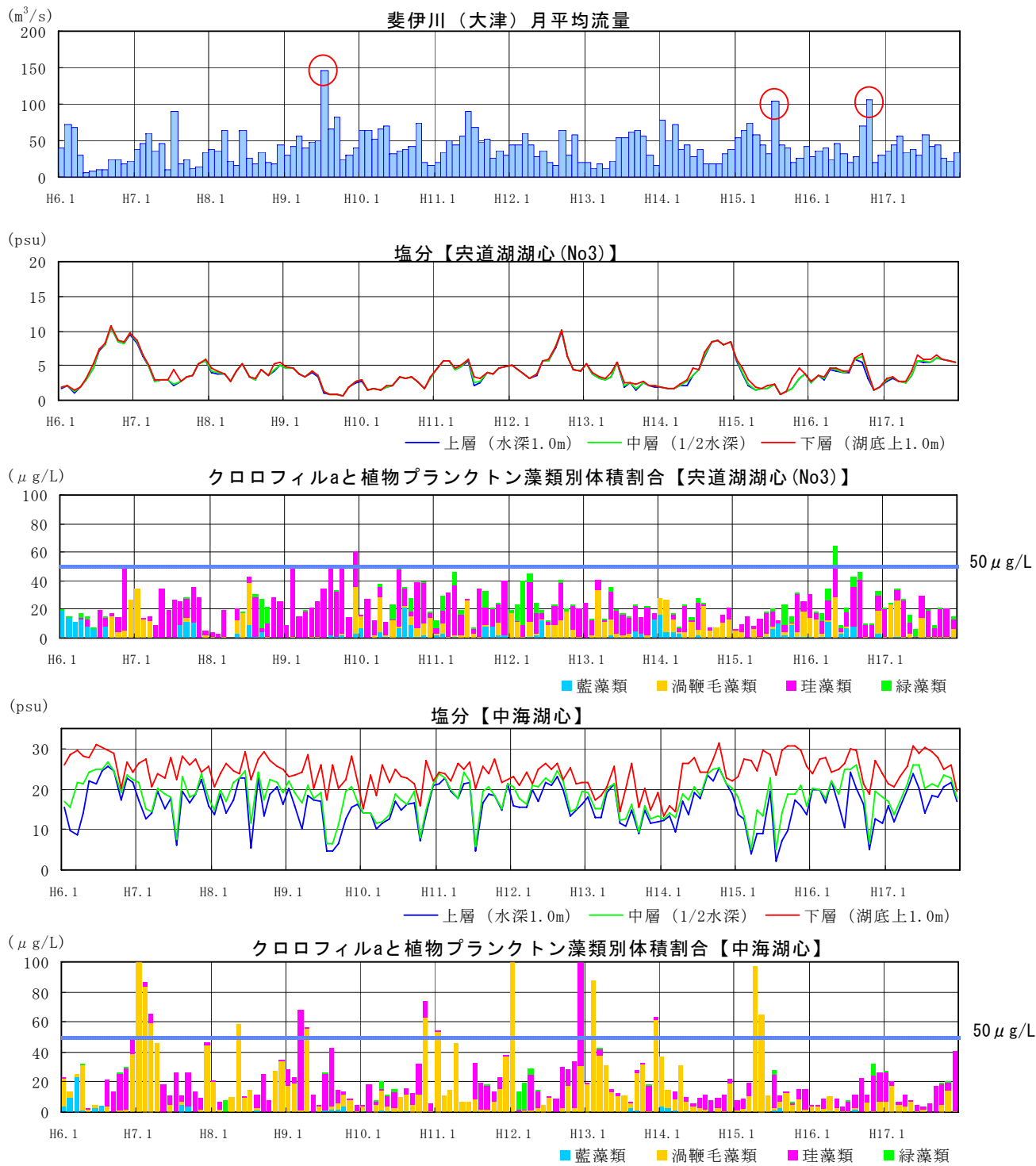


図 3.5 クロロフィル a と植物プランクトン種類別体積割合

3.2 モデルの検証における着眼点整理

(1) ポイント(検討方針)の整理

- ・観測値の再現性は、中海・宍道湖の内部生産特性を踏まえ、クロロフィル a 及び無機態栄養塩類の季節変化に着目して検討する。
 - ・中海・宍道湖では、植物プランクトン増殖時の窒素、リンの取り込み比率を各藻類の特性を踏まえて設定する。特に中海での渦鞭毛藻類に着目し、植物プランクトン増殖時の窒素、リンの取り込み比率を設定する。

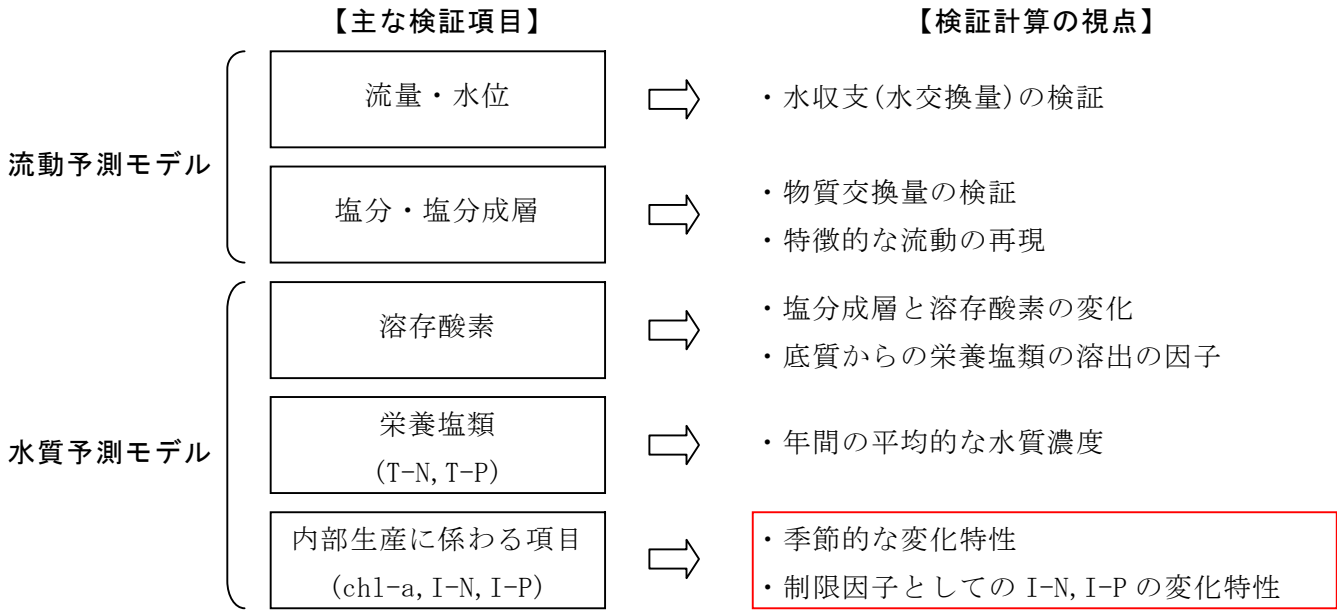
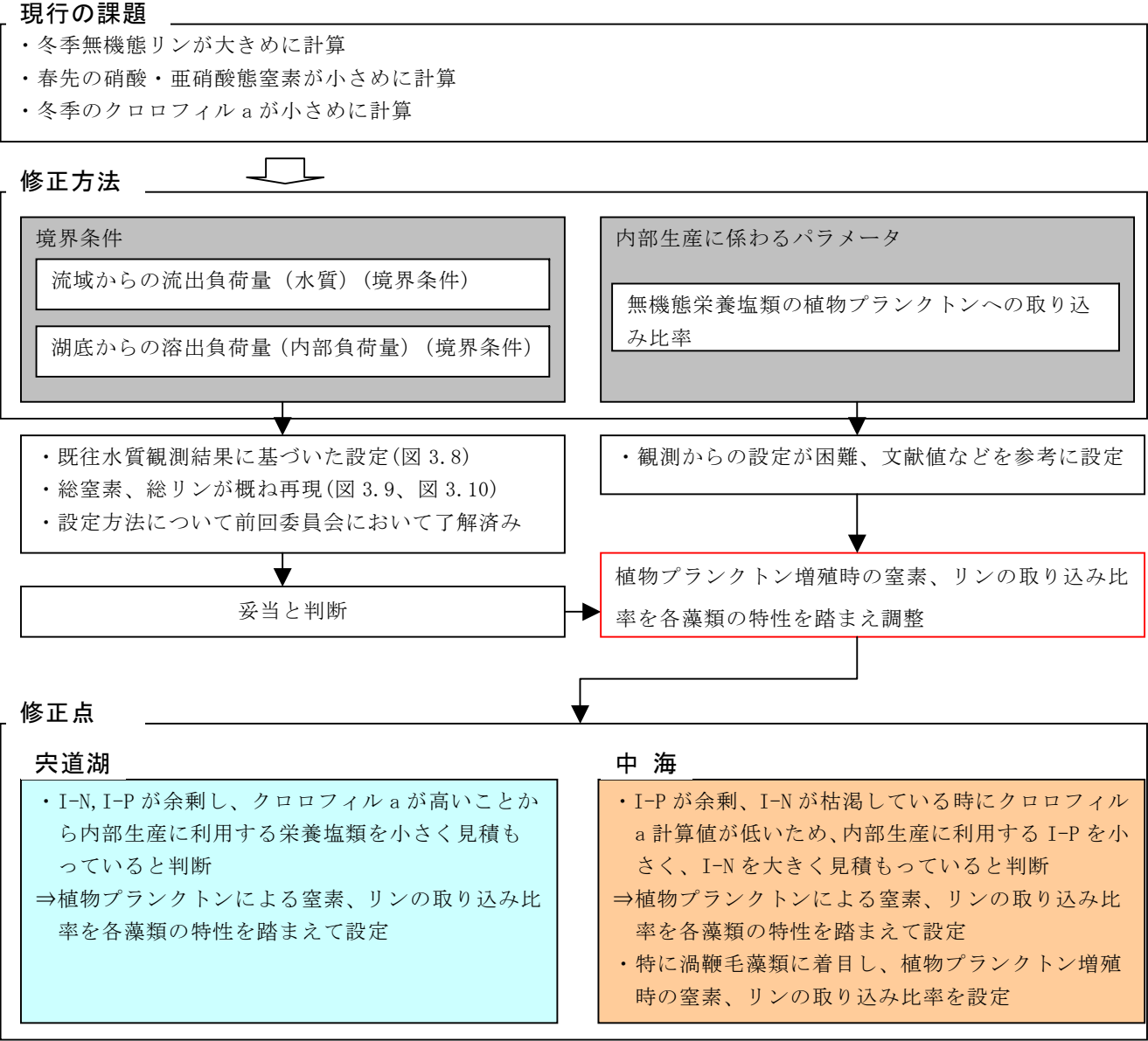


図 3.6 予測モデル検証における着眼点



【流域からの流出負荷量(水質)】

流域からの流出負荷量は観測値を基にした流量と水質(負荷量)の関係式(L-Q 式)により設定している。流入河川の中で最も流域面積が大きい斐伊川について、設定した流入水質は斐伊川大津地点定期観測結果を概ね表現している。

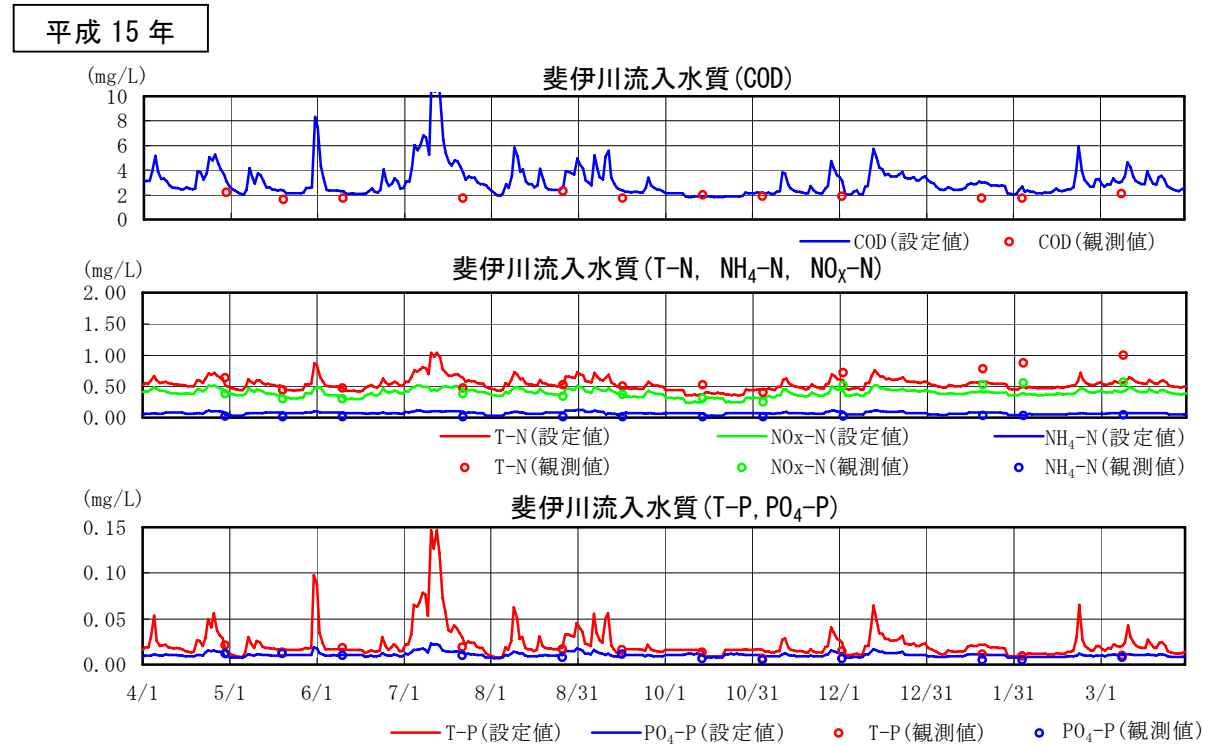
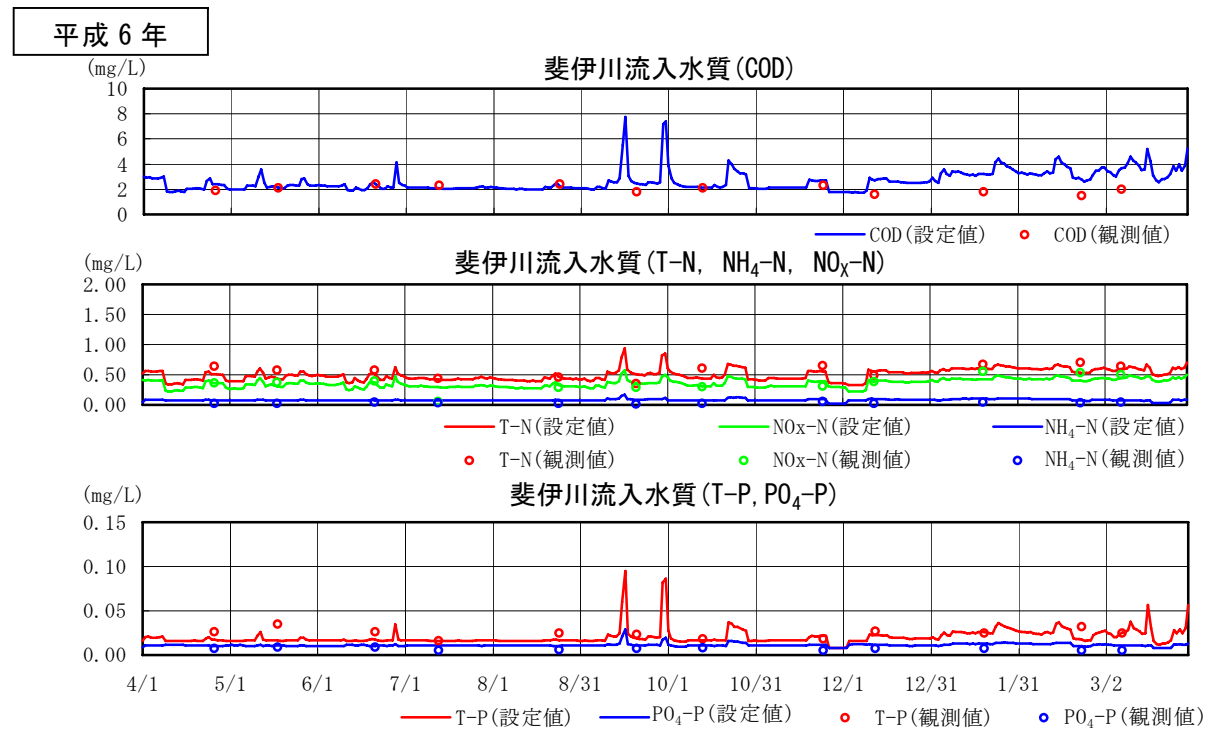


図 3.8 流域からの流出負荷量(流入水質, 斐伊川, H6, H15)

【総窒素、総リンの再現状況：前回委員会提示】

宍道湖・中海における総窒素、総リンは概ね再現されている。このため、流域からの流出負荷量及び底質からの溶出負荷量(内部負荷量)などの境界からの出入量は概ね再現されているものと考えられる。

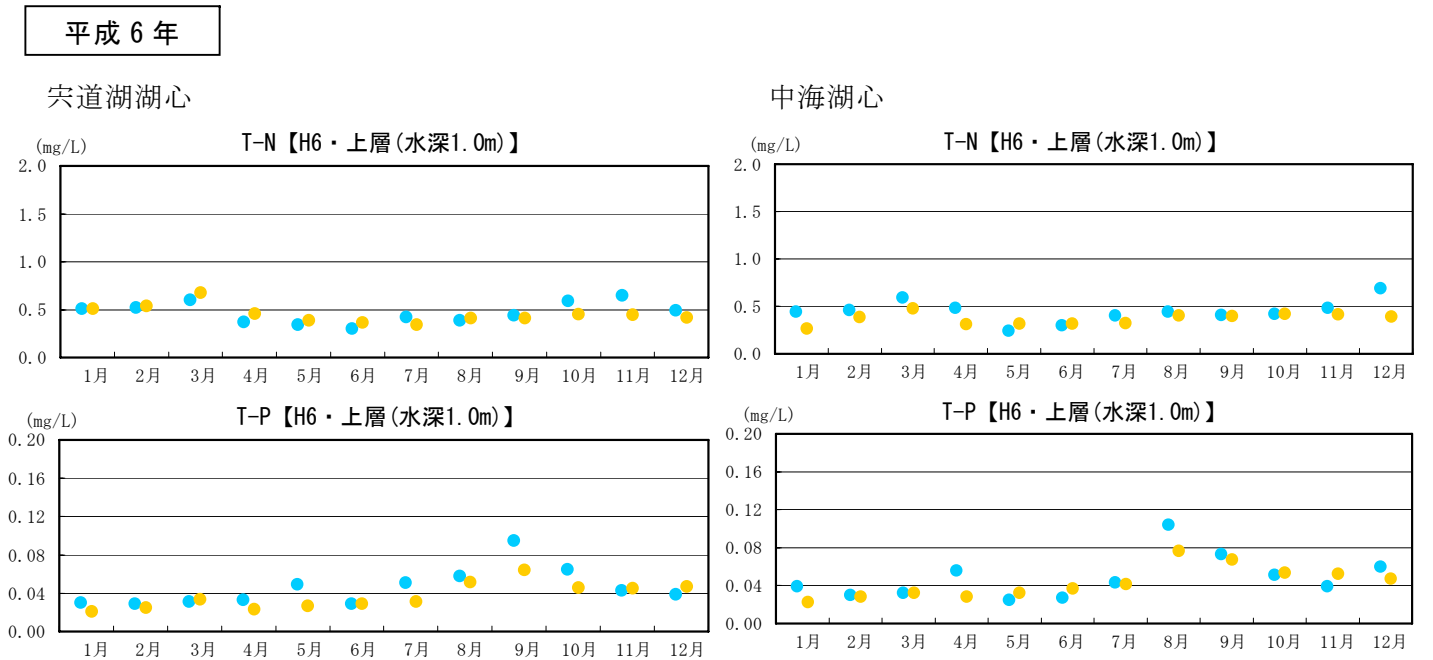


図 3.9 総窒素、総リンの再現性 (H6)

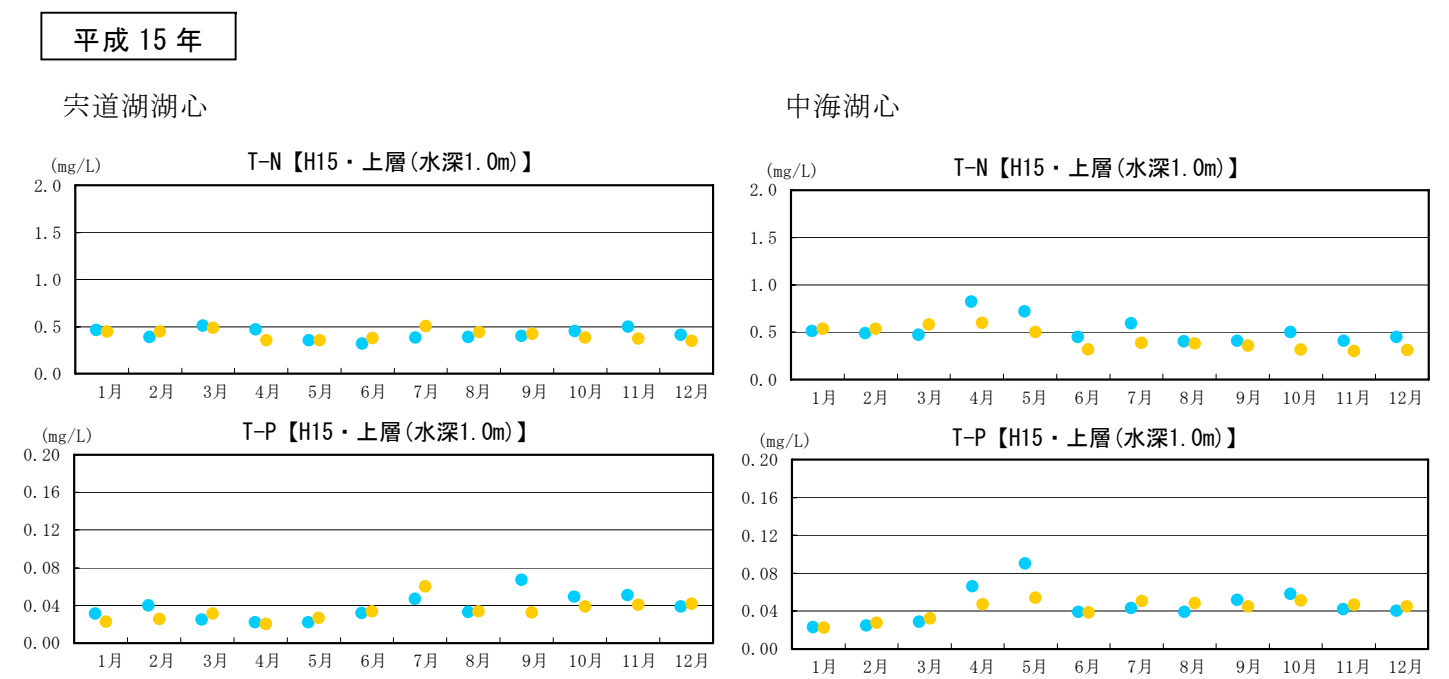


図 3.10 総窒素、総リンの再現性 (H15)

3.3 検証計算

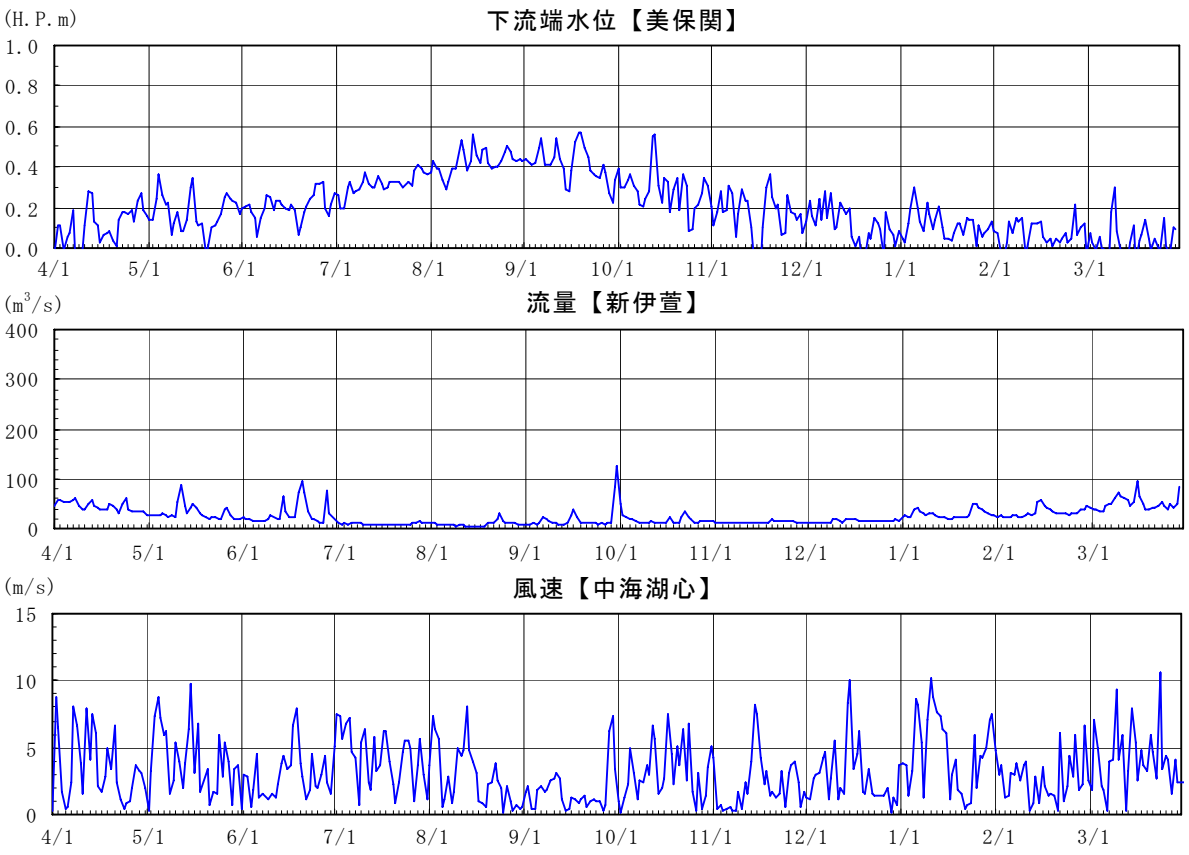
(1) 計算条件

検証計算の計算条件を表 3.1 に示す。また、本資料に示した H6 及び H15 における下流端水位や斐伊川流量などの水文・気象などの境界条件の時系列変化を図 3.11 に示している。

表 3.1 計算条件一覧

項 目			設定方法	
初期条件	水 位		水域毎に以下の通り設定。 中海～美保関：計算開始時刻の中海湖心観測水位を設定 宍道湖：計算開始時刻の宍道湖湖心観測水位を設定 大橋川：中海と宍道湖水位より線形内挿により水位を設定	
	流 速		静水状態(流速＝0)	
	水質	水 温	水域毎に以下の通り設定。 中海～美保関：計算開始時刻の中海湖心観測水温を設定 宍道湖：計算開始時刻の宍道湖湖心観測水温を設定 大橋川：宍道湖と同値を設定	
		塩 分	水温と同様	
		溶存酸素	水温と同様	
		その他水質	水域毎に以下の通り設定。 中海～美保関：中海内の定期水質観測 4 月観測値に基づき設定 宍道湖：宍道湖内の定期水質観測 4 月観測値に基づき設定 大橋川：宍道湖と同値を設定	
境界条件	海域	水 位		美保関観測水位を設定(時間変化)
		水質	水 温	境水道中央観測値を設定(月変化)
			塩 分	美保湾の定期観測結果から平均塩分33psuを設定(一定)
			溶存酸素	飽和濃度(水温、塩分の関数)を設定
			その他水質	境水道中央観測値を設定(月変化)
	河川	流 量		斐伊川(新伊萱)、飯梨川(布部・山佐ダム流入)の観測流量からの流域面積比流量に流域間水収支を考慮して設定(時間変化)
		水質	水 温	松江 3 日間平均気温からの推定値を設定(日変化)
			塩 分	淡水(0.0psu)を設定(一定)
			溶存酸素	飽和濃度(水温、塩分の関数)を設定
			その他水質	負荷量調査結果に基づくL-Q式に対象年の流況を適応して、毎日の流出負荷量(水質)を設定(時間変化)
	気象	湖面風		水域毎に以下の通り設定。 中海：中海湖心の風データを設定(時間変化) 宍道湖：宍道湖湖心の風データを設定(時間変化) 大橋川、境水道：設定せず
		大気状況		松江气象台、米子气象台観測データを設定(日変化)

【H6. 4/1～H7. 3/31】



【H15. 4/1～H16. 3/31】

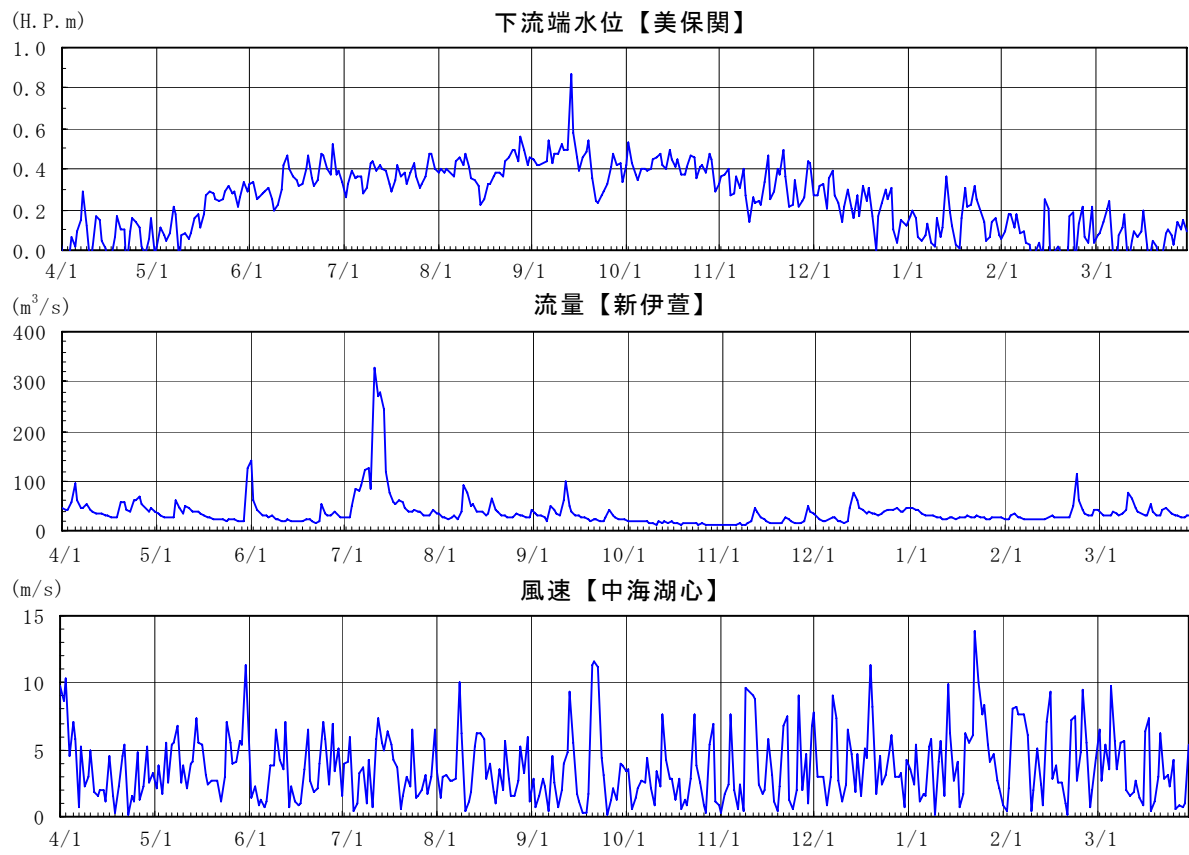


図 3.11 水文・気象条件等の日変動

(2) 計算結果

- ・ 冬季の硝酸・亜硝酸態窒素及びクロロフィル a を概ね再現している。
- ・ 夏季に窒素が枯渇し、冬季にリンが枯渇する状況を概ね再現している。
- ・ 中海の冬季における $100\mu\text{g/L}$ 以上のクロロフィル a は、渦鞭毛藻類の日周期の変動特性による集積作用と考えられる。

	宍道湖	中 海
着眼点	・クロロフィル a：季節的に大きな変化なし ・I-N, I-P：冬季リン制限、夏季窒素制限	・クロロフィル a：秋～春に高くなる。 ・I-N, I-P：冬季リン制限、夏季窒素制限
修正点	・植物プランクトンによる窒素、リンの取り込み比率を各藻類の特性を踏まえて設定	・植物プランクトンによる窒素、リンの取り込み比率を各藻類の特性を踏まえて設定 ・特に、中海の冬季のクロロフィル a が高くなる現象を再現するため、渦鞭毛藻類の窒素、リンの取り込み比率に留意して設定した。
結 果	・P/クロロフィル a 比率を見直すことで、冬季(1～3月、10～12月)のリンが低下（冬季リン制限を再現） ・P/クロロフィル a 比率を見直すことで、春先(4～6月)のクロロフィル a がリン制限となり低下（クロロフィル a の季節変化を再現） ・N/クロロフィル a 比率を見直すことで、冬季(1～3月)の硝酸・亜硝酸態窒素が上昇（硝酸・亜硝酸態窒素の季節変化を再現）	・P/クロロフィル a 比率を見直すことで、冬季(10～12月)のリンが低下（冬季リン制限を再現） ・N/クロロフィル a 比率を見直すことで、冬季(1～3月、10～12月)でクロロフィル a が上昇（クロロフィル a 季節変化を再現） ・中海の冬季における $100\mu\text{g/L}$ 以上のクロロフィル a、同期間の T-N、T-P の絶対値の再現困難 ⇒渦鞭毛藻類の日周運動による集積作用と考えられる。

図 3.12 修正点と検証計算結果

中海湖心において H15.4 に見られるクロロフィル a の上昇は計算値では十分に再現できていない。

図 3.13 は、H15 の中海湖心の定期水質調査からクロロフィル a と植物プランクトンの種別体積割合を示しており、4 月のクロロフィル a 上昇時に優占している植物プランクトンは渦鞭毛藻類であることが確認できる。

図 3.14 は、定期水質調査(H15.4/23)以前 1 週間(4/16～23)の中海湖心水質自動監視所のクロロフィル a 鉛直分布の時間変化を示している。同図によればクロロフィル a は、日中、表層付近で高く、夜間、中底層で高くなる日周期で変動していることが確認できる。植物プランクトンが日周期で変動する現象は、「日周運動」と呼ばれ、渦鞭毛藻類など遊泳能力を有する植物プランクトンに見られる現象である。

水質予測モデルでは植物プランクトンの日周運動を考慮しておらず、H15.4 のクロロフィル a の計算値の乖離は、植物プランクトンの日周運動による影響と考えられる。そのメカニズムは、生物活動によるところが大きく非常に複雑であることから、モデル化は困難であり、水質予測モデルの限界であると考えている。

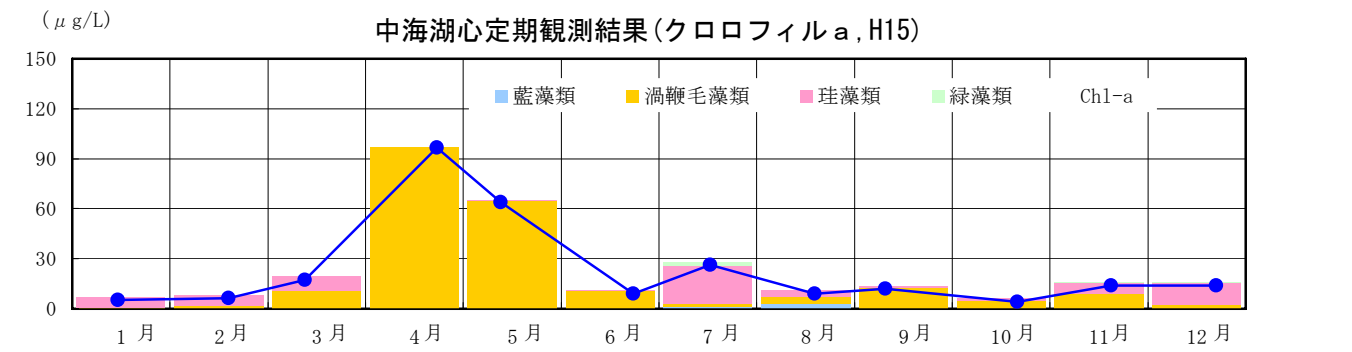


図 3.13 クロロフィル a と植物プランクトンの種別体積割合

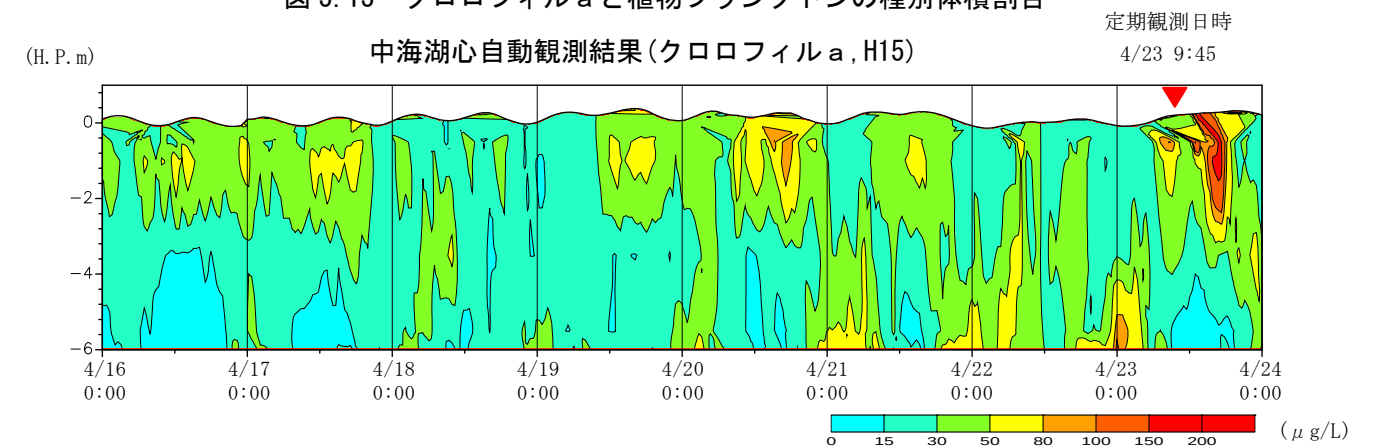


図 3.14 クロロフィル a 鉛直分布の時間変化

H15.4 の植物プランクトン優占種は渦鞭毛藻類であり、上層におけるクロロフィル a の上昇は植物プランクトンの日周運動による影響と考えられる。そのメカニズムは、生物活動によるところが大きく非常に複雑であることから、モデル化は困難であり、水質予測モデルの限界であると考えている。

H6：央道湖
【前回委員会提示】

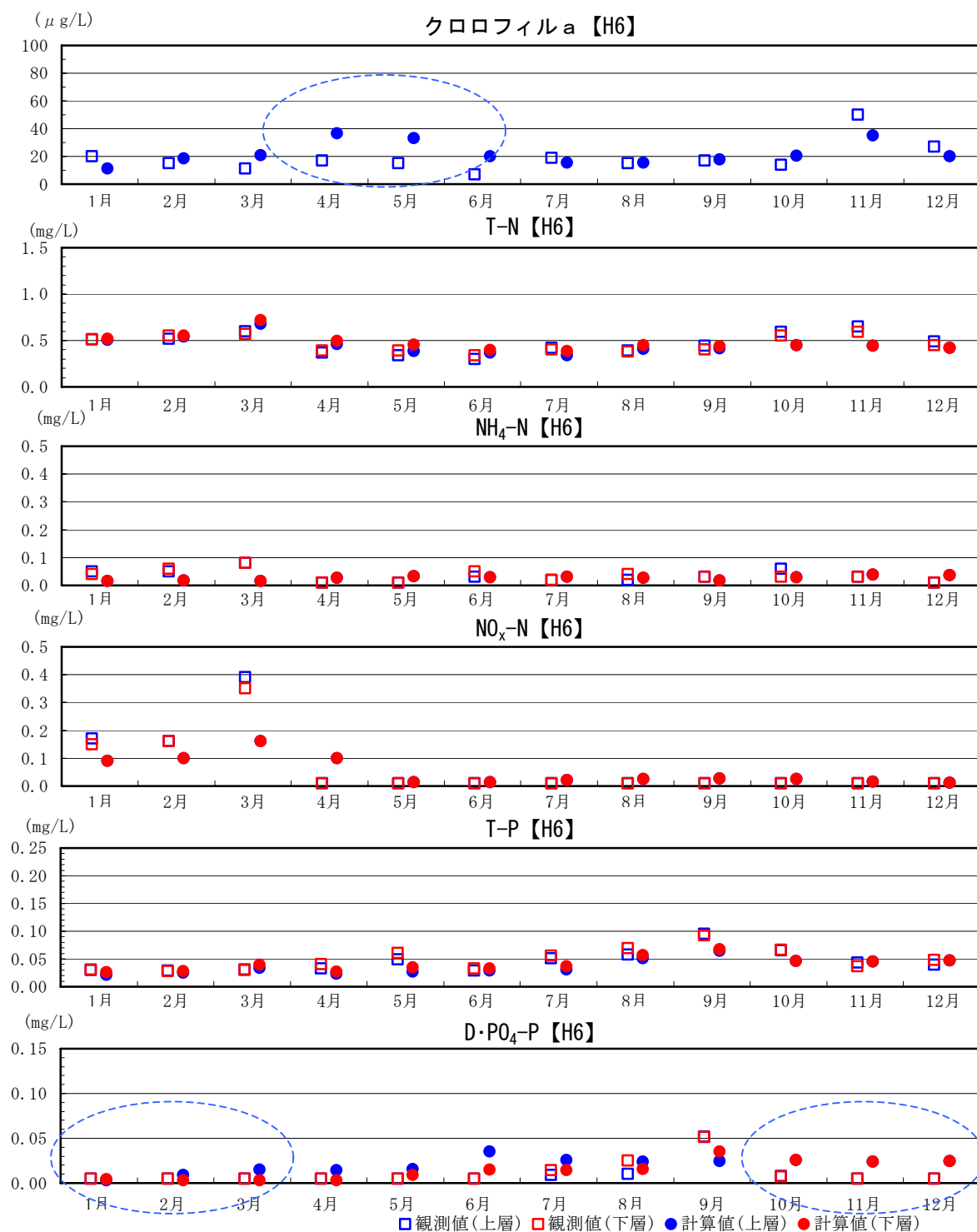


図 3.15 水質予測計算結果(H6, 央道湖湖心, 前回委員会提示)

【今回】

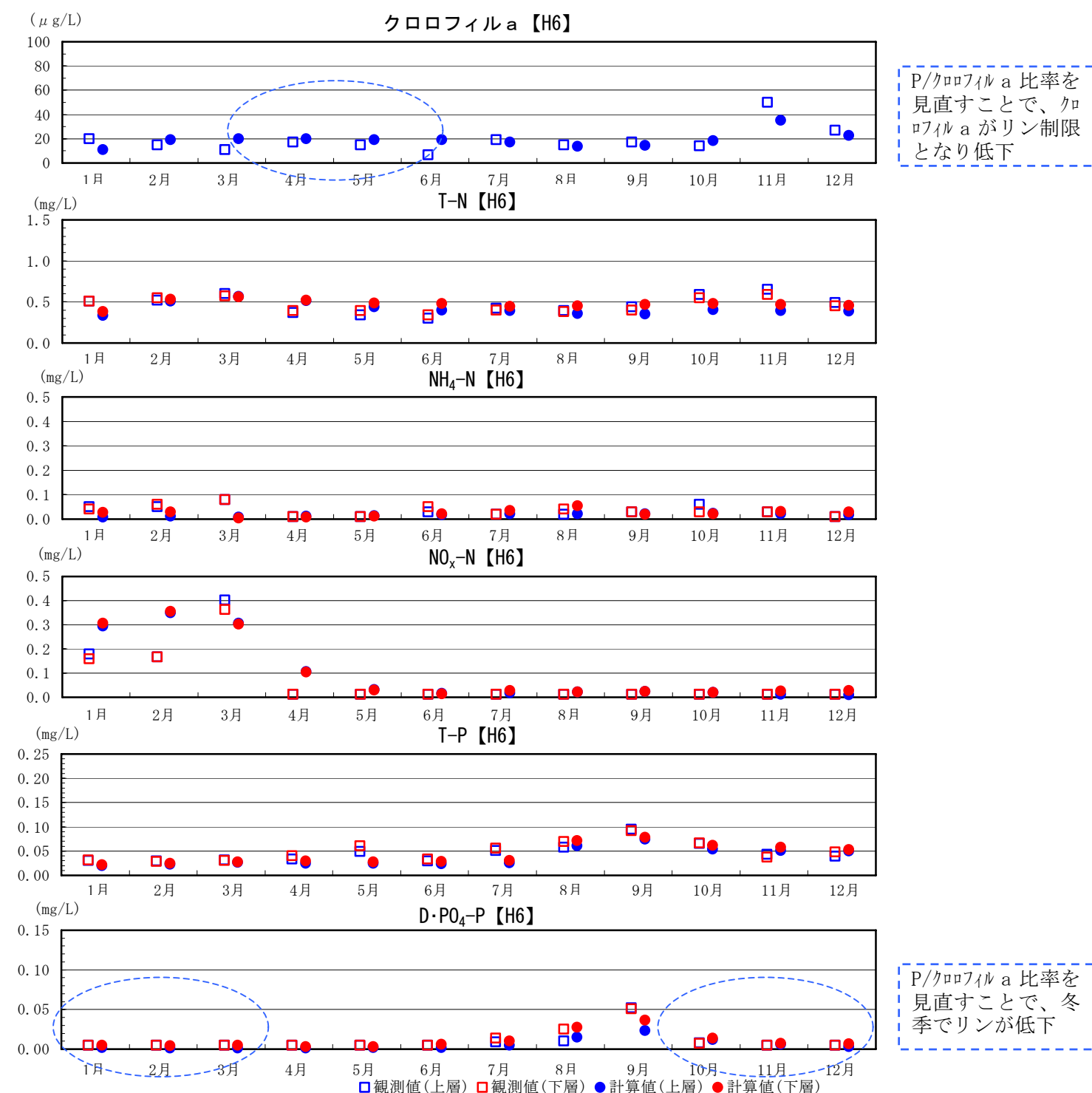


図 3.16 水質予測計算結果(H6, 央道湖湖心, 今回)

H15: 矢道湖

【前回委員会提示】

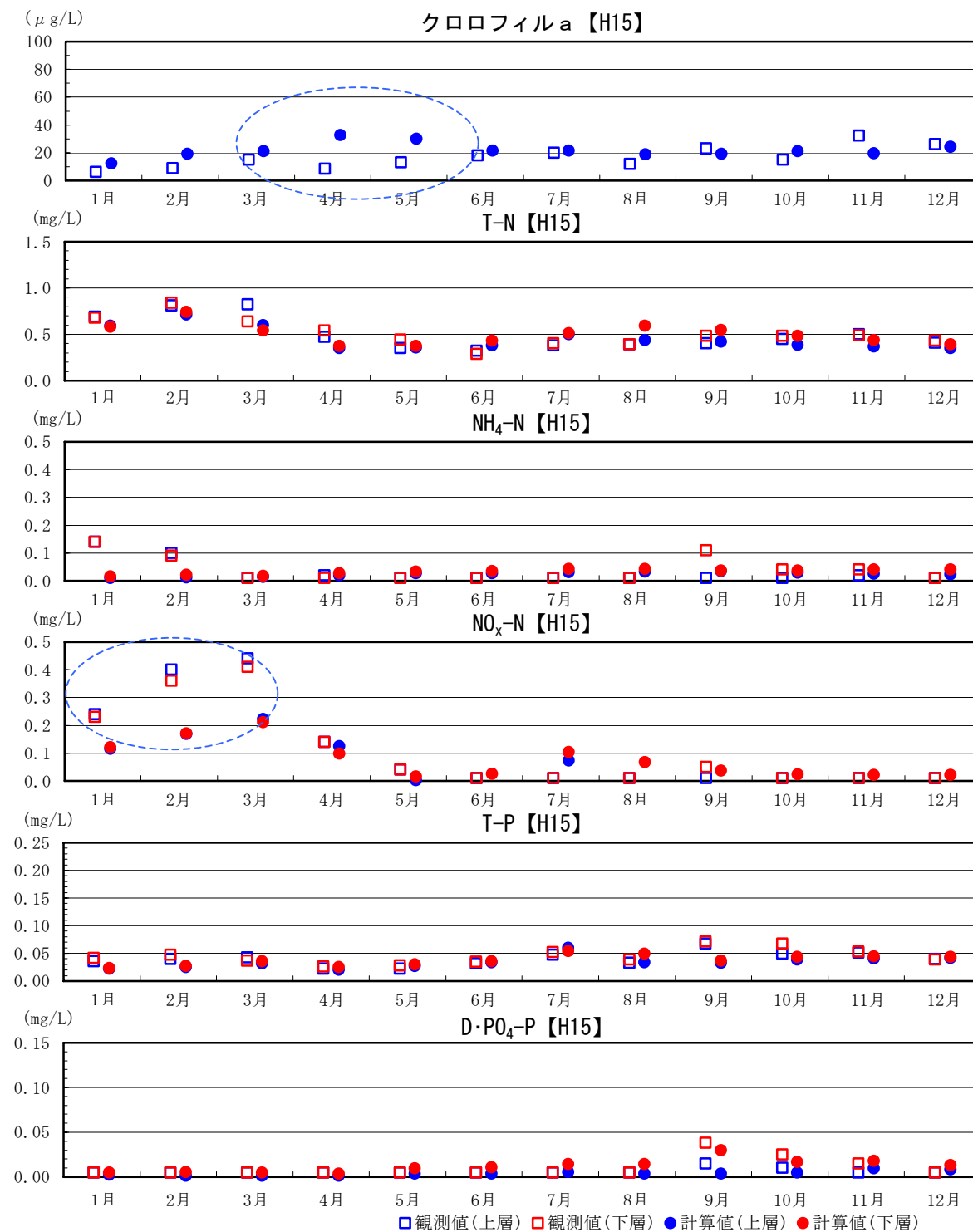


図 3.17 水質予測計算結果(H15, 矢道湖湖心, 前回委員会提示)

【今回】

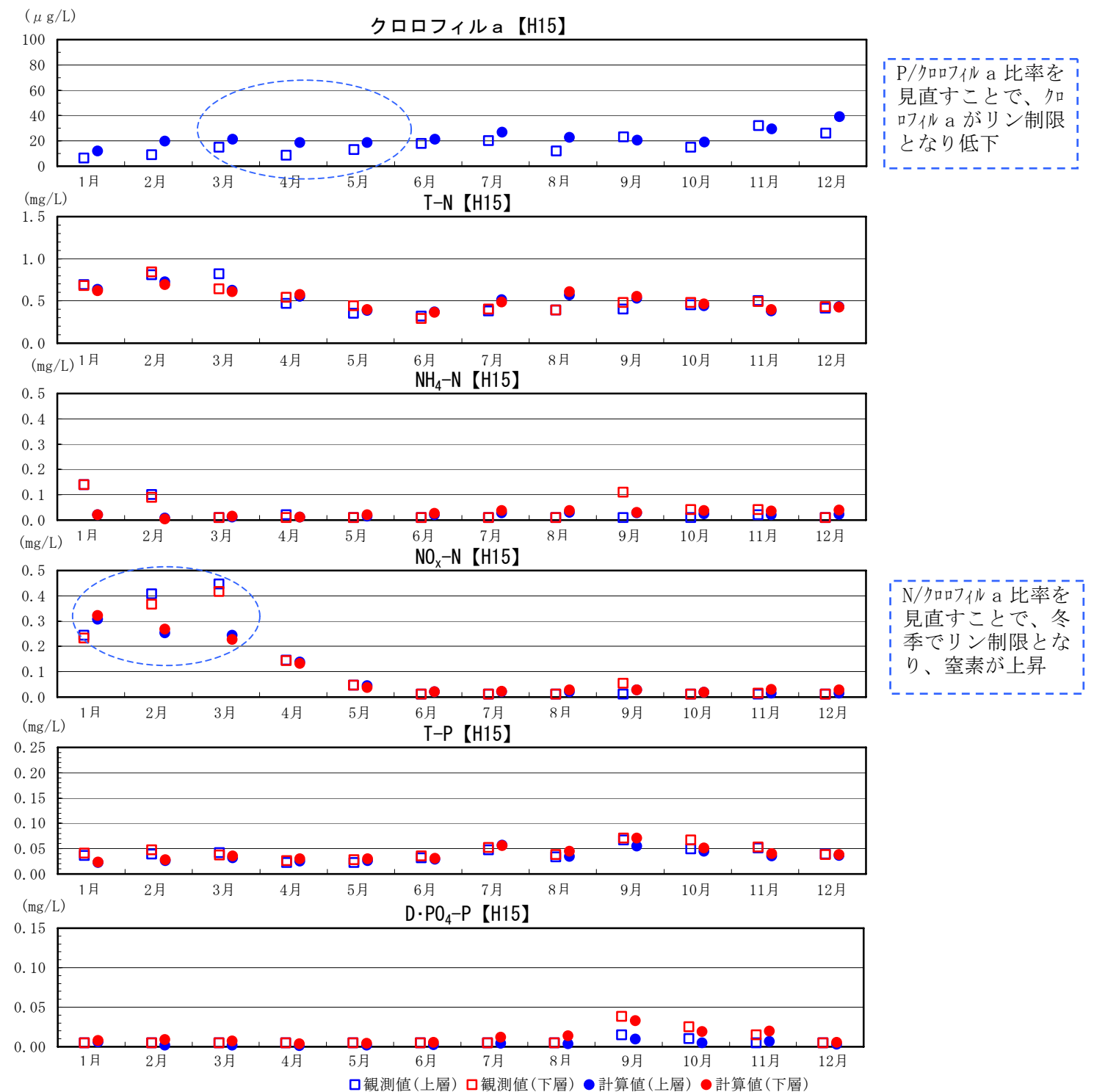


図 3.18 水質予測計算結果(H15, 矢道湖湖心, 今回)

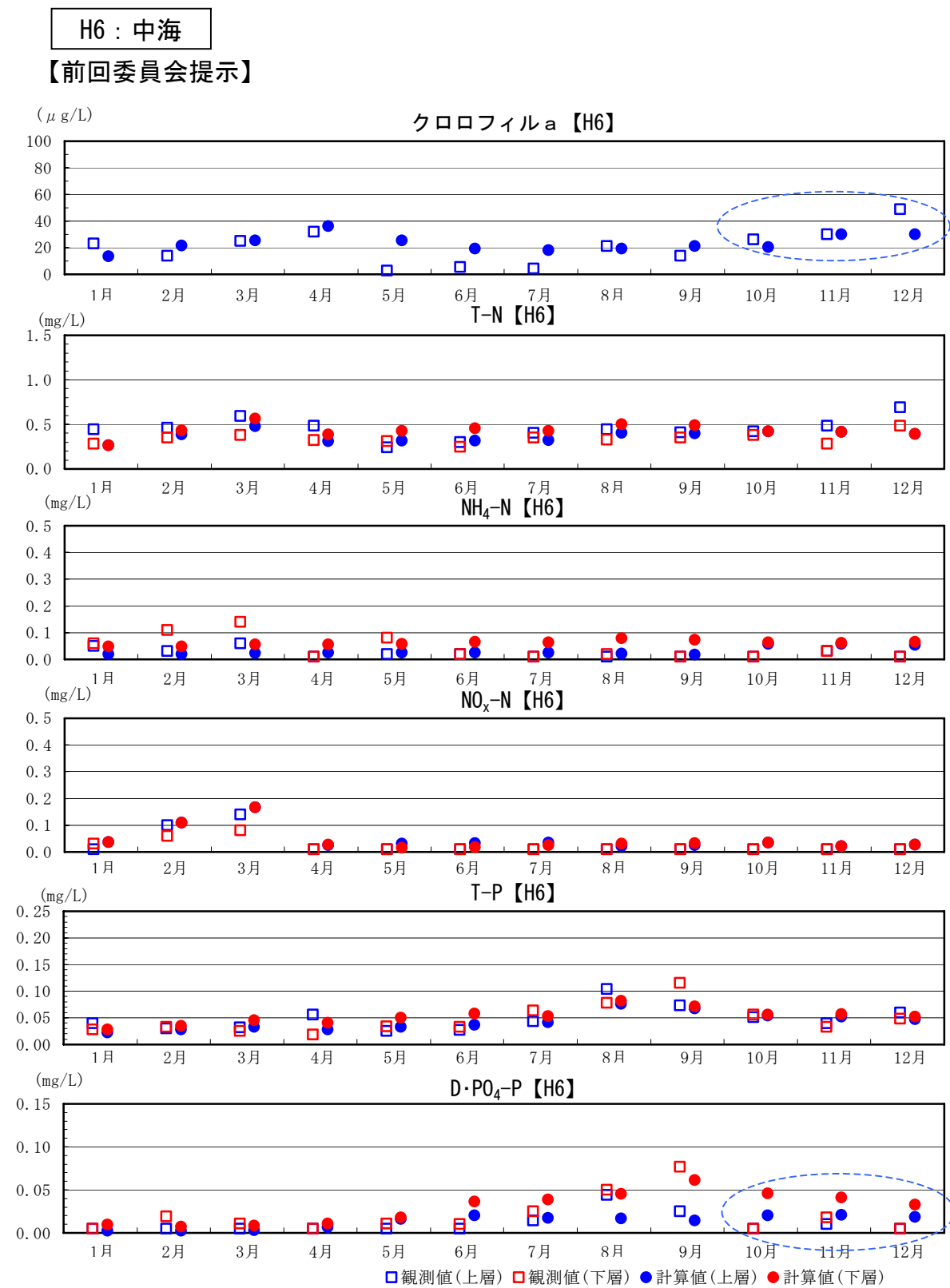


図 3.19 水質予測計算結果(H6, 中海湖心, 前回委員会提示)

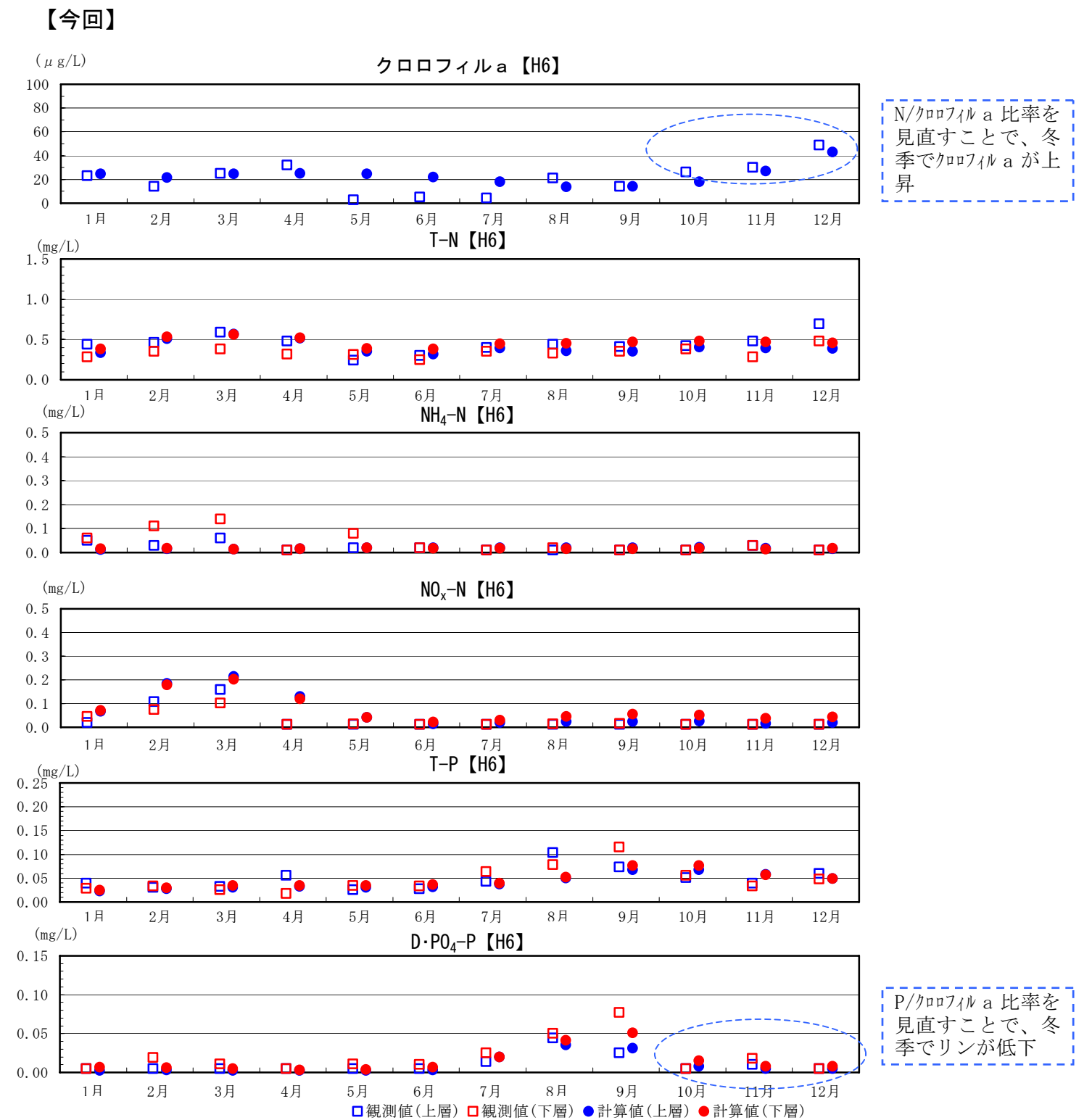


図 3.20 水質予測計算結果(H6, 中海湖心, 今回)

H15：中海

【前回委員会提示】

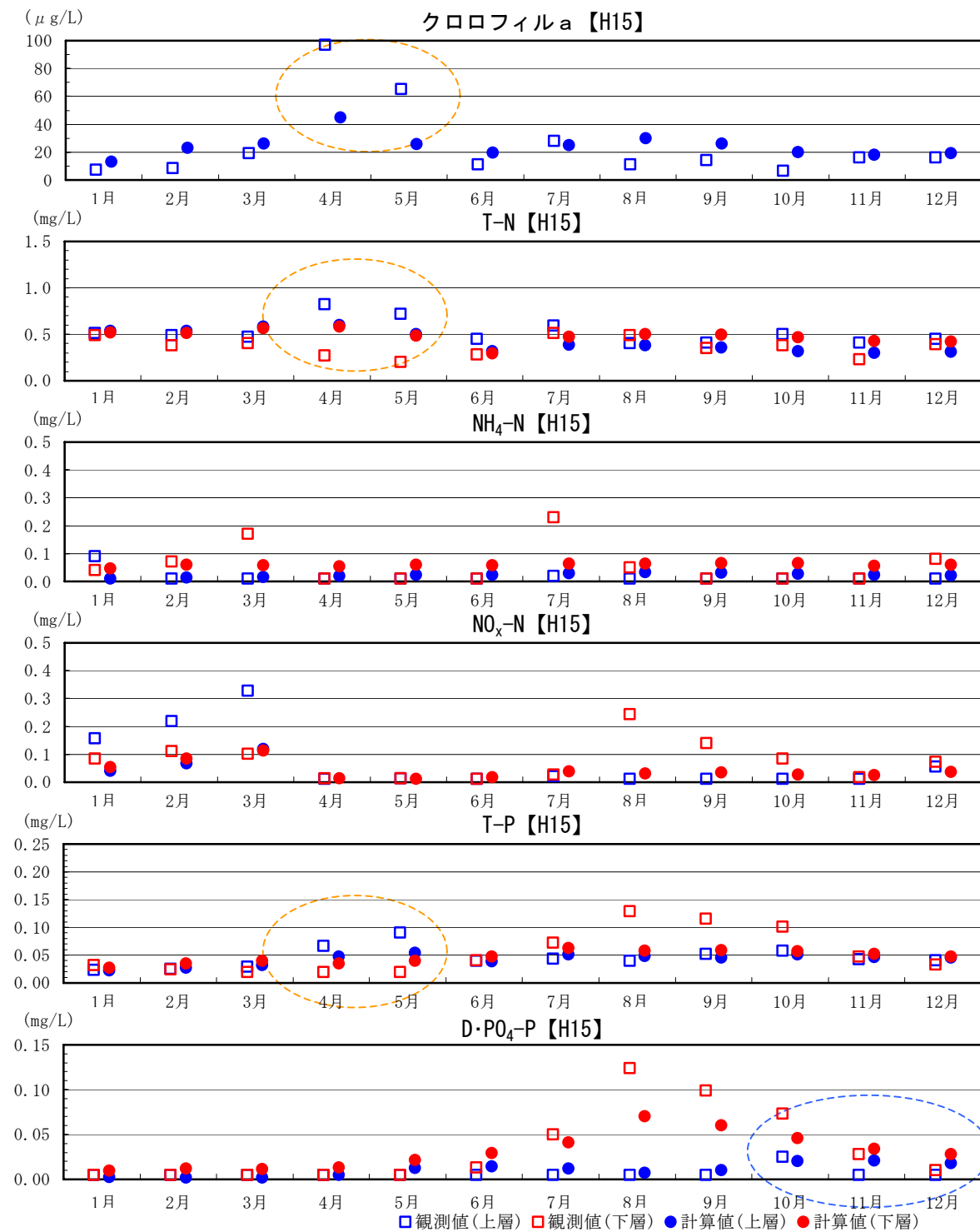


図 3.21 水質予測計算結果(H15, 中海湖心, 前回委員会提示)

【今回】

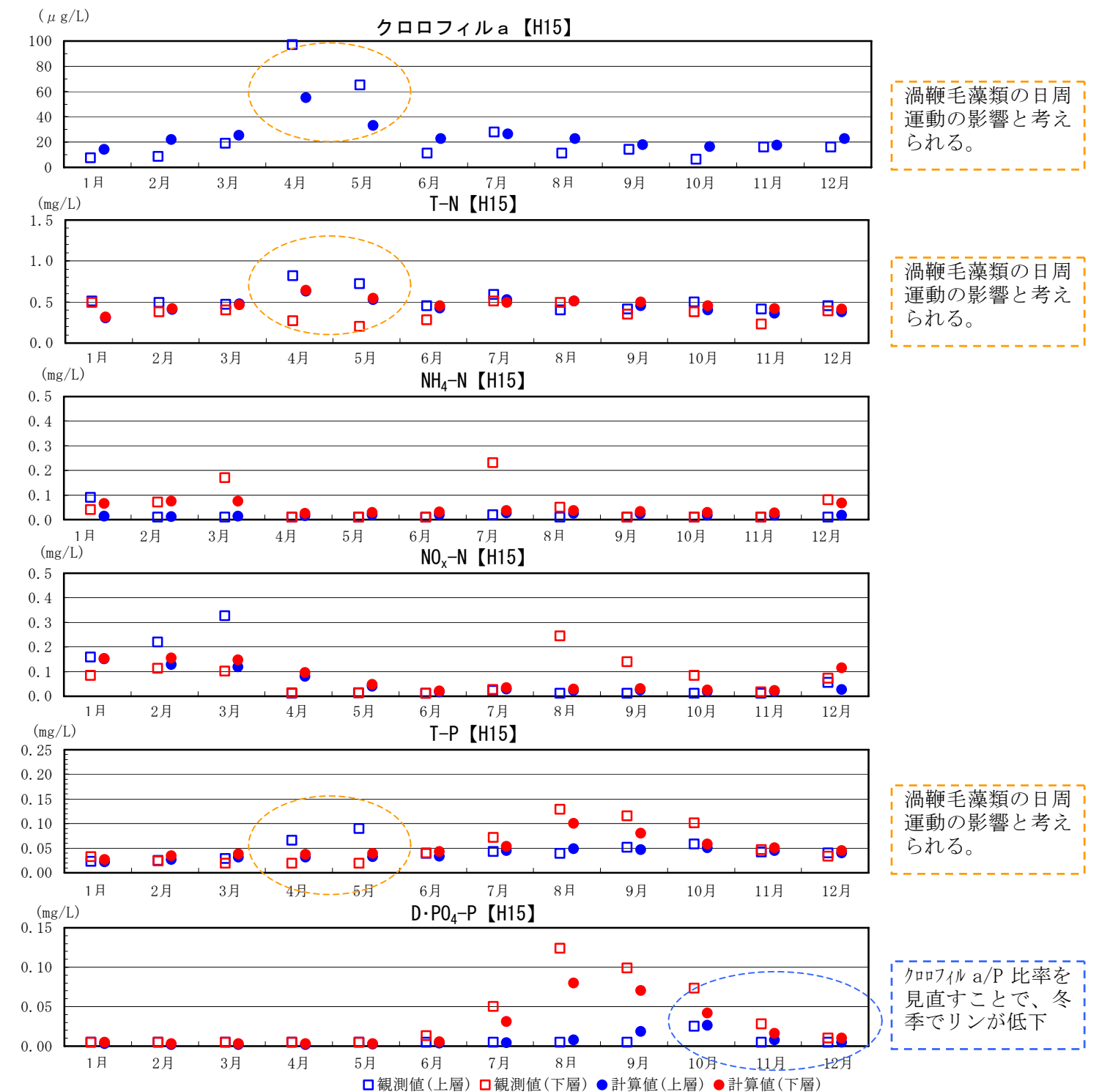


図 3.22 水質予測計算結果(H15, 中海湖心, 今回)

3.4 その他項目の再現性

(1) 溶存酸素

- ・ 夏季に底層で溶存酸素が低下し、冬季に上昇する季節的な変化特性を概ね再現している。
- ・ 塩分成層の形成に合わせて溶存酸素が低下し、風による塩分成層の消滅に伴い溶存酸素が上昇する状況を概ね再現している。

宍道湖

【平成 6 年】

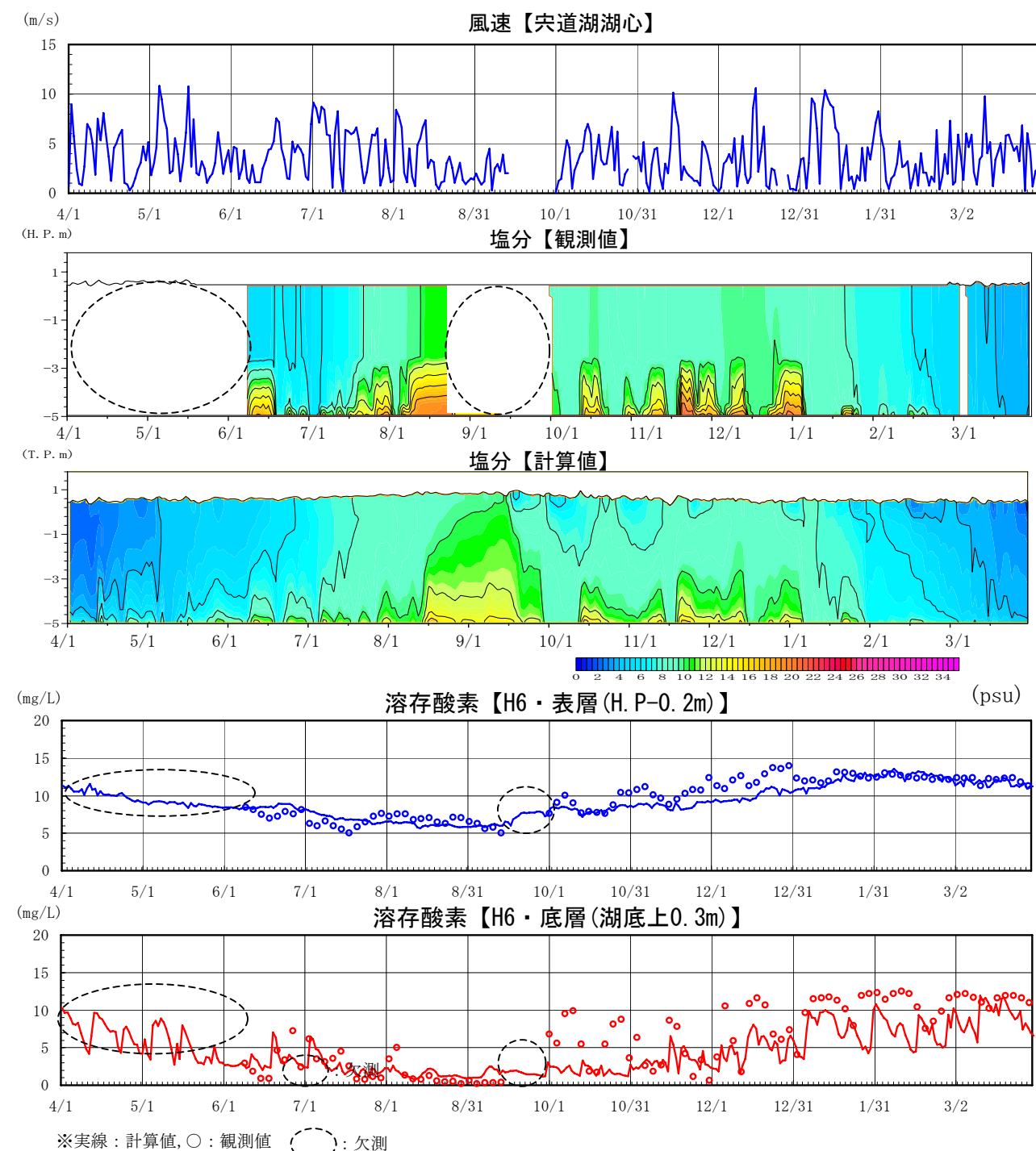


図 3.23 宍道湖湖心の検証計算結果 (H6. 4/1～H7. 3/31, 溶存酸素の日変動)



【平成 15 年】

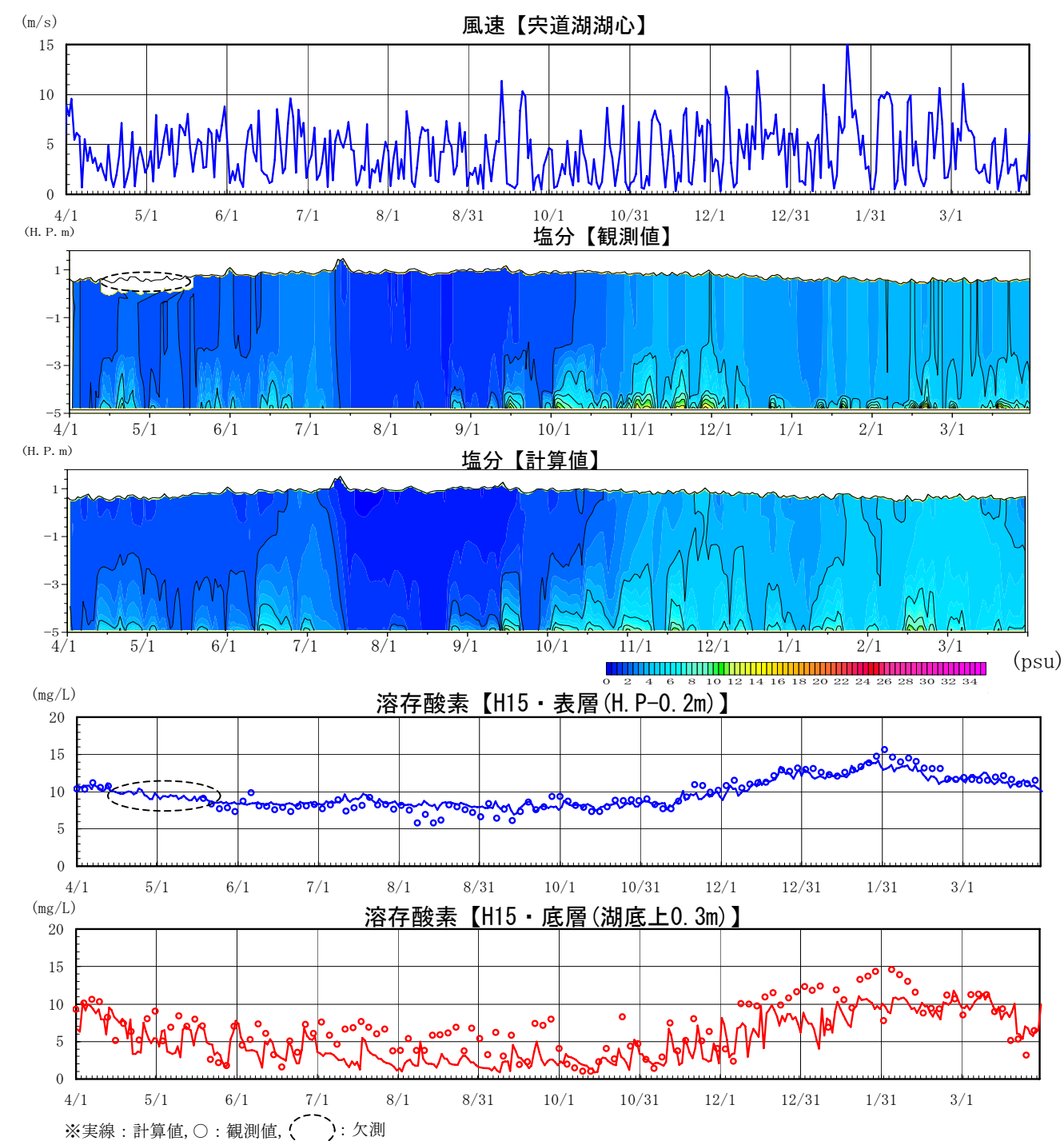


図 3.24 宍道湖湖心の検証計算結果 (H15. 4/1～H16. 3/31, 溶存酸素の日変動)



- ・ 中海は年間を通じて安定して塩分成層が形成されているため、水温が高くなる夏季は底層において溶存酸素が低くなる。計算値はこの溶存酸素の季節的な変化特性を概ね再現している。

中海

【平成 6 年】

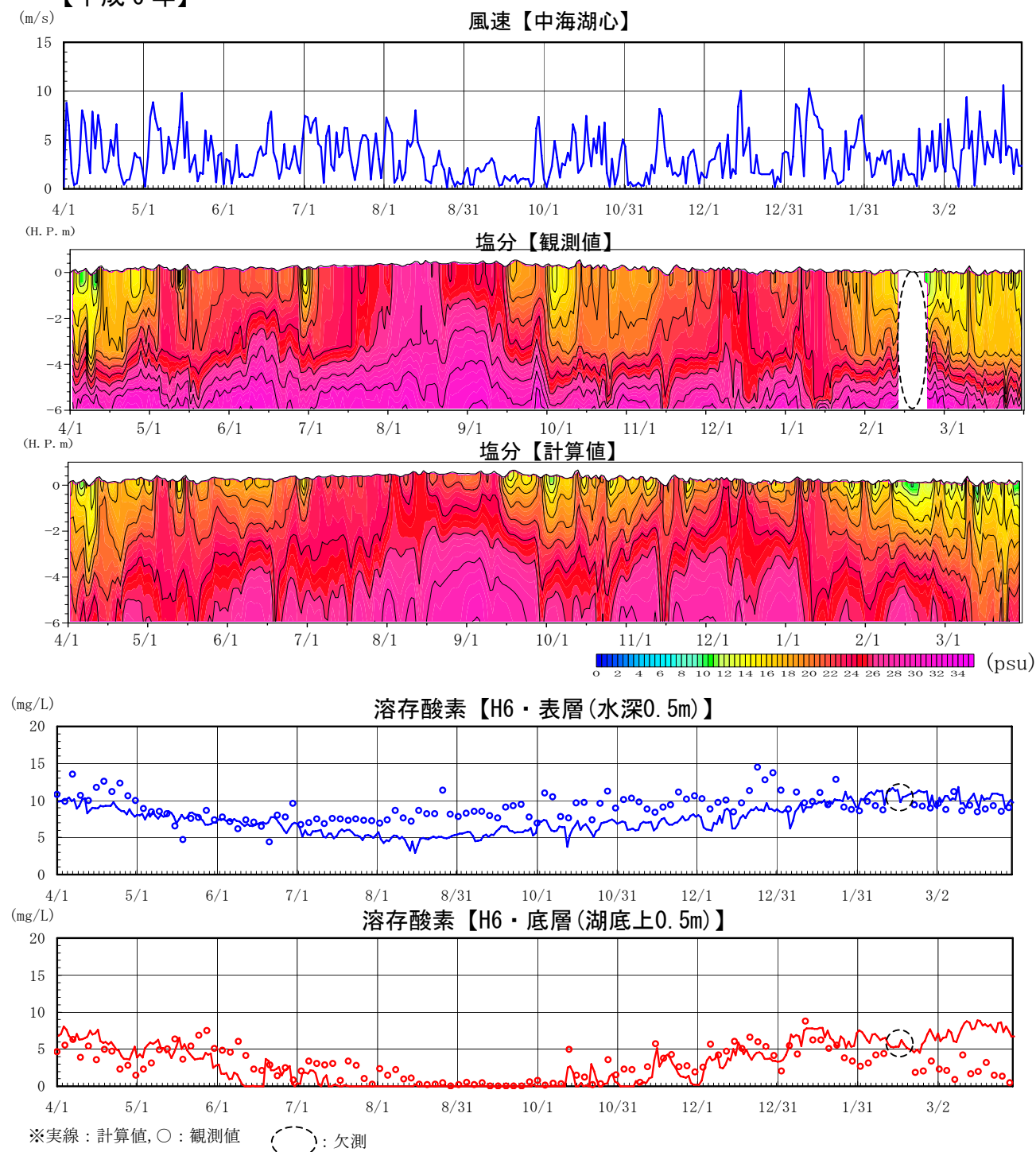


図 3.25 中海湖心の検証計算結果 (H6. 4/1～H7. 3/31, 溶存酸素の日変動)

【平成 15 年】

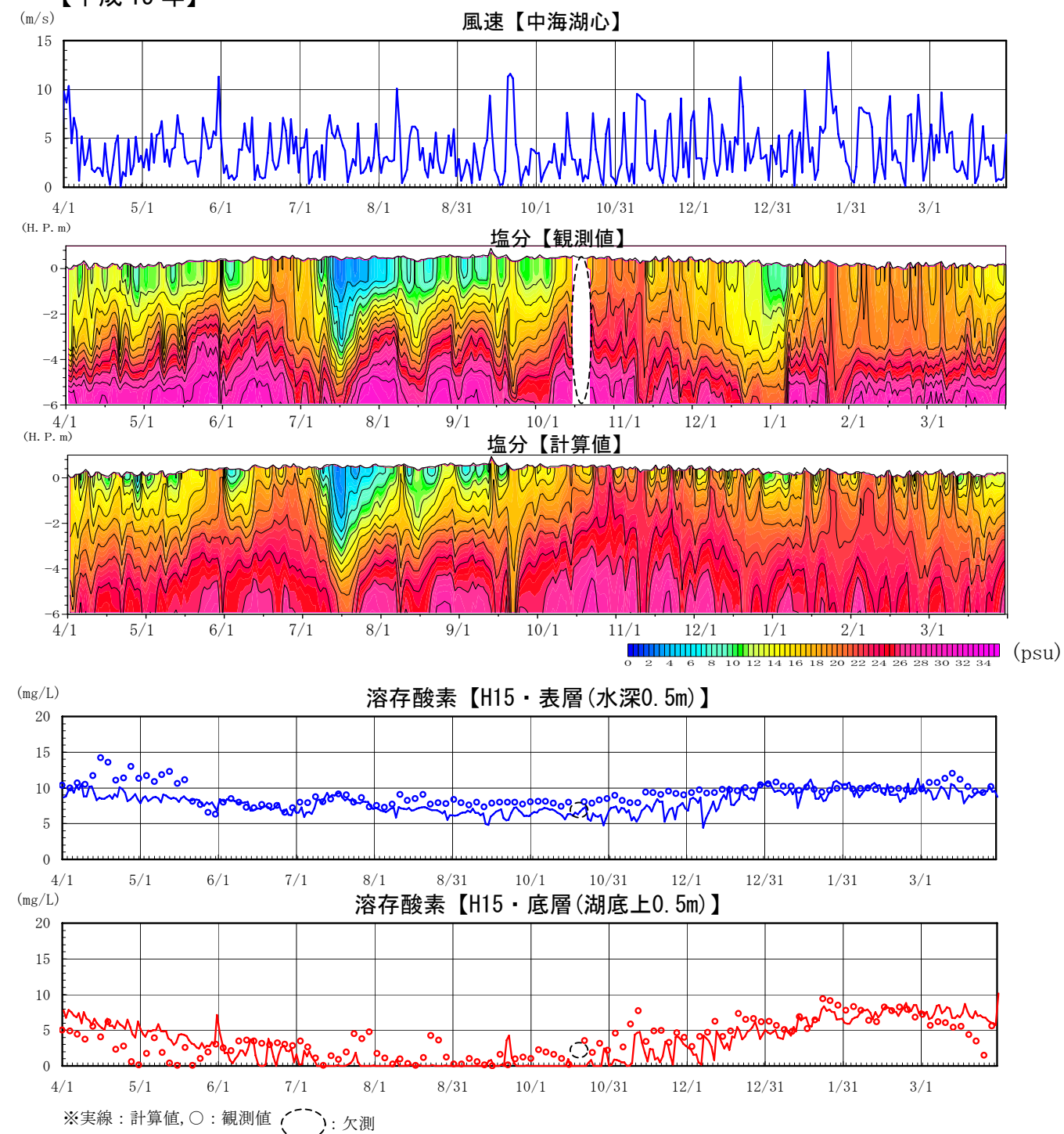


図 3.26 中海湖心の検証計算結果 (H15. 4/1～H16. 3/31, 溶存酸素の日変動)

(2) 塩分成層の形成に伴う溶出速度及びリンの変化

- ・ 水質予測モデルは、宍道湖における塩分成層の形成に伴う底層の溶存酸素の低下、さらに、溶存酸素の低下に伴う底層の無機態リンの上昇を概ね表現している。
- ・ 水質予測モデルは、大橋川改修により想定される 2 次的, 3 次的影響を概ね表現できていると考えられる。

前項までに窒素, リンの季節変化について、水質予測モデルは概ね再現していることの確認を行った。ここでは、冒頭で述べたような大橋川改修により想定される 2 次的, 3 次的な影響が水質予測モデルにより表現できるかの確認を行う。成層形成に伴う溶存酸素の低下及びリンの上昇がモデル上表現されているかを確認する。

水質予測モデル検証計算結果より、H15. 10/1～20 における宍道湖内の塩分、溶存酸素、総リン、H15. 7/25～8/9 における米子湾の塩分、溶存酸素、総リンを以下に整理する。

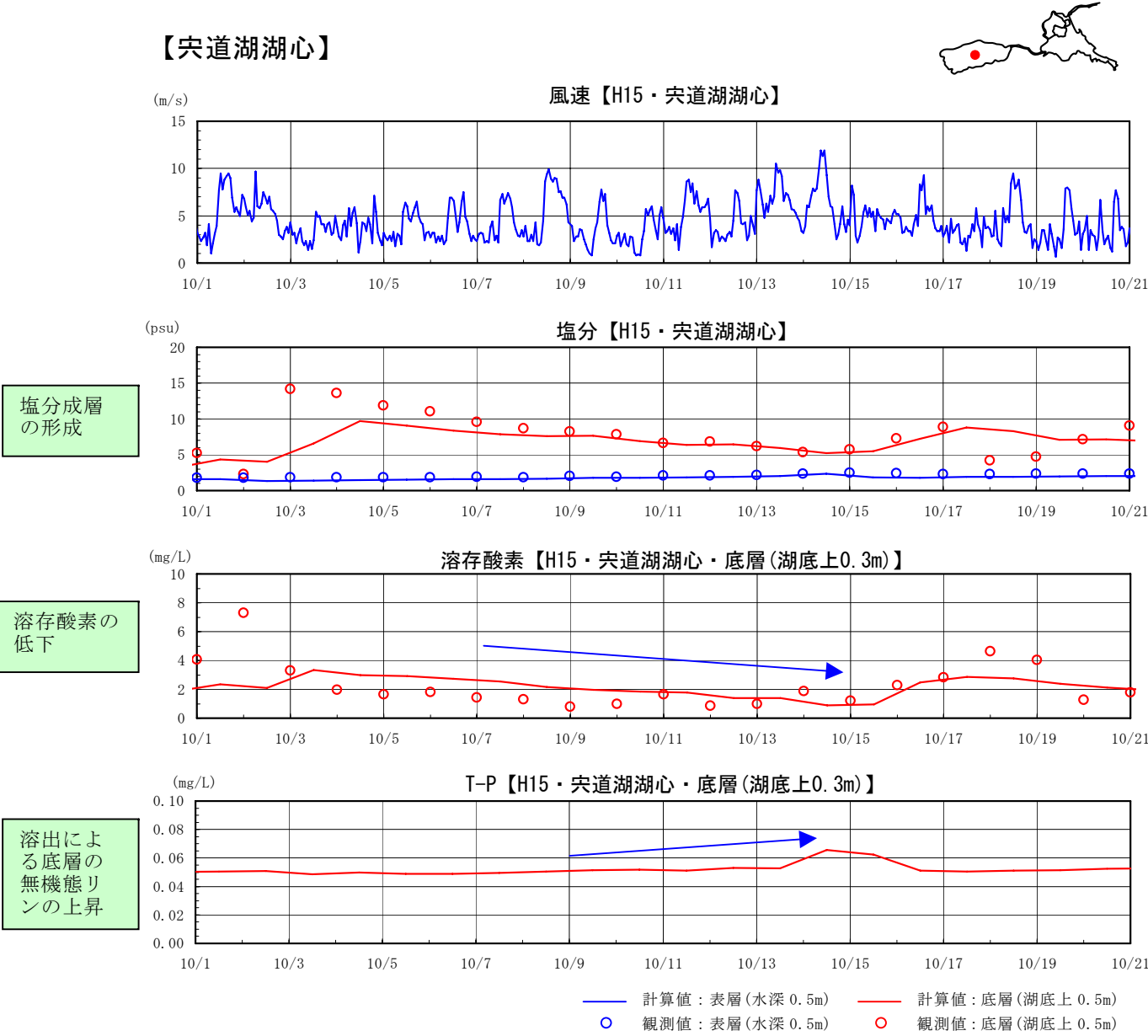


図 3.27 宍道湖湖心の成層形成と総リン (H15. 10/1～H15. 10/19, 日変動)

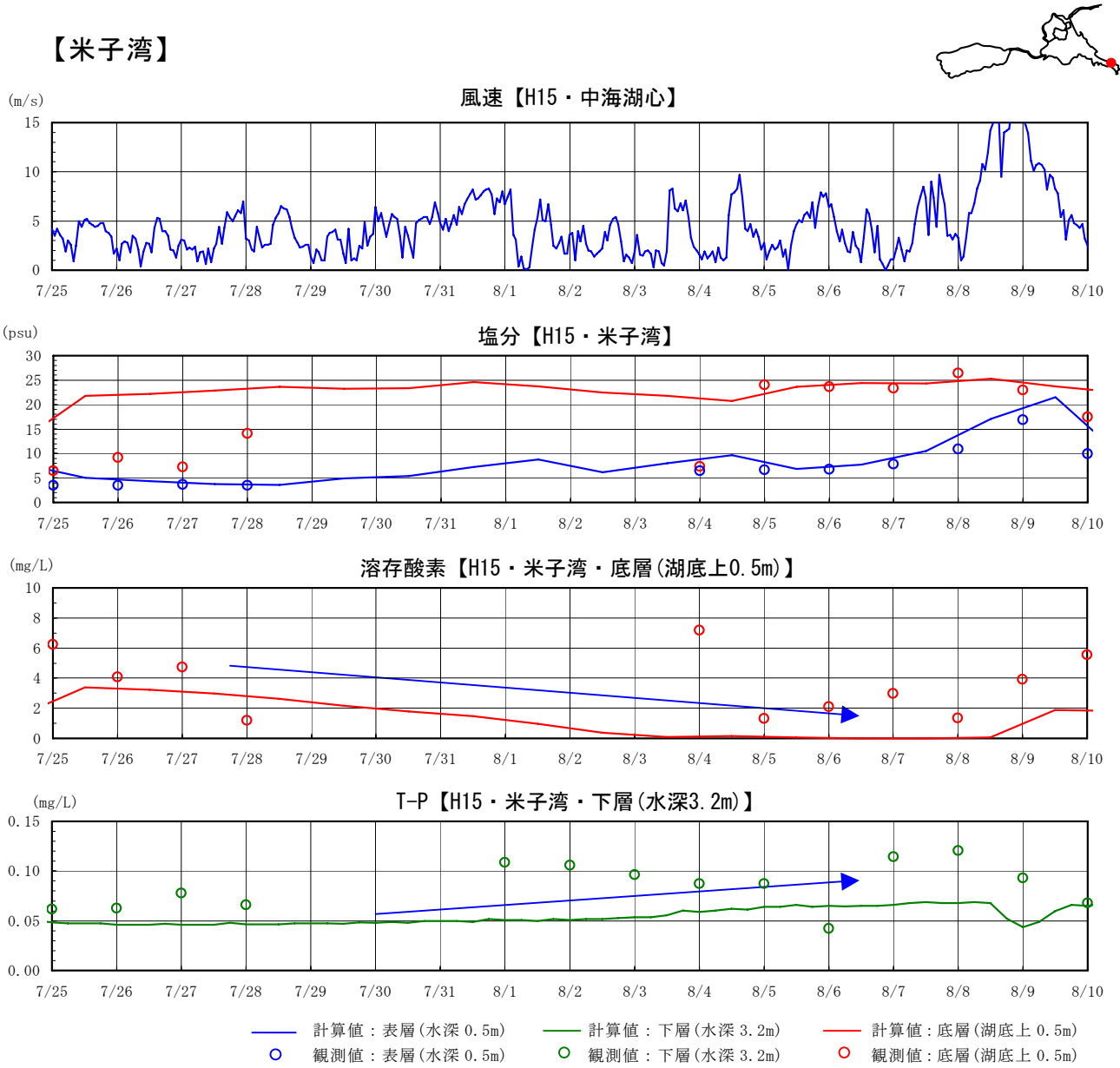


図 3.28 米子湾の成層形成と総リン (H15. 7/25～H15. 8/9, 日変動)

4. 水質予測モデルの概要

4.1 水質予測モデルの基本構造

(1) 計算項目

水質予測モデルの計算項目は、以下のとおりである。

表 4.1 水質予測モデルの計算項目

区分	項目	記号	定義
河川由来	化学的酸素要求量	COD	陸域から流入する有機物
	有機態リン	O・P	流入及び巻き上げにより増加し、分解及び沈降により減少する。
	有機態窒素	O・N	
	リン酸態リン	PO ₄ -P	
	アンモニア態窒素	NH ₄ -N	陸域から流入する無機物 流入により増加する。
	硝酸・亜硝酸態窒素	NO _x -N	
植物プランクトン	化学的酸素要求量	COD	植物プランクトンに含まれる有機物
	有機態リン	O・P	クロロフィル a との比率で変化する。内部生産により増加し、死滅及び沈降により減少する。
	有機態窒素	O・N	
	クロロフィル a	Chl・a	植物プランクトンの現存量を代表する量として設定 内部生産により増加し、死滅及び沈降により減少する。
デトリタス	化学的酸素要求量	COD	内部生産由来のデトリタスに含まれる有機物
	有機態リン	O・P	植物プランクトンの死滅により増加し、分解及び沈降により減少する。
	有機態窒素	O・N	
無機態栄養塩類	リン酸態リン	PO ₄ -P	湖水に溶存する無機態の栄養塩類
	アンモニア態窒素	NH ₄ -N	有機物の分解及び底質からの溶出により増加し、植物プランクトンの摂取により減少する。 硝酸・亜硝酸態窒素は脱窒により減少する。
	硝酸・亜硝酸態窒素	NO _x -N	
溶存酸素	溶存酸素	DO	水中の酸素量 光合成により増加し、有機物の分解及び底質による消費により減少する。大気からの再曝気により増減する。
浮遊物質	浮遊物質	SS	湖水に含まれる不溶解性の粒子状物質 流入、巻き上げ及び植物プランクトンの増殖により増加し、沈降及び植物プランクトンの死滅により減少する。

$COD = C_{Chl-a} \times \alpha + C_{PLZ} \times \alpha + C_{P,COD} + C_{NL,COD} + C_{D,COD}$

$T\cdot P = C_{O\cdot P} + C_{PO4\cdot P}$

$O\cdot P = C_{Chl-a} \times \beta + C_{PLZ} \times \beta + C_{PT\cdot P} + C_{NL\cdot O\cdot P}$

$PO_4\cdot P = C_{PO4\cdot P}$

$T\cdot N = C_{O\cdot N} + C_{NH_4\cdot N} + C_{NOX\cdot N}$

$O\cdot N = C_{Chl-a} \times \gamma + C_{PLZ} \times \gamma + C_{P,T\cdot N} + C_{NL\cdot O\cdot N}$

$NH_4\cdot N = C_{NH_4\cdot N}$

$NOX\cdot N = C_{NOX\cdot N}$

$SS = C_{SS} + a \times C_{Chl-a}$

α, β, γ : 植物プランクトンにおけるクロロフィル a との重量比(パラメータとして設定)
植物プランクトン由来の SS はプランクトンの予測結果から算出($SS_{PL} = a \times Chl\cdot a$)

(2) 基礎式

水質予測モデルの基礎方程式は移流・拡散方程式に内部生産項を加えた以下の式とする。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial n} + v \frac{\partial C}{\partial s} + w \frac{\partial C}{\partial z} = - \frac{\partial}{\partial n} (K_n \frac{\partial C}{\partial n}) - \frac{\partial}{\partial s} (K_s \frac{\partial C}{\partial s}) - \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial C}{\partial z}) + M$$

ここに、C : 物質濃度(mg/L : クロロフィル a は $\mu g/L$)
K_n,K_s,K_z : 渦動拡散係数(m²/s)
u,v,w : 流速(m/s : 流動予測モデルの計算結果)
t : 時間(sec)
M : 内部生産項

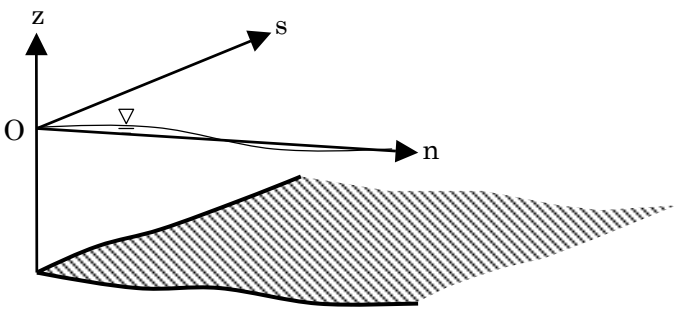


図 4.1 基礎方程式の座標系

水質予測モデルでは、流動予測モデルと同様に、宍道湖、大橋川及び中海を 3 次元的に分割し、各分割領域(メッシュ)内では流速や水温、水質などの物理量が一樣であると仮定し、流域からの流出地点や日本海と接する下流端で境界条件を与え、湖内の水質を計算する。上述した基礎方程式に基づく湖内水質の計算イメージは以下のとおりである。

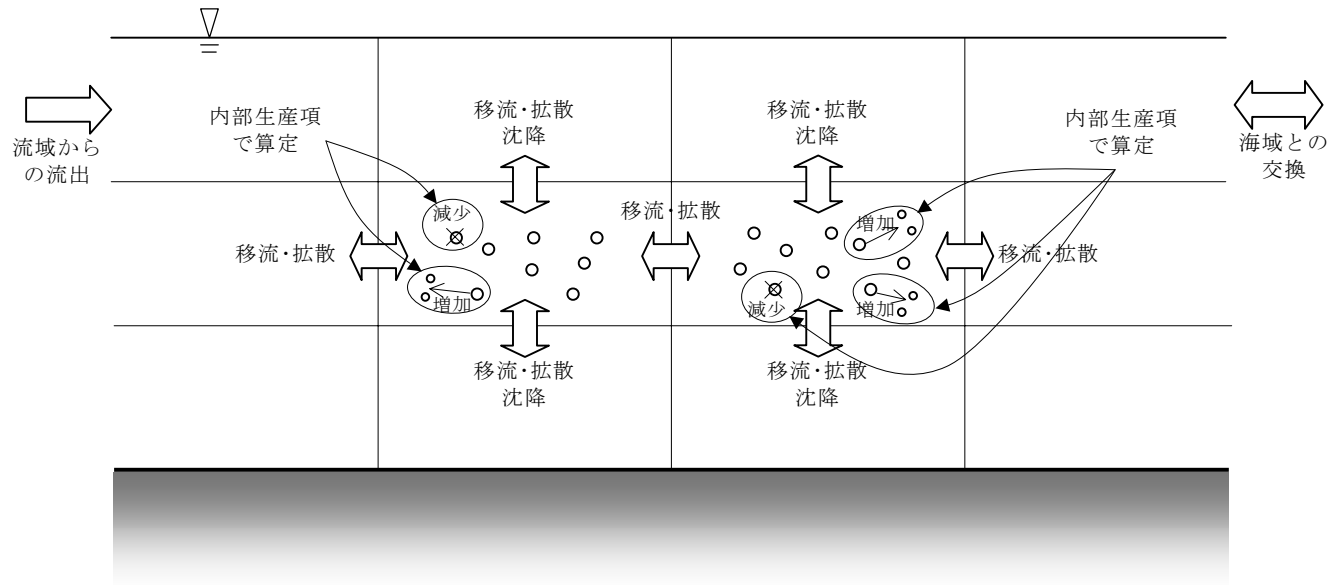


図 4.2 湖内水質の計算イメージ

(3) 内部生産に係わる項目別の物質収支

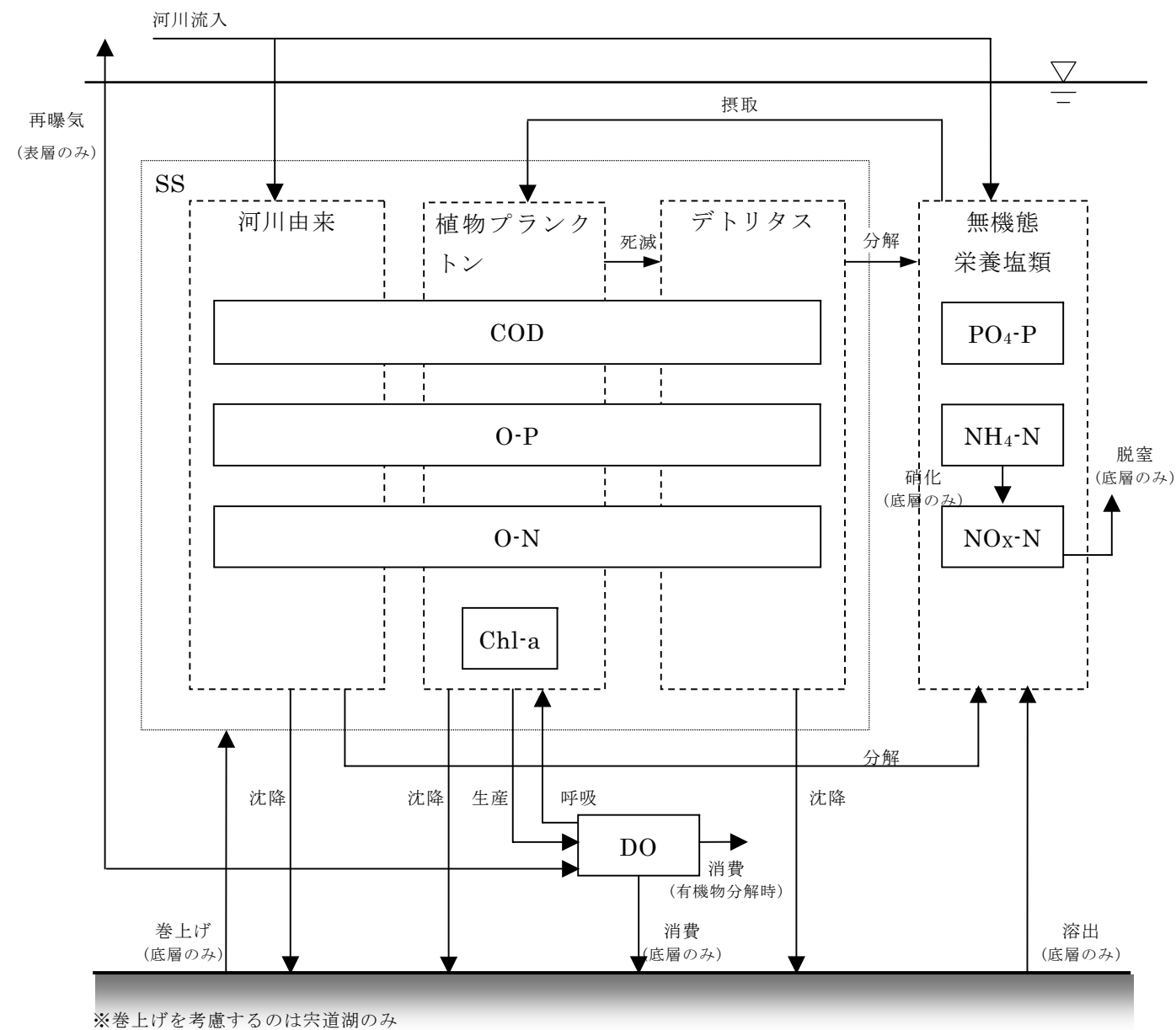


図 4.3 物質収支概念図

1) COD 収支

$$\frac{dC_{PCOD}}{dt} = -\underbrace{KD_{PC20} \cdot \theta_{KPC}^{T-20} \cdot C_{PCOD}}_{\text{分解}} - \underbrace{V_{SS} \cdot C_{PCOD}}_{\text{沈降}} / \Delta y$$
$$\frac{dC_{DCOD}}{dt} = -\underbrace{KD_{DC20} \cdot \theta_{KDC}^{T-20} \cdot C_{DCOD}}_{\text{分解}} + \underbrace{KD_{PC20} \cdot \theta_{KPC}^{T-20} \cdot C_{PCOD}}_{\text{P・COD の分解}} + \underbrace{R_{COD}}_{\text{溶出}} / \Delta y$$
$$\frac{dC_{NLCOD}}{dt} = -\underbrace{KD_{NC20} \cdot \theta_{KNC}^{T-20} \cdot C_{NLCOD}}_{\text{分解}} + \underbrace{DP_{20} \cdot \theta_{DP}^{T-20} \cdot FP_C \cdot C_{CHL}}_{\text{植物 PL の死滅}} + \underbrace{DPZ_{20} \cdot \theta_{DPZ}^{T-20} \cdot FPZ_C \cdot C_{PLZ}}_{\text{植物 PL の死滅}} - \underbrace{V_{DT} \cdot C_{NLCOD}}_{\text{沈降}} / \Delta y$$

KD_{PC20} : 河川由来 COD の 20℃における分解速度

θ_{KPC} : 河川由来 COD 分解速度の温度定数

V_{SS} : SS の平均沈降速度

KD_{DC20} : 溶存態 COD の 20℃における分解速度

θ_{KDC} : 溶存態 COD 分解速度の温度定数

R_{COD} : 底質からの COD 溶出速度 ($=R_{CD20} \times 1.02^{T-20}$)

R_{CD20} : COD の 20℃における溶出速度

KD_{NC20} : COD の 20℃における分解速度

θ_{KNC} : COD 分解速度の温度定数

DP_{20} : 植物プランクトンの 20℃における死滅速度

θ_{DP} : 植物プランクトン死滅速度の温度定数

FP_C : クロロフィル a /COD 比率

DPZ_{20} : 動物プランクトンの 20℃における死滅速度

θ_{DPZ} : 動物プランクトン死滅速度の温度定数

FPZ_C : 動物プランクトン/COD 比率

V_{DT} : デトリタス沈降速度

Δy : コントロールボリュームの層厚

T : 水温

2) リン収支

$$\begin{aligned}dC_{PTP}/dt &= \underbrace{-KD_{PP20} \cdot \theta_{KPP}^{T-20} \cdot C_{PTP}}_{\text{分解}} - \underbrace{V_{SS} \cdot C_{PTP}}_{\text{沈降}} / \triangle y \\dC_{P04P}/dt &= -G_P \cdot FP_P \cdot C_{CHL} + \underbrace{KD_{PP20} \cdot \theta_{KPP}^{T-20} \cdot C_{PTP}}_{\text{植物 PL による摂取}} + \underbrace{KD_{P20} \cdot \theta_{KP}^{T-20} \cdot C_{NLOP}}_{\text{P・T-P の分解}} + \underbrace{R_{IP}}_{\text{デトリタスの分解}} / \triangle y \\dC_{NLOP}/dt &= \underbrace{-KD_{P20} \cdot \theta_{KP}^{T-20} \cdot C_{NLOP}}_{\text{分解}} + \underbrace{DP_{20} \cdot \theta_{DP}^{T-20} \cdot FP_P \cdot C_{CHL}}_{\text{植物 PL の死滅}} + \underbrace{DPZ_{20} \cdot \theta_{DPZ}^{T-20} \cdot FPZ_P \cdot C_{PLZ}}_{\text{溶出}} \\&\quad - \underbrace{V_{DT} \cdot C_{NLOP}}_{\text{沈降}} / \triangle y\end{aligned}$$

- KD_{PP20} : 河川由来リンの 20℃における分解速度
 θ_{KPP} : 河川由来リン分解速度の温度定数
 V_{SS} : SS の平均沈降速度
 G_P : 植物プランクトンの増殖速度
 FP_P : クロロフィル a /0-P 比率
 KD_{P20} : デトリタス態リンの 20℃における分解速度
 θ_{KP} : デトリタス態リン分解速度の温度定数
 R_{IP} : 底質からのリン溶出速度 (= $R_{IP20} \times 1.07^{T-20} \cdot 1.37 \times 10^{-0.133}$)
 R_{IP20} : リン酸態リンの 20℃における溶出速度
 DP_{20} : 植物プランクトンの 20℃における死滅速度
 θ_{DP} : 植物プランクトン死滅速度の温度定数
 DPZ_{20} : 動物プランクトンの 20℃における死滅速度
 θ_{DPZ} : 動物プランクトン死滅速度の温度定数
 FPZ_P : 動物プランクトン/0-P 比率
 V_{DT} : デトリタス沈降速度
 $\triangle y$: コントロールボリュームの層厚
 T : 水温

3) 窒素収支

$$\begin{aligned}dC_{PTN}/dt &= \underbrace{-KD_{PN20} \cdot \theta_{KPN}^{T-20} \cdot C_{PTN}}_{\text{分解}} - \underbrace{V_{SS} \cdot C_{PTN}}_{\text{沈降}} / \triangle y \\dC_{NH4}/dt &= -G_P \cdot FP_N \cdot C_{CHL} + \underbrace{KD_{PN20} \cdot \theta_{KPN}^{T-20} \cdot C_{PTN}}_{\text{植物 PL による摂取}} + \underbrace{KD_{N20} \cdot \theta_{KN}^{T-20} \cdot C_{NLOP}}_{\text{P・T-N の分解}} + \underbrace{KD_{N20} \cdot \theta_{KN}^{T-20} \cdot C_{NLOP}}_{\text{デトリタスの分解}} \\&\quad - \underbrace{NT_{20} \cdot \theta_{NT}^{T-20} \cdot C_{D0} / C_{S0}, 1.0}_{\text{硝化}} \cdot C_{NH4} + \underbrace{R_{IN}}_{\text{溶出}} / \triangle y \\dC_{NOX}/dt &= -G_P \cdot FP_N \cdot C_{CHL} + \underbrace{NT_{20} \cdot \theta_{NT}^{T-20} \cdot C_{D0} / C_{S0}, 1.0}_{\text{植物 PL による摂取}} \cdot C_{NH4} \\&\quad - \underbrace{A_{20} \cdot \theta_{NO}^{T-20} \cdot C_{NOX}}_{\text{脱窒}} / (K_{NOX} + C_{NOX}) \\dC_{NLOP}/dt &= \underbrace{-KD_{N20} \cdot \theta_{KN}^{T-20} \cdot C_{NLOP}}_{\text{分解}} + \underbrace{DP_{20} \cdot \theta_{DP}^{T-20} \cdot FP_N \cdot C_{CHL}}_{\text{植物 PL の死滅}} + \underbrace{DPZ_{20} \cdot \theta_{DPZ}^{T-20} \cdot FPZ_N \cdot C_{PLZ}}_{\text{溶出}} \\&\quad - \underbrace{V_{DT} \cdot C_{NLOP}}_{\text{沈降}} / \triangle y\end{aligned}$$

- KD_{PN20} : 河川由来窒素の 20℃における分解速度
 θ_{KPN} : 河川由来窒素分解速度の温度定数
 V_{SS} : SS の平均沈降速度
 G_P : 植物プランクトンの増殖速度
 FP_N : クロロフィル a /0-N 比率
 KD_{N20} : デトリタス態窒素の 20℃における分解速度
 θ_{KN} : デトリタス態窒素分解速度の温度定数
 NT_{20} : アンモニア態窒素の 20℃における硝化速度
 θ_{NT} : アンモニア態窒素硝化速度の温度定数
 C_{S0} : 溶存酸素飽和濃度

R_{IN}	: 底質からの窒素溶出速度 (= $R_{IN20} \times 1.02^{T-20}$)
R_{IN20}	: アンモニア態窒素の 20℃における溶出速度
A_{20}	: 硝酸・亜硝酸態窒素の 20℃における脱窒速度
θ_{NO}	: 硝酸・亜硝酸態窒素脱窒速度の温度定数
K_{NOX}	: 硝酸・亜硝酸態窒素脱窒速度の半飽和定数
DP_{20}	: 植物プランクトンの 20℃における死滅速度
θ_{DP}	: 植物プランクトン死滅速度の温度定数
DPZ_{20}	: 動物プランクトンの 20℃における死滅速度
θ_{DPZ}	: 動物プランクトン死滅速度の温度定数
FPZ_N	: 動物プランクトン/O-N 比率
V_{DT}	: デトリタス沈降速度
Δy	: コントロールボリュームの層厚
T	: 水温

4) 溶存酸素収支

$$\begin{aligned} dC_{D0}/dt &= G_P \cdot FP_{D0} \cdot C_{CHL} \\ &\quad \text{光合成による生産} \\ &\quad - KD_{PC20} \cdot \theta_{KPC}^{T-20} \cdot FP_{D0} / FP_C \cdot C_{PCOD} \\ &\quad \text{PCOD 分解による消費} \\ &\quad - KD_{DC20} \cdot \theta_{KDC}^{T-20} \cdot FP_{D0} / FP_C \cdot C_{DCOD} - KD_{NC20} \cdot \theta_{KNC}^{T-20} \cdot FP_{D0} / FP_C \cdot C_{NL-COD} \\ &\quad \text{COD 分解による消費} \\ &\quad + R_{AR} \cdot (C_{S0} - C_{D0}) / \Delta y - R_{D0} / \Delta y \\ &\quad \text{再曝気} \qquad \qquad \qquad \text{底質消費} \end{aligned}$$

G_P	: 植物プランクトンの増殖速度
FP_{D0}	: クロロフィル a /D0 比率
KD_{PC20}	: 河川由来 COD の 20℃における分解速度
θ_{KPC}	: 河川由来 COD 分解速度の温度定数
KD_{DC20}	: 溶存態 COD の 20℃における分解速度
θ_{KDC}	: 溶存態 COD 分解速度の温度定数
KD_{NC20}	: COD の 20℃における分解速度
θ_{KNC}	: COD 分解速度の温度定数
R_{AR}	: 再曝気係数
C_{S0}	: 溶存酸素飽和濃度
R_{D0}	: 底質による酸素消費速度
Δy	: コントロールボリュームの層厚
T	: 水温

5) クロロフィル a 収支

$$\begin{aligned} dC_{CHL}/dt &= G_P \cdot C_{CHL} - DP_{20} \cdot \theta_{DP}^{T-20} \cdot C_{CHL} - V_{PL} \cdot C_{CHL} / \Delta y - G_{PZ20} \cdot \theta_{GPZ}^{T-20} \cdot C_{CHL} \\ &\quad \text{内部生産} \quad \text{死滅} \qquad \qquad \qquad \text{沈降} \\ G_P &= R_{GP} \cdot f_N \cdot f_I \cdot f_T \\ f_N &= C_{IP} / (K_{IP} + C_{IP}) \cdot C_{IN} / (K_{IN} + C_{IN}) \\ f_I &= I / I_S \cdot \exp(1 - I / I_S) \\ f_T &= (T / T_S \cdot \exp(1 - T / T_S))^{NCP} \end{aligned}$$

G_P	: 植物プランクトンの増殖速度
R_{GP}	: 植物プランクトンの最大比増殖速度
K_{IP}	: 植物プランクトン増殖に係わる無機態リンの半飽和定数
K_{IN}	: 植物プランクトン増殖に係わる無機態窒素の半飽和定数
I_S	: 植物プランクトン増殖の最適日射量
T_S	: 植物プランクトン増殖の最適水温
NCP	: 植物プランクトン増殖に係わる水温依存項の尖り度
DP_{20}	: 植物プランクトンの 20℃における死滅速度
θ_{DP}	: 植物プランクトン死滅速度の温度定数
V_{PL}	: 植物プランクトン沈降速度
G_{PZ20}	: 動物プランクトンの増殖速度
θ_{GPZ}	: 動物プランクトンの 20℃における増殖速度
Δy	: コントロールボリュームの層厚
T	: 水温

表 4.2 水質予測モデルのパラメーター一覧

項目	名称	記号	単位	設定値	備考
植物プランクトン C_{CHL}	最大比増殖速度	R_{GP}	1/日	2.0～3.5	
	無機態リンの半飽和定数	K_{IP}	—	0.001～0.005	
	無機態窒素の半飽和定数	K_{IN}	—	0.01～0.05	
	最適日射量(照度)	I_{S}	$\text{cal/m}^2/\text{日}$	150～400	
	最適水温	T_{S}	℃	10～25	
	水温依存項の尖り度	NCP	—	3～5	
	20℃の死滅速度	DP_{20}	1/日	0.015	
	死滅速度の温度定数	θ_{DP}	—	1.05	
動物プランクトン C_{PLZ}	20℃の増殖速度	G_{PZ20}	1/日	0.005	
	増殖速度の温度定数	θ_{GPZ}	—	1.05	
	20℃の死滅速度	DPZ_{20}	1/日	0.02	
	死滅速度の温度定数	θ_{DPZ}	—	1.05	
河川由来 $C_{\text{P-COD}}$ $C_{\text{P-T-N}}$ $C_{\text{P-T-N}}$	20℃のCOD分解速度	KD_{PC20}	1/日	0.001	
	COD分解速度の温度定数	θ_{KPC}	—	1.05	
	20℃の有機態リン分解速度	KD_{PP20}	1/日	0.001	
	有機態リン分解速度の温度定数	θ_{KPP}	—	1.05	
	20℃の有機態窒素分解速度	KD_{PN20}	1/日	0.001	
	有機態窒素分解速度の温度定数	θ_{KPN}	—	1.05	
デトリタス $C_{\text{NL-COD}}$ $C_{\text{NL-O-P}}$ $C_{\text{NL-O-N}}$	20℃のCOD分解速度	KD_{NC20}	1/日	0.1	
	COD分解速度の温度定数	θ_{KNC}	—	1.05	
	20℃の有機態リン分解速度	KD_{P20}	1/日	0.1	
	有機態リン分解速度の温度定数	θ_{KP}	—	1.05	
	20℃の有機態窒素分解速度	KD_{N20}	1/日	0.1	
	有機態窒素分解速度の温度定数	θ_{KN}	—	1.05	
溶存態COD $C_{\text{D-COD}}$	20℃のD・COD分解速度	KD_{DC20}	1/日	0.02	
	D・COD分解速度の温度定数	θ_{KDC}	—	1.05	
アンモニア態窒素 $C_{\text{NH4-N}}$	20℃の硝化速度	NT_{20}	1/日	0.50	
	硝化速度の温度定数	θ_{NT}	—	1.05	
硝酸・亜硝酸態窒素 $C_{\text{NOX-N}}$	20℃の脱窒速度	A_{20}	1/日	30.0	
	脱窒速度の温度定数	θ_{NT}	—	1.04	
	脱窒速度の半飽和定数	K_{NOX}	—	0.50	
沈降速度 C_{SS}	植物PLの沈降速度	V_{PL}	m/日	0.10	
	デトリタスの沈降速度	V_{DT}	m/日	0.05	
	SS(大粒径)の沈降速度	V_{SS1}	m/日	10.0	粒径区分 20.9-46.5 μm
	SS(中粒径)の沈降速度	V_{SS2}	m/日	1.0	粒径区分 9.3-20.9 μm
	SS(小粒径)の沈降速度	V_{SS3}	m/日	0.5	粒径区分 4.2-9.3 μm
	SS(細粒径)の沈降速度	V_{SS4}	m/日	0.2	粒径区分 0.0-4.2 μm
溶存酸素	再曝気係数	R_{AR}	—	0.5	
植物PLとの重量比	クロロフィルa/COD比率	FP_{C}	$\mu\text{g}/\text{mg}$	70.0	
	クロロフィルa/リン比率	FP_{P}	$\mu\text{g}/\text{mg}$	0.3～0.6	
	クロロフィルa/窒素比率	FP_{N}	$\mu\text{g}/\text{mg}$	5.0～10.0	
	クロロフィルa/DO比率	FP_{DO}	$\mu\text{g}/\text{mg}$	124.0	
水中日射量	水表面反射率	a_{r}	—	0.060	
	光の消散係数を決める定数	η_0	—	0.100	$\eta = \eta_0 + \mu_{\text{a}} \cdot P$
		μ_{a}	—	0.160	

4.2 水域分割

水質予測モデルの水域分割は、塩分成層の形成による溶存酸素の変化を表現できるよう、流動モデルと同様のメッシュ構造とする。すなわち、水平方向の水域分割は直交曲線座標系を採用し、鉛直方向の水域分割は、宍道湖及び中海の成層特性を考慮してシグマ座標系及びレベル座標系を併用する。

表 4.3 水域分割における着眼点と水域分割方法

水域	着眼点	水域分割の方法
宍道湖	高塩分水塊の流入	高塩分水塊が宍道湖のなだらかな湖底を薄い層厚で這うように進入する現象を表現するため、鉛直方向には湖底地形に沿った層分割が可能なシグマ座標系を採用し、底層付近の分割層厚を詳細にする。
中海	塩分躍層・内部界面変動	中海において塩分躍層が存在している概ね水深 2～5m における層分割を詳細にする。座標系はレベル座標系とし、上層部のみ水位の変化に追従するためシグマ座標系を採用する。
大橋川	湾曲形状・地形改変の表現	大橋川の平面形状を忠実に表現するため、直交曲線座標系を採用する。

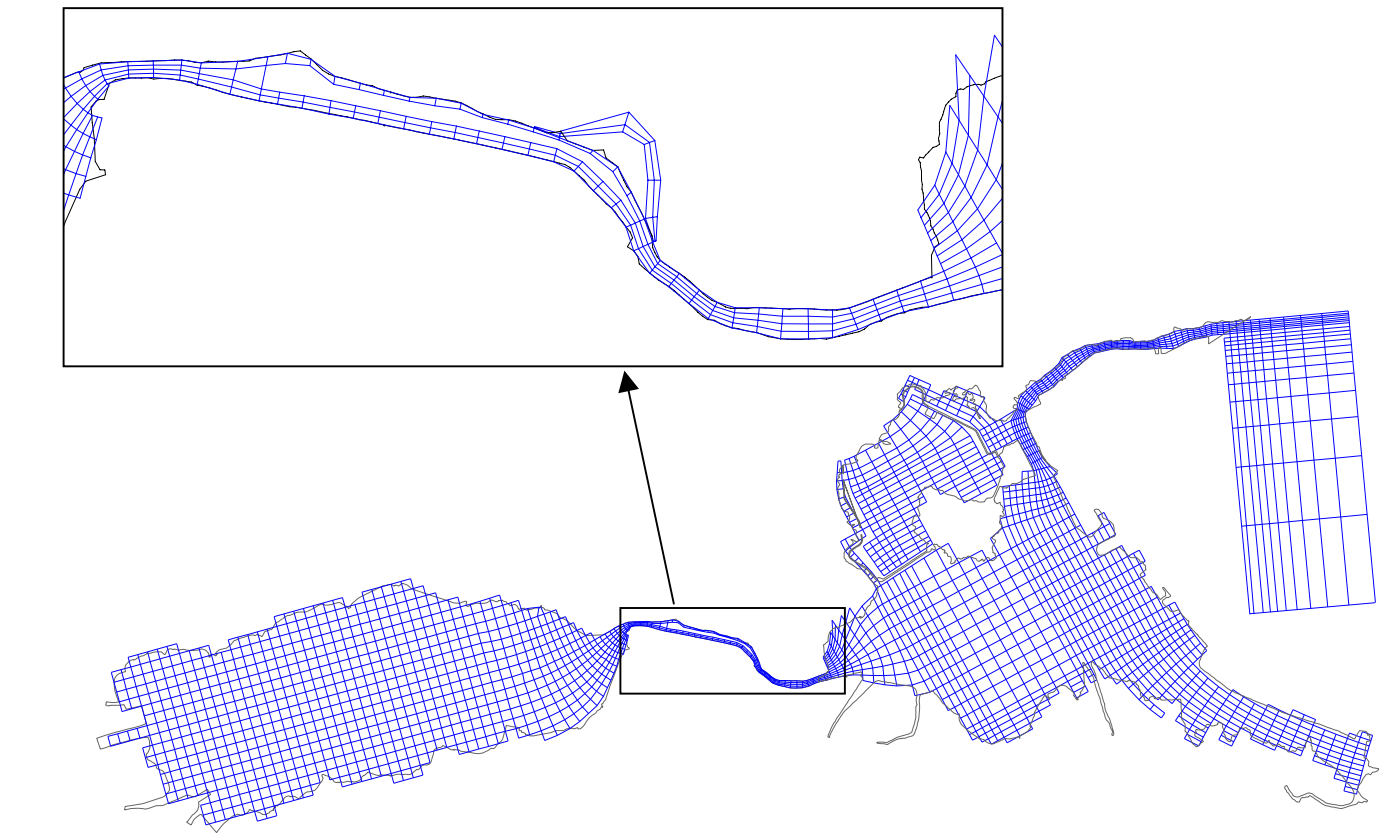


図 4.4 水平方向の水域分割（直交曲線座標系）

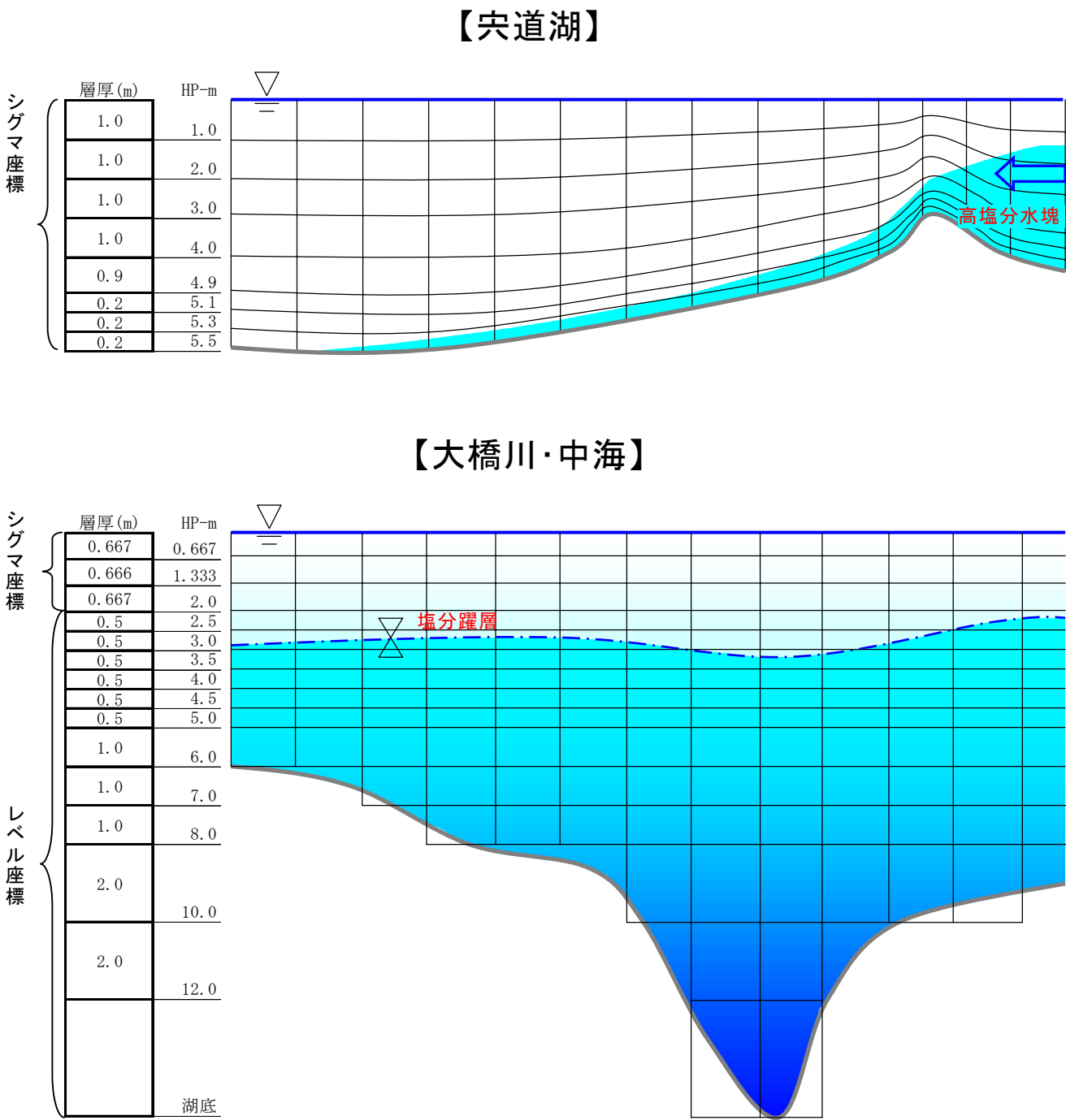


図 4.5 鉛直方向の水域分割

※シグマ座標系：水深方向層分割は、全水深に対する層分割数、層分割比を全格子で固定する。水位変化に伴い、各層の層厚は変化する。
レベル座標系：水深方向の層分割は、水平方向の層分割を行って、表層を除いて同じ深さの層の厚さは全格子で同じとなる。水深により分割層数が変わる。

(1) 概要

日本海と接続する下流端では、美保湾における調査結果に基づき、水質の境界条件を設定する。流域と接続する河川流入位置は、中海・宍道湖流域を 45 流域に分割し、各分割流域において流出量(流量)、水質(負荷量)を境界条件として設定する。

水の濁りは、流域からの流出に加えて、巻き上げによる影響を風速との関係により設定する。

表 4.4 境界条件の設定方法

設定位置	項 目	設定方法	設定時間 間隔
下流端	COD, N, P, クロロフィル a, DO, SS	美保湾における採水・分析調査結果(月 1 回)を日単位で内挿して与える。	日
河川 流入位置	COD, N, P, SS	負荷量調査結果に基づき、各分割流域における流量と水質(負荷量)の関係式(L-Q 式)を作成し、同関係式に各河川流量(流動モデル設定値)を代入して与える。	時間
	クロロフィル a	斐伊川大津地点観測値の平均値を与える($1.0 \mu\text{g/L}$)。	一定
	DO	飽和濃度を与える。	日
水面	風速, 気温, 日射量, 湿度, 雲量	松江气象台における観測値を与える。	日
湖底面	COD, N, P, DO, SS	底質からの溶出速度及び酸素消費速度を室内実験結果に基づき与える。	算定式

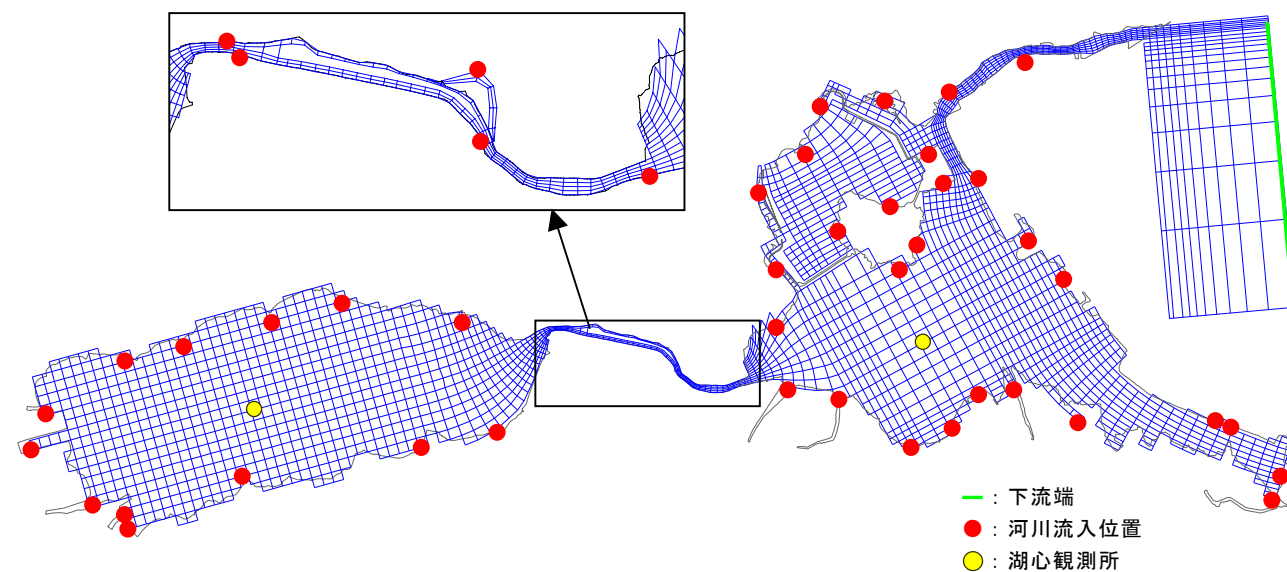
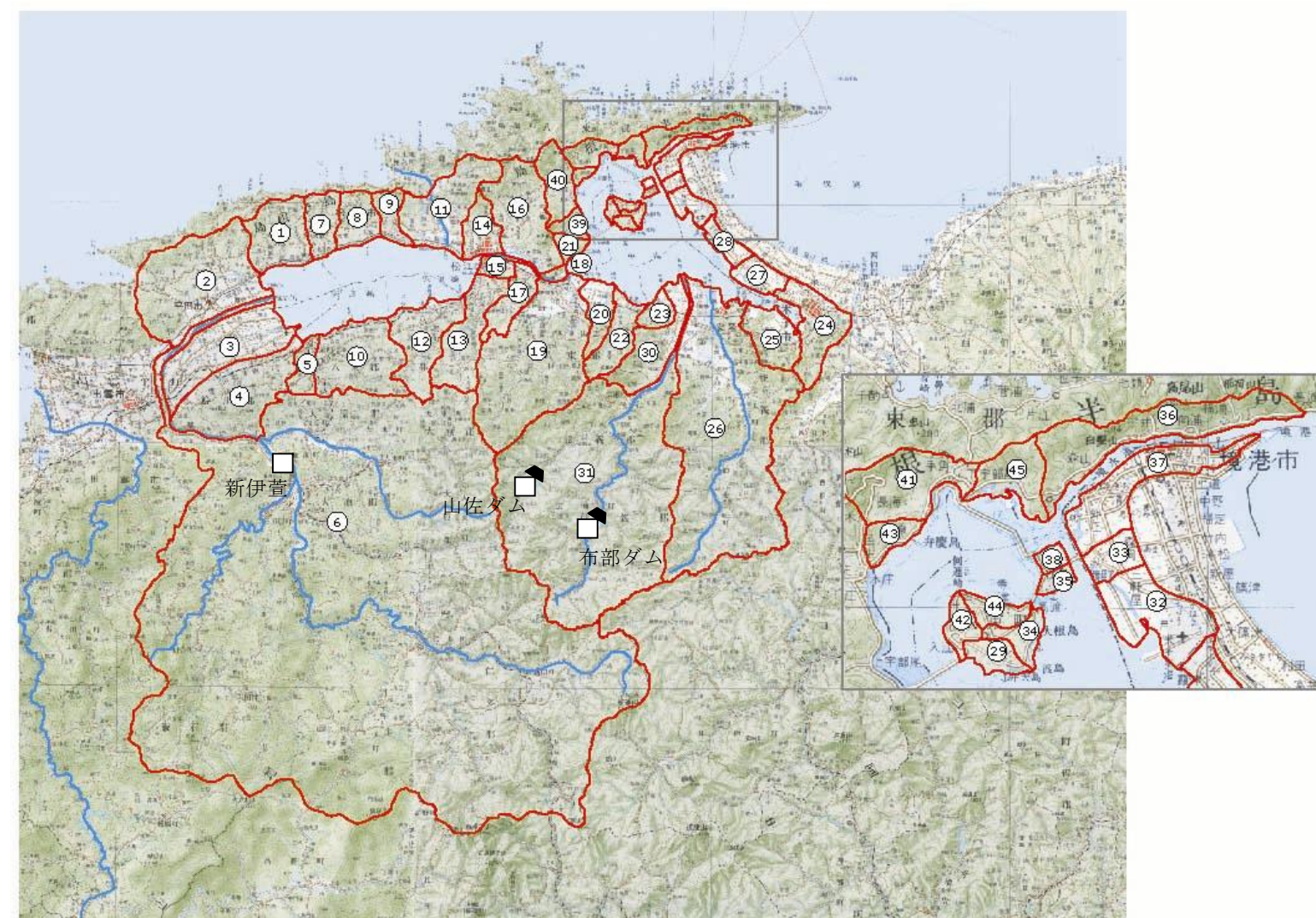


図 4.6 境界条件設定位置



※この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の 20 万分 1 地勢図を複製し、測量法第 29 条に基づく複製承認『平 17 中複 第 18 号』を転載したものである。

图 4.7 流域分割

(2) 流域からの流出負荷量の設定

中海・宍道湖では、両湖に流入する 25 流域 (63 河川)において流入負荷量調査を実施している。水質予測モデルに与える流域からの流出負荷量は、この負荷量調査結果に基づき各流域で COD, T-N, T-P 及び SS の流量 (比流量)～負荷量 (比負荷量) 関係式 (L-Q 式) を作成し、これに基づき設定する。負荷量調査が実施されていない流域については、調査が実施されている流域から土地利用・流域面積の類似性が高い流域の L-Q 式を採用する。

なお、水質予測モデルでは、COD, 窒素, リンは粒子態や溶存態、有機態や無機態などに区分し、SS についても沈降速度の異なる 4 種類の SS として計算を行っている。したがって、L-Q 式で算出される各水質項目は、観測結果に基づき粒子態や有機態, 無機態などに区分して水質予測モデルに与えることとなる。

表 4.5 各支川における L-Q 式設定結果

No.	流域名	区分	COD		T-N		T-P		SS	
			a	b	a	b	a	b	a	b
1	伊野川	高水	10.011	1.161	1.484	1.138	0.306	1.245	36.073	1.542
		低水	2.261	0.869			0.032	0.888	2.587	0.977
		流量	0.00617				-		0.00180	
2	船川	高水	9.555	1.233	1.415	1.076	0.283	1.430	34.001	1.544
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
3	五右衛門川	高水	9.933	1.212	1.521	0.929	0.306	1.240	35.571	1.486
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
4	新建川	高水	13.820	1.271	1.313	1.051	0.153	1.192	69.149	1.740
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
5	佐々布川	高水	9.888	1.206	1.513	1.078	0.301	1.340	35.775	1.531
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
6	斐伊川	高水	27.159	1.673	1.648	1.189	0.380	1.750	181.560	1.870
		低水	2.898	1.063	0.928	1.108	0.031	1.077	7.691	1.269
		流量	0.02549		0.00087		0.02465		0.00521	
7	大野川	高水	10.034	1.160	1.437	1.072	0.307	1.252	35.269	1.604
		低水	2.465	0.847			0.039	0.861	5.467	1.124
		流量	0.01132				-		0.00491	
8	秋鹿川	高水	10.069	1.184	1.493	1.076	0.299	1.264	42.747	1.543
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
9	東長江川	高水	16.372	1.262	1.347	1.184	0.198	1.293	108.540	1.744
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
10	来待川	高水	13.372	1.275	1.372	1.216	0.154	1.229	58.312	1.527
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
11	佐陀川	高水	13.525	1.156	1.310	1.077	0.155	1.030	65.900	1.434
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
12	玉湯川	高水	12.902	1.256	1.198	1.148	0.122	1.171	90.374	1.661
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
13	忌部川	高水	8.847	1.109	3.370	1.206	0.379	1.235	31.958	1.333
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
15	松江市橋南	高水	4.798	1.008	0.628	0.977	0.110	1.147	8.275	1.089
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
16	朝酌川	高水	14.076	1.281	1.370	1.107	0.159	1.235	70.365	1.648
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
17	馬橋川	高水	4.412	0.910	0.723	0.699	0.099	0.778	6.858	0.913
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
19	意宇川・揖屋干拓	高水	9.449	1.253	1.151	1.141	0.284	1.423	35.089	1.499
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
20	揖屋地区	高水	20.043	2.040	1.194	1.132	0.222	2.020	114.330	2.671
		低水	1.963	0.890			0.019	0.836	4.998	1.138
		流量	0.13249				-		0.12441	
21	大井・大海崎	高水	20.043	2.040	1.348	1.177	0.222	2.020	89.090	2.011
		低水	2.206	0.985			0.019	0.729	1.723	1.006
		流量	0.12336				-		0.14708	
22	意東川・羽入川	高水	20.043	2.040	1.440	1.134	0.222	2.020	114.330	2.671
		低水	1.871	0.875			0.029	0.935	1.501	0.873
		流量	0.13090				-		0.15078	
23	日白川・久白川	高水	13.542	1.209	1.402	0.986	0.173	1.000	57.309	1.523
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
24	加茂川・旧加茂川	高水	6.604	1.173	1.601	1.157	0.159	1.136	33.054	1.842
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
26	伯太川・吉田川	高水	20.043	2.040	1.384	1.163	0.222	2.020	114.330	2.671
		低水	3.921	1.053			0.125	1.219	3.288	0.988
		流量	0.19142				-		0.48657	
30	田頼川	高水	11.498	1.220	1.033	1.029	0.089	0.977	53.071	1.578
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	
31	飯梨川	高水	7.638	1.283	0.932	1.157	0.077	1.334	46.937	1.604
		低水	-		-		-		-	
		流量	-		-		-		-	

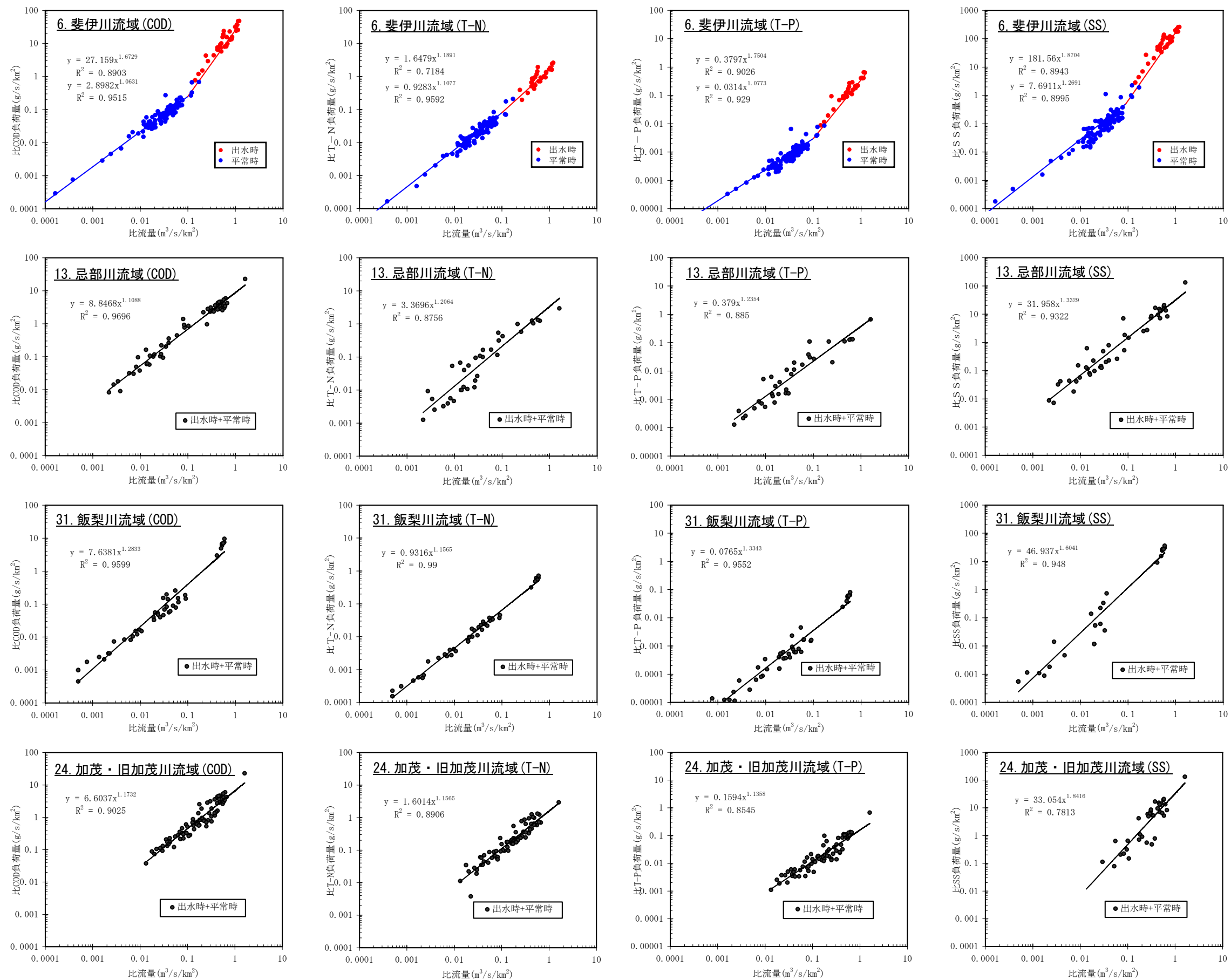


図 4.8 流入河川における比負荷量～比流量関係（設定例）

(3) 流出負荷量の各態への配分方法

1) 配分方法の概略

COD、窒素、リンの各態への配分は、L-Q 式より算定される COD、総窒素、総リンに負荷量調査に基づき設定した各態比率を乗じて設定する。

中海・宍道湖の年間の流出負荷量の約 70%を占める斐伊川は、平常時の窒素を除いて、流量の関数として各態比率を設定する。

また、窒素の内訳は季節変化傾向があるため、月別に各態比率を設定する。

斐伊川以外の各支川の各態比率は、流量の関数として設定するに十分な調査が実施されていないため、一定の比率を設定する。

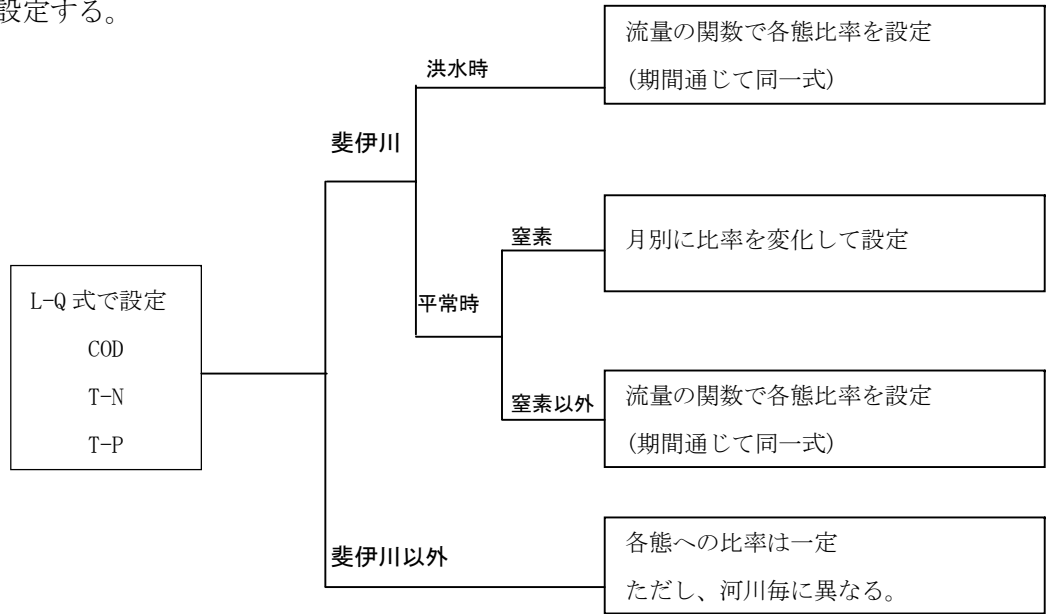


図 4.9 流出負荷量の各態(粒子態, 無機態, 有機態)への配分方法

2) 斐伊川の平常時における窒素の配分

斐伊川大津における無機態窒素比率の季節変化を以下に示す。斐伊川では総窒素中の硝酸・亜硝酸態窒素比率は、冬季に高くなる季節変化を示している。したがって、窒素の各態への配分は以下の整理結果に基づき月別に各態比率を設定して行う。

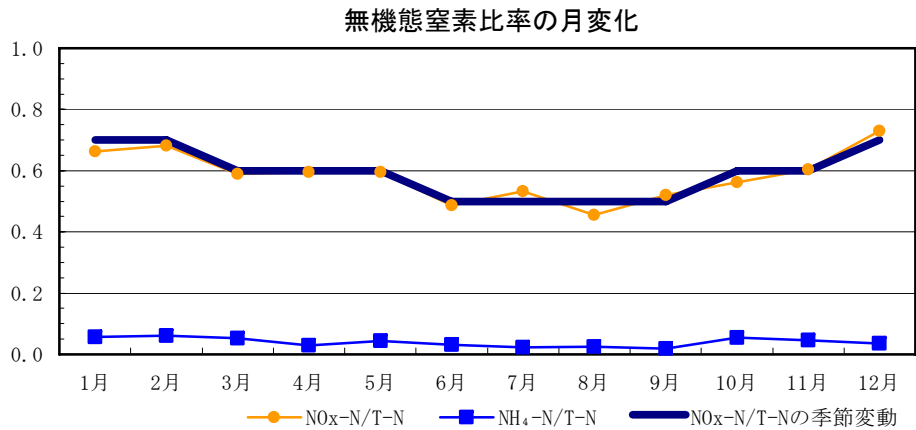


図 4.10 各態窒素の季節変化 (H6～H15 の各月平均値)

3) 斐伊川以外の各態比率

斐伊川本川以外の支川では、H10～H15 において平水時及び出水時に負荷量調査を実施しており、この調査結果に基づき、各態比率を設定する。ただし、同調査では、粒子態 COD、窒素、リンの調査が実施されていないため、粒子態については、斐伊川大津地点負荷量調査結果を参考に比率を一律に設定する。

表 4.6 支川水質の各態比率(T-N, T-P)

水域	地点名	0-N/T-N	NH ₄ /T-N	NO _x /T-N	0-P/T-P	PO ₄ -P/T-P
宍道湖	柳谷川	0.23	0.06	0.71	0.24	0.76
	大井町水路	0.37	0.05	0.57	0.54	0.46
	意宇川	0.23	0.08	0.68	0.77	0.23
	市の原川	0.27	0.09	0.63	0.78	0.22
	意東川	0.31	0.05	0.62	0.65	0.35
	羽入川	0.12	0.04	0.83	0.58	0.42
	久白川	0.26	0.22	0.49	0.82	0.18
	田頼川	0.25	0.21	0.52	0.81	0.19
	飯梨川	0.23	0.08	0.67	0.60	0.40
	吉田川	0.33	0.26	0.38	0.73	0.27
	伯太川	0.34	0.08	0.56	0.71	0.29
	木戸川	0.35	0.18	0.45	0.75	0.25
	四反田川	0.34	0.27	0.37	0.66	0.34
	新加茂川	0.23	0.18	0.57	0.68	0.32
	旧加茂川	0.24	0.15	0.58	0.62	0.38
	自動車学校前承水路	0.26	0.38	0.35	0.53	0.47
	彦名承水路	0.08	0.34	0.60	0.27	0.73
	彦名処理地内水	0.66	0.17	0.16	0.66	0.34
大橋川	天神川（天神橋）	0.61	0.20	0.19	0.60	0.40
	天神川（神守橋）	0.53	0.22	0.26	0.63	0.37
	馬橋川（馬橋）	0.17	0.49	0.34	0.65	0.35
	矢田町水路	0.15	0.31	0.53	0.88	0.12
	大井手川	0.39	0.10	0.52	0.66	0.34
	朝酌川（手貝水門）	0.66	0.09	0.28	0.92	0.08
	朝酌川（楽山橋）	0.41	0.18	0.12	0.77	0.23
	向島橋	0.46	0.28	0.19	0.61	0.39
中海	柳谷川	0.23	0.06	0.71	0.24	0.76
	大井町水路	0.37	0.05	0.57	0.54	0.46
	意宇川	0.23	0.08	0.68	0.77	0.23
	市の原川	0.27	0.09	0.63	0.78	0.22
	意東川	0.31	0.05	0.62	0.65	0.35
	羽入川	0.12	0.04	0.83	0.58	0.42
	久白川	0.26	0.22	0.49	0.82	0.18
	田頼川	0.25	0.21	0.52	0.81	0.19
	飯梨川	0.23	0.08	0.67	0.60	0.40
	吉田川	0.33	0.26	0.38	0.73	0.27
	伯太川	0.34	0.08	0.56	0.71	0.29
	木戸川	0.35	0.18	0.45	0.75	0.25
	四反田川	0.34	0.27	0.37	0.66	0.34
	新加茂川	0.23	0.18	0.57	0.68	0.32
	旧加茂川	0.24	0.15	0.58	0.62	0.38
	自動車学校前承水路	0.26	0.38	0.35	0.53	0.47
	彦名承水路	0.08	0.34	0.60	0.27	0.73
	彦名処理地内水	0.66	0.17	0.16	0.66	0.34

※0-N:有機態窒素(=P・T-N+NL・0-N), NH₄-N:アンモニア態窒素, NO_x-N:硝酸・亜硝酸態窒素,
0-P:有機態リン(=P・T-P+NL・0-P), PO₄-P:リン酸態リン

4.4 溶出速度の設定方法

中海、宍道湖、米子湾の底質状況の違いを踏まえ、それぞれで算定式を設定する。

溶出速度(COD, 窒素, リン)および酸素消費速度の算定式は、水温の関数とする。なお、リンについては、溶存酸素も考慮する。算定式における定数(20℃における溶出速度および酸素消費速度)は既往の実験結果より設定する。

表 4.7 底質からの溶出負荷量および酸素消費量算定式

区分	項目	算定式※	20℃における溶出速度および酸素消費速度※※			備考
			宍道湖	中海	米子湾	
溶出速度	COD	$R_{COD} = R_{COD20} \times 1.02^{T-20}$	220	222		T : 直上水の水温 X _{D0} : 直上水のDO
	I-N	$R_{IN} = R_{IN20} \times 1.02^{T-20}$	20.5	27.2		
	I-P	$R_{IP} = R_{IP20} \times 1.07^{T-20} \cdot 1.370 \cdot X_{D0}^{-0.133}$	2.53	2.84	3.52	※ リン D02.0mg/L 以下の補正式変更
消費速度	DO	$R_{D0} = R_{D020} \times 1.07^{T-20}$	208	240	355	

※R_{CD20}、R_{IN20}、R_{IP20}、R_{D020} : 20℃における溶出速度および酸素消費速度

※※20℃における溶出速度および酸素消費速度は既往調査結果の平均値を設定

4.5 脱窒の考慮方法(算定式)

水質予測モデルでは、最下層メッシュにおいて脱窒による硝酸・亜硝酸態窒素(NO_x-N)の減少を考慮する。

水質予測モデルで設定する脱窒速度は、室内実験結果に基づき、水質(硝酸態窒素)及び水温による関数として以下の式により算定する。

$$v(mgN / m^2 / day) = a \cdot \frac{C_{NOX}}{K_{NOX} + C_{NOX}} \cdot \theta^{T-20}$$

初期値 : $a = 6.50$ (コア法試験結果より)

$K_{NOX} = 0.5$

$\theta = 1.04$ (スラッジ法試験結果より)

C_{NOX} : 基質濃度(水質予測モデル最下層の NO_x-N とする。)