

# 流動予測モデル説明資料

(流向・流速・水位・水温・塩分計算)

平成18年6月26日

中国地方整備局  
出雲河川事務所

## 目 次

1. 数値シミュレーションモデルの概要	1
(1) モデルの基本的な考え方	1
(2) モデルの基本構造	2
(3) 流動予測モデル	2
(4) 水質予測モデル	3
(5) 水域分割	4
(6) 境界条件・気象条件	5
(7) 計算対象期間	9
2. 流動予測モデルの検証計算	10
(1) 検証計算の着眼点	10
(2) 検証計算結果	13
1) 宍道湖・中海の水位	13
2) 大橋川の流量・塩分量	14
3) 宍道湖の塩分	15
4) 宍道湖の塩分成層	16
5) 大橋川の塩分	17
6) 中海の塩分, 塩分成層	22

1. 数値シミュレーションモデルの概要

(1) モデルの基本的な考え方

中海・宍道湖は、全国でも最大規模の連結汽水湖であり、大橋川は両湖を結ぶ河川として両湖の水環境(異なる特徴)の維持に影響している。

【大橋川の物質の交換が小さいことによる影響】

- ・ 両湖の水位変化が伝わりにくい。
- ・ 宍道湖の貯留が大きい。(大橋川への水はけが悪い。)
- ・ 宍道湖へ塩水が入りにくい。

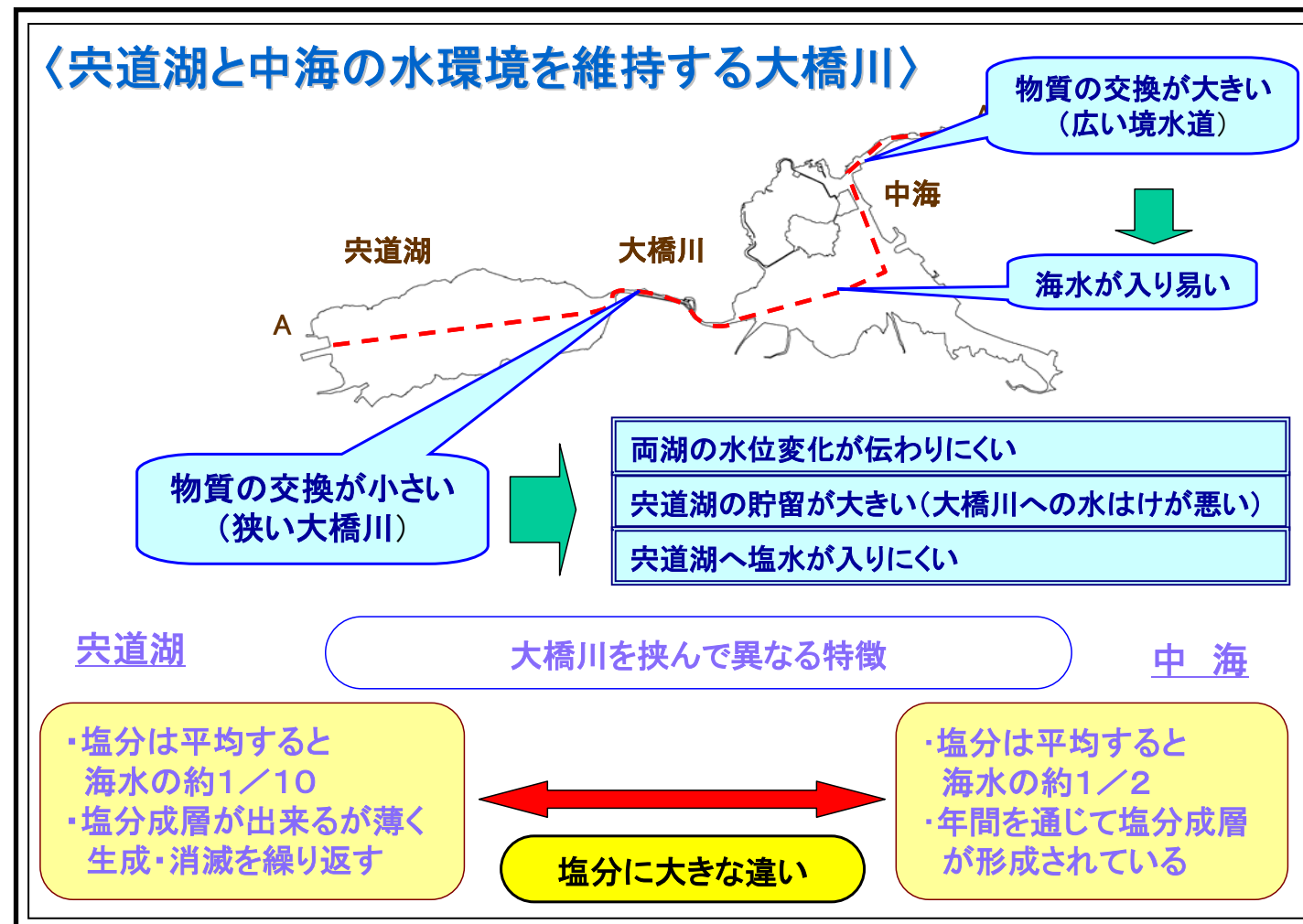


図 1.1 宍道湖・中海に対する大橋川の役割

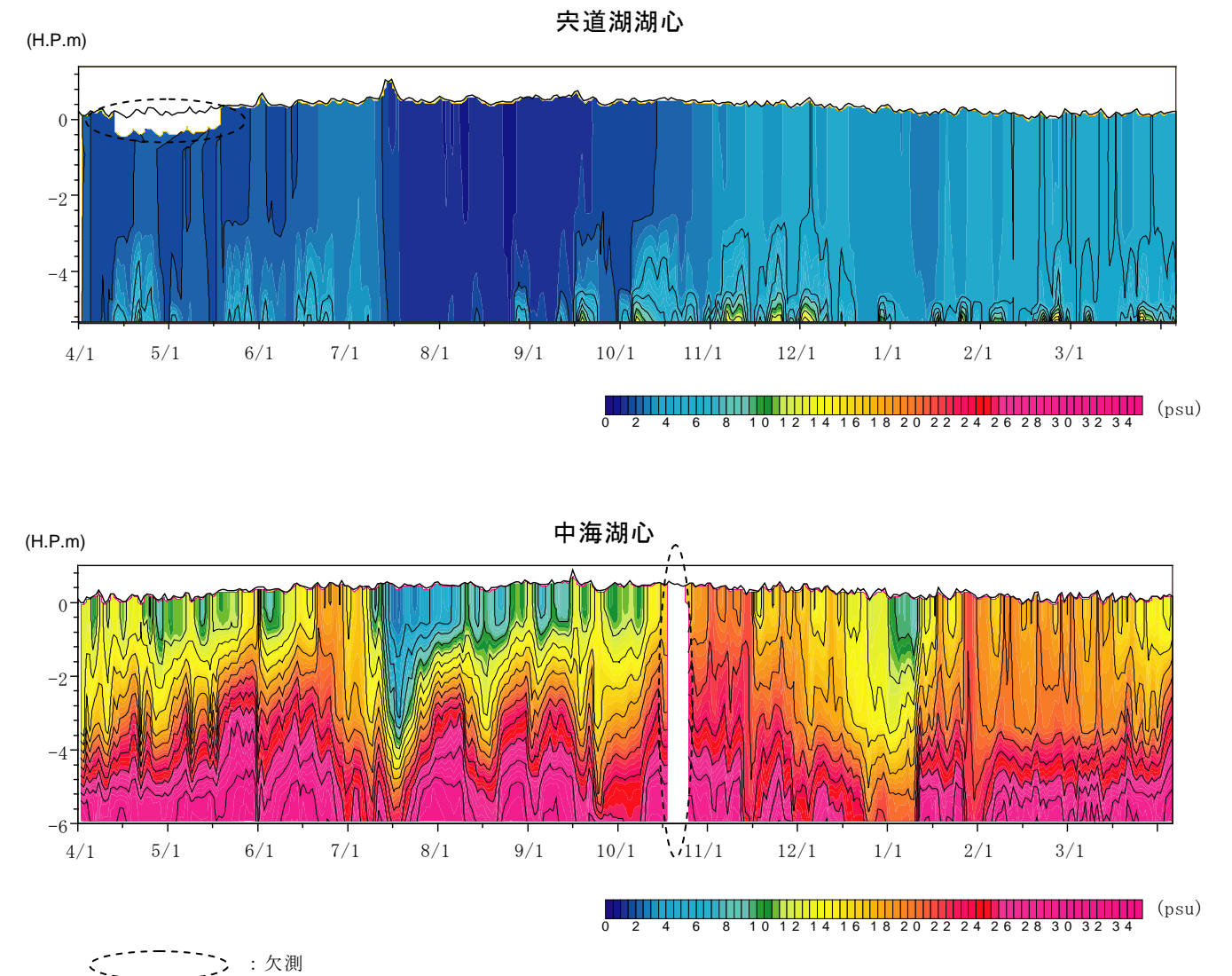


図 1.2 宍道湖湖心・中海湖心における塩分の日変動 (H15. 4/1~16. 3/31)

(2) モデルの基本構造

- ・ 大橋川改修が水環境に与える影響を予測・評価する数値シミュレーションモデルは、平面2次元多層モデルを採用する。
- ・ 数値シミュレーションモデルは、湖内の水位、流速、水温、塩分を計算する流動予測モデルと湖内の水質を計算する水質予測モデルから構成する。

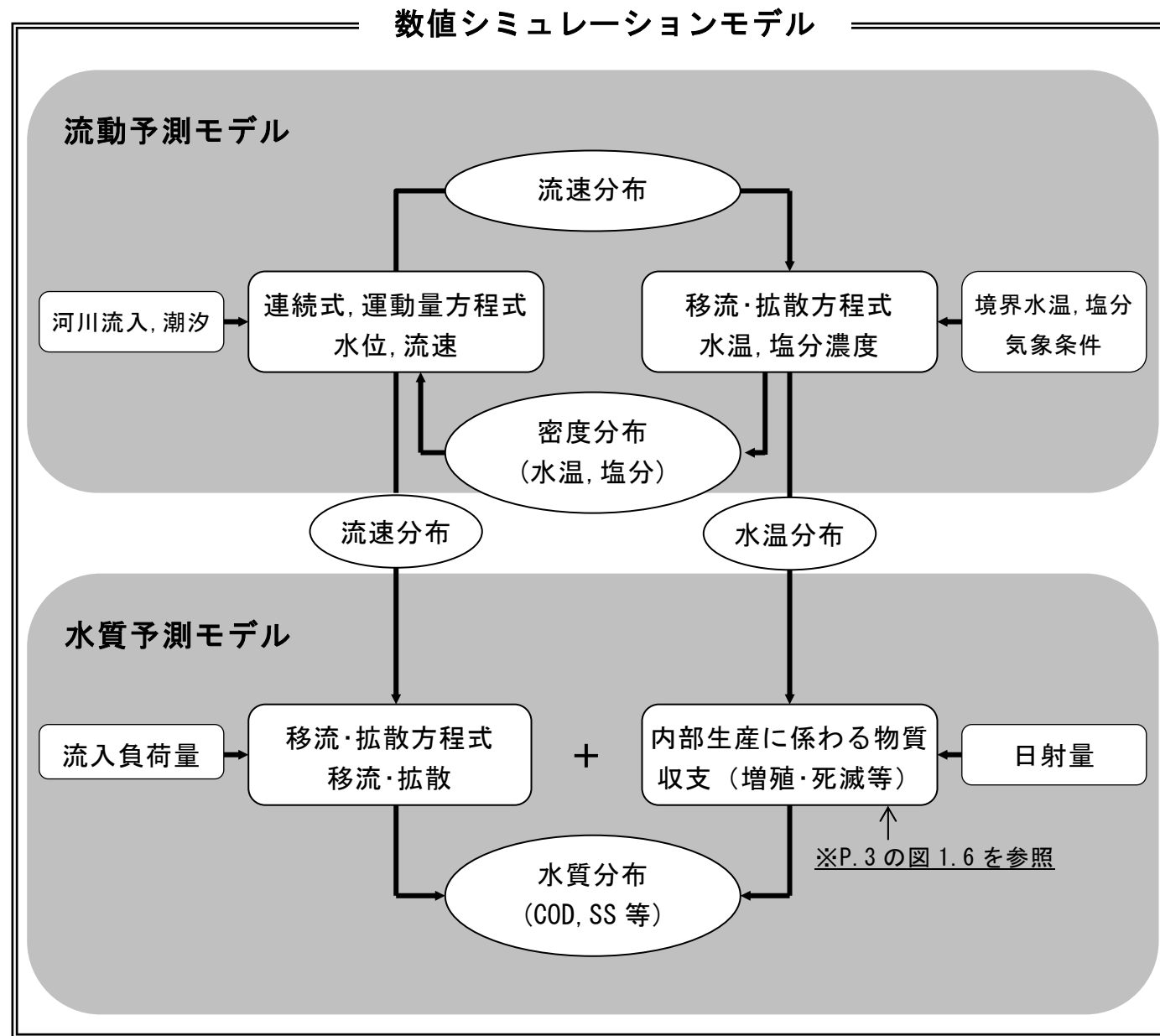


図 1.3 数値シミュレーションモデルの基本構造

(3) 流動予測モデル

- ・ 湖内流動に影響を及ぼす要因として、湖面風、河川水の流入、海水の入退および湖面熱収支を考慮し、水温差や塩分差に伴う密度差、流速差により生じる内部摩擦および湖底摩擦を考慮して湖内の流動を予測する。

表 1.1 流動に影響を及ぼす要因とモデルへの組み込み方法

流動影響要因	流動影響	モデルへの組み込み
湖面風	表面流速	風に起因する流れの生起 湖面境界にせん断力として与える
潮汐	水位	水位差に起因する流れの生起 海側境界に水位変化を与える
海水密度	密度構造	密度差に起因する流れの生起 海側境界に水温, 塩分変化を与える
河川流入	水位	水位差に起因する流れの生起 河川流入境界に水位上昇量を与える
	密度構造	密度差に起因する流れの生起 河川流入境界に水温, 塩分変化を与える
湖面熱収支	密度構造	密度差に起因する流れの生起 湖面境界に大気との熱交換量を与える
粘性	底面流速	湖底の摩擦抵抗 湖底面にせん断力として与える
	流速	流速差による内部抵抗 全計算格子に内部粘性を与える

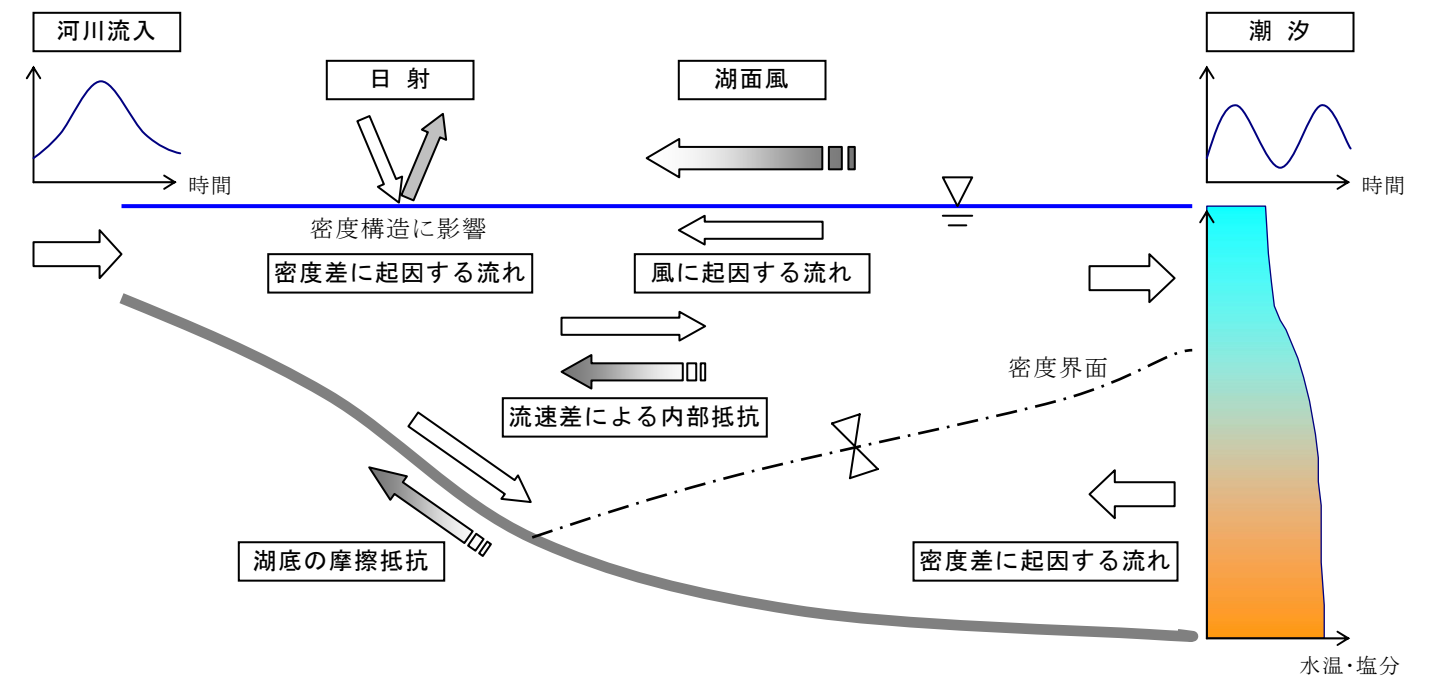


図 1.4 流動に影響を及ぼす要因の模式図

(4) 水質予測モデル

- ・ 水質予測モデルの計算項目は、富栄養化、溶存酸素、水の濁りに関する項目である。
- ・ 富栄養化及び溶存酸素に係わる項目は、植物プランクトンによる湖内の一次生産と各態の窒素・リンの物質循環を考慮したモデルとする。
- ・ 水質予測モデルの境界条件は、各計算項目に関して流域からの流入水質と日本海と接する下流端での水質を与える。

水質予測モデルでは、中海・宍道湖の溶存酸素、富栄養化および水の濁りに関する項目を予測する。富栄養化項目は、植物プランクトン(クロロフィル a)による湖内の一次生産と各態の窒素・リンの物質循環を表現しうる図 1.5 に示す項目を対象とする。

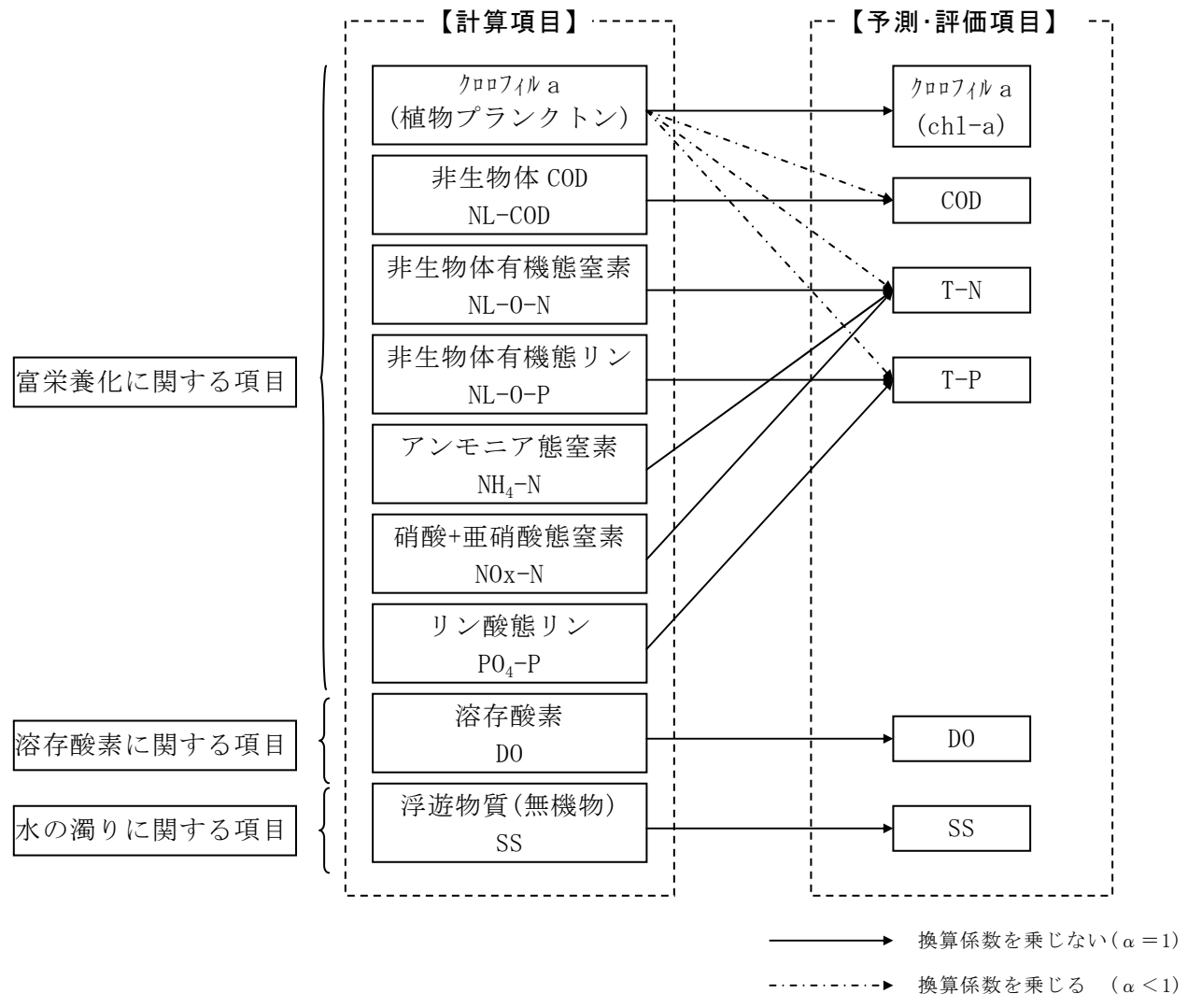


図 1.5 水質予測モデルの計算項目および予測・評価項目

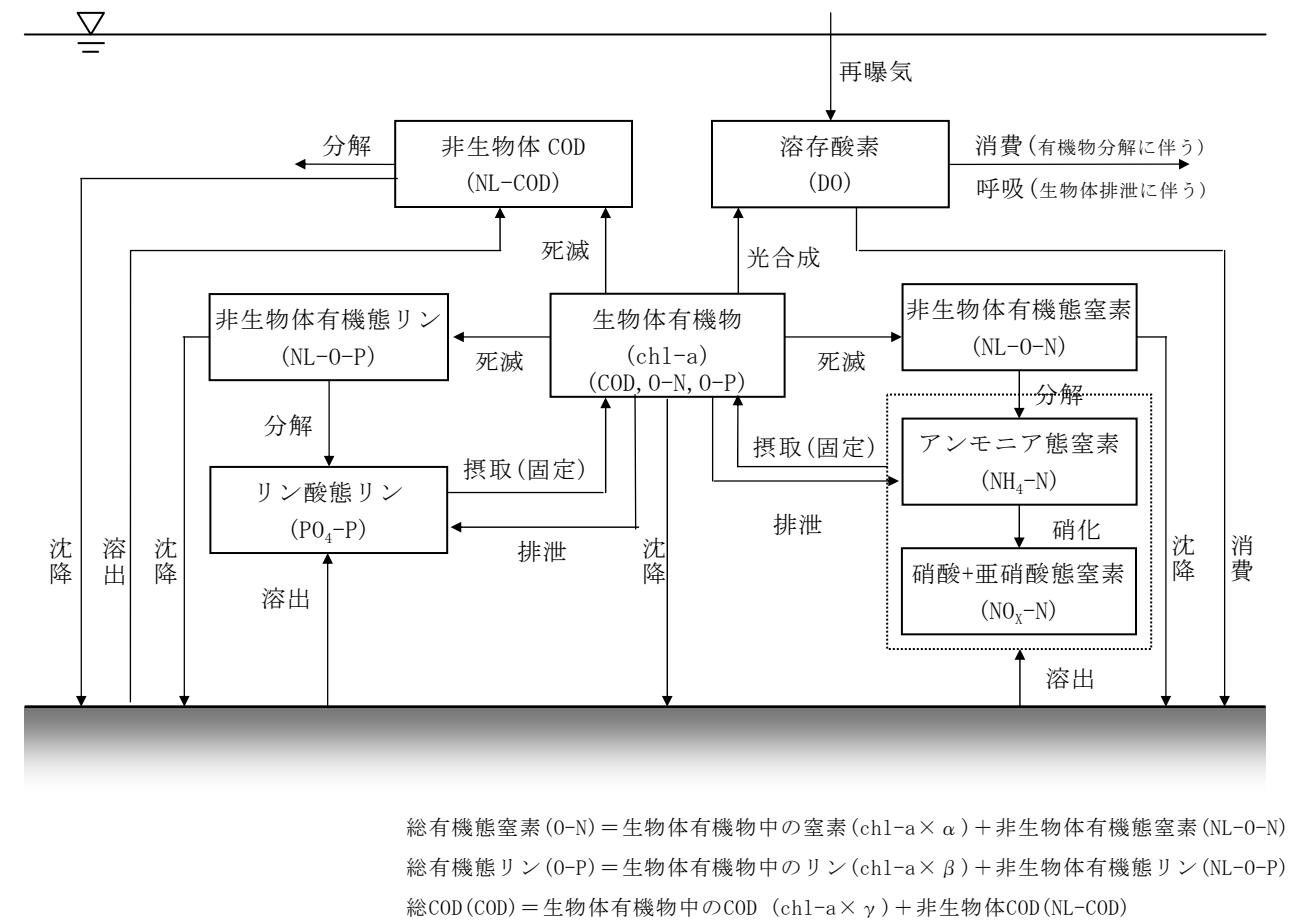


図 1.6 内部生産に係わる物質収支概念図

※P.2の図 1.3 に示した内部生産に係わる物質収支の詳細

(5) 水域分割

- ・ 水平方向の水域分割は、中海・宍道湖及び大橋川を一連の数値シミュレーションモデルにより予測するとともに、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。
- ・ 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 1.2 水域分割における着目点と水域分割方法

水域	着目点	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・地形変化の表現	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。

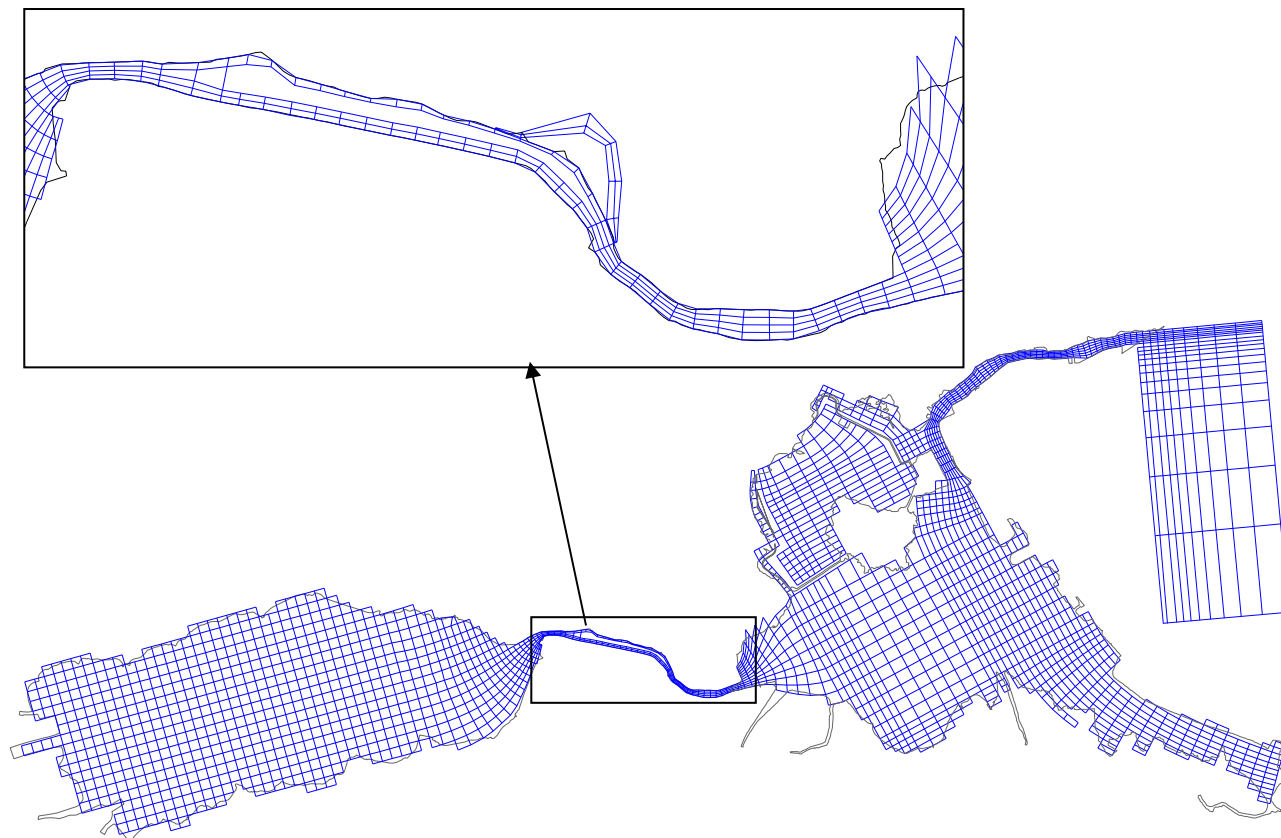
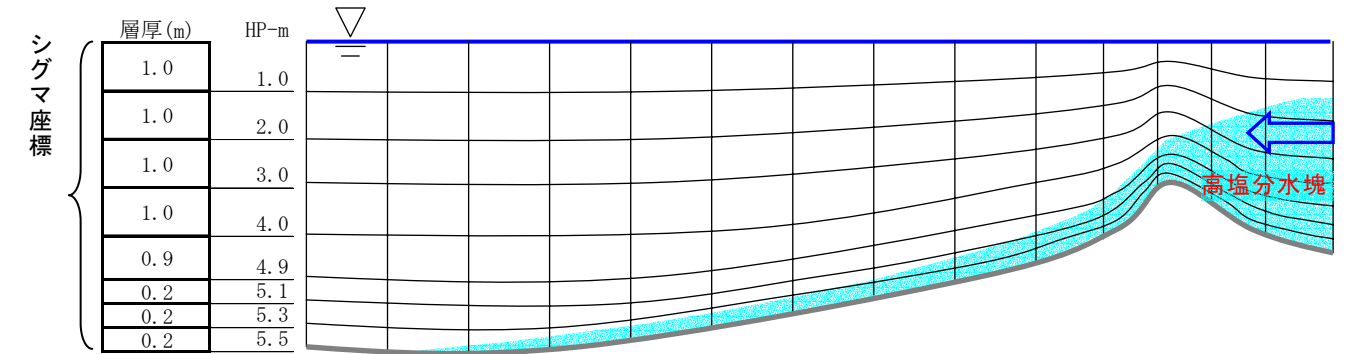


図 1.7 水平方向の水域分割（直交曲線座標系）

【宍道湖】



【大橋川・中海】

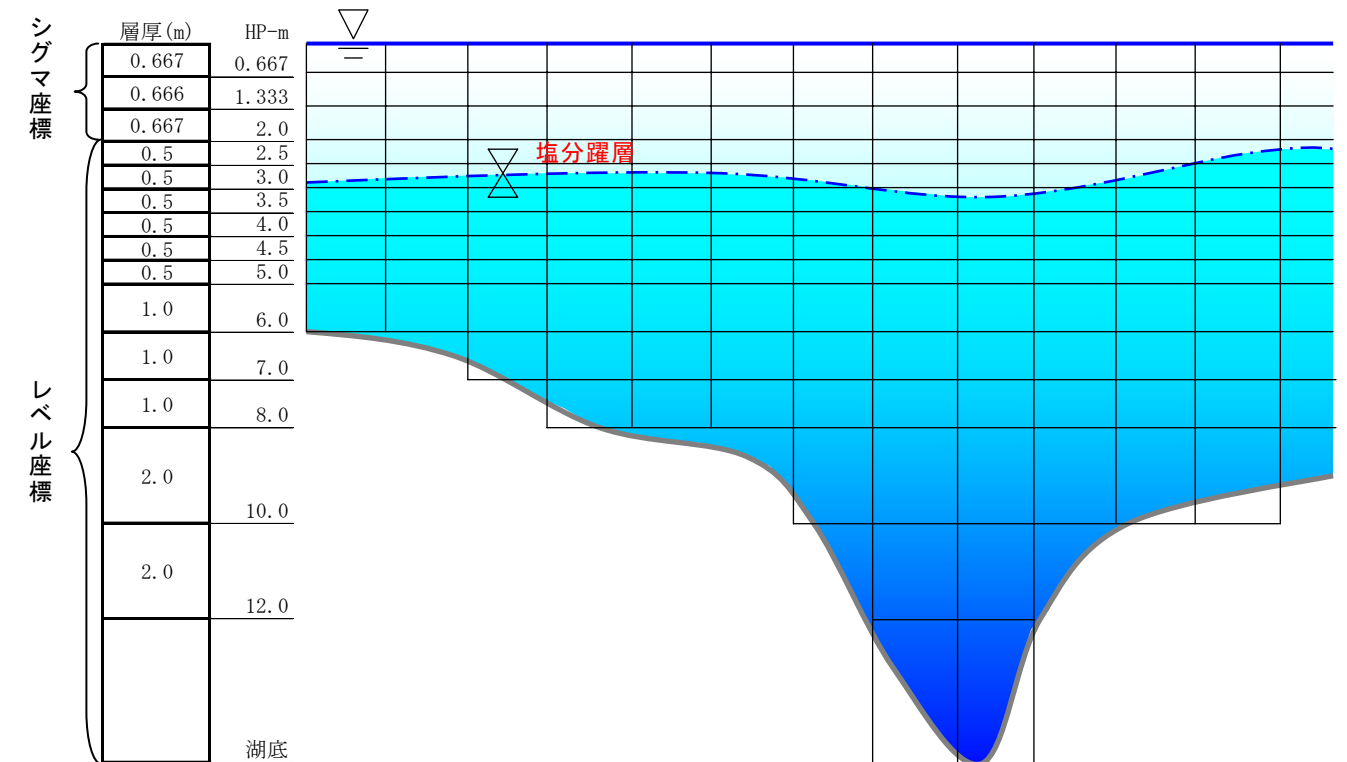


図 1.8 鉛直方向の水域分割

※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。

(6) 境界条件・気象条件

- ・ 数値シミュレーションモデルの境界条件は、日本海と接続する下流端、流域と接続する河川流入位置で設定する。
- ・ 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、水位、水温、塩分および水質を境界条件として設定する。
- ・ 流域と接続する河川流入位置は、中海・宍道湖流域を 45 流域に分割して設定し、各分割流域において流出量(流量)、水温および水質(負荷量)を境界条件として設定する。
- ・ 気象条件は、風向・風速、気温、日射量、湿度および雲量を設定する。

- ・ 水質予測モデルに入力する流域からの流出負荷量は、中海・宍道湖流域を 45 流域に分割して、各分割流域において設定する。
- ・ L-Q 式は、中海・宍道湖に流入する 63 河川において実施した、流入河川負荷量調査結果に基づき設定する。

中海・宍道湖では、両湖に流入する 25 流域(63 河川域)において流入河川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比流量～比負荷量関係式(L-Q 式)を作成し、これに基づき設定する。なお、流入河川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。

表 1.3 境界条件の設定方法

モデル	設定位置	項目	設定方法	設定時間間隔
流動予測モデル	下流端	水位	美保関水位観測所観測値を与える。	時間
		水温	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
		塩分	海水の塩分(33psu)を与える。	一定
	河川流入位置	流量	斐伊川新伊萱地点流量観測値および布部・山佐ダム流量観測値を基本に、水利用(人為的な水収支)を考慮して設定する。	時間
		水温	松江気象観測所の気温と河川水温の関係式を作成し、同関係式に松江気温観測値を代入して与える。	日
		塩分	淡水流入(ゼロ)とする。	—
	気象	風向・風速	中海・宍道湖の湖心観測所における観測値を両湖の湖面全体に一樣に与える。	時間
気温, 日射量, 湿度, 雲量		松江気象台における観測値を与える。	日	
水質予測モデル	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 μg/L)。	一定
		DO	飽和濃度を与える。	日
	気象	日射量	松江気象台における観測値を与える。	日

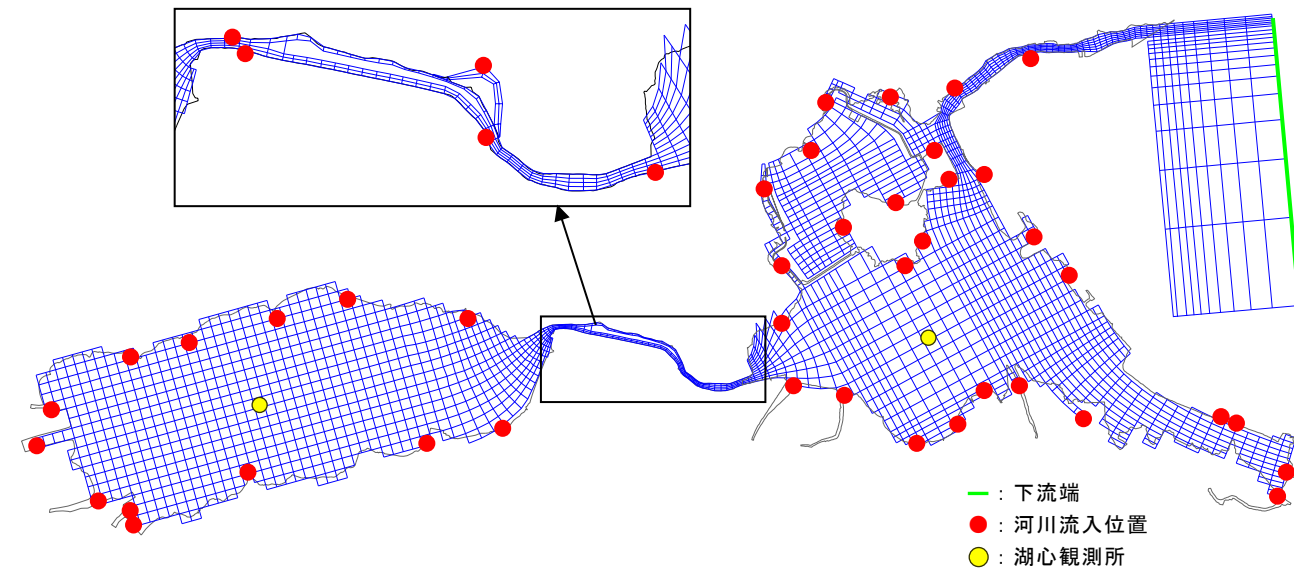
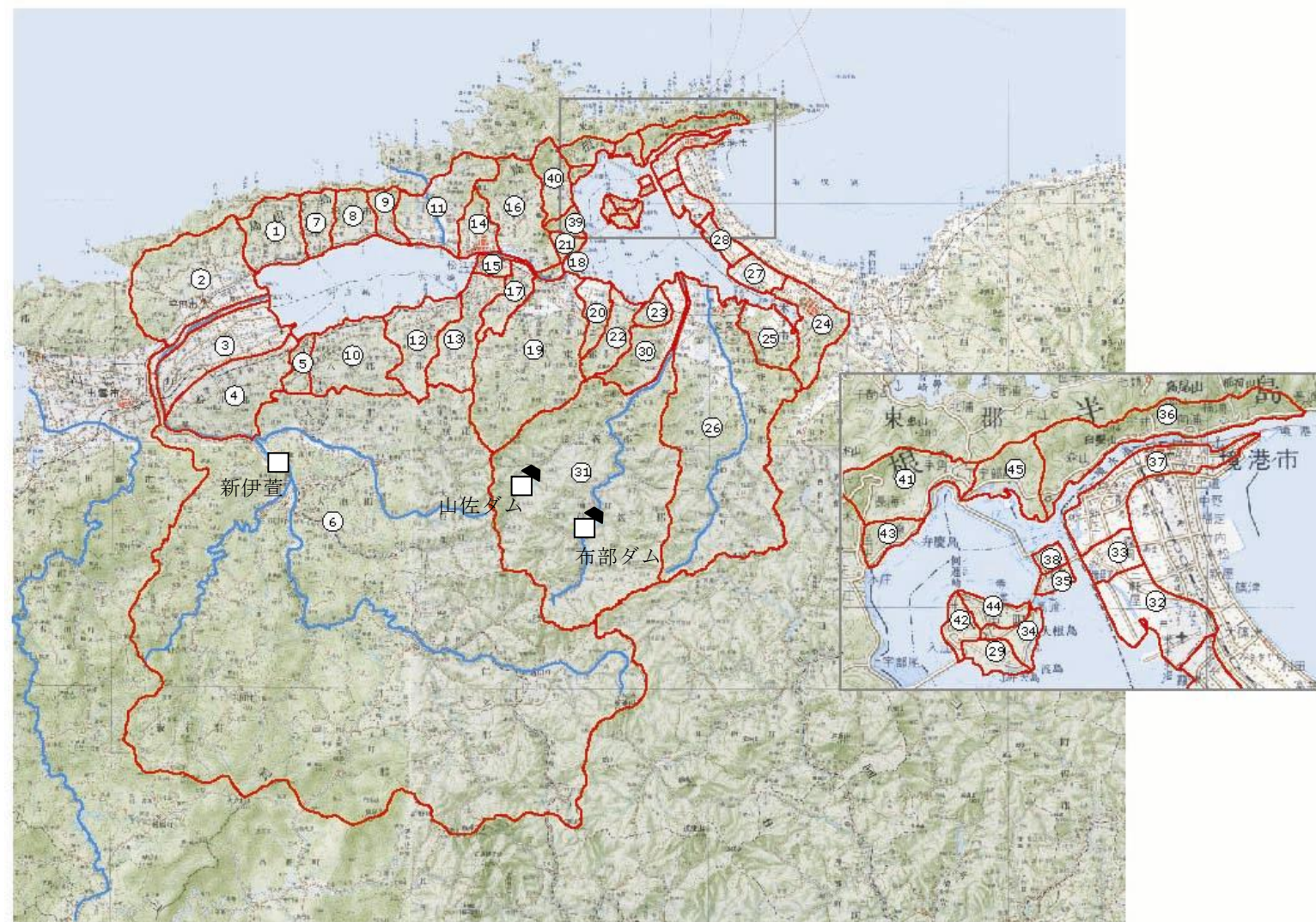


図 1.9 境界条件設定位置

表 1.4 各河川の L-Q 式と 45 分割流域への適用

	No.	流域名	面積(km <sup>2</sup> )	L-Q準用ブロック	L-Q番号
宍道湖	1	伊野川	24.16		1
	2	船川	62.41		2
	3	五右衛門川	38.97		3
	4	新建川	33.73		4
	5	佐々布川	12.85		5
	6	斐伊川	911.93		6
	7	大野川	9.65		7
	8	秋鹿川	12.21		8
	9	東長江川	6.97		9
	10	来待川	28.08		10
	11	佐陀川	32.15		11
	12	玉湯川	24.13		12
	13	忌部川	24.39		13
	14	松江市橋北地区	11.91	15	14
	15	松江市橋南地区	3.90		14
	16	朝酌川	34.19		15
	17	馬橋川	12.82		16
	18	大橋川下	3.93	24	22
中海	19	意宇川・揖屋干拓	74.73		17
	20	揖屋地区	7.17		18
	21	大井・大海崎地区	4.57		19
	22	意東川・羽入川	15.20		20
	23	日白川・久白川	5.15		21
	24	加茂川・旧加茂川	25.58		22
	25	島田・安来干拓地	13.23	21	19
	26	伯太川・吉田川	156.06		23
	27	彦名地区	7.91	13	13
	28	葭津周辺	5.63	13	13
	29	波入地区	1.35	13	13
	30	田頼川	11.73		24
	31	飯梨川	210.40		25
	32	中浜港周辺	4.98	24	22
	33	渡周辺	1.43	24	22
	34	馬渡・遅江地区	1.26	6	6
	35	江島地区	0.71	20	18
	36	森山地区	8.55	4	4
	37	境港市街	11.00	24	22
	38	江島工業団地	0.54	30	24
	39	上宇部尾地区	2.93	30	24
	40	本庄川	11.59	11	11
	41	長海川	6.20	30	24
	42	入江地区	1.23	24	22
	43	野原地区	1.5	11	11
	44	二子・寺津・亀尻地区	1.35	26	23
	45	下宇部尾地区	3.2	30	24
		宍道湖	1,288.38		
		中海	595.18		
		合計	1,883.56		



※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。

図 1.10 流域分割



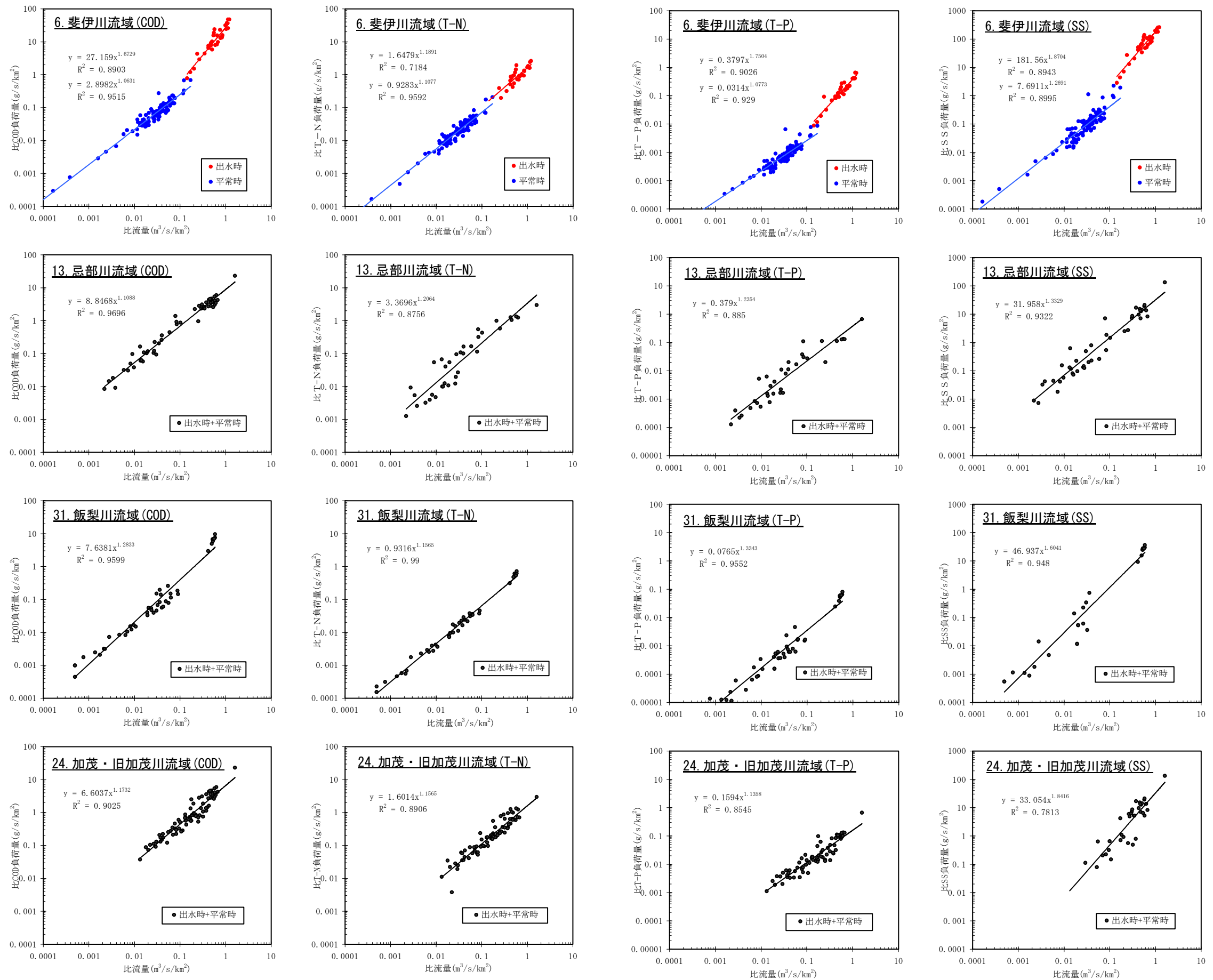


図 1.11 流入河川における比負荷量～比流量関係(設定例)

■ 流入河川負荷量調査

中海・宍道湖では、流域からの流出負荷量の把握を目的として流入河川における負荷量調査を実施している。調査の諸元は以下のとおりである。

調査項目：流量，COD，D-COD，TN，D-TN，NH<sub>4</sub>-N，NO<sub>3</sub>-N，NO<sub>2</sub>-N，TP，D-TP，PO<sub>4</sub>-P，濁度  
 調査時期：晴天時調査（3回/年程度）、雨天時調査（洪水時に数回）  
 調査地点：流入河川河口部

表 1.5 斐伊川水系（中海・宍道湖流入河川）の調査地点

水域	晴天時調査			雨天時調査		
	河川数	調査期間	面積カバー率	河川数	調査期間	面積カバー率
宍道湖流入河川	34	H6～	95%	3	H5～	82%
大橋川流入河川	8	H8～	80%	0		0%
中海流入河川	21	H5～	89%	5	H5～	72%
境水道・本庄工区流入河川	0		0%	0		0%
合計	63		90%	8		73%

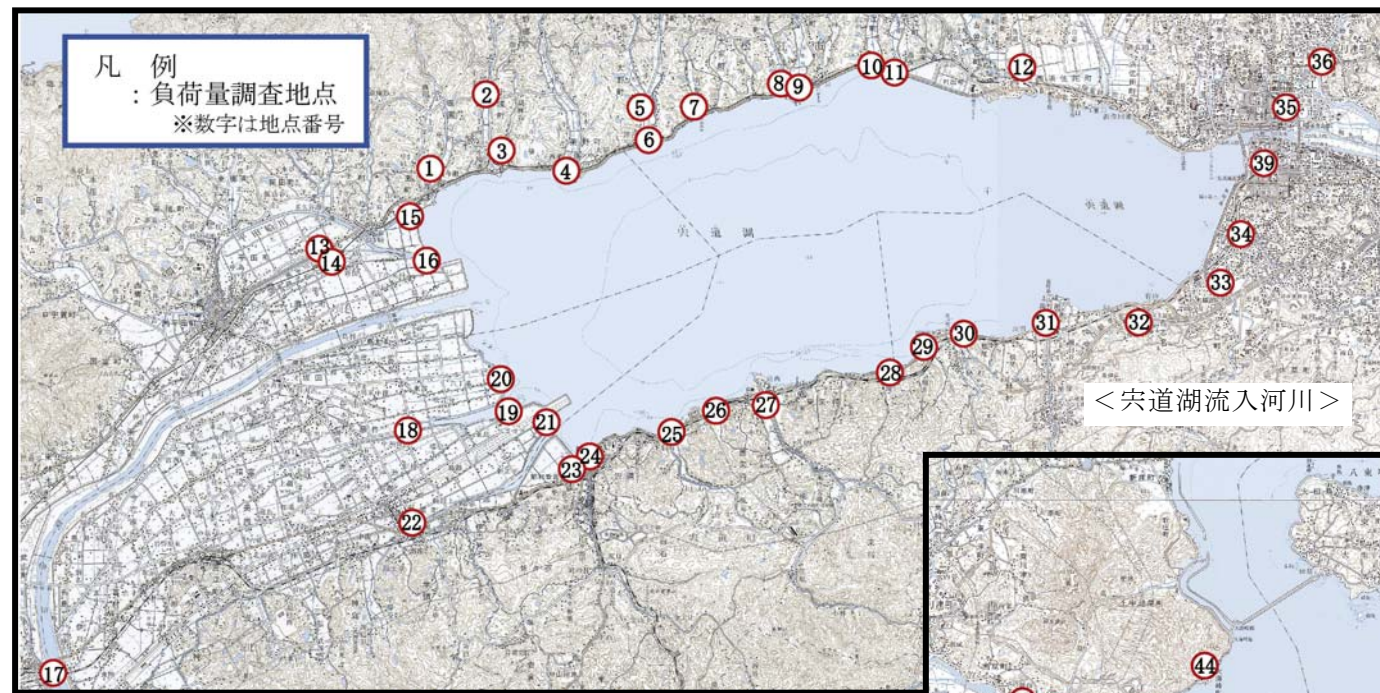


図 1.12 負荷量調査実施地点

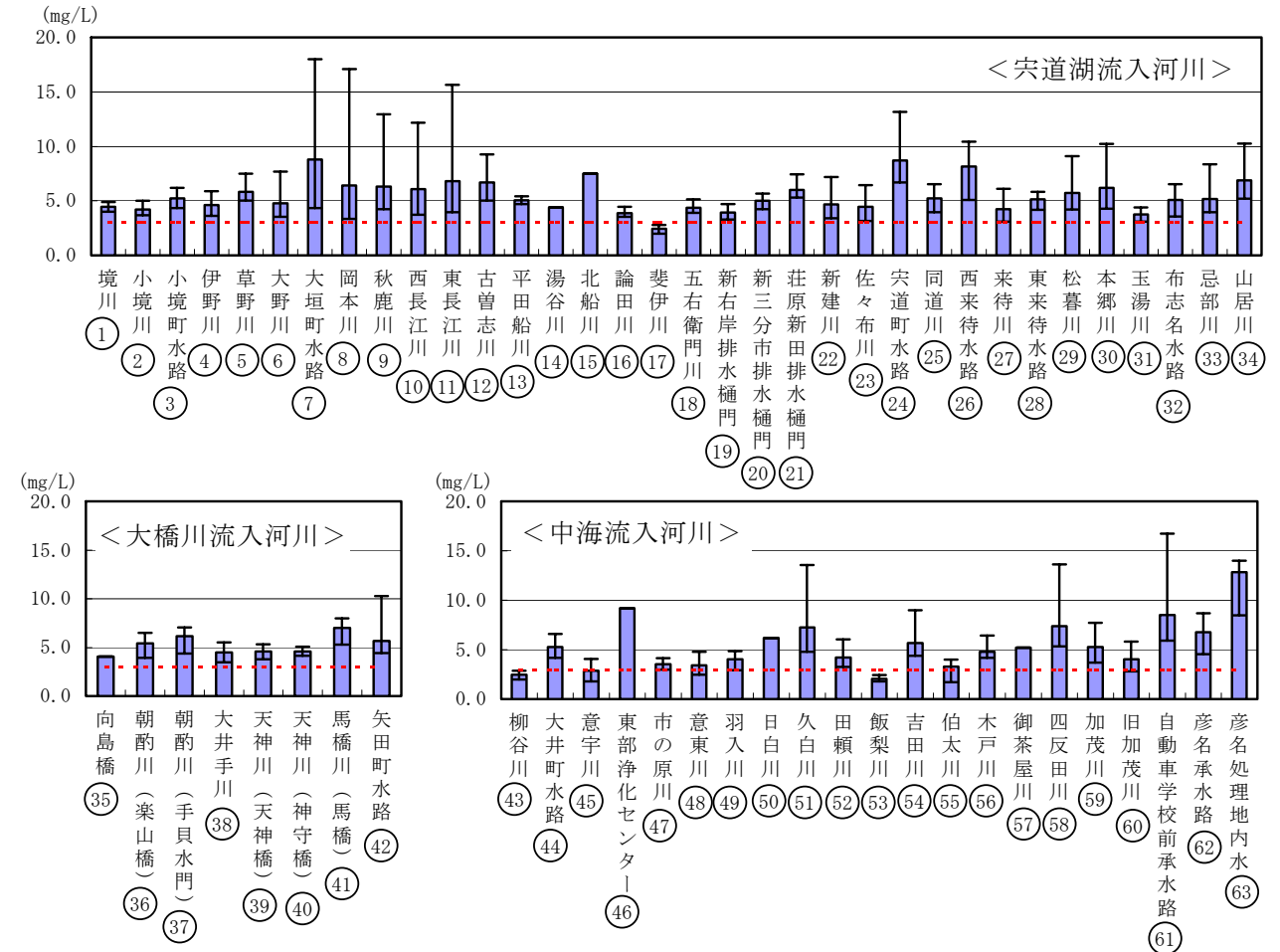
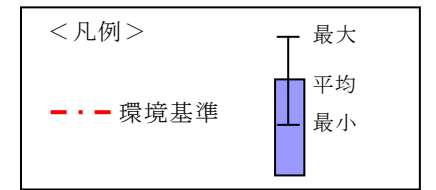
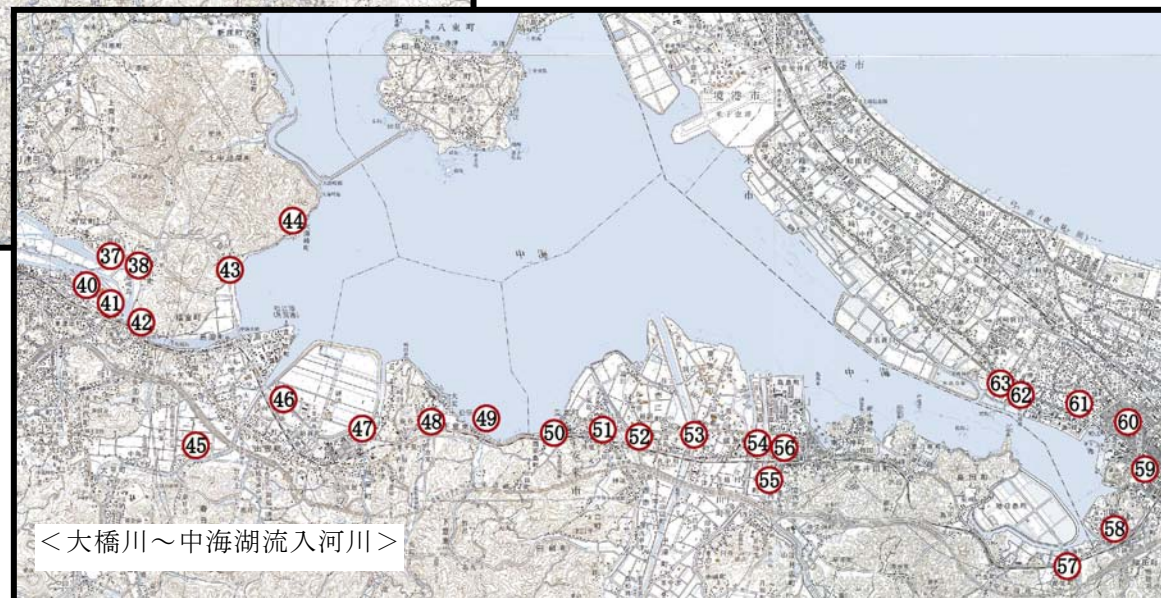
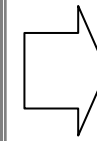


図 1.13 流入水質の調査結果 (COD : H9～H15 平均)

(7) 計算対象期間

- ・ 中海・宍道湖においては、出水や高潮、強風など短期的な外力の影響により流動や水質が大きく変動する。
- ・ 中海・宍道湖の平均的な水環境の変化を評価するためには、季節的な変化を捉えることが出来る年間の予測結果が必要である。



- ・ 水環境の計算期間は、渇水時、高潮時および出水時の短期的現象(10日間～3ヶ月間)を対象とした期間と季節変動などの長期的現象(年間)を対象とした期間を設定する。

表 1.6 短期的・長期的現象の着目点

対象項目	短期的現象	長期的現象
塩分	短期的外力変化で、大きな変動を示す。	各項目共に季節的な変動が大きい。 改修による中海・宍道湖における季節的な変動への影響に着目
水温	改修による変化量と最大最小値に着目	
富栄養化	短期的外力変化で、大きな変動は見られないため、着目しない。	
溶存酸素	塩分成層状況の変化に伴い大きく変化する。塩分と同様に、改修による変化量と最大最小値に着目	
水の濁り	短期的外力変化(出水)で、大きな変動を示すが、長期的な影響が問題となるため、長期的現象で扱う。	

※網掛け：考慮せず

■短期的現象の計算対象期間

宍道湖及び中海それぞれへの影響が卓越する現象として、渇水時、高潮時及び出水時を想定し、それぞれについて以下の期間を選定する。

表 1.7 短期的現象の計算対象期間と選定理由

期間	現象	選定理由	予測対象
H6. 7～9月 (3ヶ月)	渇水時	5月以降渇水が顕著な年であり、宍道湖の塩分がH6～H15で最大となる。大津流量観測開始(S32)以降、平水流量が4番目に小さく、近年30年間で最小となる。	塩分、溶存酸素 (特に宍道湖における塩分成層に着目)
H14. 8～9月 (10日間)	高潮時 (無降雨)	高潮による大規模な塩水遡上があり、宍道湖の塩分が上昇する。大橋川での流動自動観測開始(H6)以降、一潮汐の遡上量が最大を記録。	
H9. 7月 (1ヶ月)	出水時	大規模な洪水により中海の塩分が低下する。当該月の斐伊川流量はH6～H15で最大となる。	塩分 (特に中海における塩分の変化に着目)

■長期的現象の計算対象期間

流量の多い年や少ない年など様々な状況を想定し、計算対象期間は平成6年～平成15年とする。

表 1.8 計算対象期間の年度別の諸元整理結果

年度	流況	潮位	出水		塩分	
	年平均流量 (大津)	高潮生起数 (境検潮所)	出水生起数	年最大流量 (大津)	宍道湖 高塩分	中海 低塩分
H6	25	5	0	319	10.8	12.8
H7	35	1	2	638	5.8	6.0
H8	32	1	1	1079	5.4	5.4
H9	59	6	7	1285	4.1	4.6
H10	42	3	3	1688	5.7	7.2
H11	50	6	2	1204	5.8	4.5
H12	31	3	2	865	10.1	12.9
H13	48	2	0	254	5.4	9.0
H14	39	5	0	219	8.6	4.1
H15	43	9	1	678	4.6	2.0
平均	40	4.1	1.8	823	6.6	6.9

年平均流量：斐伊川大津地点における4月～翌3月までの平均値(m<sup>3</sup>/s)

高潮生起数：境検潮所の潮位がH.P+0.7m(中海の指定水位)を超える回数

出水生起数：斐伊川大津地点の流量が408m<sup>3</sup>/sを超える回数(斐伊川放水路分流開始400m<sup>3</sup>/s(分流地点)を基準とした)

年最大流量：斐伊川大津地点における4月～翌3月までの最大値(m<sup>3</sup>/s)

塩分：(宍道湖)湖心下層の4月～翌3月の最大値(psu)、(中海)湖心上層の4月～翌3月の最小値(psu)(採水・分析調査)

## 2. 流動予測モデルの検証計算

### (1) 検証計算の着眼点

・ 大橋川改修により物質交換量が増加することによる、宍道湖・大橋川・中海における以下の変化に着目して再現性を確認する。この再現性の確認は、両湖の流動に大きなインパクトを与える高潮時・出水時並びに平常時について行う。

- ① 両湖の水収支について時間単位の変動特性
- ② 大橋川上流部（宍道湖への入り口付近）の潮汐による物質交換量の変化。（特に宍道湖への塩分の進入量に着目）
- ③ 宍道湖上層における塩分の日変動
- ④ 宍道湖塩分成層の動態
- ⑤ 潮汐による大橋川内の塩分変化
- ⑥ 中海上層および底層における塩分の日変動及び塩分成層の形成状況

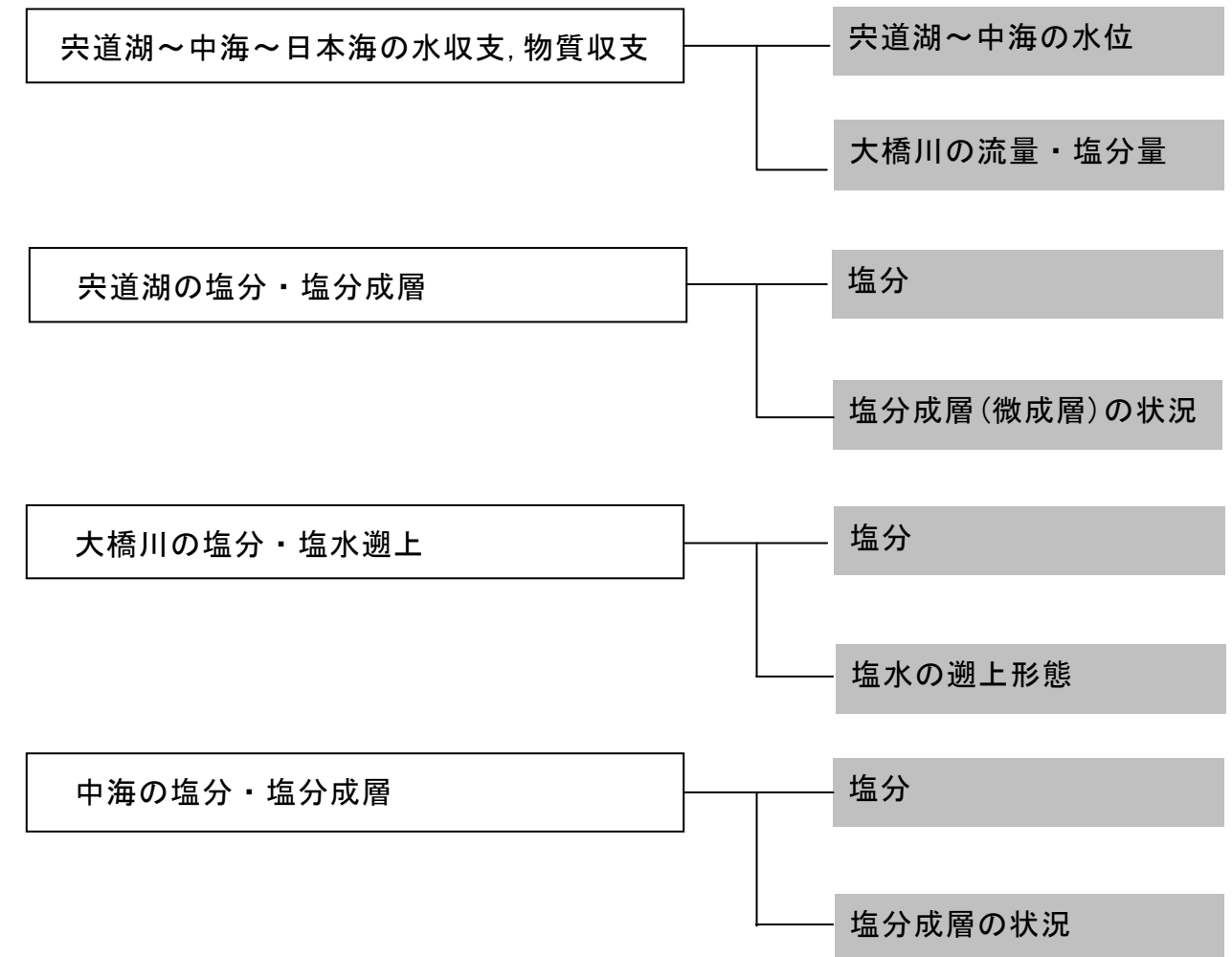


図 2.1 検証計算の着眼点

■ 検証データ

① 連続観測データ

中海・宍道湖では、大橋川の上流と下流及び境水道に H-ADCP による流動観測所を設置し連続観測を実施している。さらに、宍道湖、中海及び米子湾では、水質自動監視装置による連続観測を実施している。連続観測の実施状況を下表に示す。

表 2.1 水質自動監視装置による連続観測実施状況

	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17
宍道湖湖心	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
松江流量局	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
大橋川流動(上流)										○	○	○
大橋川流動(下流)										○	○	○
中海湖心	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
米子湾	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
境水道流動											○	○

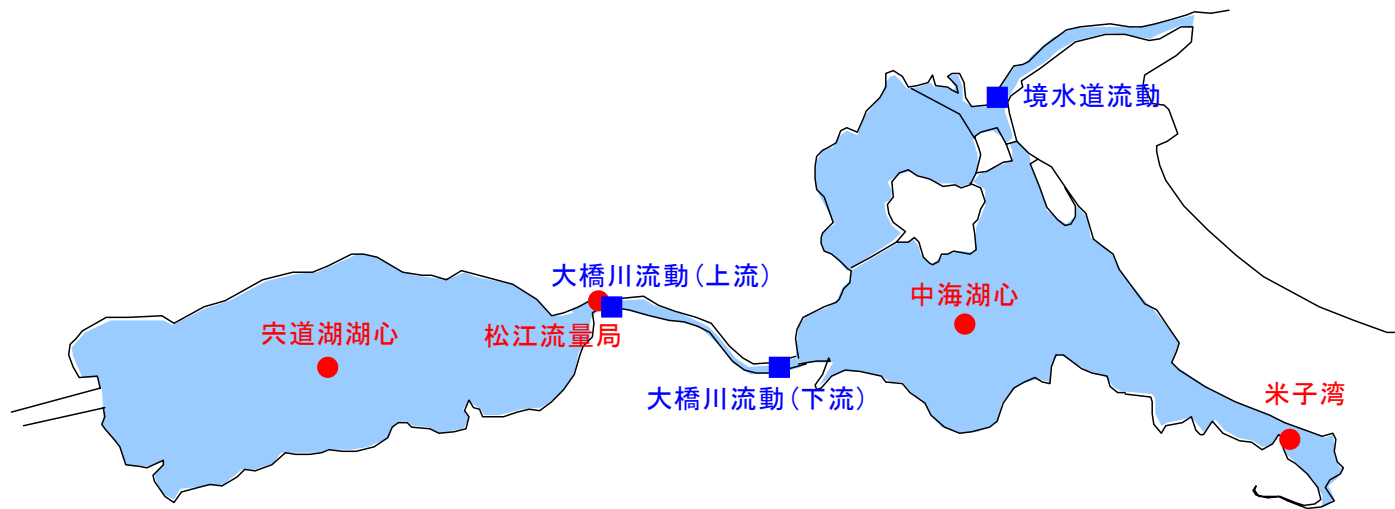


図 2.2 水質自動監視装置による連続観測地点位置図

② 詳細調査

宍道湖及び中海における詳細な流動・水質調査を平成 5 年以降、対象とする水域や項目を吟味しながら継続して実施しており、各年において 2 週間から 1 ヶ月程度の流動・水質観測データを計測している。

表 2.2 流動詳細調査の実施状況

水域	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17
宍道湖	○						○	○	○	○		
大橋川			○			○	○	○	○			
中海	○	○	○	○	○	○		○		○	○	○
境水道					○	○						

■ 検証計算の着目する事項及び期間

検証計算の際に着目する現象及び使用する検証データを表に示す。

表 2.3 検証対象データ

検証の着眼点	項目	年	期間	特徴	検証データ	
					種類	単位
宍道湖～中海～日本海の水収支・物質収支の再現	水位	H12	10/16～25	平常時、日～週スケールの水位変動(中海)観測期間	宍道湖、大橋川、中海の水位	時系列
		H14	8/29～9/7	既往最大高潮生起時		
	流量・塩分量	H12	10/16～26	平常時	松江流量局の流量、塩分	時系列、期間集計
		H14	8/29～9/7	既往最大高潮生起時		
宍道湖の塩分、塩分成層	塩分	H6	4/1～H7.3/31	渇水年	宍道湖湖心	時系列
		H15	4/1～H16.3/31	出水、高潮などを含む1年間		
	塩分成層	H14	8/29～9/7	既往最大高潮生起時	宍道湖内複数地点	時系列
大橋川の塩分、塩水遡上	塩分	H14	8/29～9/7	既往最大高潮生起時	松江流量局、大橋川詳細調査	時系列、頻度分布
中海の塩分、塩分成層	塩分	H15	4/1～H16.3/31	出水、高潮などを含む1年間	中海湖心	時系列、頻度分布
	塩分成層					時系列、鉛直プロファイル

観測項目	宍道湖		大橋川		中海		境水道
	宍道湖湖心	松江流量局	大橋川流動（上流）	大橋川流動（下流）	中海湖心	米子湾	境水道流動
流速（流量）		○	○（H-ADCP）	○（H-ADCP）			○（H-ADCP）
水温	○	○	○	○	○	○	○
PH	○				○	○	○
塩分濃度	○	○	○	○	○	○	○
溶存酸素	○		○	○	○	○	○
濁度	○				○	○	
クロロフィルa	○				○	○	
全窒素					○（上・中層）		
全リン					○（上・中層）	○（上・下層）	

凡例	宍道湖	松江流量局	大橋川（上流）	大橋川（下流）	中海湖心	米子湾	境水道
● 観測深固定	● HP. 0.4m	● HP. 0.4m	● HP. 0.4m	● HP. 0.3m	● HP. 0.3m	● HP. 0.3m	● HP. 0.4m
● 観測深移動	● HP. -0.2m	● HP. 0.1m	● 水面下1.4m	● 水面下1.4m	● 水面下0.5m	● 水面下0.5m	● 水面下1.0m
● 湖底	● HP. -0.7m	● HP. -0.9m	● 水面下1.9m	● 水面下1.9m	● 水面下1.0m	● 水面下1.0m	● 水面下2.0m
● 水位	● HP. -2.7m	● HP. -1.9m	● 水面下2.4m	● 水面下2.4m	● 水面下3.5m	● 水面下3.5m	● HP. -1.92m
	● HP. -4.66m	● HP. -2.9m	● 水面下2.9m	● 水面下2.9m	● 水面下5.5m	● 水面下5.5m	● HP. -2.92m
	● HP. -4.96m	● HP. -3.6m	● 水面下3.4m	● 水面下3.4m	● HP. -5.9m	● HP. -5.9m	● HP. -4.92m
	● (湖底上0.3m)	● HP. -3.0m	● 湖底上1.0m	● 湖底上1.0m	● (湖底上0.5m)	● (湖底上0.5m)	● HP. -5.92m
	HP. -5.26m		HP. -3.6m	HP. -3.9m	HP. -6.4m	HP. -6.4m	HP. -7.5m
			平均河床：HP. -3.0m	平均河床：HP. -3.0m			平均河床：HP. -8.5m

図 2.3 水質調査項目と調査深度

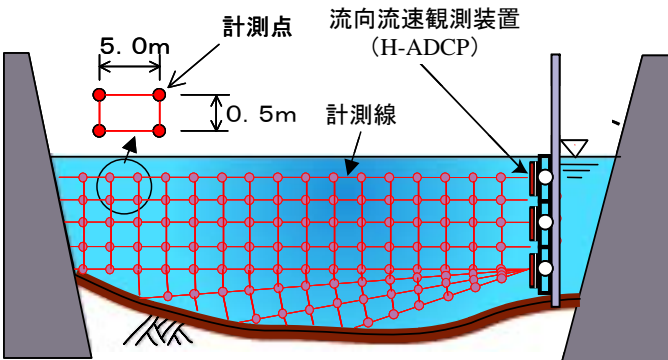
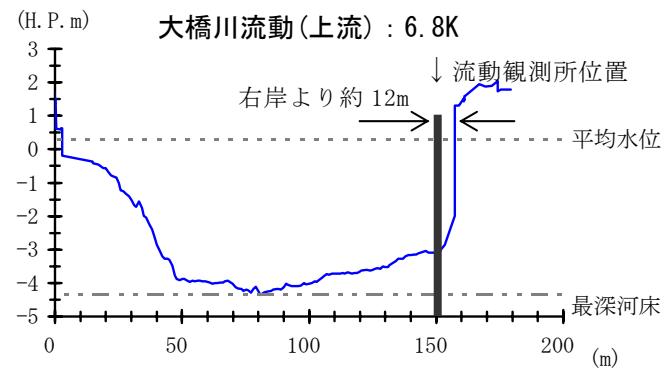


図 2.4 流動観測所の流速計測のしくみ

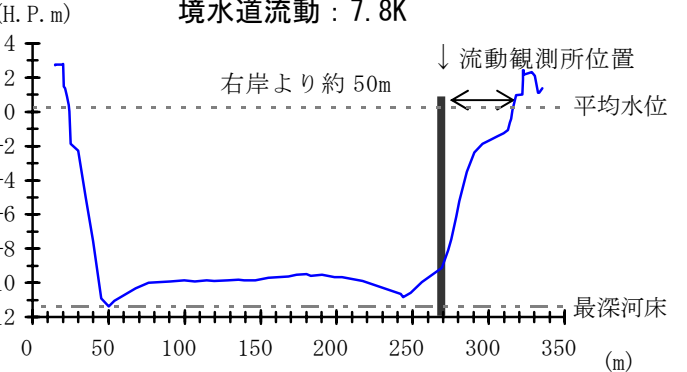
表 2.4 H-ADCP による流動観測所諸元

観測所名		大橋川流動（上流）	大橋川流動（下流）	境水道流動
観測所位置		大橋川河口より 6.8k 右岸より約 12m	大橋川河口より 0.8k 右岸より約 40m	境水道河口より 7.8k 右岸より約 50m
観測開始		平成 15 年 2 月	平成 15 年 2 月	平成 16 年 3 月
ドップラー式 流向流速計	観測項目	水位・流向・流速・流量		
	観測頻度	96 回／日（15 分間隔）		
	観測位置	鉛直方向 0.5m	1.0m	10.0m
水質計	観測項目	水温・塩分・溶存酸素		
	観測頻度	96 回／日（15 分間隔）		
	観測位置	水深方向 6 層		

【大橋川流動】



【境水道流動】



【大橋川流動（下流）】

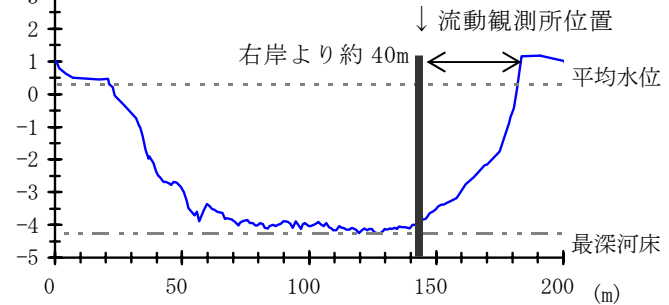


図 2.5 流動観測所の設置断面図

(2) 検証計算結果

1) 宍道湖・中海の水位(着目点：両湖の水収支について時間単位の変動特性)

水位の変動特性

- ・ 大橋川は、宍道湖及び中海の水交換を制限しており、両湖は異なる水位変動特性を示す。
- ・ 平常時は、中海における水位変動が宍道湖に約3時間遅れで到達している。また、中海の水位振幅は約30cmで、半日～日周期の水位変動を生じているが、宍道湖においては水位振幅が約5cmとなり日周期以上の水位変動が卓越する。
- ・ 高潮時は、中海における急激な水位上昇が宍道湖に約半日遅れて到達し、水位上昇量が中海は約60cmであるが、宍道湖では約40cmに減衰している。

検証計算結果

- ・ 平常時及び高潮時における時間単位の宍道湖及び中海の水位振幅や変動周期を再現している。

【平常時】

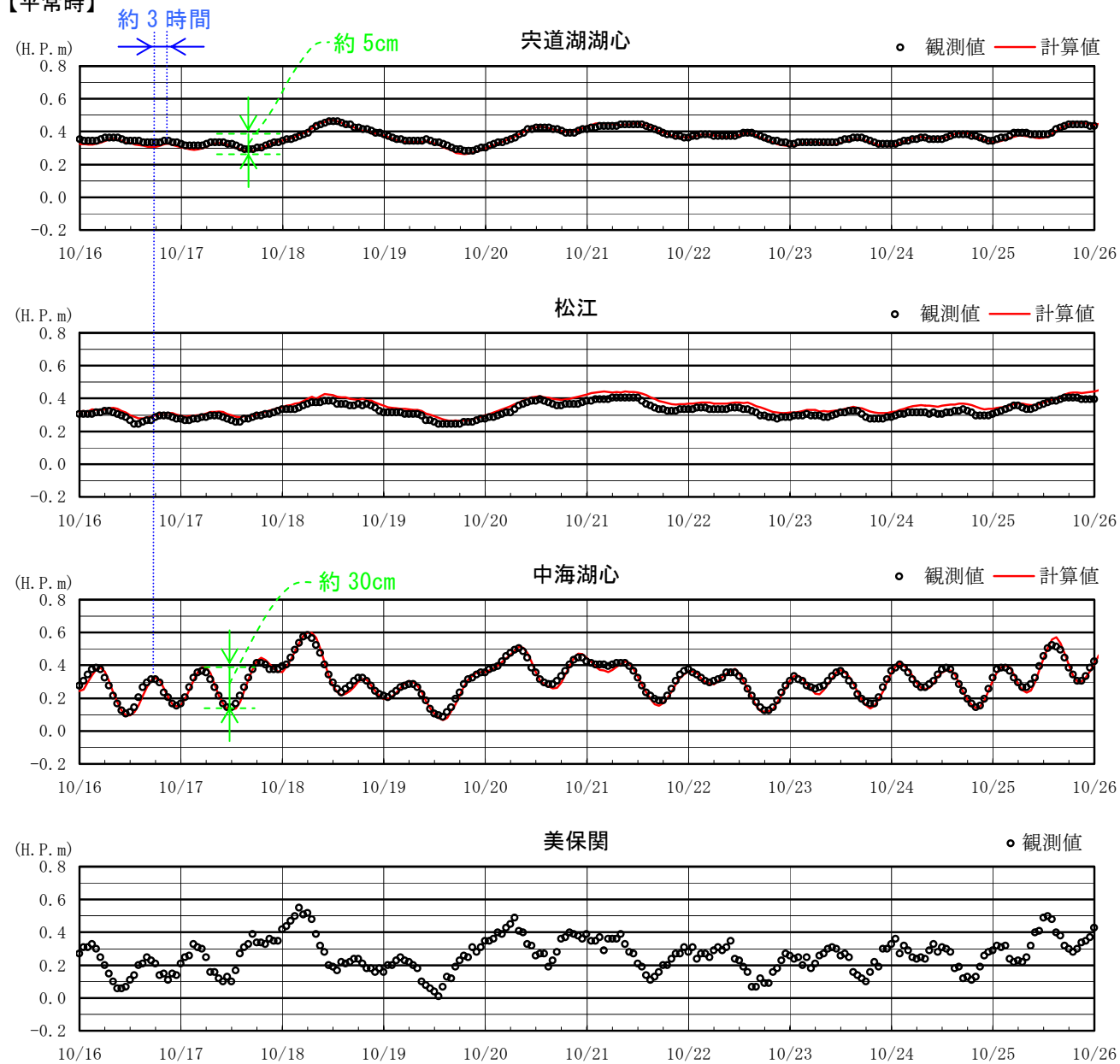


図 2.6(1) 宍道湖・大橋川・中海の水位の時間変動(H12. 10/16~25)

【高潮時】

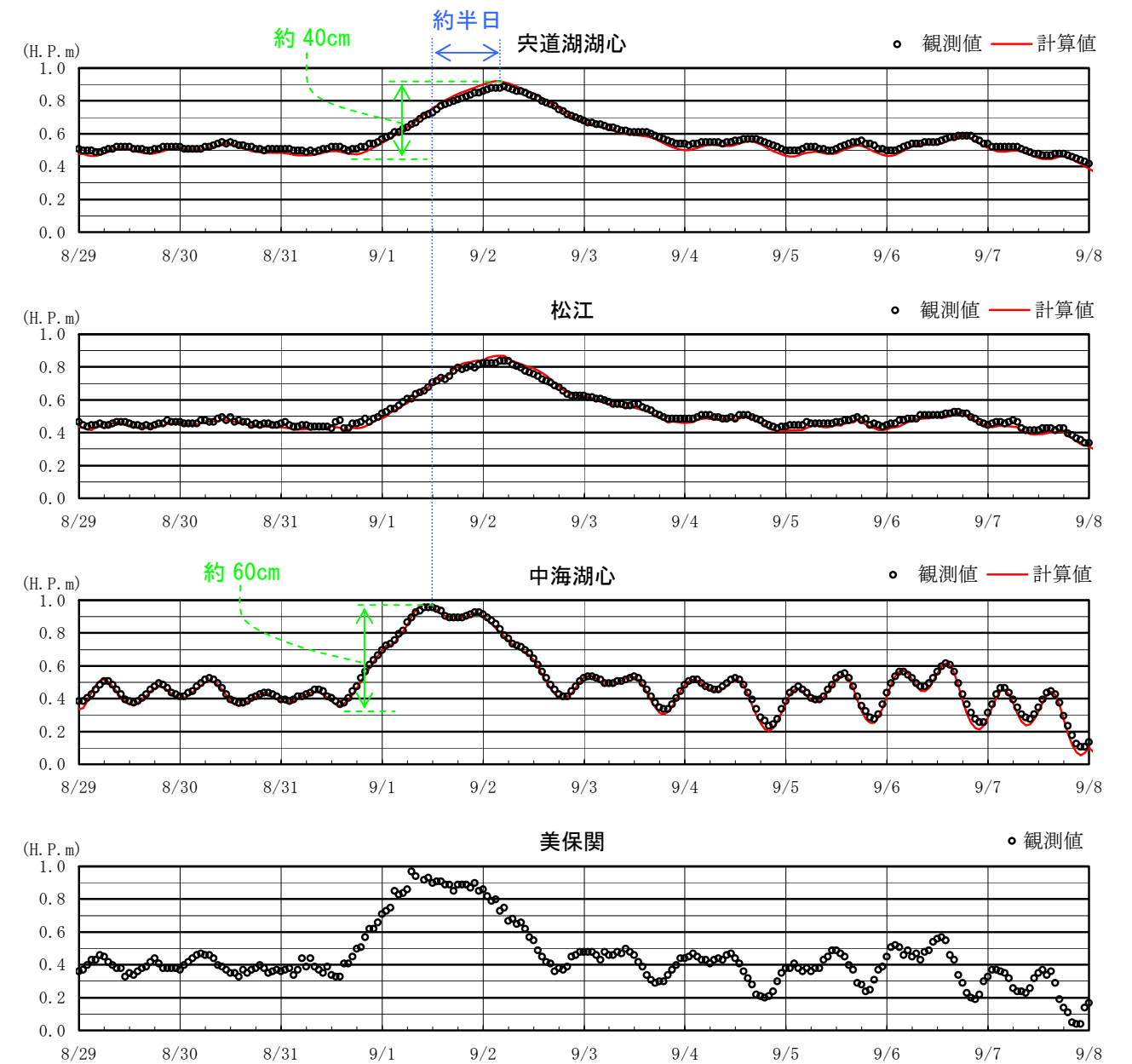


図 2.6(2) 宍道湖・大橋川・中海の水位の時間変動(H14. 8/29~9/7)

2) 大橋川の流量・塩分量

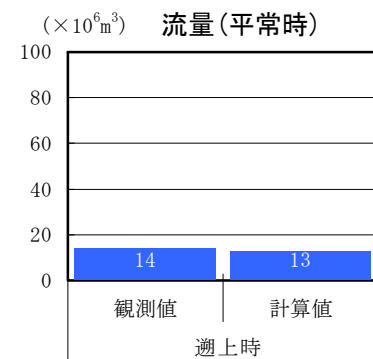
(着目点：大橋川上流(宍道湖への入り口付近)の潮汐による物質交換量の変化。(特に宍道湖への塩分の進入量に着目))

流量・塩分量の特性

- ・ 大橋川は、宍道湖及び中海の水交換および物質交換を制限し、両湖の水環境（汽水環境）の維持に影響している。
- ・ 平常時の流量は、順流時が平均  $96\text{m}^3/\text{s}$ 、遡上時が平均  $19\text{m}^3/\text{s}$  であり、順流と遡上を繰り返している。
- ・ 高潮時は、最大約  $400\text{m}^3/\text{s}$  の遡上流量を生じている。

平均的状況である H12. 10/16~10/25(10 日間)と既往最大規模の高潮が発生した H14. 8/29~9/6(9 日間)において、大橋川松江地点の流量及び塩分量の計算値と観測値を比較した結果は、図 2.7 及び図 2.8 に示すとおりである。

【平成 12 年（平常時）】



【平成 14 年（高潮時）】

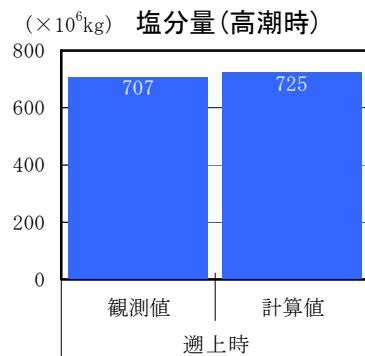
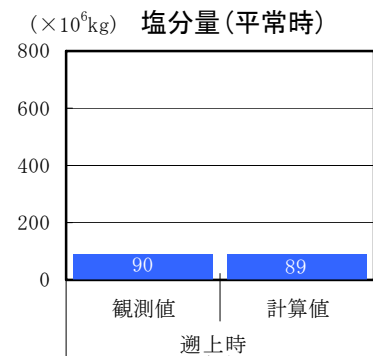
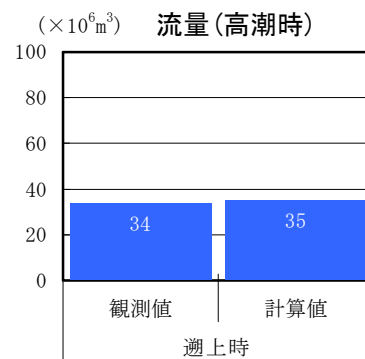


図 2.7 大橋川流量・塩分量の比較  
(図 2.8 の集計期間の遡上量の合計)

検証計算結果

- ・ 大橋川の順流・逆流を繰り返している状況を再現している。
- ・ 平常時 10 日間及び高潮時(1 潮汐間)の上潮時の流量および塩分量の計算値合計は、観測値に対する差が何れも相対的に小さく、宍道湖に進入する水量及び塩分量を再現している。

【平常時】

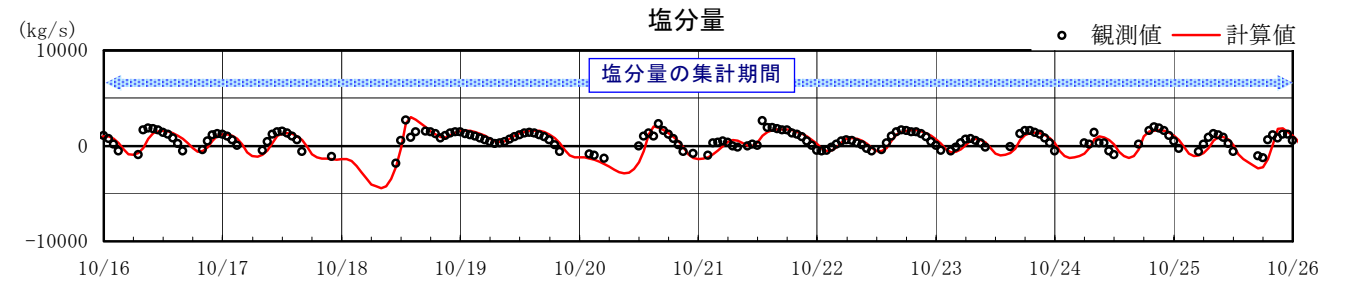
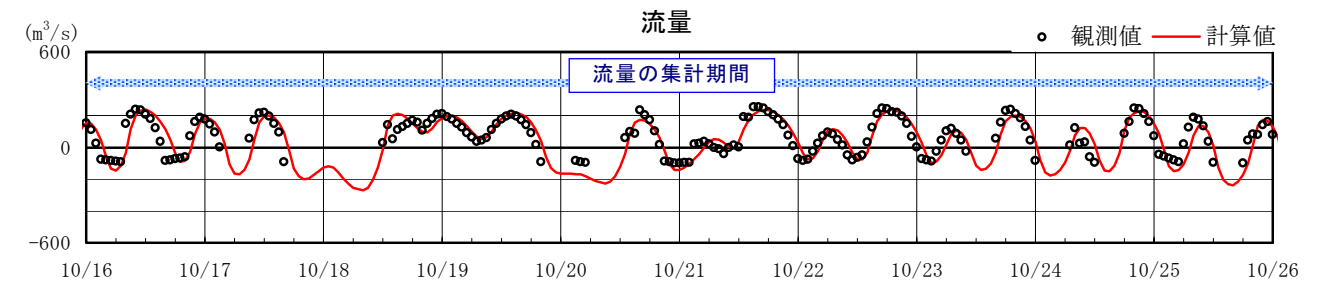


図 2.8(1) 大橋川松江地点における流量・塩分量の時間変動 (H12. 10/16~10/25)

【高潮時】

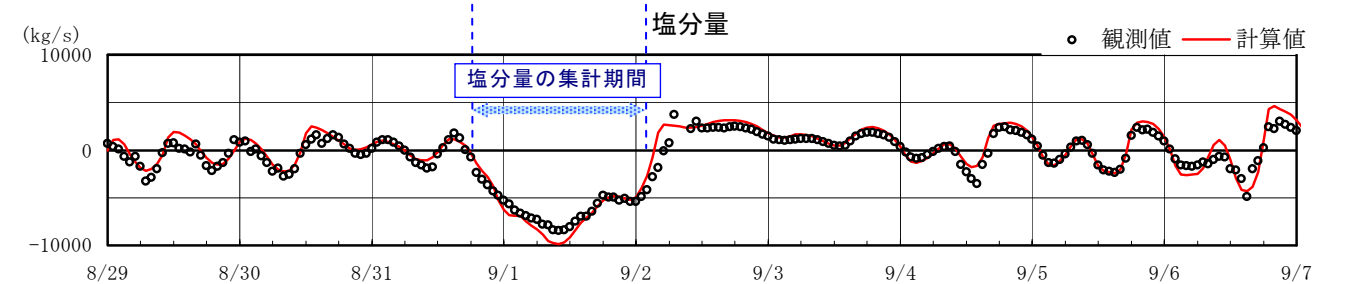
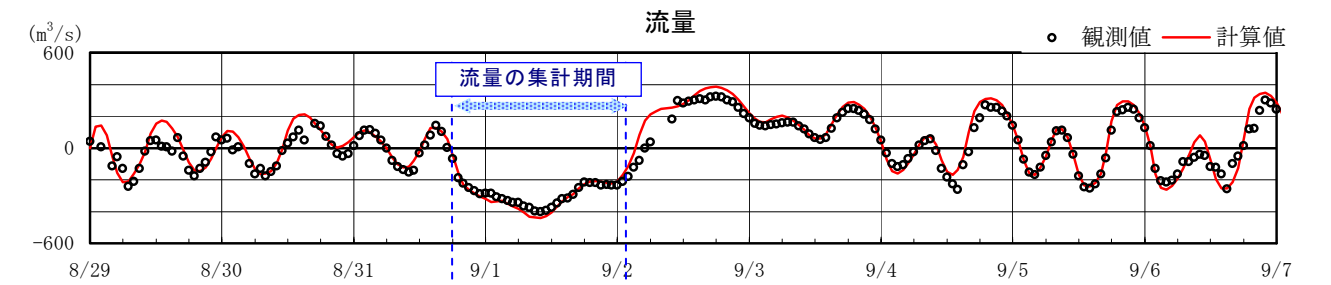


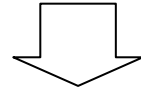
図 2.8(2) 大橋川松江地点における流量・塩分量の時間変動 (H14. 8/29~9/6)



3) 宍道湖の塩分(着目点：宍道湖上層における塩分の日変動)

塩分の変動特性

- ・ 平成6年～15年の定期観測結果によれば、宍道湖の湖水容量の約9割を占める上層と下層の塩分はほぼ同じで、淡水流出の影響を受けて変動している。
- ・ 年間を通して淡水流出の少ない平成6年は、1～11psuで変動し、淡水流出が平均的な平成15年は1～5psuで変動している。



検証計算結果

- ・ 出水による塩分低下や流量が少ない期間における塩分上昇など淡水流出量の変動に伴う塩分の日変動状況を再現している。

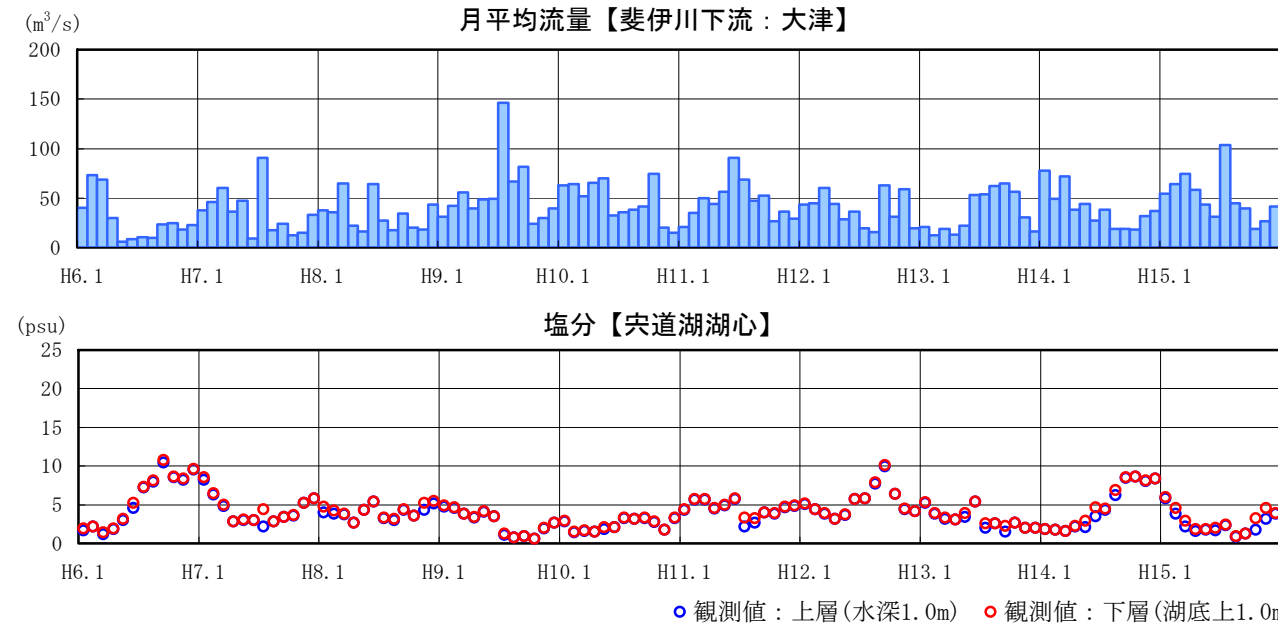


図 2.9 宍道湖湖心塩分の月変動 (H6～H15)

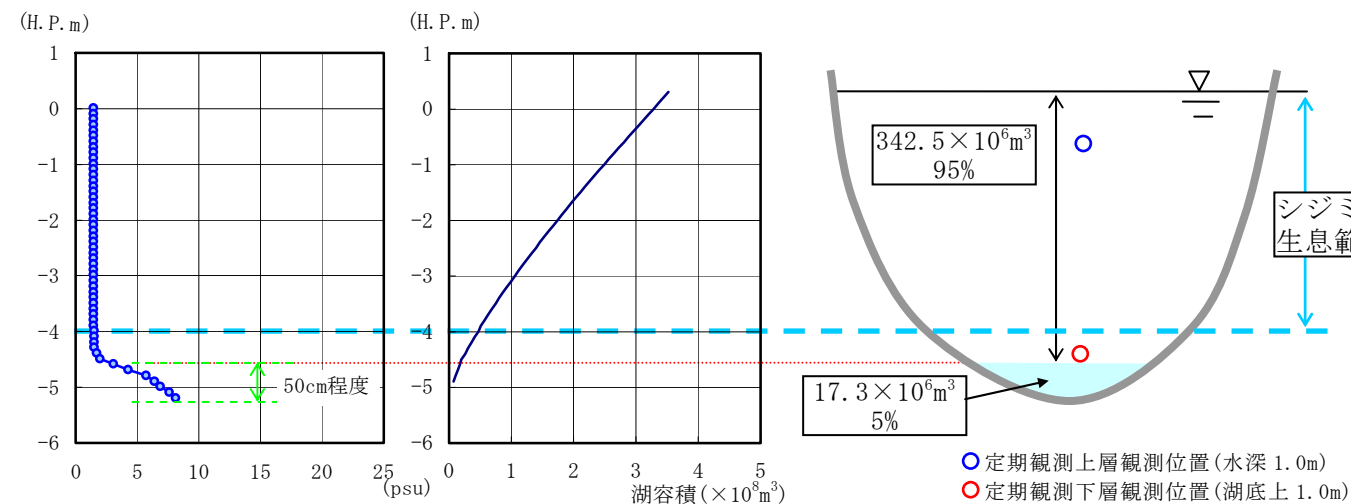


図 2.10 宍道湖湖心の塩分鉛直分布 (H15.9/19 13:00)

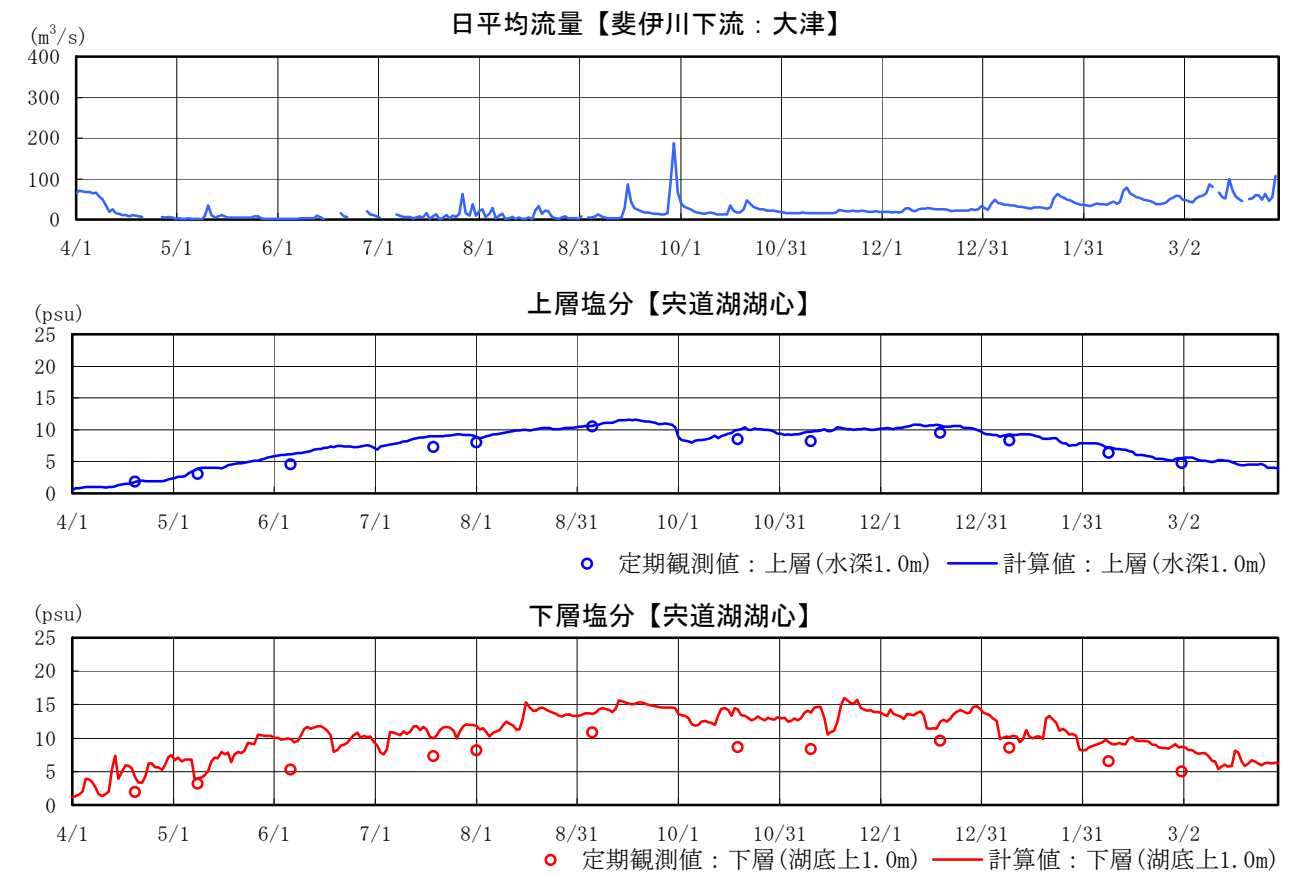


図 2.11(1) 宍道湖湖心塩分の日変動 (H6.4/1～H7.3/31)

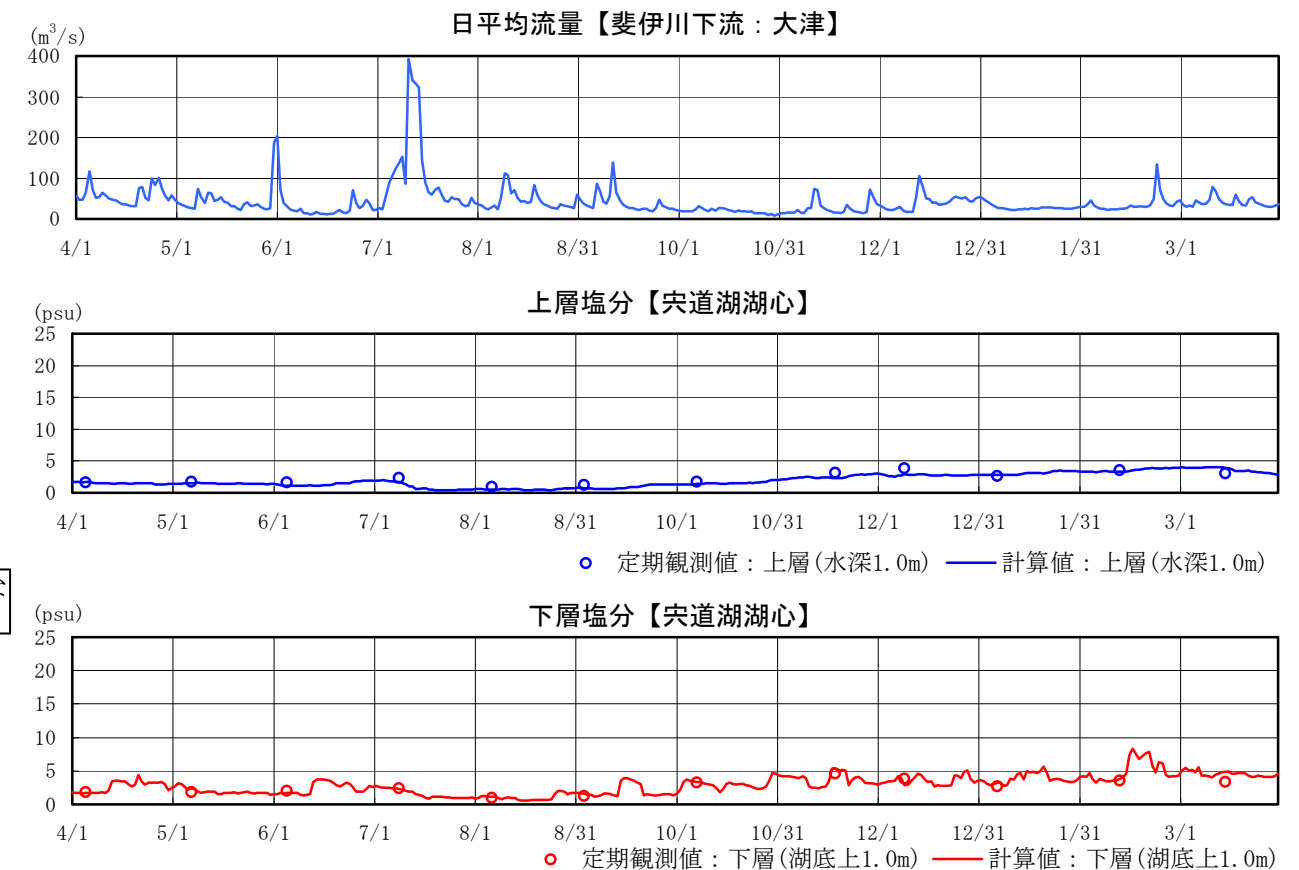
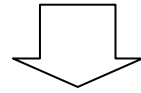


図 2.11(2) 宍道湖湖心塩分の日変動 (H15.4/1～H16.3/31)

4) 尖道湖の塩分成層 (着目点：尖道湖塩分成層の動態)

塩分成層の形成特性

- ・ 大橋川を最大 400m<sup>3</sup>/s で遡上した高塩分水が、尖道湖湖心付近まで到達している。
- ・ 大橋川を遡上した高塩分水は、湖底部を這うように進入し塩分成層を形成している。



検証計算結果

- ・ 大橋川から進入した高塩分水が、移動しながら水深の大きい尖道湖湖心付近に滞留している状況を再現している。

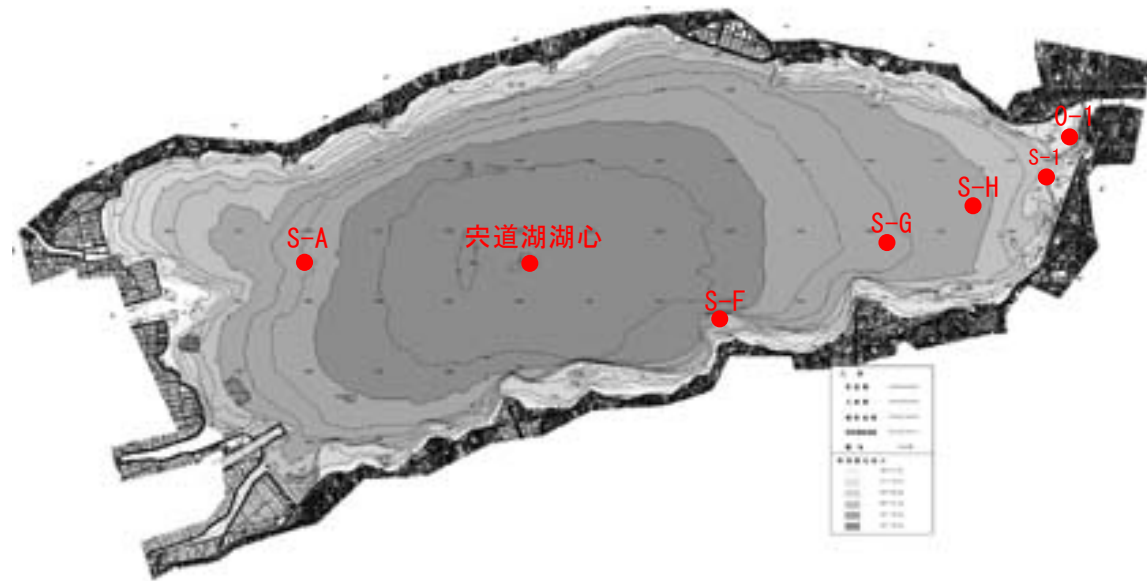


図 2.12 調査地点位置図(平成 14 年調査)

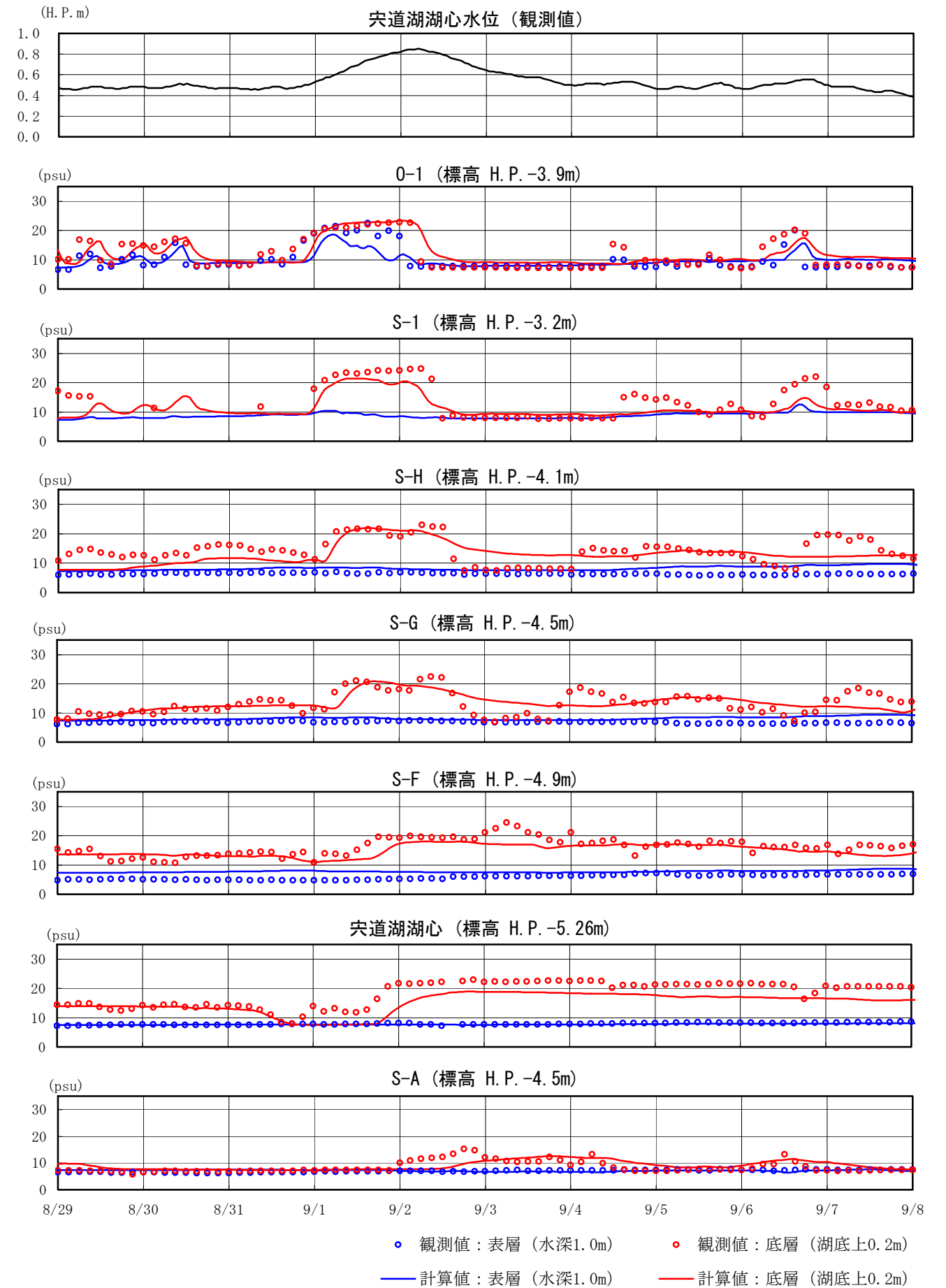


図 2.13 尖道湖への流入塩分の時間変動 (H14. 8/29~9/7)

5) 大橋川の塩分

a) 大橋川の塩水遡上パターンと塩水の混合状況

・ 大橋川の塩水遡上形態は、潮汐などの影響を受けて強混合から緩混合に変化しており、潮汐が半日周期から日周期になるとき塩水は遡上しやすくなる。

国土交通省では、平成 12 年及び平成 14 年に大橋川において流動詳細調査を実施している。

図 2.15 は平成 12 年の調査結果を示しており、大橋川下流(0-2)、中流(0-1)及び上流(松江)における表底層の塩分の時系列変化である。同図に基づき、遡上時の塩水の混合状況を整理すると以下のとおりである。

表 2.5 遡上時の塩水の混合状況

遡上パターン	番号	混合状況
上流まで塩水が到達しないパターン	①-1	下流：ほぼ強混合だが表底層に若干の濃度差
	①-3	中流：底層には高塩水が到達するが、表層は低塩水 上流：表底層とも低塩水
	①-2	下流：緩混合、表層は低塩分 中上流：表底層とも低塩水
上流まで塩水が到達するパターン	②-1	下流：ほぼ強混合だが表底層に若干の濃度差
	②-2	中流：緩混合で表層は低塩水だが遡上後半で若干濃度上昇 上流：底層は高塩水が到達
	②-3	下～上流：全体にわたり強混合

※①-1, -3 と②-1, -2 の相違点

①-1, -3 と②-1, -2 では、下流では同様に「ほぼ強混合で若干表底層に濃度差ができる程度」であるが、大橋川上流への高塩水の到達状況が異なっている。これは、①-1 が通常の半日周期の潮汐変化なのに対し、②-1, ②-2 では日周期になっているためと推測される。また、①-3 は日周期であるが、この期間(10/4～10/7)は長期的(週程度)な水位低下期間であり、潮汐による遡上より流下が卓越したため、高塩水は上流へ到達しなかったと推測される。

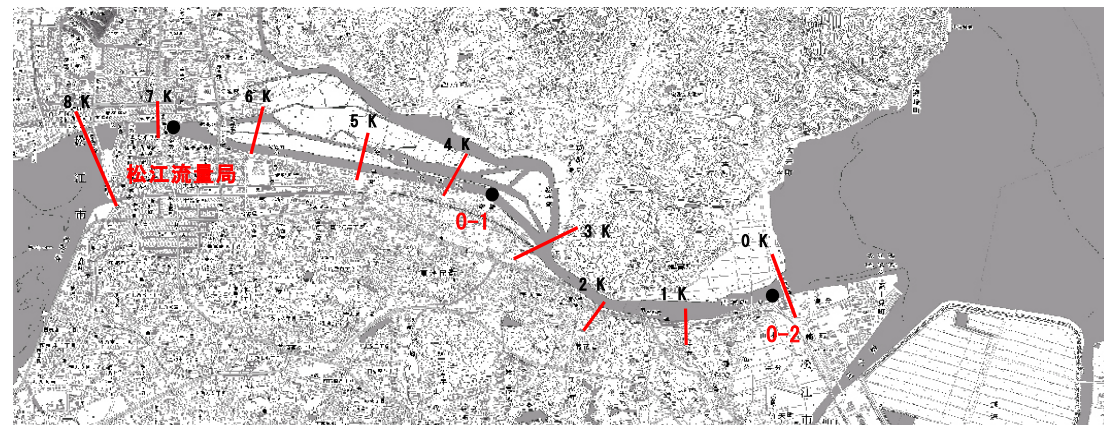


図 2.14 調査地点位置図(平成 12 年調査)

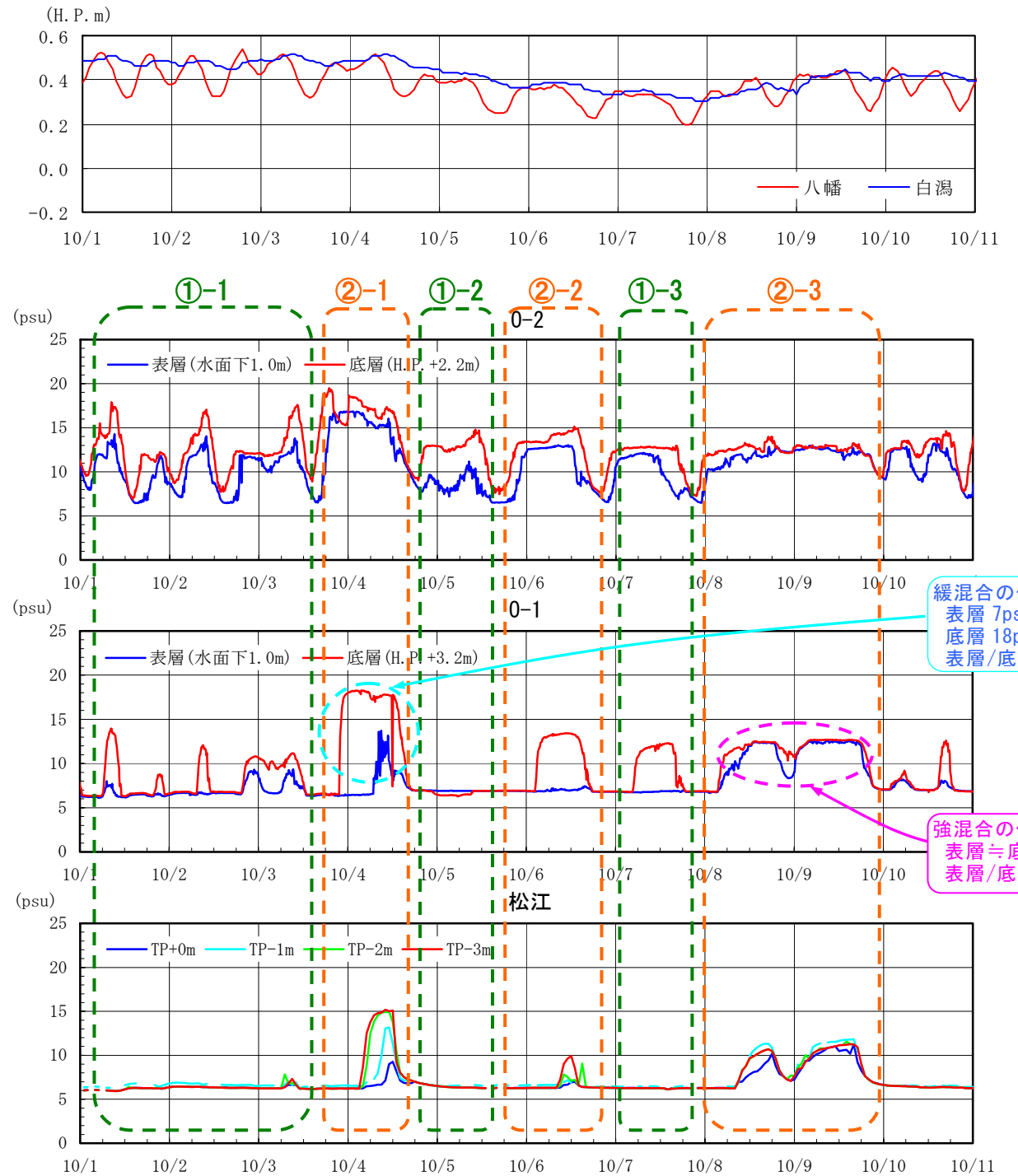


図 2.15 各調査地点の塩分時間変動(H12. 10/1～10/10)

※混合形態の分類  
 弱混合：表層と底層の塩分比 0.1 以下  
 緩混合：同上 0.1～0.5  
 強混合：同上 0.5 以上  
 「水理公式集(平成 11 年度版)」土木学会より

b) 潮汐と塩水の遡上・混合状況

- ・ 大規模な高潮が発生した時、大橋川では、強混合状態で塩水が遡上している。
- ・ 潮汐が日周期になる場合でも、中海と宍道湖の水位差により塩分の遡上形態は変化し、中海の水位が宍道湖の水位より十分高くないと、中海の塩水は上流まで到達しない。

図 2.17 は平成 14 年度調査における大橋川内各地点の塩分の縦断変化を示している。なお、最上段及び 2 段目の図は、調査期間中の中海・宍道湖水位と大橋川松江地点流量の時系列変化であり、塩分の縦断変化を出力している時刻を縦線で示している。各タイミングにおける遡上・混合状態は以下のとおりである。

表 2.6 潮汐の状況と塩水の遡上・混合状況

No.	潮汐状況など	遡上・混合状況
①	既往最大規模の高潮が発生し、大規模な遡上が起こっている	下流から上流においてほぼ完全混合で高塩水が上流に到達
②	上潮のタイミングであるが、宍道湖水位が高く、流出が卓越する 潮汐は日周期に近い	下流端は強混合 下流から 2k5 付近までは底層に高塩水が進入しているが、4k0 より上流では表底層ともに低塩水⇒高塩水は上流に到達しない
③		下流端は強混合だが、塩分濃度は低い(15~20psu 程度) 下流から上流において緩混合状態⇒上流に高塩水が到達
④	中海の水位が若干高い状況で、潮汐は日周期に近い	下流から上流においてほぼ強混合で高塩水が上流に到達

※②と③における混合状態の違いについて

②、③とも潮汐の周期は日周期に近い。高塩水の遡上状況に差が見られるのは宍道湖と中海の水位差の違いに起因するものと推測される。②は宍道湖の水位が中海の水位より高いのに対し、③の水位差はほぼ同程度である。

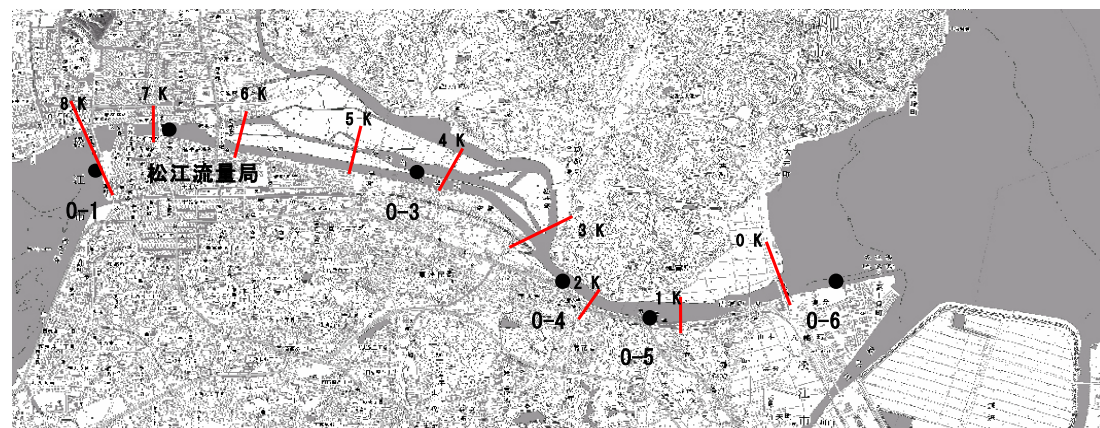


図 2.16 調査地点位置図(平成 14 年調査)

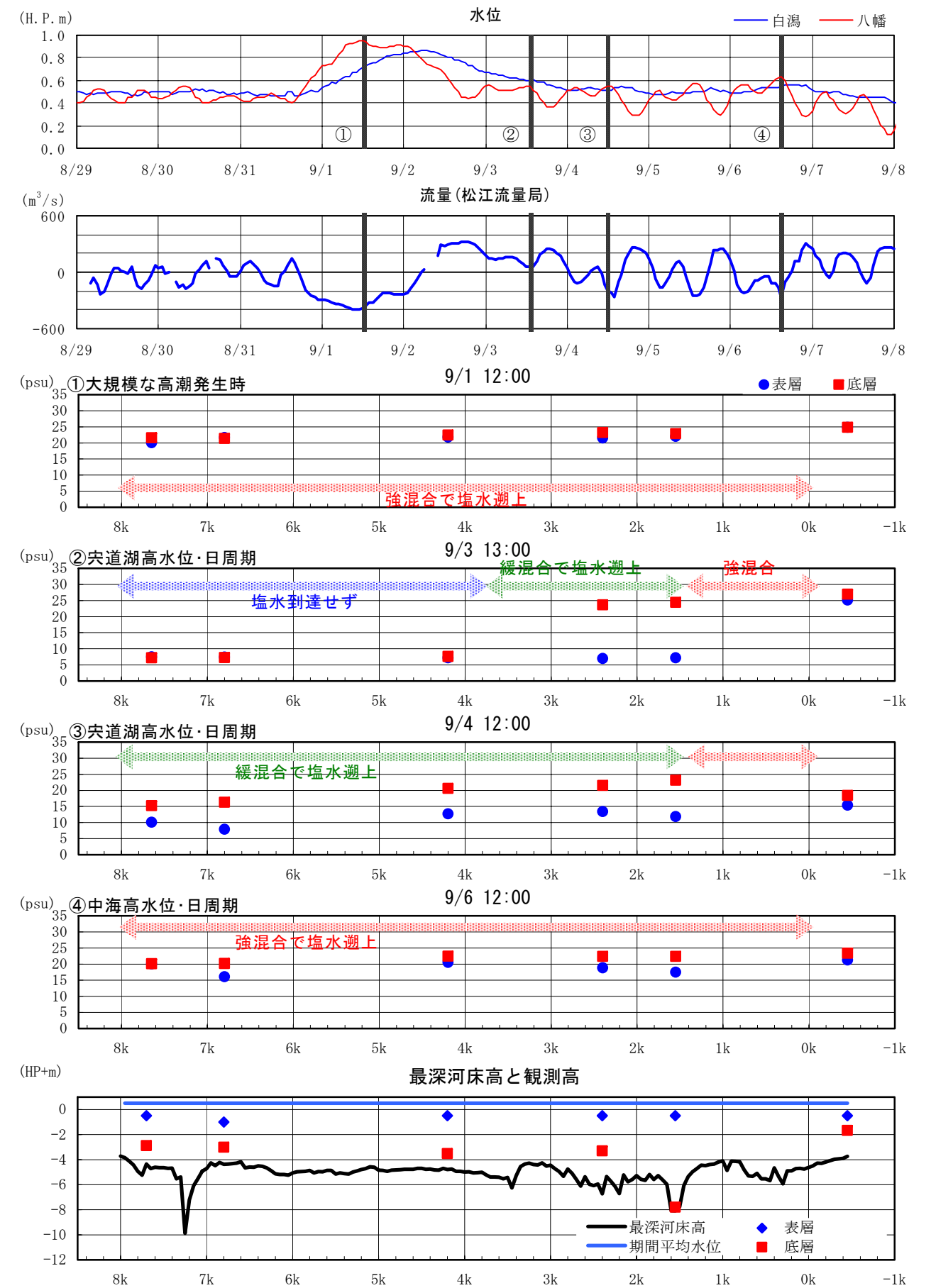


図 2.17 塩分の縦断変化(H14. 8/29~9/7)

c) 遡上時の流速分布

- ・ 中海の水位が宍道湖より高いとき、大橋川下流では表層付近の流速が大きくなり、表層から中海の水が進入している様子が確認できる。
- ・ このとき上流では、底層で遡上流速が大きく、中海から進入した高塩分水(高密度)が遡上途中で、中下層水と混合して上流に到達していると考えられる。

図 2.18 は大橋川上下流に設置された超音波流速計による調査結果を示しており、遡上時の流速分布を整理すると以下のとおりである。

表 2.7 塩分及び潮汐の状況と流速分布

No.	塩分及び潮汐の状況	流速の横断分布
①	下流は緩混合で底層の塩分は比較的高い(約 15psu) 上流には高塩水は到達していない 潮汐は半日周期	下流では底層の流速が大きく表層付近はほとんど流れがない。
②	下流から上流にかけて強混合で塩分は高い(15~20psu)、高塩水は上流に到達 潮汐は日周期	下流では表層付近の流速が大きく HP-4m 以深はほとんど流れがない。 上流は表層付近より底層付近の流速が大きい。

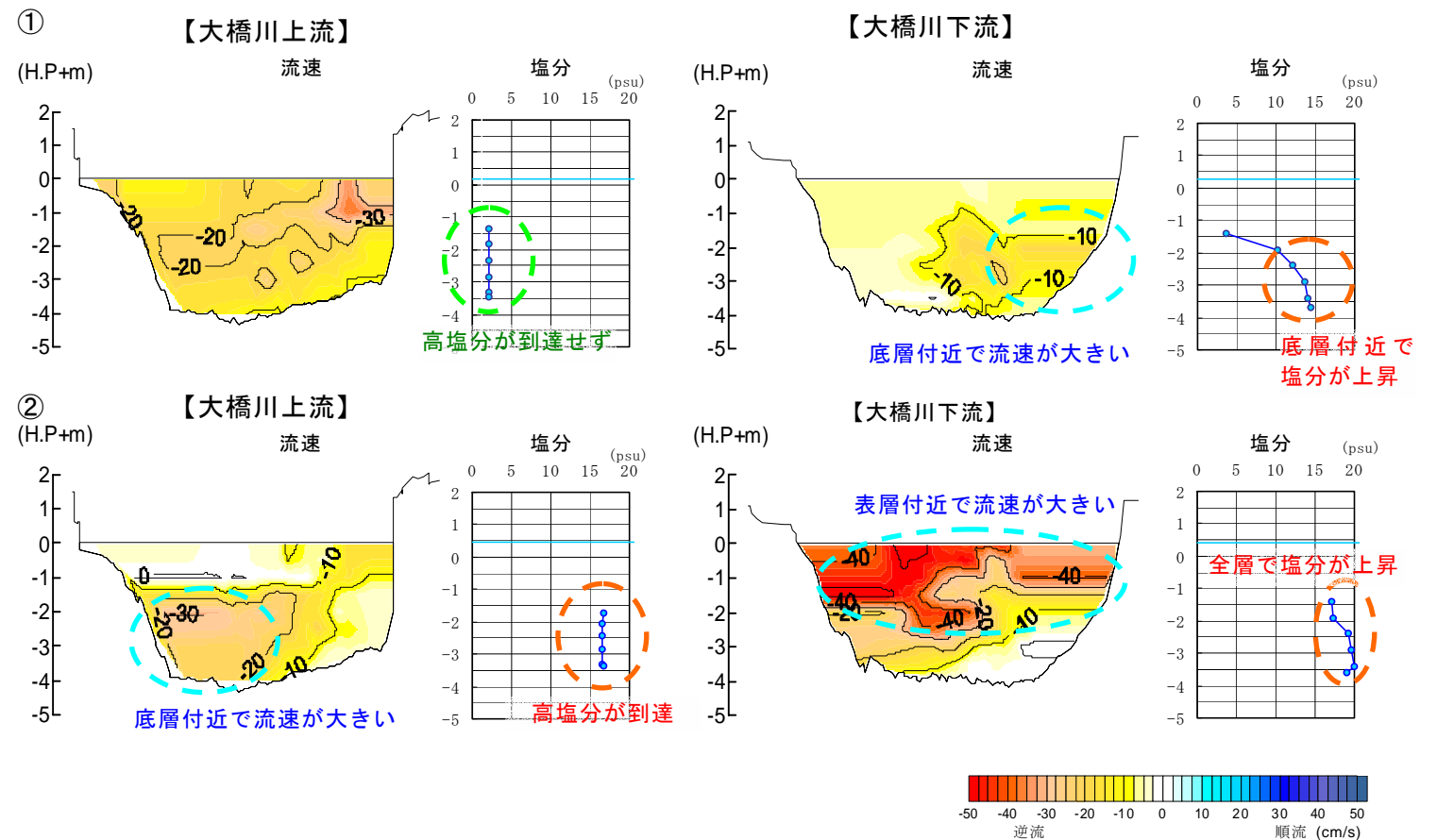
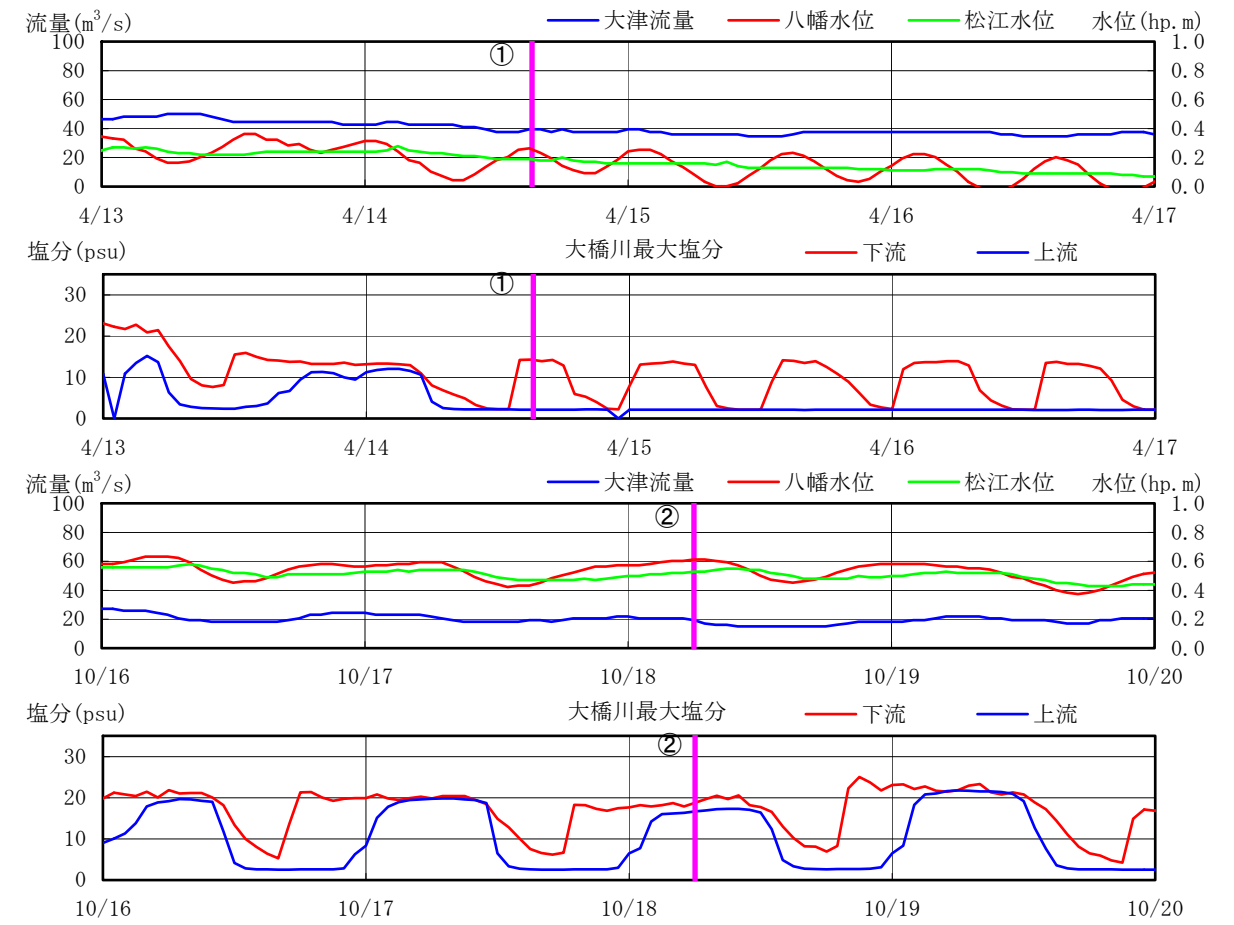


図 2.18 大橋川上流及び下流の流速分布 (H15)

d) 塩水の遡上頻度

- ・ 最大塩分が 25psu 以上となる潮汐は、大橋川下流が約 10%、大橋川上流が約 1% であり、中海の底層の水が大橋川上流まで到達する頻度はわずかと考えられる。

図 2.19 は大橋川上下流に設置された流向流速観測計による調査結果を示しており、大橋川上流及び下流における潮汐毎の最大塩分の濃度別生起頻度と中海湖心の水深別塩分（図 2.20）を以下に示す。

中海の塩分は、各層で幅を持っているが、表層付近が 10~15psu、中層が 20psu、底層付近が 25~30psu 程度であり、底層付近では最低でも 20psu 程度以上である。大橋川において、中海の中底層付近の塩分に相当する 20psu 以上の塩水の到達頻度は、下流では 35% 程度であるのに対し上流では 10% 程度となる。また、底層の平均濃度に近い 25psu 以上の塩水が大橋川下流に到達する頻度は 10% 程度であるのに対し、大橋川上流に到達する頻度は 1% 程度となる。

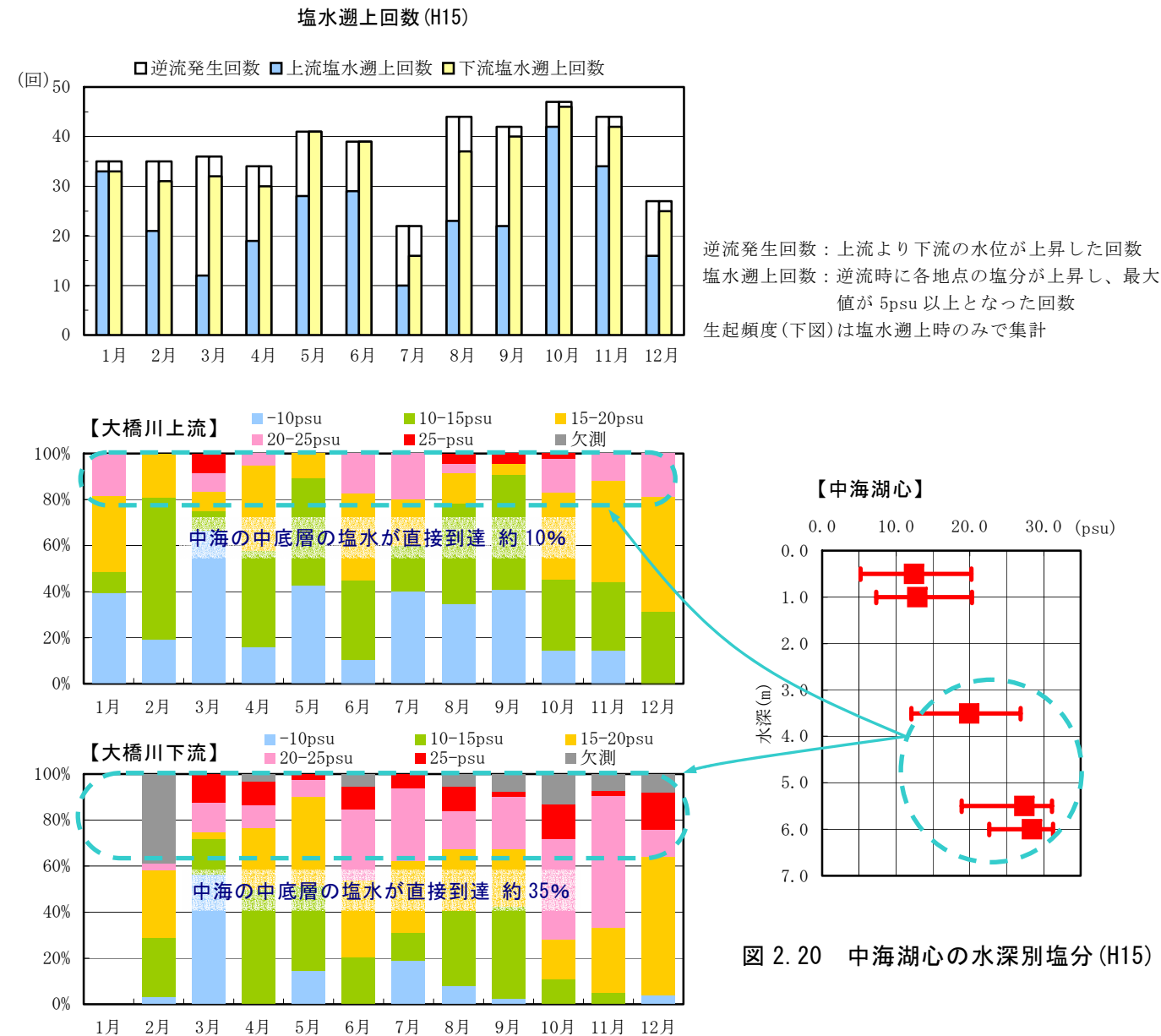


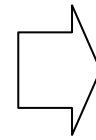
図 2.20 中海湖心の水深別塩分 (H15)

図 2.19 大橋川上下流における潮汐毎の最大塩分の生起頻度 (H15)

e) 大橋川の塩分(着目点：潮汐による大橋川内の塩分変化)

塩分の変動特性

- ・ 大橋川の塩分は潮汐の影響を受けて時間単位で変動している。
- ・ 縦断的に下流から上流にかけても強混合から緩混合まで様々に変化している。



既往最大規模の高潮が発生した H14. 8/29～9/6(9 日間)の大橋川各地点における塩分の濃度別生起頻度を計算値及び観測値で整理して以下に示している

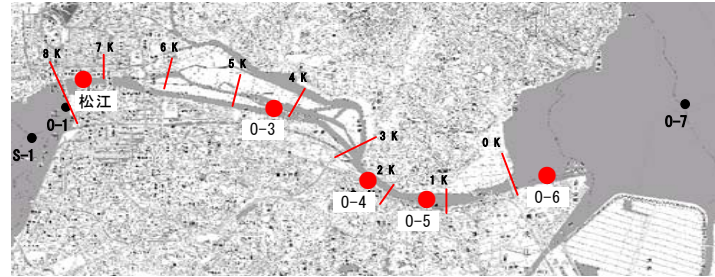


図 2.21 調査地点位置図(平成 14 年調査)

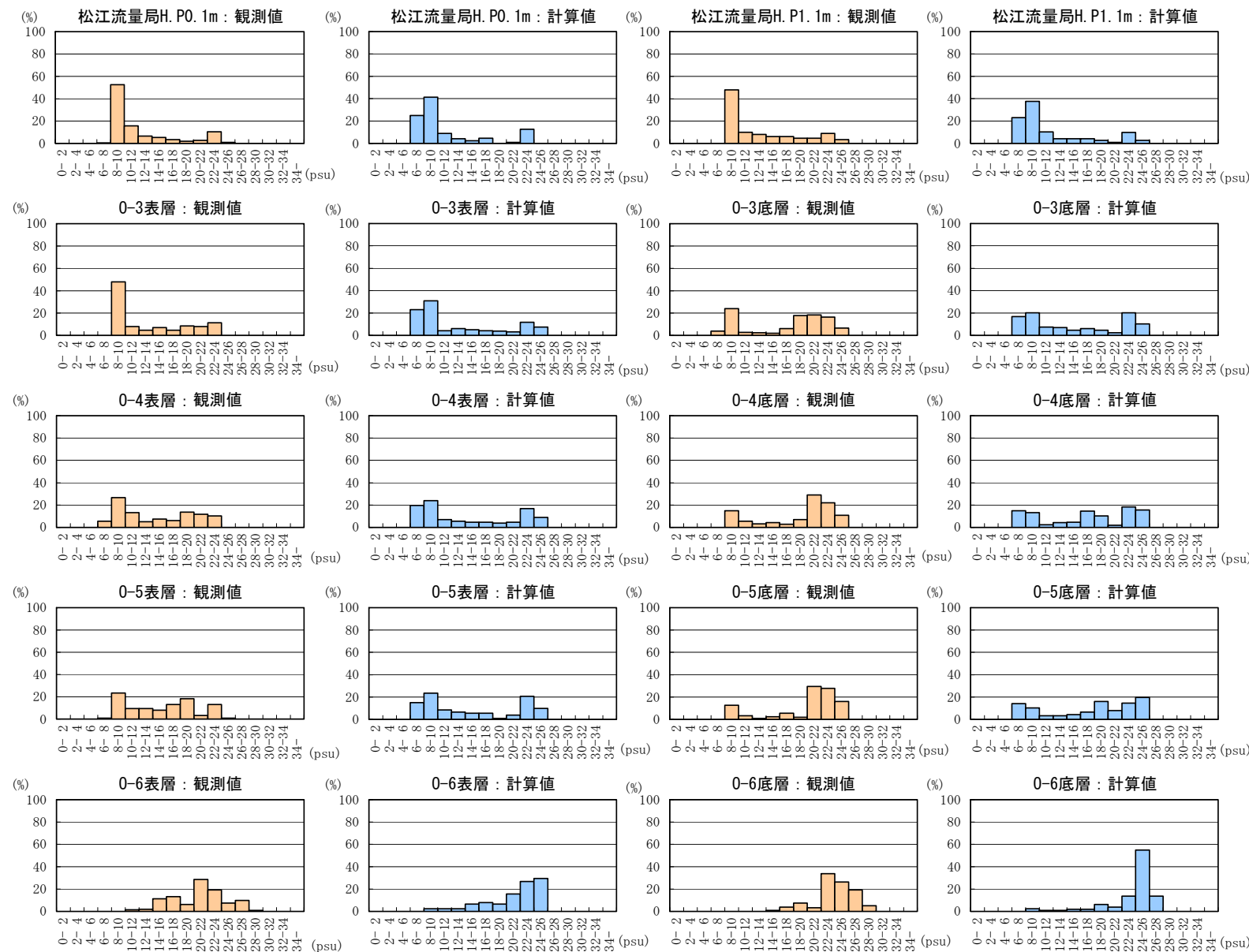


図 2.22 大橋川各地点における塩分の濃度別生起頻度

検証計算結果

- ・ 宍道湖の水位より中海の水位が上昇し、強混合状態で大橋川を遡上する時の大橋川各地点の塩分変動を再現している。
- ・ 下流の 0-5 や 0-4 では、H14. 8/31 や H14. 9/4 などの緩混合状態で底層だけ高塩分水が松江地点まで到達する状況も再現している。
- ・ 大橋川中上流部に位置する 0-3 では、緩混合状態で高塩分水が遡上するときの底層の再現性が若干悪いが、表底層の毎時塩分の頻度分布から分かるように、底層における塩分の変動範囲は 6～26psu 程度であり、観測値の状況を再現している。

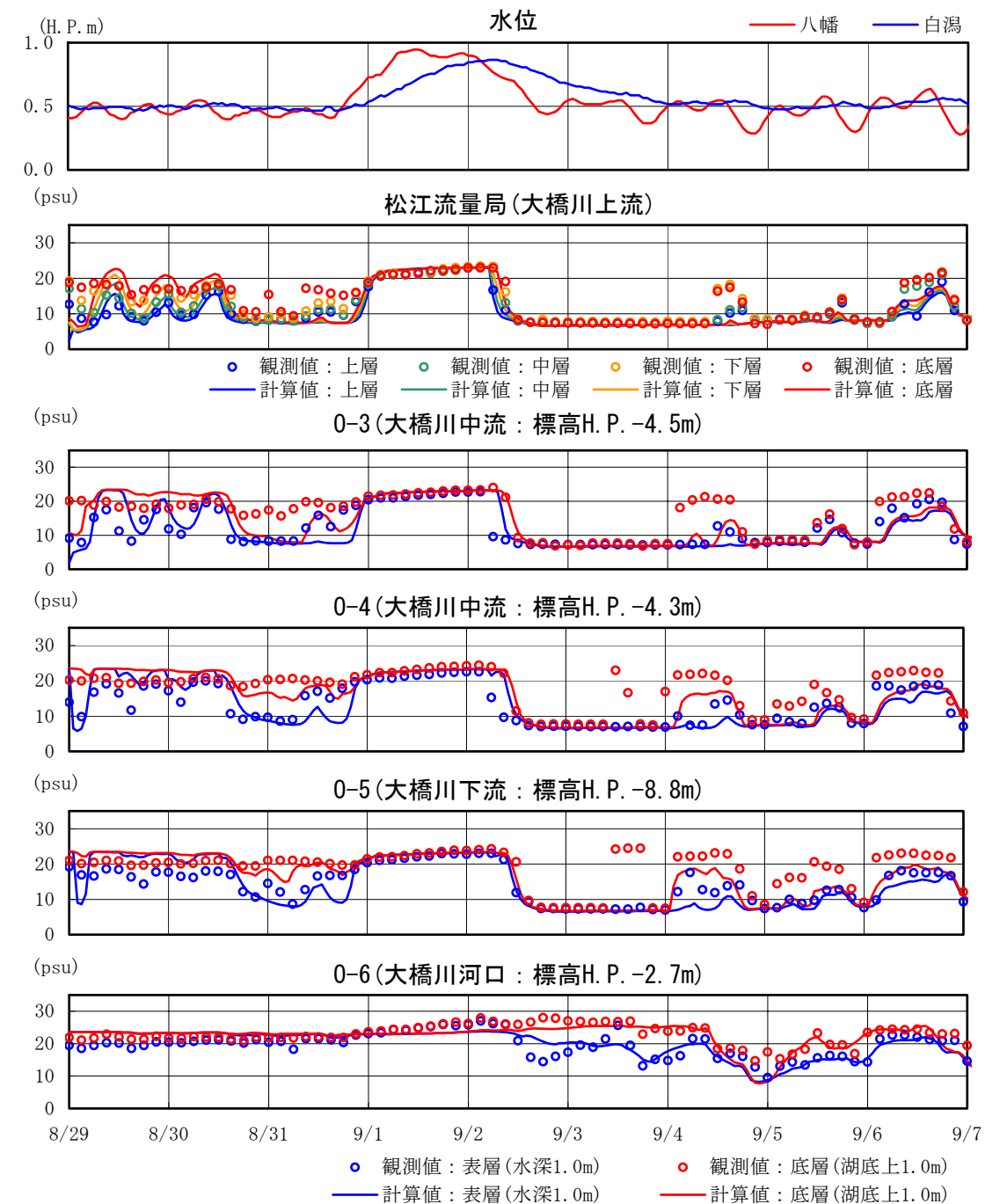


図 2.23 大橋川塩分の時間変動(H14. 8/29～9/6)

6) 地中海の塩分, 塩分層 (着目点: 中海上層および底層における塩分の日変動および塩分層の形成状況)

塩分の変動特性

- ・ 表中層の塩分は流域からの淡水流出等の影響を受けて変動している。
- ・ 底層の塩分は年間を通じて変動が小さく、塩分層が恒常的に形成されている。

検証計算結果

- ・ 表層, 中層及び底層の日平均塩分の頻度分布から分かるように、各層における塩分の変動範囲を再現している。
- ・ 7月中旬のように流域からの淡水流出量の増加に伴い表中層の塩分が低下する状況や底層の塩分変動が小さく、塩分層が恒常的に形成されている状況を再現している。

【頻度分布】

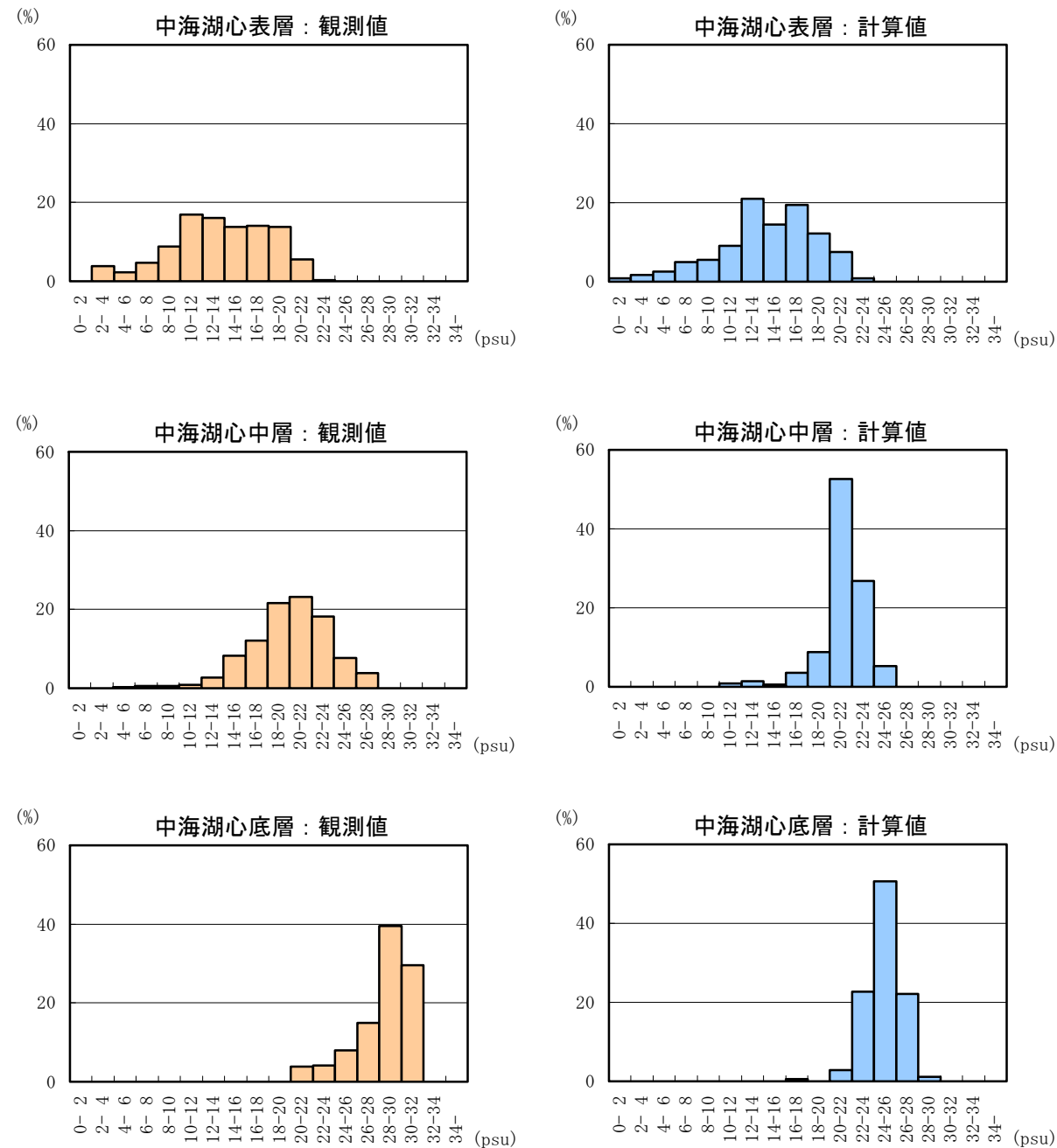


図 2.24 中海湖心における塩分の濃度別生起頻度 (H15)

【日変動】

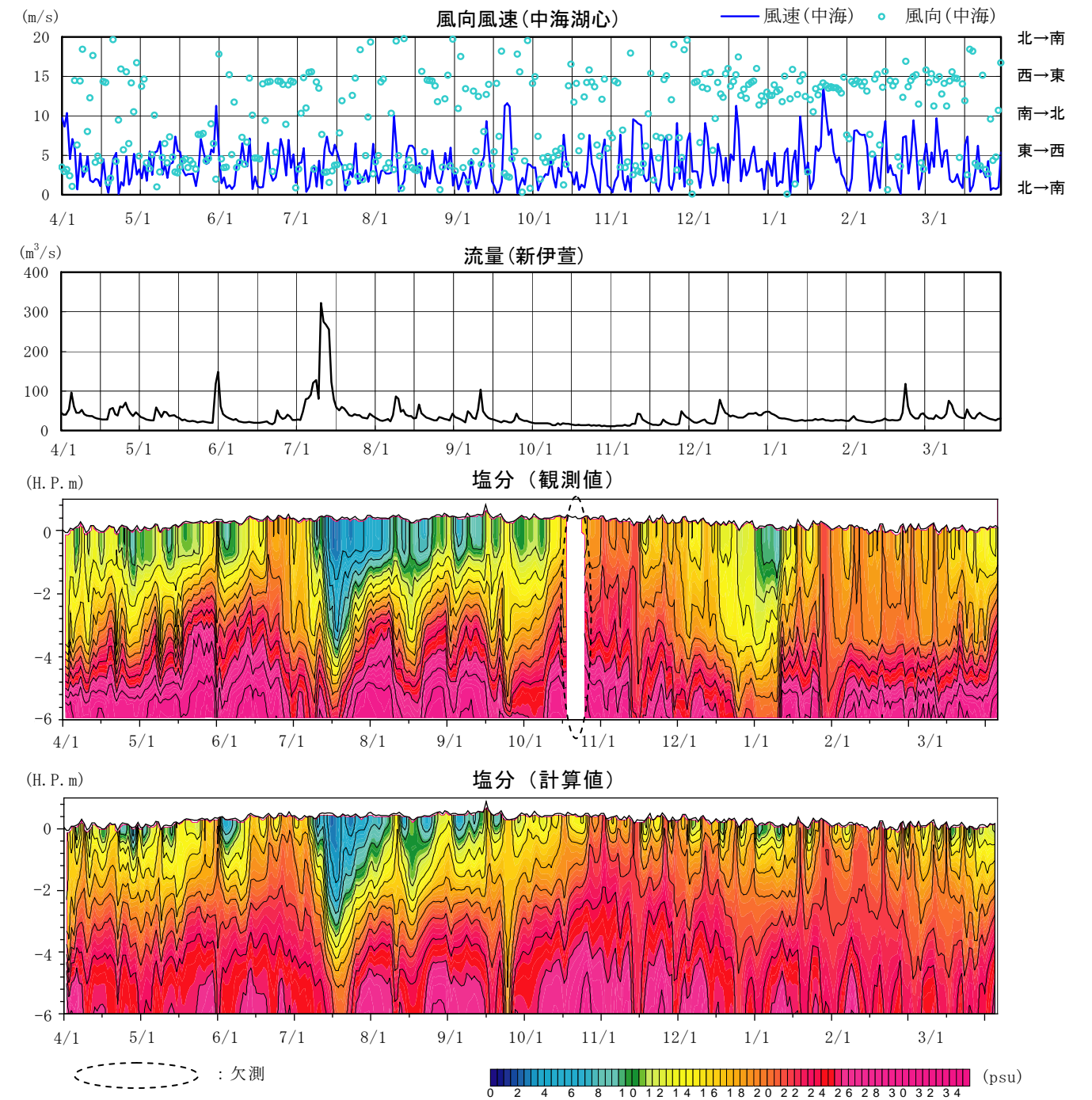


図 2.25 中海湖心の塩分の日変動 (H15. 4/1~H16. 3/31)