

令和 7 年 12 月 23 日
第 9 期児島湖水質保全計画策定検討会 第 2 回会議

前回の指摘事項と対応

項目	指摘事項	対応
児島湖及び流域の水質	1) S-2 ブロックの比丘尼橋のりん濃度が平成 25 年頃から上昇傾向にある。原因についての知見はあるか。	・比丘尼橋におけるりん濃度の上昇要因について検討した。【別紙 1】
	2) 河川の窒素は、乾性沈着、湿性沈着の影響を大きく受ける。岡山県での沈着量は把握しているか。足りない情報があれば、これから補足していただきたい。	・過去の降雨調査から降雨負荷原単位を再算定した。【別紙 2】
	3) 倉敷川の窒素・りん濃度は、し尿処理場（白楽処理施設）の排水投入をやめた平成 11 年度以前から下がっているように見えるが、段階的にやめたということか。また、排水投入をやめるとは、具体的にどういうことか。	・倉敷川の窒素・りん濃度の低下と倉敷市のし尿処理場（白楽処理施設）の関連性を整理した。 【別紙 3】
	4) 湖内に蓄積されていく難分解性有機物を除去するような施策はあるか。	・難分解性有機物の除去には超高度処理などの多大な経費がかかる施設が必要になるため、現状では難しい状況である。第 9 期計画を策定する上で重要な視点であると考えている。
湖沼水質保全計画に基づく事業の進捗状況	5) 水生植物除去量に、市民活動による除去量は含まれているか。	・基本的には県と市町による実績である。市民団体の除去量を市町が把握していれば計上されていることも考えられる。
	6) ホテイアオイの除去量の変化から、第 6 期から第 8 期にかけて植生変化が起きていると考えられる。留意が必要。	・令和 8 年度以降に、水生植物の植生調査を行う方向で検討する。

項目	指摘事項	対応
	<p>7) 被覆型肥料の使用や農耕地面積の減少、畜産ふん尿の野積の禁止等により、農業からの汚濁負荷割合が減ってもよいと考えられるが、減っていないのはなぜか。肥料等の細かい工夫より、出水対策が必要ではないか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・農地からの汚濁負荷の削減状況について整理した。【別紙4】 ・今後の降雨時の出水調査・対策について整理した。【別紙5】
<p>第9期水質シミュレーションモデル</p>	<p>8) 第9期の水質-底質結合生態系モデルでは水生植物を考慮することだが、水生植物の空間分布の考慮の仕方や他湖沼での成功例があれば教えていただきたい。</p> <p>9) 今年はヒシが異常繁茂している。それが堆積して来年どうなるか、また、来年のデータが計算にどう影響してくるか、結果に期待する。</p> <p>10) 稲作は減少しており、環境に配慮した施肥にも取り組んでいる。モデルの検討の先に、原単位の見直しや評価・施策の見直しがあると考えるとよい。</p> <p>11) 底生生物としてはオオユスリカとアカムシユスリカが大事。生物の環境指標性を取り入れて妥当性を考えてはどうか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・他の指定湖沼で使われているモデルである。全国で問題になっている水生植物の大量繁茂による水環境への影響について取組み、昨年、環境省から手引きが発行された。モデルを適用した長野県諏訪湖では、ヒシの大量繁茂により流動が止まって貧酸素化が進み、底泥からのりんの溶出が促進されている状況である。この5年間で蓄積された最新の知見を児島湖の解析に適用したい。なぜ湖南にだけヒシが生えるのか、その分布の理由は解明されていないので、流れや底質など、児島湖の状況を丁寧に見ていきたい。 ・原単位は調査が難しく、現況と乖離している部分もあると考える。現在の児島湖の状況をモデルで再現した上で、負荷量から原単位を推定するなどの方法はある。 ・モデルの結果と実際の調査データを突き合わせながら進めたい。

項目	指摘事項	対応
	<p>12) 児島湖では難分解性有機物が増えている。下水処理場から放出された難分解性有機物がどう蓄積されて変化するかかわかるとよい。</p> <p>易分解から難分解に変わっていく過程がどうなっているか。海では調査できないが、児島湖では調査できるかもしれない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・難分解性有機物として、下水処理場からの直接排出と、有機物分解時の生成を設定している。河川水中の難分解性有機物の割合は比較的高く、それが形を変えずに湖に入り、海に流れていくことを考えているが、難分解性有機物の変化形態がわかれば考慮したい。 ・児島湖は滞留時間が短いので、それほど変化せずに海に流れていくと考えている。
	<p>13) 測定項目の追加は、どこまで対応可能か。栄養塩の溶出や酸素消費速度は決めないと計算できないのではないか。鉄と硫黄の動態が把握できないと酸化還元を表現できないのではないか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・環境保健センターが測定している底泥の金属元素等の測定結果を参考にする。底泥において間隙中の酸素が消費され、次に酸素を要求する物質（ODU）が考慮される。（鉛直的に濃度差ができるため）湖水から底泥に向けて酸素が拡散する。酸素消費速度を決めないというのは、有機物量にかかわらず酸素消費速度を設定するのは違うという意味である。
	<p>14) 難分解性有機物をシミュレーションとは切り分けて扱うということか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・易分解しか対策が難しいので、難分解にコストを無理にかけるより、どこに対策を絞るか、モデルから出た結果をどう施策に反映するかについて示している。環境基準に近い難分解性 COD が調査されているので、対策は難しいという結論かもしれない。

項目	指摘事項	対応
第9期計画策定に当たっての検討課題	<p>15) 農業や下水道の対策を進めているにもかかわらず濃度が下がらないのは、近年増えている強雨の影響が考えられる。流域水文学では、汚濁負荷の7割程度が出水時に出てくるとされる。今期のシミュレーションモデルでは、極端に強い雨が降った時の量を正確に把握できるのか。</p> <p>日本は火山灰土壌が多い関係でりんの施肥が多い。出水の際に田畑の過剰なりんが流出している可能性があり、何が起きているのか理解が必要。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・おそらく第8期の流域モデルより再現性は上がるが、出水時には調査データが少なく、現状では難しい。 ・霞ヶ浦の検討事例では、濁水から入ってくる割合が多かった。児島湖でどこまで迫れるか、今後検討したい。 ・なお、児島湖流域内に火山灰土壌の農耕地は存在しない。
	<p>16) 強雨時の負荷量を調査する予定はあるか。</p> <p>一方で、豪雨対策には限界があり、負荷低減には多様な取り組みが必要。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・流出負荷量は、過去のデータがある。非常に重要だということであれば、今回の計算には間に合わずとも、情報を収集していきたい。
	<p>17) 児島湖は滞留時間が短いので、負荷量よりも濃度が重要。湖底に落ちた懸濁態が再び溶出すると影響してくる。湖内にどの程度蓄積されるのか、把握する必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・懸濁態・溶存態や分解性に応じて流入負荷を分画している。どこまで迫れるかの問題はあがるが、検討は可能と考える。

項目	指摘事項	対応
計画期間を 10 年とすることについて	<p>【賛成意見】</p> <p>18) COD の多くが難分解性で環境に影響を及ぼさないのであれば、短期間に急いで対策を検討する必要はなくなる。</p> <p>19) 1 年目は計画策定に充てられ、実質の対策期間は 4 年。計画期間が 10 年であれば、地に足をつけて対策を進められる。</p> <p>【条件付きで賛成】</p> <p>20) ナガエツルノゲイトウなど、新たな特定外来種に警戒が必要。計画期間が 10 年に延びたとしても、途中段階で対応する必要がある。</p> <p>21) 温暖化や異常気象により、生態系の変化が変曲点に来ている。10 年間の長期計画にすることも可能と考えているが、後々の解析のために中間報告をしっかりと行うことが重要。</p>	<p>・議事(4)「計画の方向性について」にて説明を行う。</p>

注) 第 1 回検討会議事概要を基に作成。一部の発言については要点を抽出して記載している。

以上

比丘尼橋におけるりん濃度の上昇傾向について

<指摘内容>

S-2 ブロックの比丘尼橋のりん濃度が平成 25 年頃から上昇傾向にある。原因についての知見はあるか。

<回答>

各種データを整理し、解析を試みたところ、特定の傾向が確認されたものの、具体的な原因を特定するまでには至らなかった。

なお、下流の笹ヶ瀬橋ではりん濃度の経年的な上昇は見られず、下流に及ぼす影響は小さいものと考えられた。

<詳細>

1. 指摘内容に係るグラフの確認

笹ヶ瀬川水域の足守川（高塚橋、入江橋）、相生川（白鷺橋）に比べて笹ヶ瀬川（比丘尼橋、笹ヶ瀬橋）の濃度は高く、特に全りん（T-P）に関しては第8期にかけて比丘尼橋で濃度が上昇している（図 1-1）。一方、原単位法により推計された比丘尼橋上流域（S-2 ブロック）の排出汚濁負荷量は増加していない（図 1-2）。

2. データ解析結果の要約

データ解析の結果、比丘尼橋に関して以下の傾向が確認された。

- ・ 冬季を中心に T-P 濃度及びりん酸態りん（ PO_4 -P）濃度が上昇している。
- ・ 冬季の T-P 濃度の経年変動は、COD、T-N 等と連動している（有意な相関がある）。
- ・ 冬季の T-P 及び PO_4 -P 濃度は降水量と負の相関を示した。

また、土地利用の特徴として、比丘尼橋が位置する S-2 ブロックには児島湖流域の全畑地面積の 43%が集中しており、これが T-P 濃度と関係している可能性があるものの、S-2 ブロックの面積に占める割合は 9%とそれほど大きいわけではなく、詳細は不明となっている。

なお、実施したデータ整理・解析の詳細及び考察は別紙 1-3 ページ以降に掲載した。

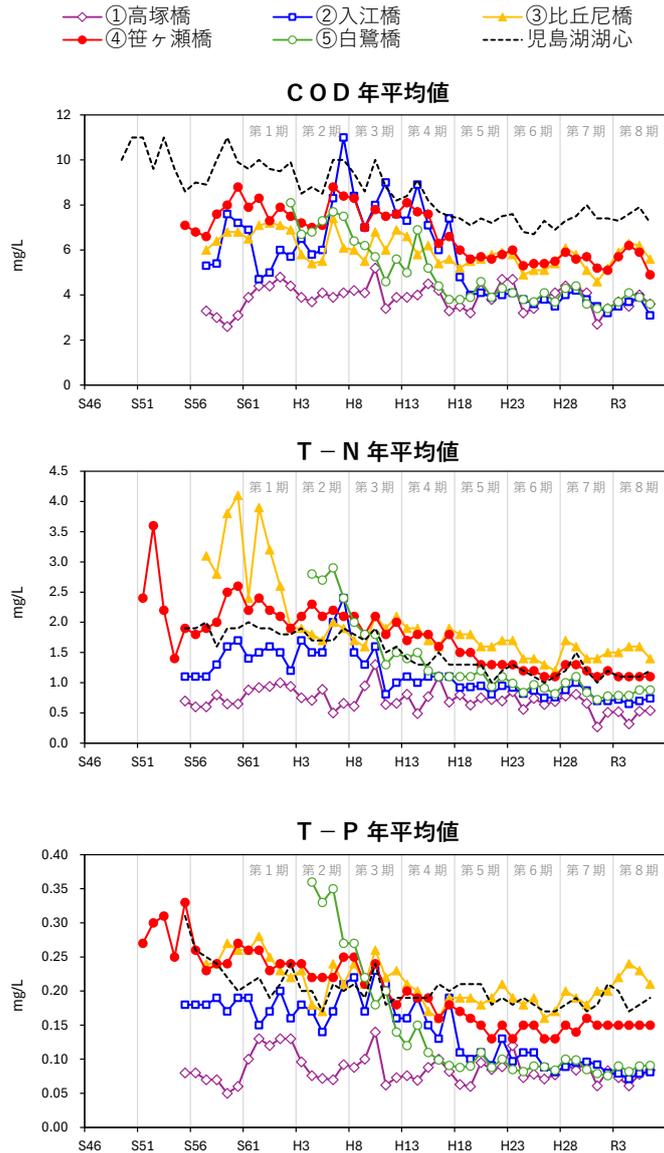


図 1-1 笹ヶ瀬川水域における COD、T-N、T-P 濃度の推移

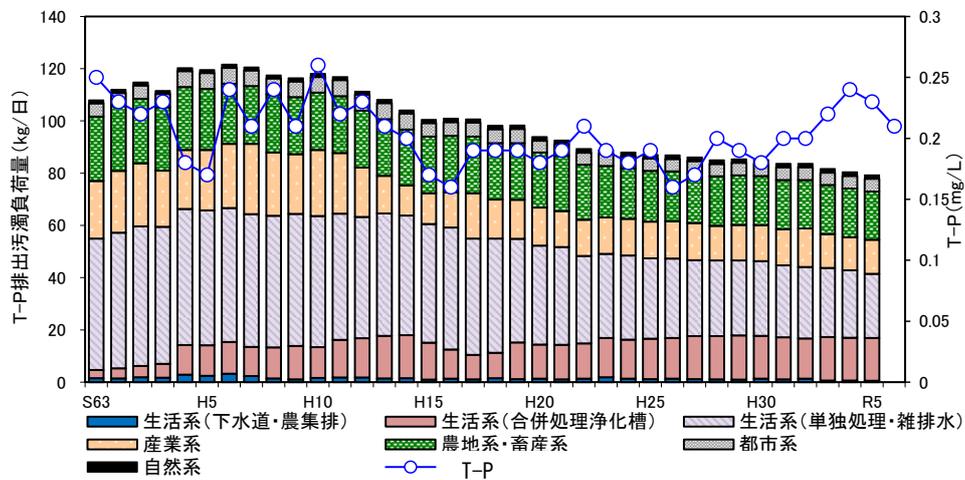


図 1-2 「S-2 ブロックの T-P 排出負荷量」と「比丘尼橋の T-P 濃度の年平均値」の推移

3. 水質の経年変化傾向等の整理

比丘尼橋において T-P 濃度の年平均値が上昇していることを踏まえ、T-P 濃度の上昇時期や水質項目間の連動状況を把握するため、データ整理・解析を実施した。

3.1. 使用データ

平成 20 年度以降の公共用水域水質測定結果を季節ごとに平均して使用した（春季：3～5 月、夏季：6～8 月、秋季：9～11 月、冬季：12～2 月）。なお、対象期間中の排出汚濁負荷量は減少傾向にあるものの、以前に比べて減少が緩やかになってきている（図 1-2）。

3.2. 水質の経年変化傾向（季節間・水質項目間の比較）

比丘尼橋における各項目の経年変化傾向（回帰直線の傾き）を表 1-1 に示す。比丘尼橋の T-P 及び PO₄-P 濃度の年平均値は上昇傾向にあり、T-P 濃度の上昇の大部分は PO₄-P 濃度の上昇によるものであった。また、季節別にみると、比丘尼橋の T-P 及び PO₄-P 濃度は主に冬季に上昇していた。一方、他の水質項目に関して、同様な上昇傾向は確認されなかった。

笹ヶ瀬川水系における T-P 及び PO₄-P 濃度の季節平均値の推移を図 1-3 に示す。比丘尼橋の T-P 及び PO₄-P 濃度は平成 28 年度頃から上昇傾向となっていた。

表 1-1 笹ヶ瀬川（比丘尼橋）における水質の経年変化傾向（平成 20 年度～令和 6 年度）

項目名	年間	春	夏	秋	冬
COD					
BOD	-0.028	-0.050		-0.033	
T-N					
NO _x -N	-0.008	-0.010	-0.012		
NH ₄ -N					
T-P	0.003				0.005
PO ₄ -P	0.002				0.005
SS	0.124	0.208			
クロロフィルa					

注1. 表中の数値は回帰直線の傾きを示す。単位は mg/L/年。

注2. 着色箇所は、相関係数の t 検定により有意水準 5%で有意な変化傾向が検出されたことを示す（■は正のトレンド、■は負のトレンド）。空欄は有意な変化傾向が検出されなかったことを示す。

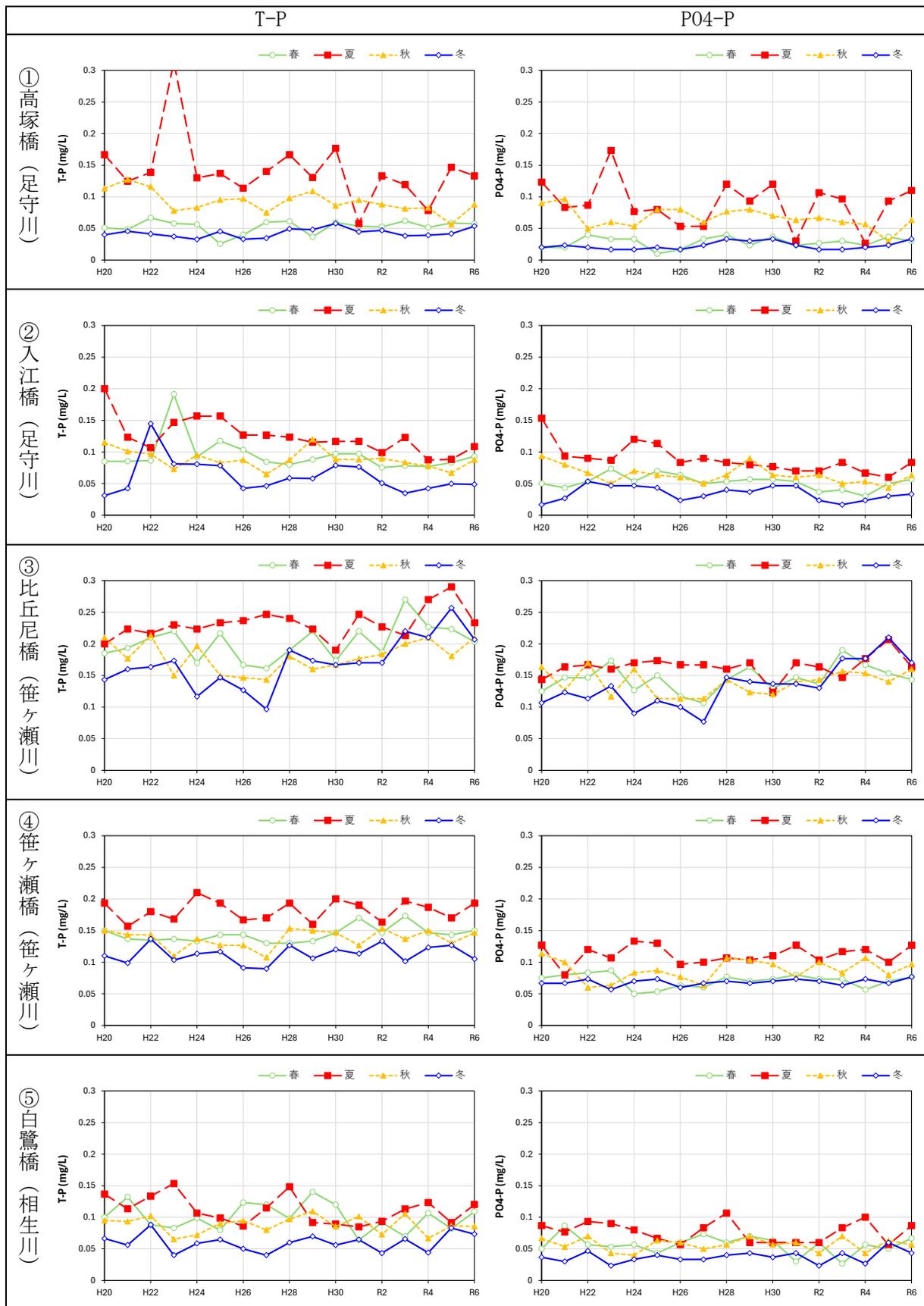


図 1-3 笹ヶ瀬川水系の各地点における T-P、PO₄-P 濃度の推移 (季節ごとの平均値)

3.3. 全りん濃度と他項目の関係

笹ヶ瀬川（比丘尼橋）における T-P 濃度の経年変動に関して、他の水質項目との相関を調べたところ、冬季の T-P 濃度は多くの水質項目と有意な正相関を示した（表 1-2、図 1-4）。冬季は T-P・PO₄-P 以外の項目に有意な上昇傾向はみられないものの（表 1-1）、T-P 等と同じ要因が経年変動に影響を及ぼしていると考えられる。

表 1-2 笹ヶ瀬川（比丘尼橋）における T-P 濃度と他項目の相関係数

時期	COD	BOD	T-N	NOx-N	NH4-N	PO4-P	SS	クロロフィルa
春季	0.27	-0.05	0.38	-0.03	0.44	0.94	0.52	0.40
夏季	0.68	0.19	0.35	-0.21	-0.04	0.88	0.18	0.28
秋季	0.52	0.04	0.45	0.37	0.39	0.97	0.26	0.62
冬季	0.66	0.40	0.80	0.50	0.80	0.99	0.60	0.18

注1. 表中の数値は平成 20 年度～令和 6 年度の経年変動に関する 2 項目間の相関係数を示す。

注2. 着色箇所は、t 検定により有意水準 5%で有意な相関が検出されたことを示す（■は正の相関）。

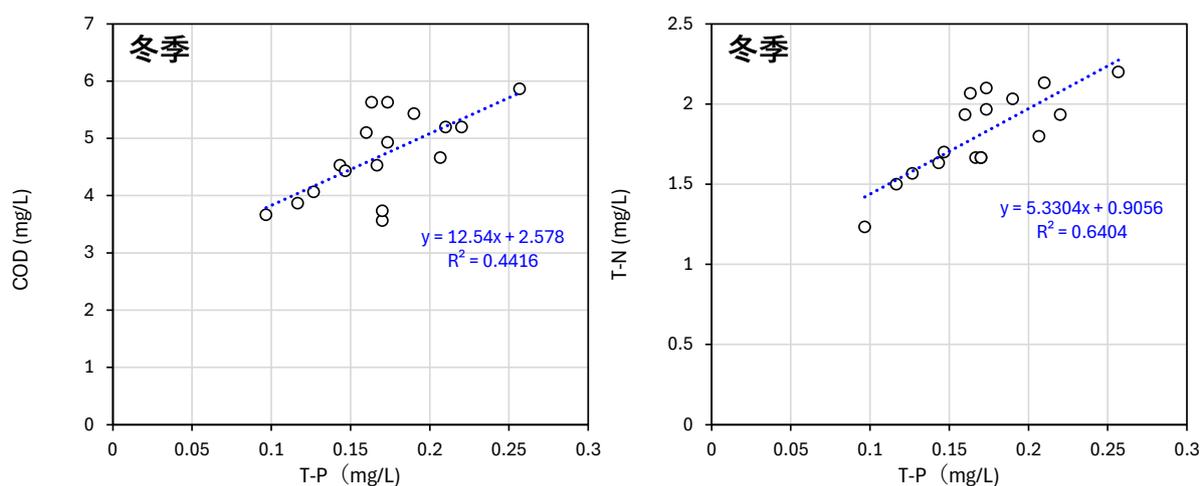


図 1-4 笹ヶ瀬川（比丘尼橋）における冬季の T-P 濃度と COD、T-N 濃度の関係

4. 気象条件との比較

4.1. 使用データ

岡山地方気象台の気象データ（日毎の気温、降水量、日照時間）を収集し、比丘尼橋の水質データ（公共用水域水質測定結果）と比較した。季節平均に際しては、当該季節の最終水質調査日から遡って90日間の気象データの統計値を求め、水質との比較に使用した（例えば冬季の降水量は、2月の水質調査日から遡って90日間の合計値）。

4.2. 気象項目と水質項目の関係

気象と水質の季節ごとの相関係数を表 1-3 に示す。冬季の T-P 及び PO₄-P に関して、降水量との間に有意な負の相関関係が認められた（図 1-6 : $p < 0.05$ ）。また、冬季の BOD、T-N、NH₄-N についても、降水量と有意な負の相関を示し、降水量の多寡が冬季の水質に影響を及ぼしていることが示唆された。

なお、秋季の T-P 及び PO₄-P 濃度に関して、気温との有意な正相関も確認されている。

表 1-3 笹ヶ瀬川（比丘尼橋）の水質と岡山気象台の気温・降水量・日照時間の相関係数
（平成 20 年度～令和 6 年度）

	COD	BOD	T-N	NO _x -N	NH ₄ -N	T-P	PO ₄ -P	SS	クロロフィルa
気温	0.06	0.27	0.04	0.37	-0.33	0.18	0.15	-0.18	0.12
春季 降水量	0.30	0.27	0.00	0.31	-0.32	-0.26	-0.31	0.04	-0.31
日照時間	-0.04	-0.31	0.05	-0.33	0.31	0.36	0.33	0.34	0.32
気温	-0.38	-0.09	0.36	0.28	0.27	-0.06	0.21	-0.43	-0.22
夏季 降水量	0.08	-0.01	0.07	0.00	-0.32	-0.16	-0.16	-0.20	-0.21
日照時間	0.03	-0.20	-0.57	-0.73	-0.26	0.04	-0.07	0.07	-0.02
気温	0.13	-0.19	0.17	0.04	0.43	0.65	0.66	0.05	0.26
秋季 降水量	0.12	-0.08	0.20	0.16	-0.20	-0.43	-0.41	-0.03	-0.15
日照時間	-0.39	-0.10	-0.02	-0.21	0.05	0.26	0.24	-0.44	0.27
気温	-0.40	-0.25	-0.41	-0.41	-0.36	-0.05	-0.01	0.20	-0.28
冬季 降水量	-0.46	-0.65	-0.66	-0.45	-0.65	-0.65	-0.62	-0.55	-0.31
日照時間	0.28	0.26	0.44	0.31	0.41	0.45	0.37	0.18	0.16

※着色箇所は、t 検定により有意水準 5%で有意な相関が検出されたことを示す（ は正の相関、 は負の相関）。

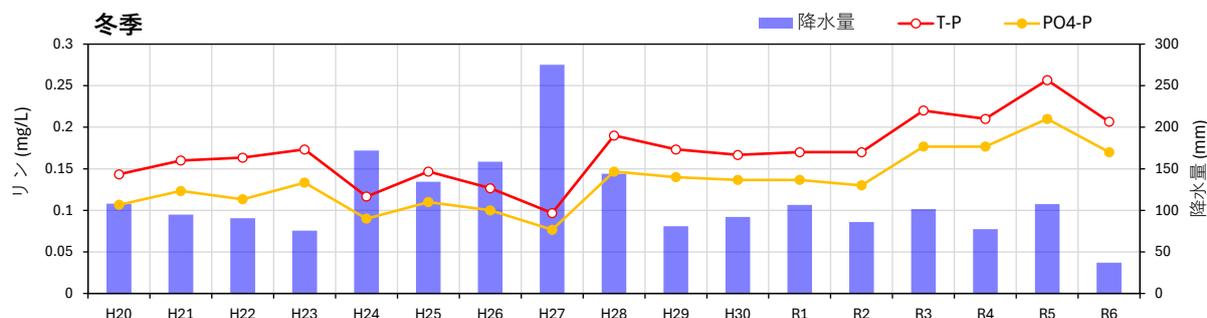
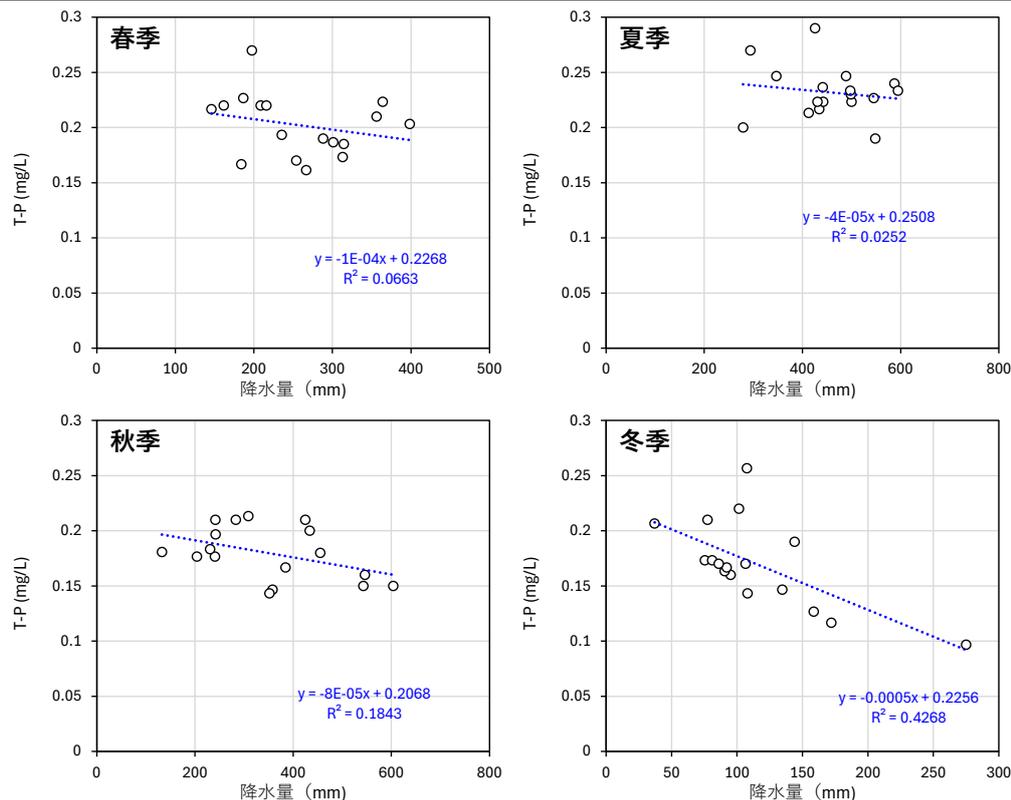


図 1-5 笹ヶ瀬川（比丘尼橋）の T-P、PO₄-P 濃度と岡山地方気象台の降水量の推移

※降水量は 90 日間の合計値。算定対象期間は本文参照。

(a) 降水量



(b) 気温

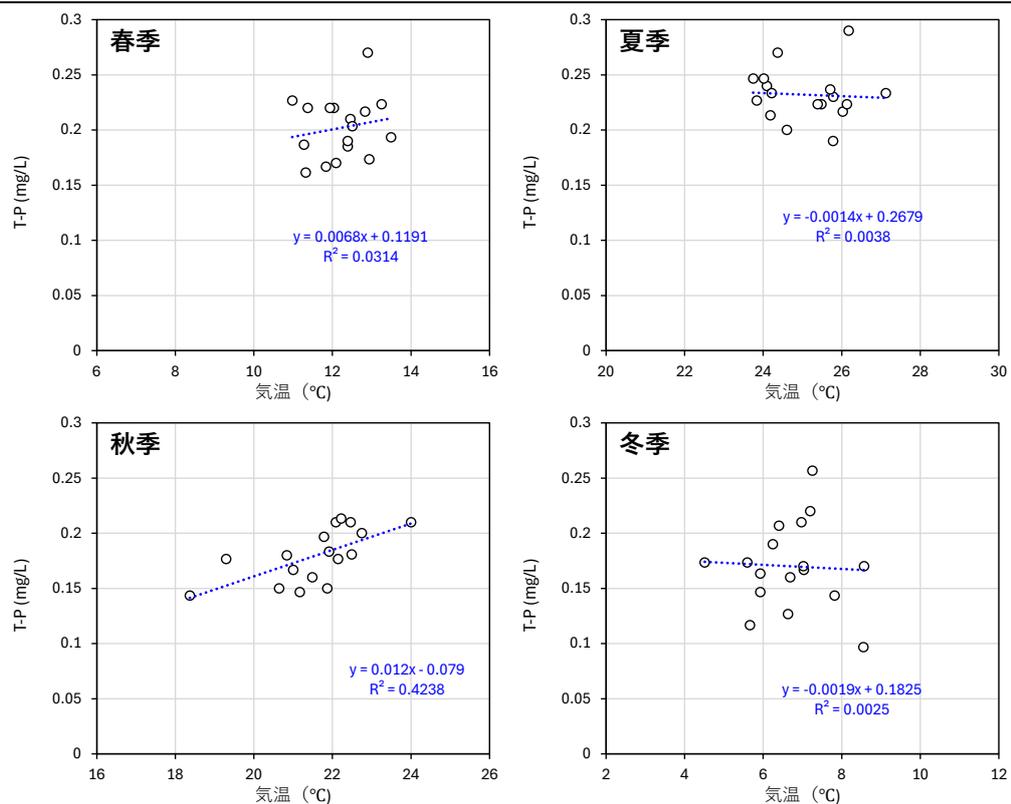


図 1-6 笹ヶ瀬川（比丘尼橋）の T-P 濃度と岡山地方気象台の降水量、気温の関係
※降水量は 90 日間の合計値、気温は 90 日間の平均値。算定対象期間は本文参照。

5. 考察

冬季の降水量が少ないと T-P、 PO_4 -P 等の濃度が上昇するメカニズムについては、河川流量が観測されていないため推測の域を出ないものの、降水量が少ないと比較的高濃度の T-P が希釈されずに比丘尼橋に到達することが原因の一つとして考えられる。

児島湖流域における雨水の T-P 濃度については、平均 0.049mg/L という調査結果がある（別紙 2 参照）。一方、河川水中の T-P 濃度（令和 5 年度）は、高塚橋・入江橋・白鷺橋では平均 0.08～0.09mg/L（降雨の T-P 濃度の 2 倍弱）であったのに対し、比丘尼橋では平均 0.21mg/L（降雨の T-P 濃度の約 4 倍）と高い。そのため、比丘尼橋は相対的に「降雨による希釈効果」の影響を受けやすい地点と考えられ、近年の少雨によって T-P 濃度が高まった可能性がある。

この仮説が事実であった場合、比丘尼橋の冬季 T-P、 PO_4 -P 濃度は上昇傾向にあるものの、この時期の負荷量としては大きく増加していないことになる。実際、下流の笹ヶ瀬橋では T-P 濃度の経年的な上昇はみられず、下流に及ぼす影響は小さかったことが観測データから伺える（図 1-7）。

なお、比丘尼橋の T-P 濃度が高い背景としては、児島湖流域の畑地の 43% が S-2 ブロックに集中していることが関係している可能性があるものの、S-2 ブロックの面積に占める割合は 9% とそれほど大きいわけではなく（表 1-4）、原因は不明となっている。

また、秋季は気温との間に正の相関が確認されたこと、周辺の土地利用形態として山林・畑地が多い特徴があることを踏まえると、気温上昇に伴う土壤微生物の活性化によるりん溶脱等の影響も可能性として考えられる。

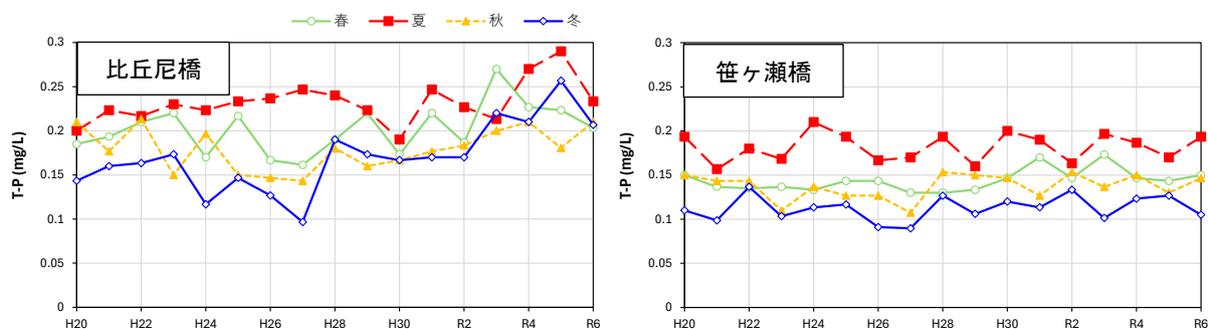


図 1-7 笹ヶ瀬川における T-P 濃度の推移（季節ごとの平均値）

表 1-4 土地利用形態別面積割合（%）

ブロック	山林	水田	畑	その他
S-1+S-3（概ね入江橋上流域と一致）	54	17	4	25
S-2（比丘尼橋上流域）	58	12	9	22

参考資料①：各地点の T-P、P0₄-P 濃度の経年変化傾向について

児島湖及び流入河川における T-P、P0₄-P 濃度の経年変化傾向を以下に示す。河川上流の工事の影響で T-P 濃度が上昇している下灘橋を除くと、T-P、P0₄-P 濃度の上昇傾向は比丘尼橋のみで確認された。また、比丘尼橋と他地点の相関は基本的に低かった。

表 1-5 児島湖及び流入河川におけるりん濃度の経年変化傾向（平成 20 年度～令和 6 年度）

T-P		水域名	河川名	地点名	年間	春	夏	秋	冬
水域	笹ヶ瀬川	足守川	高塚橋					-0.002	
			入江橋	-0.002		-0.004			
	笹ヶ瀬川	比丘尼橋	0.003					0.005	
		笹ヶ瀬橋							
	相生川	白鷺橋							
水域	倉敷川	倉敷川	下灘橋	0.017	0.023		0.018		
			盛綱橋						
			新稔橋						
			倉敷川橋						
	六間川	桜橋					-0.002		
	妹尾川	妹尾川国道30号線下							
児島湖			笹ヶ瀬川河口部						
			倉敷川河口部						
			湖心						
			樋門						

P0 ₄ -P		水域名	河川名	地点名	年間	春	夏	秋	冬
水域	笹ヶ瀬川	足守川	高塚橋					-0.002	
			入江橋	-0.001		-0.003	-0.001		
	笹ヶ瀬川	比丘尼橋	0.002					0.005	
		笹ヶ瀬橋							
	相生川	白鷺橋							
水域	倉敷川	倉敷川	下灘橋				-0.003		
			盛綱橋						
			新稔橋						
			倉敷川橋						
	六間川	桜橋	-0.004	-0.003	-0.006		-0.006		
	妹尾川	妹尾川国道30号線下				-0.004			
児島湖			笹ヶ瀬川河口部						
			倉敷川河口部		-0.005				
			湖心		-0.002				
			樋門						

- 注1. 表中の数値は回帰直線の傾きを示す。単位は mg/L/年。
 注2. 着色箇所は、相関係数の t 検定により有意水準 5% で有意な変化傾向が検出されたことを示す（■は正のトレンド、■は負のトレンド）。空欄は有意な変化傾向が検出されなかったことを示す。

表 1-6 笹ヶ瀬川（比丘尼橋）と各地点の T-P 濃度の相関係数

時期	笹ヶ瀬川水系				倉敷川水系					
	足守川		笹ヶ瀬川	相生川	倉敷川				六間川	妹尾川
	高塚橋	入江橋	笹ヶ瀬橋	白鷺橋	下灘橋	盛綱橋	新稔橋	倉敷川橋	桜橋	妹尾川 国道30号下
春季	0.02	0.08	0.56	-0.54	0.10	0.01	0.01	0.08	0.10	-0.01
夏季	-0.25	-0.52	-0.26	-0.11	0.27	-0.06	-0.06	-0.09	-0.17	0.20
秋季	0.15	0.28	0.63	0.05	0.50	0.50	0.35	0.17	-0.12	0.00
冬季	0.35	-0.16	0.40	0.41	0.59	0.42	0.35	0.26	-0.32	0.05

- 注1. 表中の数値は平成 20 年度～令和 6 年度の経年変動に関する 2 地点間の相関係数を示す。
 注2. 着色箇所は、t 検定により有意水準 5% で有意な相関が検出されたことを示す（■は正の相関、■は負の相関）。

参考資料②：原単位法による T-P 排出負荷量について

比丘尼橋上流域（S-2 ブロック）を含む各ブロックの「単位面積当たりの T-P 排出負荷量」を以下に示す。水質調査では比丘尼橋上流域において、隣の入江橋上流域（S-1+S-3 ブロック）より高い T-P 濃度が観測されているが、T-P 排出負荷量についてはそれほど顕著な差は確認されなかった。水質調査では流量が測定されていないため詳細不明だが、排出負荷量については原単位法による算定精度の問題もあると考えられる。

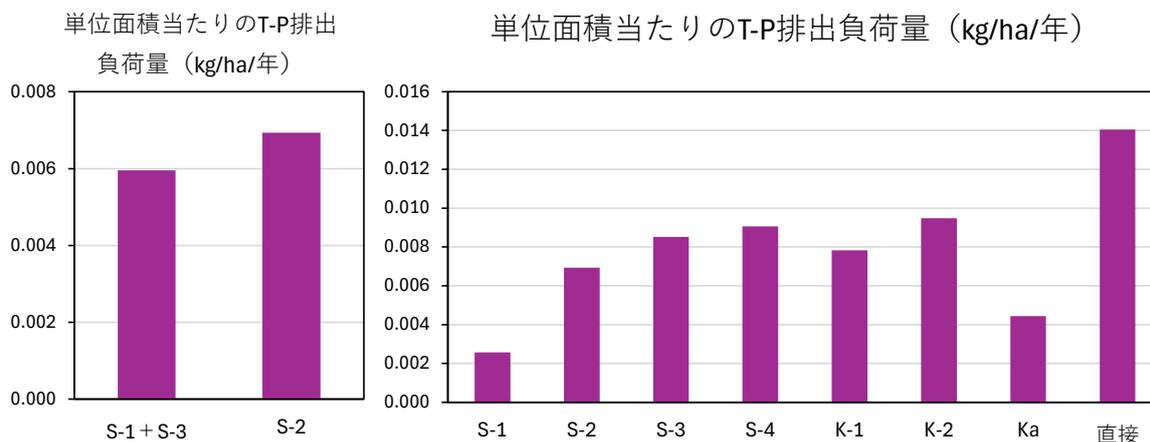


図 1-8 各ブロックにおける単位面積当たりの T-P 排出負荷量（令和 5 年度）
 左図：S-1+S-3 ブロック（入江橋上流域）と S-2 ブロック（比丘尼橋上流域）の比較
 右図：各ブロックの比較



③比丘尼橋、④笹ヶ瀬橋、⑦倉敷川橋

図 1-9 児島湖流域のブロック図

過去の降雨調査の精査による降雨負荷原単位の再算定について

<指摘内容>

河川の窒素は、乾性沈着、湿性沈着の影響を大きく受ける。岡山県での沈着量は把握しているか。足りない情報があれば、これから補足していただきたい。

<回答>

岡山県では、乾性沈着物及び湿性沈着物の経年変化について把握はしていない。

降雨原単位については、過去の降雨調査（乾性沈着物及び湿性沈着物）を精査し、環境省のガイドラインで示された方法での原単位の再算定を試みた。

今期では再算定した降雨原単位を用いることとし、必要であれば、第9期計画中に調査等の実施を検討したい。

<詳細>

改めて平成12～13年度に実施した降雨の原単位調査（乾性沈着物及び湿性沈着物）の結果を精査したところ、原単位の算定方法が「各採取期間の負荷量（g/ha/日）を単純平均し、365日乗ずる方法」で算定されていたことが分かった。現在は、平成26年に改定された「非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン（第二版）」において、降水量で重みづけする算定方法が推奨されているため、その方法で再算定したところ、窒素の降雨負荷原単位は7.50 kg/ha/年となった。

	平成12-13年度調査結果	ガイドライン法算定	他の指定湖沼の原単位
COD	46.3	28.6	23.9 ～ 63.5
T-N	12.6	7.50	6.57 ～ 14.5
T-P	0.52	0.41	0.08 ～ 0.56

単位：kg/ha/年

児島湖は他の指定湖沼と比較して湖面積が小さく、全体の汚濁負荷量に対する湖面負荷の寄与率も、COD：2.4%、T-N：2.1%、T-P：0.61%（令和5年度）と小さいことを考慮すると、降雨の原単位については現在データが無い出水時調査に比べ、ただちに見直しをする必要性は低いと考える。

そのため、第9期計画では、降雨の原単位について平成12-13年度の調査結果を、ガイドラインで推奨されている算定方法で再算定した数値を使用したいと考えている。その上で、新たに乾性沈着物及び湿性沈着物についてデータを取得する必要があるれば、調査等の実施を検討するべきと考えており、ご意見を伺いたい。

また、降雨の原単位については、毎年度降水量に応じて補正しているため、今回再算定した、降水量で重みづけした平均水質（COD：3.4mg/L、T-N：0.90mg/L、T-P：0.049mg/L）を原単位とする（琵琶湖、宍道湖・中海と同様）ことについてもご意見を伺いたい。

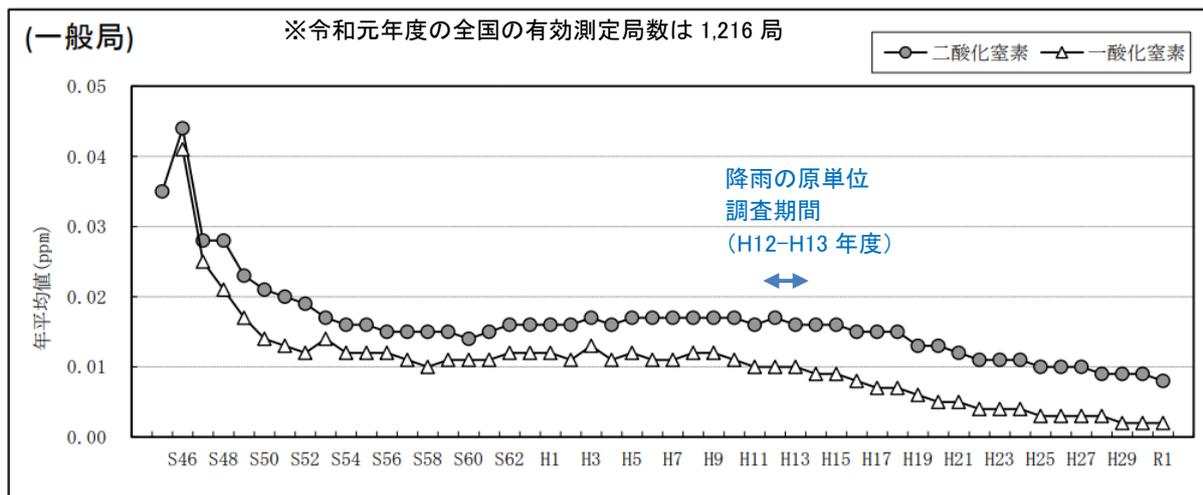


図1 大気中の二酸化窒素及び一酸化窒素濃度の年平均値の推移（一般環境大気測定局）

出典：「令和元年度 大気汚染状況について」（環境省）<https://www.env.go.jp/press/109397.html>

(参考表) 指定湖沼における降雨負荷原単位とその設定根拠

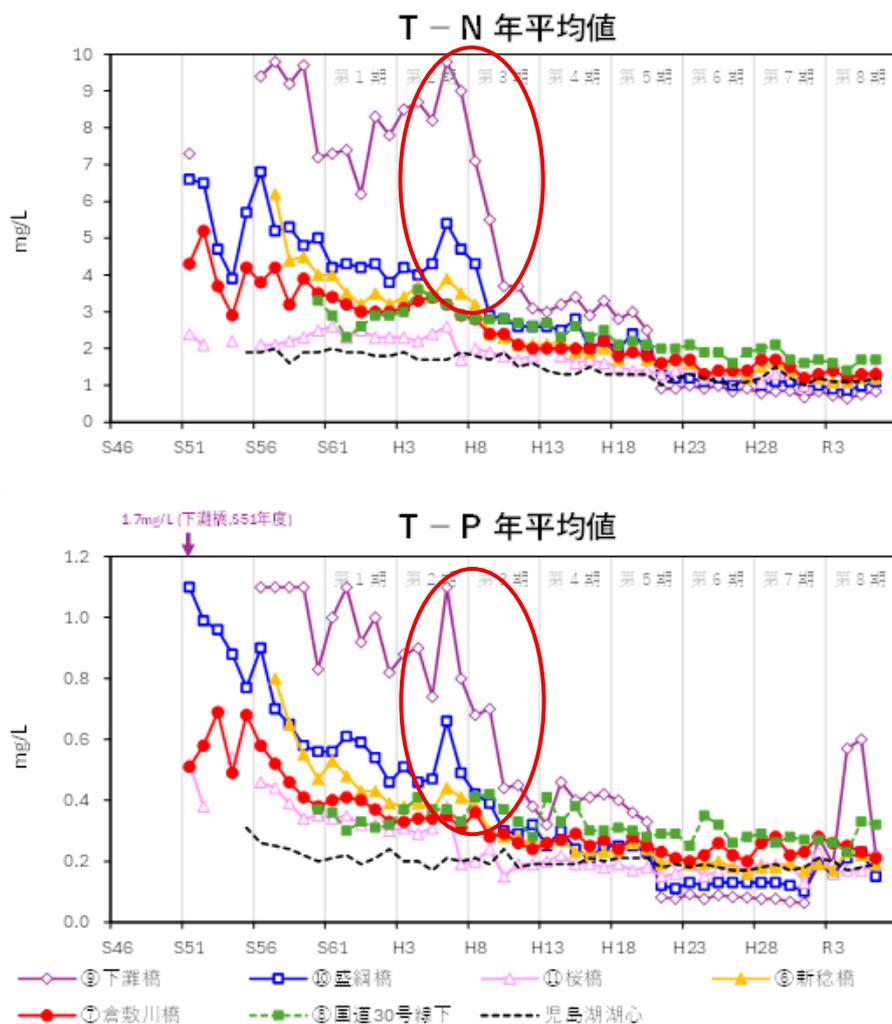
湖沼名	名称・単位	COD	T-N	T-P	設定根拠
八郎湖	水面 (kg/ha/年)	42.3	13.1	0.4	T-N、T-P は流総指針の大気降下物原単位
釜房ダム	湖面降雨 (kg/ha/年)	27.9	7.13	0.36	降雨水質は平成3年度の県内4か所の実測値の 平均値（原単位は降水量で毎年補正）
霞ヶ浦	湖面降下物 (kg/ha/年)	63.5	14.5	0.56	霞ヶ浦流域内4地点における毎月の全大気降下 物（湿性沈着物及び乾性沈着物）データの平均 値（平成30年10月～令和2年9月）
印旛沼 手賀沼	湖面 (kg/ha/年)	35.0	8.69	0.33	「湖沼非特定汚染源対策強化実証事業」 平成11、12年度環境省委託業務
諏訪湖	大気降下物 (kg/ha/年)	24.1	5.91	0.30	釜口水門及び水産試験場諏訪支場における測 定結果（平成25～27年度）による
野尻湖	降雨 (kg/ha/年)	23.9	6.97	0.08	長野県衛生公害研究所調査結果 （調査地点：信濃町野尻湖博物館）
琵琶湖	湖面降水 (mg/L)	1.8	0.63	0.02	滋賀県大気由来降下物負荷調査の平均負荷量 （昭和62年度～平成元年度、湿性＋乾性）を 同年度の降水量で割り、平均濃度を算出
宍道湖 中海	湖面降雨 (mg/L)	1.6	0.73	0.01	降水濃度調査結果に基づき設定

- 出典：1. 「非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン（第二版）資料編」（環境省 水・大気環境局 水環境課、平成26年12月）
 2. 「第3期八郎湖水質保全対策検討専門委員会第4回検討会 資料5」（秋田県 八郎湖環境対策室、令和元年7月）
 3. 「霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画（第8期）」（茨城県・栃木県・千葉県、令和4年3月）
 4. 「平成27年度諏訪湖非特定汚染源負荷量調査結果報告書」（長野県、平成28年3月）
 5. 「第8期湖沼水質保全計画に係る将来水質予測シミュレーションについて（最終）」（滋賀県 琵琶湖環境科学研究センター、令和3年11月）

倉敷川の窒素・りん濃度の低下の要因について
 (し尿処理場(白楽処理場)との関連性)

<指摘内容>

倉敷川の窒素・りん濃度は、し尿処理場(白楽処理施設)の排水投入をやめた平成11年度以前から下がっているように見えるが、段階的にやめたということか。また、排水投入をやめるとは、具体的にどういうことか。



図Ⅱ-11 倉敷川水域のT-N、T-P濃度(年平均値)の推移

第1回検討会資料2よりグラフ抜粋

<回答>

し尿処理場（白楽処理施設）に集められたし尿が、平成 11 年以前から段階的に他のし尿処理場や単独公共下水道、流域下水道で処理されるようになったことが確認された。

また、平成 11 年以前から倉敷川の窒素・りん濃度が低下している要因は、上記のほか、倉敷市内の下水道人口普及率が急激に上昇したことなどが考えられた。

<詳細>

倉敷市のし尿処理場（白楽処理施設）は、平成 8 年度に浄化槽汚泥の脱水設備を設置し、当初は、水島し尿処理場から浄化槽汚泥（60kL/日まで）の搬送を受けて処理し、代わりに白楽処理施設のし尿を水島し尿処理場に全量運搬し処理していた。

その後、切り替わりの時期は不明だが、白楽処理施設のし尿の受け入れ先は、水島し尿処理場から倉敷市単独公共下水道（白楽処理区）に変更され、平成 11 年度まで受け入れられた。平成 11 年度からは、児島湖流域下水道が排水の受け入れ先となっている（下表・第 1 回検討会資料 3 表 1-2 参照）。

このように、し尿処理場（白楽処理施設）に集められたし尿が、段階的に他のし尿処理場や単独公共下水道、流域下水道で処理されるようになったことが、グラフに表れているものと考えられる。

その他、平成 3 年度以降の倉敷市内の下水道人口普及率が急激に上昇（平成 3 年度:25.9%→平成 11 年度:45.0%）したこと等も含めた複合的な要素が、下灘橋での平成 8 年度から平成 11 年度までの、段階的な T-N、T-P の年平均値の低下の要因と思われる。

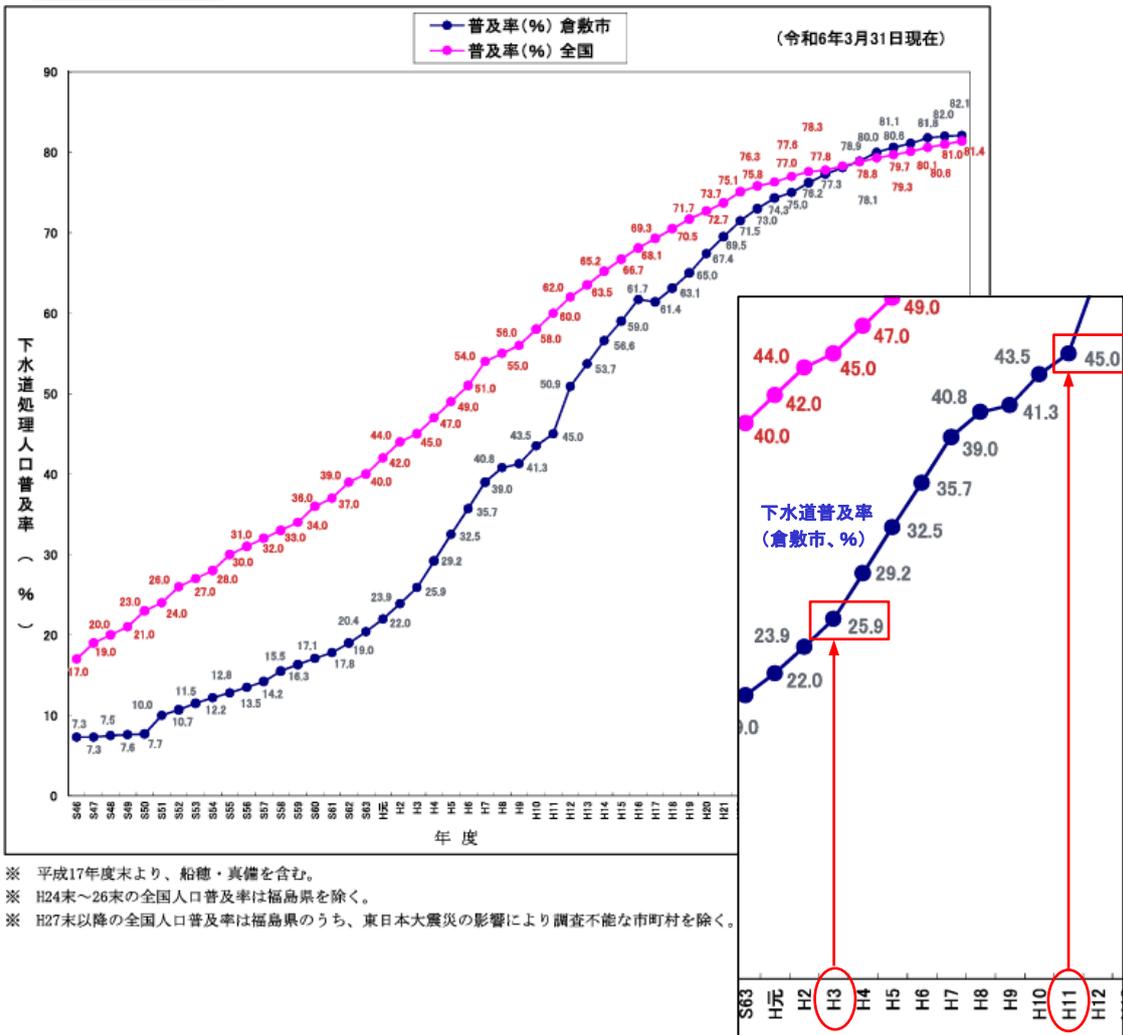
なお、本文中の、「倉敷市単独公共下水道（白楽処理区）が平成 11 年度にし尿処理場（白楽処理施設）からの排水投入を止め」とは、倉敷市単独公共下水道（白楽処理区）が平成 11 年度までし尿処理場（白楽処理施設）の排水を受け入れていたが、平成 11 年度からは児島湖流域下水道がその排水を受け入れたことを説明している。

<第 1 回検討会 資料 3 表 1-2 児島湖流域の下水道 より抜粋>

系内	下水道	方式	供用期間	処理方式 / 放流量 (R5 平均値)	高度処理対象項目	備考
	児島湖流域下水道	分流式	H 元.3~	凝集剤添加 3 段硝化脱窒+急速ろ過 188,381 m ³ /日	COD, N, P	H7 年度から当新田し尿処理施設の排水を、H11 年度から倉敷市白楽町のし尿処理施設及び岡山市単独公共下水道（芳賀佐山）の排水を受け入れ。
	倉敷市単独公共下水道 (倉敷処理区)	合流式	(~H.21)	- 237 m ³ /日	-	H11 年度まで倉敷市白楽町のし尿処理施設の排水を受け入れ。合流式下水道改善のため、H21 年度に児島湖流域下水道に接続。以降は雨水ポンプ場として稼働。

<倉敷市下水道事業概要 令和6年度 より抜粋>

人口普及率の推移



農地からの汚濁負荷の削減状況について

<指摘内容>

被覆型肥料の使用や農耕地面積の減少、畜産ふん尿の野積の禁止等により、農業からの汚濁負荷割合が減ってもよいと考えられるが、減っていないのはなぜか。肥料等の細かい工夫より、出水対策が必要ではないか。

<回答>

農地系等の汚濁負荷量も昭和 63 年度から 20~40%程度減少しているが、生活系・産業系の汚濁負荷量の減少量がより大きいため、減少量が小さくみえていると考えられる。

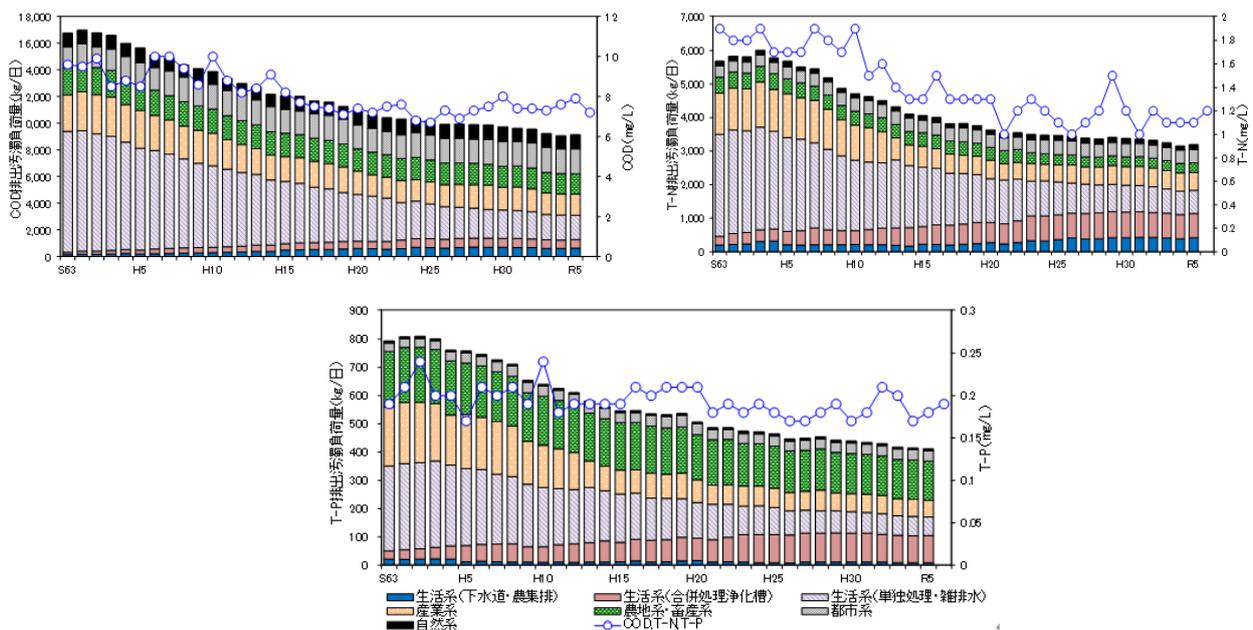
また、L字型肥料の施用等をはじめとする農地対策による汚濁負荷量の削減効果は、中長期的な取組によって現れるものと考えられ、引き続き取組を継続していきたい。

<詳細>

1. 排出負荷量の推移について

児島湖流域の排出汚濁負荷量の推移をみると、全体的に COD、T-N、T-P とも減少してきており、生活系（単独処理・雑排水）や産業系等他の減少幅と比較すると、農地系・畜産系は減少していないようにも見える。

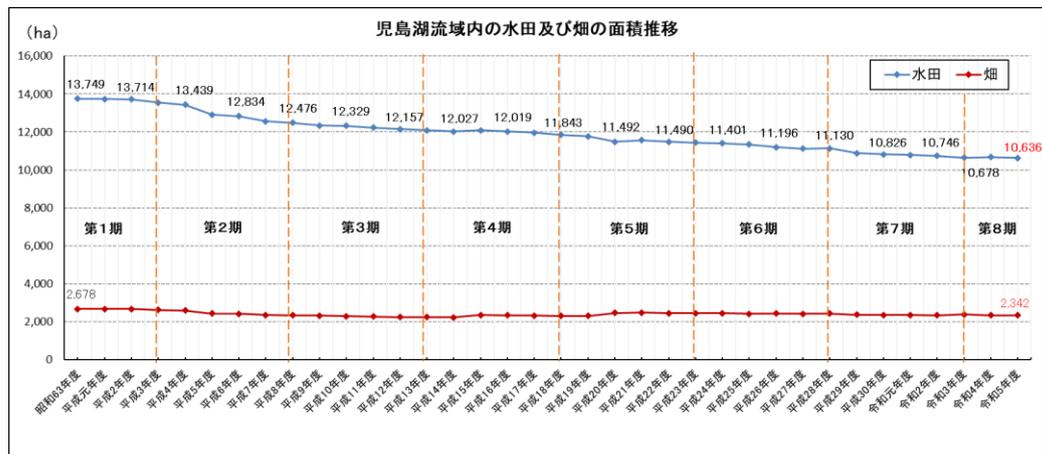
しかし、農地系・畜産系の昭和 63 年度の汚濁負荷量と、令和 5 年度の汚濁負荷量を比較すると、COD は 498 kg/日（24.4%）、T-N は 192 kg/日（40.0%）、T-P は 60 kg/日（29.7%）減少しており、少しずつではあるが、減少してきていることが分かる。



図Ⅲ-1 児島湖流域の排出汚濁負荷量と湖心水質（年平均値）の推移

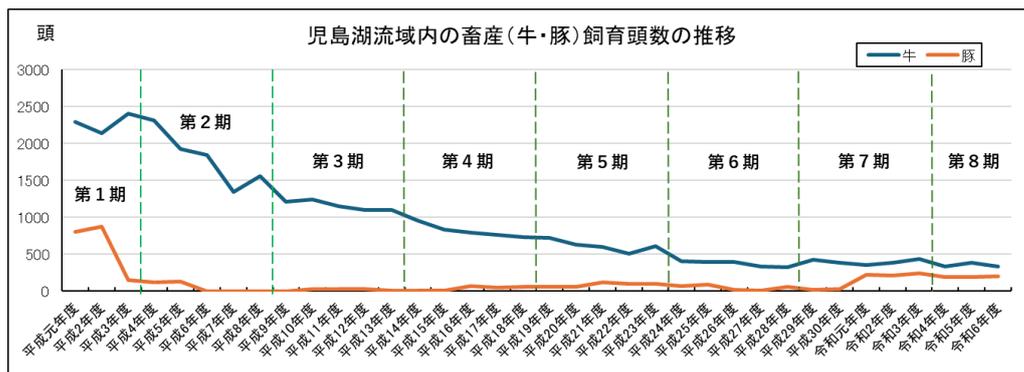
2. 農地系・畜産系の経年データ

2.1. 水田及び畑の面積



水田の面積は昭和 63 年度から 23%減少し、畑についてはほぼ横ばいの状況である。

2.2. 畜産系（牛・豚）の経年推移



牛の飼育頭数は平成元年度から 85%減少し、豚の飼育頭数は近年は 200 頭前後で推移している。

3. 過去の農地系原単位算出の経緯

水田原単位については、第 3 期計画までは他県での事例を基に設定していたが、第 4 期～第 5 期にかけては平成 12～13 年度の調査結果（灌漑期）を基に算出した水田原単位を負荷量算定に使用した。第 6 期からは、第 4 期～第 5 期で使用した原単位を補正したものを使用している。

くりんの水田原単位の変遷 > (kg/ha/年)

第 4～5 期	第 6～7 期（補正後）	第 8 期（補正後）
4.88	4.60	4.56

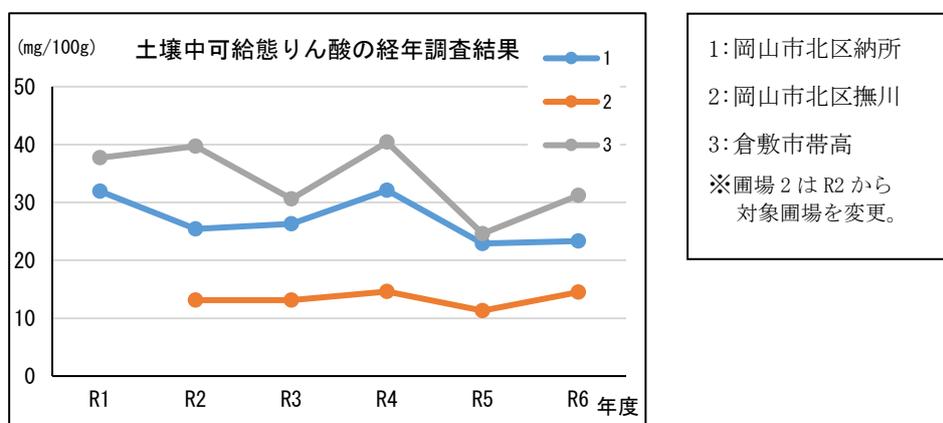
なお、畑の原単位については、第 3 期計画の原単位を、畜産系については、第 1 期計画の原単位を継続して使用している。

4. 対策を打ってから効果が発現するまでの時間

4.1. 土壌中のりん濃度

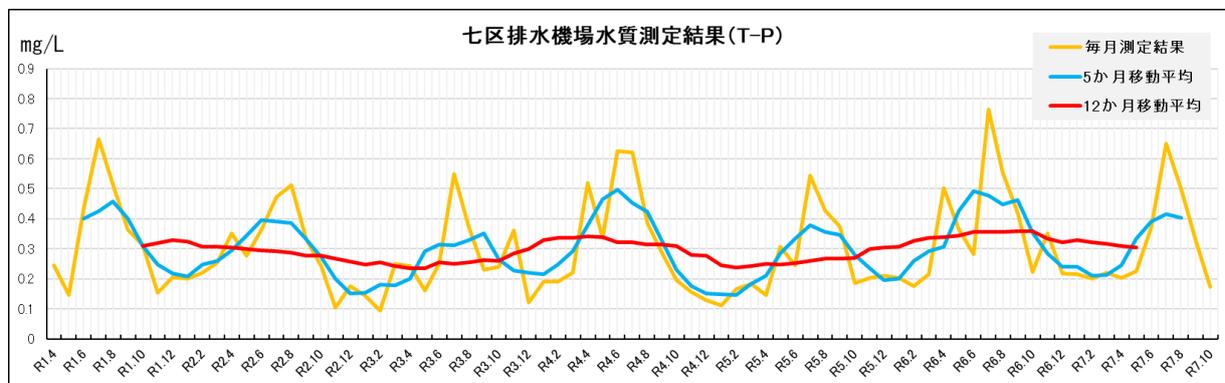
通常土壌中のりん濃度の変化が表れるには、諫早湾干拓地のある長崎県で40年以上の期間土壌定点調査を行っている事例もあるとおり、数10年単位の時間がかかるとされている。

当課では令和元年度から、L字型肥料に転換した圃場の土壌について追跡モニタリングを行っており、令和6年度までの調査結果を見ると、土壌中の可給態りん酸濃度については、増減を繰り返している状況である。なお、調査地点の3圃場は土質が粘質であり、より肥料持ちがよいことに加え、過去からの蓄積もりんが減少しにくい要因として考えられる。



4.2. 流出水対策地区の水質の推移について

流出水対策地区内で、農地から児島湖に排水が流入する地点である「七区排水機場」の水質測定結果（T-P濃度）についても、各種農業施策に関わらず、経年の濃度推移にはやはり変化は見られていない。水質等に施策の効果が出るまでには諫早湾干拓地同様、相当の時間がかかると思料されるため、今後もL字型肥料普及圃場の土壌検査や、流出水対策地区の水質検査を継続して実施し、データの蓄積を行っていきたい。



降雨時の出水に関する調査・対策について

<回答>

第9期計画の調査研究として、第10期計画策定に資する各種基礎データの収集を行う予定であり、その中で出水時調査を実施することとしたい。

出水時対策について、取り入れるべき対策や、既存・新規含めた対策の効果の検証方法、計画目標の設定方法について、委員のご意見を頂きたい。

<詳細>

1. 出水時調査について

第7期計画策定時に降雨時（特にりん）の流入汚濁負荷量のデータが必要との意見があり、「晴天時と雨天時における流入汚濁負荷の比較」という資料を示している。

当該資料では、雨天時の流入汚濁負荷量について、第1回雨天時調査（総降雨量14.5mm）では、晴天時の2～3倍程度、第2回雨天時調査（総降雨量138.5mm）では、晴天時の20倍程度と説明している。

ただし、流量の測定データが無かったため、水位上昇速度から推計した、児島湖への流入水量と総降雨量の関係式を求め、児島湖への流入水量を予測しているものであった。

第8期計画策定時には、シミュレーションモデルの精度向上の議論の中で、透明度推計に係るL-Q式のパラメータ設定のためには、出水時の調査を行う必要がある、との意見があった他、温暖化の影響により降雨量の変動が増大するという予測について言及があった。

これらの過去の検討会でも出水時調査の必要性について言及されていることも踏まえ、第9期計画期間中に出水時調査を行う方向で考えている。

調査手法等について、他の指定湖沼の調査河川数が年間1～2河川となっているため、笹ヶ瀬川と倉敷川の2河川について、まず行うこととしたいが、ご意見を伺いたい。

2. 出水時（流出水）対策について

第8期計画の流出水対策においては、表1にお示ししたとおり、「土づくりに関する技術の普及」、「化学肥料低減技術の普及」、「肥料成分・濁水等の流出防止」を農地対策とし、推進しているところであり、特に「L字型肥料の普及啓発事業」については数値目標を掲げ重点的に取り組んできた。

一方、流出水対策については、その効果等の定量化に多くの調査・研究成果が必要であるなど、効果検証が困難であるという課題もある。

このため、新たな対策の検討に際し、前述のとおり効果の検証が難しいなどの理由で、数値目標の設定が困難との状況もあると考えるが、流出水対策は重要な水質改善対策であることから、新たな対策についての具体的な方法や、既存・新規含めた対策の効果の検証方法、計画目標の設定方法について、ご意見を伺いたい。

なお、参考までに、「非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン（第二版）」に掲載されている農業地域における対策手法を表2にお示しした。

対 策	実施主体	内 容
土づくりに関する技術の普及	県 市町 農協 農家	<ul style="list-style-type: none"> ・たい肥等有機質資材の施用 ・レンゲ等緑肥作物の利用
化学肥料低減技術の普及		<ul style="list-style-type: none"> ・作物の根の周辺等、効果的な場所（局所）への肥料の施用（側条施肥） ・作物の生長に合わせて効果が現れる肥料（肥効調節型肥料）の施用 ・土壌のリン酸含有量に応じた施肥量の削減（リン酸・加里含有量の少ない肥料（L字型肥料）の施用）
肥料成分・濁水等の流出防止		<ul style="list-style-type: none"> ・被覆肥料等の効果的な利用に資する浅水代かきや自然落水などの適正な水管理及び畦畔管理の推進 ・多面的機能支払交付金を活用した集落ぐるみによる農業用排水対策に関する啓発の推進

化学肥料低減技術の普及による施肥量の削減

対 策	現 状 (令和2(2020)年度)	目 標 (令和7(2025)年度)
土壌のリン酸含有量に応じた施肥量の削減	(児島湖流域の水稲栽培でのL字型肥料の普及面積率) 73%	(児島湖流域の水稲栽培でのL字型肥料の普及面積率) 80%

表1 第8期計画の農地対策

(2) 対策手法	
1) 対策の分類	
農業地域からの非特定汚染源負荷の削減手法を分類列举すると次のとおりである。	
対策の分類	具体的な方法
肥培管理と施肥技術の改善	施肥量の適正化
	施肥方法の改善
	肥料資材の改良
	野菜作における輪作の導入
水田の用排水の適正管理	田植工程の改善
	畦からの漏水防止
	反復利用や循環かんがい
	水管理の改善
土壌の流出防止	冬季湛水、不耕起移植栽培
	土壌表面の被覆
農業生態系の利用	防風対策
	休耕田の脱窒、りんの吸着機能の利用
農業用排水路対策	農業用ため池を活用した浄化
	農業用排水路の浚渫
	浄化型農業用排水路の整備

表2 「非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン（第二版）」より

令和 7 年 12 月 23 日

第 9 期児島湖水質保全計画策定検討会 第 2 回会議

第 9 期水質シミュレーションモデルの構築及び再現性

第9期水質シミュレーションモデルの構築及び再現性

目次

I 第8期水質シミュレーションモデルとの比較.....	1
II 第9期水質シミュレーションモデルの構築と再現計算.....	5
1 流域モデル.....	5
(1) 基礎方程式.....	5
(2) 条件設定.....	11
2 流動モデル.....	14
(1) モデルの概要.....	14
(2) 基礎方程式.....	15
(3) 条件設定.....	20
(4) 再現計算結果.....	42
3 水質モデル.....	47
(1) モデルの概要.....	47
(2) 条件設定.....	50
(3) 再現計算結果.....	57
4 透明度モデル.....	66
(1) モデルの概要.....	66

Ⅰ 第 8 期水質シミュレーションモデルとの比較

第 9 期児島湖水質保全計画策定において構築・適用する水質シミュレーションモデル（以下、第 9 期水質シミュレーションモデル）は、全体の構成としては第 8 期と同じく、流域モデル、流動モデル、水質モデル、透明度モデルから成るものとしている。

第 9 期水質シミュレーションモデルと第 8 期水質シミュレーションモデルの比較を表 I-1 に示す。また、主な変更点は以下のとおりである。

【流域モデル】

流域モデルについては、より再現性の高い計算を実施することに加え気候変動等による流域水循環等への影響を考慮することができるよう第 8 期モデルから一部改変したモデルを適用する。

【流動モデル】

流動モデルについては、基本的なモデル構造は第 8 期と同様とし、主に鉛直方向の層分割の見直しを行う。この理由としては、後述のように、水深が深くなっている水域における底層水の貧酸素化を再現することを主目的としている。

【水質モデル】

水質モデルについては、児島湖は全体的に水深が浅く、底質からの栄養塩の溶出についても水質濃度の上昇に影響を及ぼしていると考えられることから、他湖沼計画策定において構築・適用している水質と底質の相互作用を考慮できるモデルを用いる。このモデルは、湖沼の底層 DO 濃度の再現に優れており、貧酸素化に伴うリンの溶出の変化についても考慮している。また、近年、水草の大量繁茂による湖沼水質への影響についての研究が進み、水草の種類によっては、大量繁茂することにより流動を阻害し、底質への有機物沈降・堆積の促進、底層 DO 濃度の低下、底生生物相の単純化が問題視されている。このような背景から、湖沼計画の対策や調査研究に水草の刈取り量・面積や湖沼環境への影響について記載する例も見られる。第 9 期の水質モデルは、浮葉植物（ヒシ）や抽水植物、沈水植物による流動及び水質・底質への影響についても考慮できるものとなっている。

【透明度モデル】

透明度モデルについては、児島湖の水質を入力することにより、透明度の経年変動が再現可能なモデルを構築する必要がある。また、施策検討のため、透明度の低下要因を解析する必要があることから、半理論的な統計モデルが望ましい。以上より、第 9 期は環境省の手引き（令和 2 年公開）に準拠したモデルに変更する。

表 I-1 (1) 第8期モデルと第9期モデルの違い (流域モデル)

項目	第8期水質シミュレーションモデル	第9期水質シミュレーションモデル	変更点・変更理由
モデル構成	<p>※下線のあるものはモデルの入力条件</p>	<p>※水工学論文 巻48号 pp.7-12, 2004等</p>	<ul style="list-style-type: none"> 再現性向上を目的として、土地利用別タンクモデルから分布型流出解析モデル、3次元飽和・不飽和浸透解析モデルへ変更 地下水流動を考慮することで、長期流出の再現性向上が期待できる。それに伴い、気候変動に伴う流域水循環への影響も考慮可能となるため、今後の検討にも活用が期待できる。
表層水	土地利用別タンクモデル	分布型流出解析モデル	
地下水	土地利用別タンクモデル	3次元飽和・不飽和浸透解析モデル	
計算格子			<ul style="list-style-type: none"> モデル変更に伴い計算格子を変更 水平格子幅は 1km×1km に設定

表 I-1 (2) 第8期モデルと第9期モデルの違い (流動モデル・水質モデル)

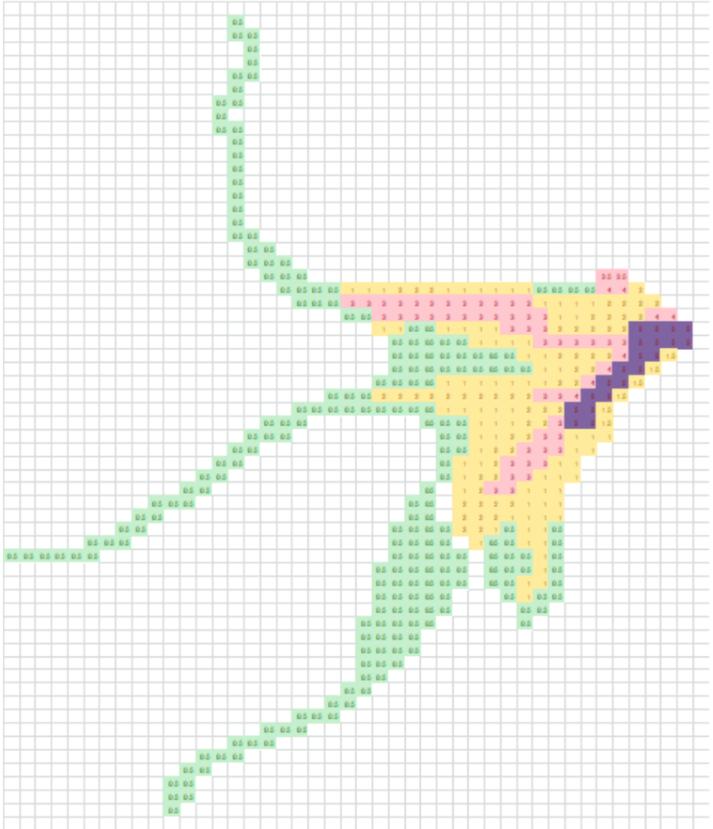
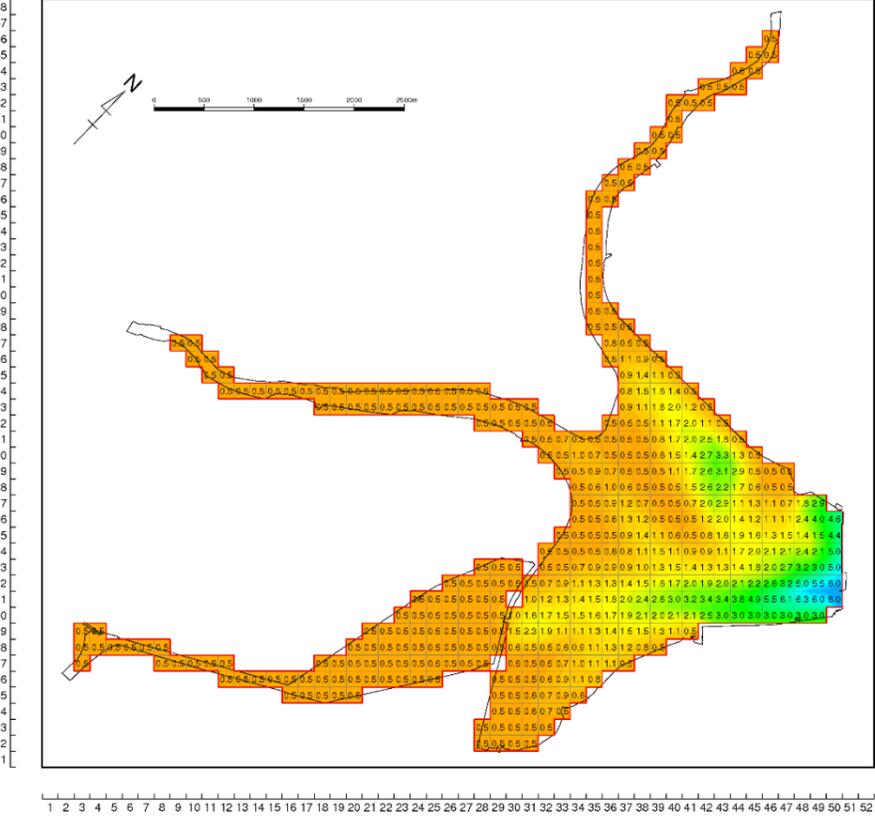
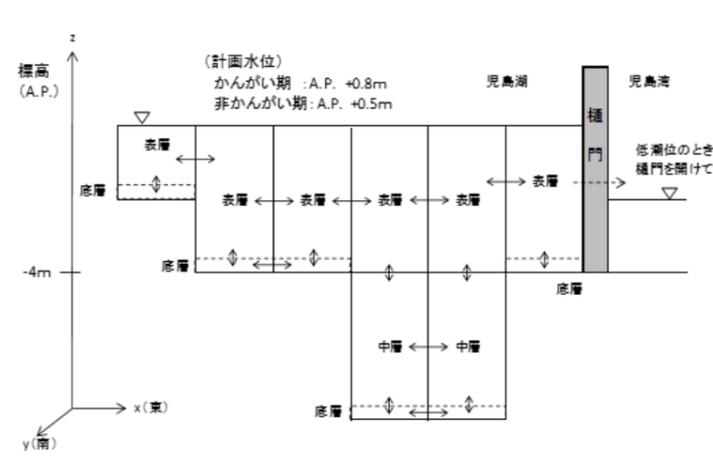
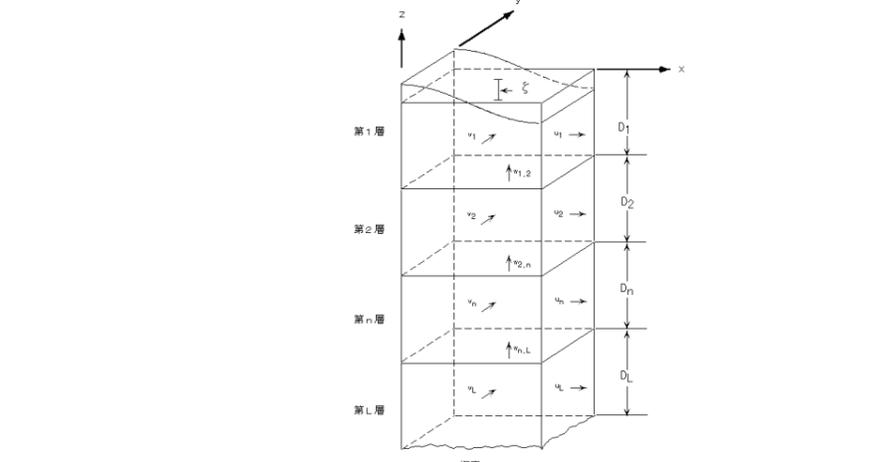
項目	第8期水質シミュレーションモデル	第9期水質シミュレーションモデル	変更点・変更理由
水平格子			<ul style="list-style-type: none"> 水平格子幅については160m×160mから変更はなし 滞筋に沿った流れの再現性向上を目的として、計算格子を北針から44°回転
鉛直格子	 <p>表層：A.P.-4m～水面、または湖底10cm上～水面 中層：湖底10cm上～A.P.-4m 底層：湖底～湖底10cm上</p>	 <p>第1層（水面に接する層）：層厚可変 第2層以降：0.5m</p>	<ul style="list-style-type: none"> 水深が深くなっている水域における底層水の貧酸素化を再現することを目的として、鉛直層分割を細分化

表 I-1 (3) 第8期モデルと第9期モデルの違い (水質モデル、透明度モデル)

項目	第8期水質シミュレーションモデル	第9期水質シミュレーションモデル	変更点・変更理由
モデル構成	<p>水質モデル</p> <p>計算の境界条件として与えるもの → モデルで計算するもの</p>	<p>水質・底質結合生態系モデル</p>	<ul style="list-style-type: none"> 水質モデルから水質・底質結合生態系モデルへ変更 水質と底質が結合していることにより、底質からの栄養塩等の溶出や酸素消費速度については予め一定値の速度を設定することなく、水中からの沈降、直上水濃度、生物生息状況などに応じてモデル内部で自律的に計算されるため、底質も含めた水域全体での物質収支に矛盾がない
計算項目	動物プランクトン考慮なし	動物プランクトンを考慮	<ul style="list-style-type: none"> 内部生産の評価が重要な水域の場合、動物プランクトンを考慮しないと内部生産が過小評価になるため
計算項目	水生植物考慮なし	水生植物を考慮	<ul style="list-style-type: none"> 水生植物による水環境への影響を評価するため
計算項目	従属栄養細菌を考慮	従属栄養細菌は考慮せず分解速度により循環過程を置き換える	<ul style="list-style-type: none"> 従属栄養細菌については、現存量等が不明であり、循環過程の精度向上を目的として、計算要素ではなく循環速度として考慮
透明度の予測式	$1/\text{透明度} = 0.005 [\text{クロロフィル } a(\mu\text{g/L})] + 0.055 [\text{懸濁無機物}(\text{mg/L})] + 0.145 [\text{D-COD}(\text{mg/L})] - 0.218$ <p>※すべての係数は重回帰分析により決定 (季節によらず一定)</p>	$1/\text{透明度} = a_1 [\text{クロロフィル } a(\mu\text{g/L})] + a_2 [\text{Tr}(\text{mg/L})] + 0.41 [\text{CDOM}(1/\text{m})] + 0.040$ <p>※係数 a_1、a_2 は重回帰分析により季節ごとに決定 ※Tr (トリプトン) : 植物プランクトン以外の懸濁物 (SS とクロロフィル a 濃度から推定) ※CDOM: 有色溶存有機物 (DOC 濃度と全水深から経験式により推定)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 環境省の手引きに準拠 CDOM の係数を文献値としたのは、多重共線性により重回帰分析で決定すると過大となる場合があるため 切片を文献値としたのは、不純物のない水 (純水) の影響を表す項であるため 右辺各項の比較により、要因解析が可能

II 第9期水質シミュレーションモデルの構築と再現計算

1 流域モデル

(1) 基礎方程式

児島湖への流入量を精度よく算定するために、流域の土壌水分量及び地下水流動を考慮した流出解析モデル（飽和・不飽和浸透解析モデル）を構築している。

飽和・不飽和流に対する連続式は、

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

となる。ここで、 θ ：体積含水率、 u 、 v 、 w ： x 、 y 、 z それぞれの方向の流速である。また、土中の水がダルシー則に従って流れる場合、流速 u 、 v 、 w は以下のように表記できる。

$$u = -k_x(\theta) \frac{\partial h}{\partial x}, \quad v = -k_y(\theta) \frac{\partial h}{\partial y}, \quad w = -k_z(\theta) \frac{\partial h}{\partial z}$$

ここで、 $k_x(\theta)$ 、 $k_y(\theta)$ 、 $k_z(\theta)$ は x 、 y 、 z それぞれの方向の不飽和透水係数であり、体積含水率 θ の関数である。ピエゾ計水頭 h は位置水頭 z と圧力水頭 ψ の和であるから、上式は

$$u = -k_x(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad v = -k_y(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad w = -k_z(\theta) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right)$$

となり、これを連続式に代入すると、Richards 式と呼ばれる方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ k_x(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ k_y(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k_z(\theta) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right\}$$

が得られる。また、比水分容量 $C(\psi) = d\theta/d\psi$ 、水分拡散係数 $D(\theta) = k(\theta) \cdot d\psi/d\theta$ を用いれば、上式は

$$C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ k_x(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ k_y(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k_z(\theta) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right\}$$

と変形できる。

不飽和土壌において、体積含水率 θ と圧力水頭 ψ （またはサクション H ）との関係を水分保持曲線または土壌水分特性曲線と呼ぶ。有名なモデル式として、Brooks and Corey モデル（BC モデル、1964）、van Genuchten モデル（VG モデル、1980）が知られている。

$$\text{Brooks and Corey モデル} \quad S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \begin{cases} \left(\frac{\psi_e}{\psi} \right)^\lambda & (\psi < \psi_e) \\ 1 & (\psi \geq \psi_e) \end{cases}$$

$$\text{van Genuchten モデル} \quad S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \{1 + (-\alpha\psi)^n\}^{-m}$$

ここで、 ψ_e : 空気侵入圧, λ , α , n , $m (= 1 - 1/n)$ は水分保持曲線の形状を与えるパラメータである。また, Mualem (1976) によれば, 水分保持曲線から次式によって不飽和透水係数を推定することができる。

$$k(S_e) = k_s S_e^\ell \left\{ \frac{\int_0^{S_e} \frac{1}{\psi(S_e)} dS_e}{\int_0^1 \frac{1}{\psi(S_e)} dS_e} \right\}^2$$

ここで、 $k(S_e)$: 不飽和透水係数, k_s : 飽和透水係数, ℓ : 間隙結合係数である。BC モデル, VG モデルそれぞれの不飽和透水係数は以下の様になる。

Brooks and Corey モデル

$$k(S_e) = k_s S_e^{\ell+2+2/\lambda}$$

van Genuchten モデル

$$k(S_e) = k_s S_e^\ell \left\{ 1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right\}^2$$

なお, VG モデルにおいて, 飽和近傍の不飽和透水係数 k の急変は, 物理的には妥当ではなく, 数値計算を行う上でも計算の不安定を招きやすく大きな問題である。この問題を回避するため, 例えば Vogel and Cislerova (1988) は BC モデルのような空気侵入圧 ψ_e をもつ修正 VG モデルを提案した。

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \begin{cases} \frac{\theta_m - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \{1 + (-\alpha\psi)^n\}^{-m} & (\psi < \psi_e) \\ 1 & (\psi \geq \psi_e) \end{cases}$$

ここで、 ψ_s : 仮想的な空気侵入圧, θ_m : 仮想的な飽和体積含水率であり, 上段の式において $\psi = \psi_e$ で $\theta = \theta_s$ となる。BC モデル, 修正 VG モデルそれぞれによる, $\psi - \theta - k$ の関係を以下に示す。なお, パラメータは坂井ら¹による以下の値を用いた。水分保持曲線 ($\psi - \theta$ 関係) については, BC モデル, VG モデルで大きな差は無いが, $\theta - k$ 関係については, モデルによって不飽和透水係数 k に 1~2 オーダーの差異が生じる。

飽和・不飽和浸透解析モデルによる, 山地斜面における土壌水分の流動計算結果例を図 II-2 に示す。

¹ 坂井勝, 取手伸夫: 水分保持曲線と不飽和透水係数の水分移動特性モデル, 土壌の物理性, 第 111 号, pp.61-73, 2009.

表 II-1 BCモデル, VGモデルのパラメータの例

項目		ローム質砂	シルト質土	シルト質粘土
残留体積含水率 θ_r		0.057	0.034	0.07
飽和体積含水率 θ_s		0.41	0.46	0.36
飽和透水係数 k_s (cm/d)		350.2	6.0	0.48
BCモデル	空気侵入圧 ψ_e (cm)	-5.2	-38.7	-139.5
	λ	0.95	0.32	0.085
VGモデル	α (1/cm)	0.124	0.016	0.005
	n	2.28	1.37	1.09
間隙結合係数 ℓ		0.5	0.5	0.5

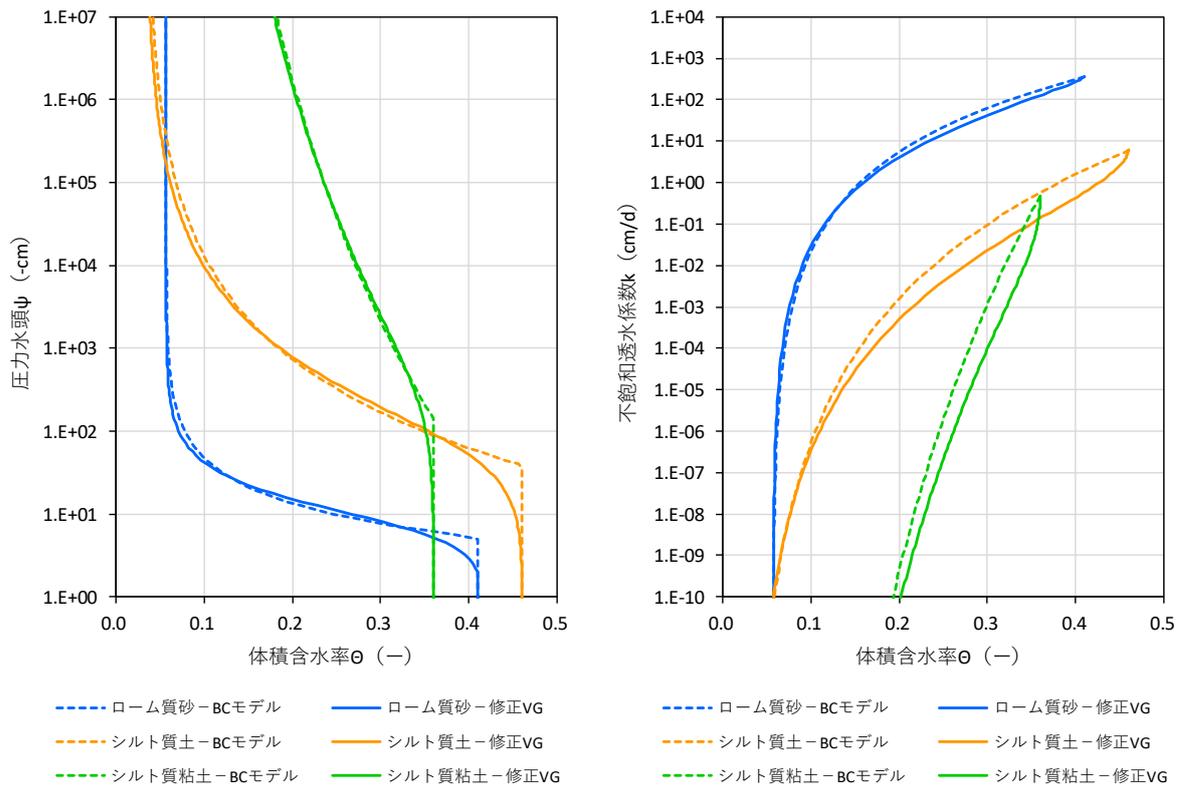


図 II-1 BCモデル, 修正VGモデルによる ψ - θ - k 関係

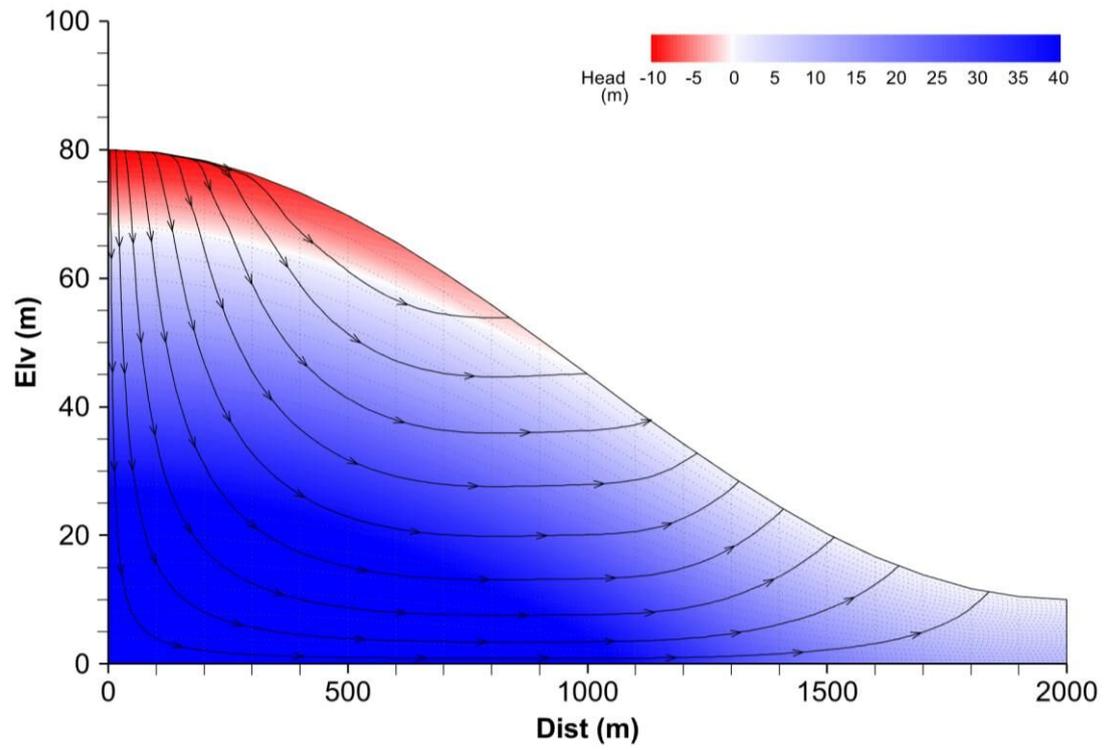


図 II-2 飽和・不飽和浸透解析モデルによる計算結果イメージ

蒸発散量 E_t は、Penman-Monteith の式²による可能蒸発散量 E_p に基づき計算する。

$$E_t = PET \cdot \left\{ 1 - \frac{2}{1 + \exp(-k_{PET} \cdot SX)} \right\} \cdot E_p, \quad SX = 1 - \frac{1}{1 - \theta/\theta_s}$$

$$E_p = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho C_p \{e_s(T_a) - e_a\}/r_a}{\lambda(\Delta + r)} \times 3.6$$

ここで、 E_t ：蒸発散量 (mm/h)、 E_p ：可能蒸発散量 (mm/h)、 PET ：蒸発散比の最大値、 k_{PET} ：係数、 SX ：土壌水分率指標、 θ ：不飽和帯モデルにおける土壌水分量、 θ_s ：不飽和帯モデルにおける飽和土壌水分量、 λ ：水の蒸発潜熱 (J/g)、 T_a ：気温 (°C)、 Δ ：飽和蒸気圧曲線の勾配 (hPa/K)、 R_n ：正味放射量 (J/m²/s)、 G ：地中鉛直下方への熱流量 (≈ 0 J/m²/s)、 ρ ：空気の密度 ($\approx 1.176 \times 10^3$ g/m³)、 C_p ：空気の定圧比熱 (≈ 1.007 J/g/K)、 $e_s(T_a)$ ：気温 T_a °C における飽和水蒸気圧 (hPa)、 e_a ：水蒸気圧 (hPa)、 r_a ：空気力学的抵抗 (s/m)、 r ：乾湿計定数 (≈ 0.656 hPa/K)、3.6：単位換算係数 (g/m²/s \rightarrow mm/h、ただし水の密度を 1000kg/m³ とした) である。水の蒸発潜熱 λ 、正味放射量 R_n 、水蒸気圧 e_a ・飽和水蒸気圧 e_s 、空気力学的抵抗 r_a は次式で算定する。

$$\lambda = 2.5 \times 10^3 (1 - 1.0 \times 10^{-3} T_a)$$

$$R_n = (1 - \alpha) Q_{s0} - S \sigma \theta^4 (a - b \sqrt{e_a}) (1 - cn^2)$$

$$e_a = e_s(T_a) \frac{H_w}{100}, \quad e_s(T_a) = 6.1078 \times 10^{7.5T_a/(237.3+T_a)}$$

$$r_a = \frac{1}{W_{10}} \left\{ \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{10}{z_0} \right) \right\}^2$$

ここで、 α ：地表面のアルベド、 Q_{s0} ：全天日射量 (J/m²/s)、 S ：水の黒体度 (長波放射率、 $S=0.97$)、 σ ：シュテファン-ボルツマン定数 ($\sigma = 5.6704 \times 10^{-8}$ (J/m²/K⁴/s))³、 θ ：気温の絶対温度 ($\theta = 273.15 + T_a$ (K))、 H_w ：相対湿度 (%)、 n ：雲量 (0~1)、 $a \cdot b \cdot c$ ：モデル定数 ($a=0.39$, $b=0.058$, $c=0.65$)、 W_{10} ：地上 10m における風速 (m/s)、 κ ：カルマン定数 (≈ 0.4)、 z_0 ：粗度長さ (m) である。

また、地上気温 T_a は気象観測所の観測気温 T_0 (°C)、気象観測所の標高 H_0 (m) とそのメッシュの標高 H (m) から、次式で求められる。

$$T_a = T_0 + \alpha \frac{H - H_0}{100}$$

ここで、 α ：気温逡減率 (°C/100m) であり、一般的には $\alpha = -0.6$ である。

² 服部重昭：蒸発散量推定式の誘導過程と林分への適用における問題点，林業試験場研究報告第 332 号，pp.139-165，1985.

³ 国立天文台 編：理科年表，丸善株式会社.

河川等における1次元不定流モデルの基礎方程式(dynamic wave)を以下に示す。

$$\text{運動方程式} : \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) = -gA \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{n^2 g Q \cdot |Q|}{R^{4/3} A}$$

$$\text{連続式} : \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

ここで、 Q : 流量 (m^3/s)、 A : 断面積 (m^2)、 g : 重力加速度 (m/s^2)、 H : 水位 (m)、 R : 径深 (m)、 n : マニングの粗度係数 ($\text{s}/\text{m}^{1/3}$)、 q : 中間流入量 (m^2/s) である。

本検討においては、上に示した運動方程式から移流項を省略することで得られる局所慣性方程式に基づき河道部の流量を算出した。運動方程式は次式となる。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -gA \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{n^2 g Q \cdot |Q|}{R^{4/3} A}$$

流量 Q について、現在ステップの計算値を Q (添え字なし)、次ステップの計算値を Q^{n+1} と置くと、

$$\frac{Q^{n+1} - Q}{\Delta t} = -gA \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{n^2 g Q^{n+1} \cdot |Q|}{R^{4/3} A} \Rightarrow Q^{n+1} = \frac{Q - gA\Delta t \frac{\partial H}{\partial x}}{1 + \frac{n^2 g \Delta t |Q|}{R^{4/3} A}}$$

ただし、 Δt : タイムステップ (s) である。

(2) 条件設定

児島湖流域の地形図を図 II-3 に、流出解析モデルのメッシュ配置を図 II-4 に、土地利用を図 II-5 に示す。

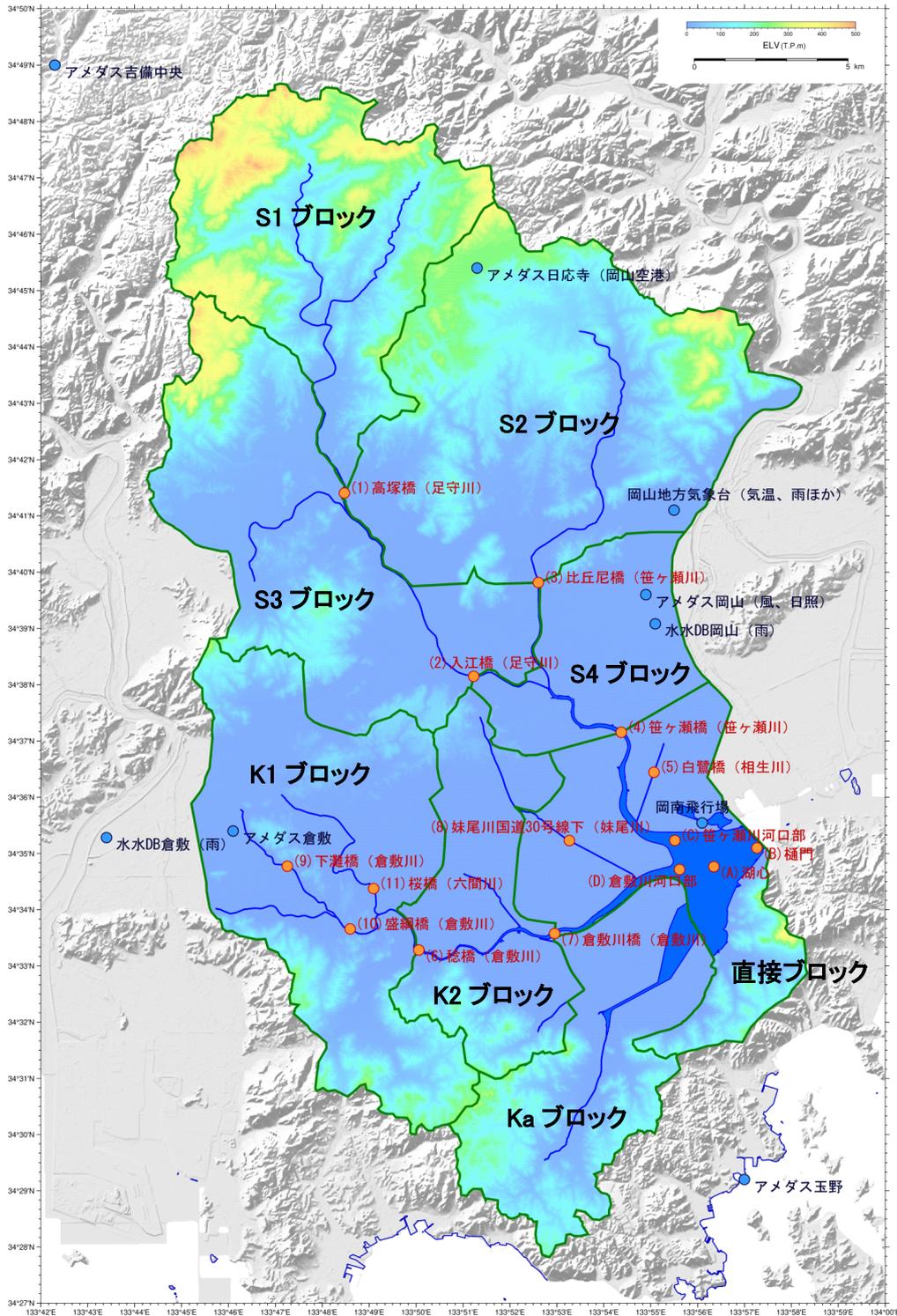


図 II-3 児島湖流域の標高・調査地点・ブロック分割

出典) 国土交通省 国土数値情報,
 国土地理院 基盤地図情報
 より作成

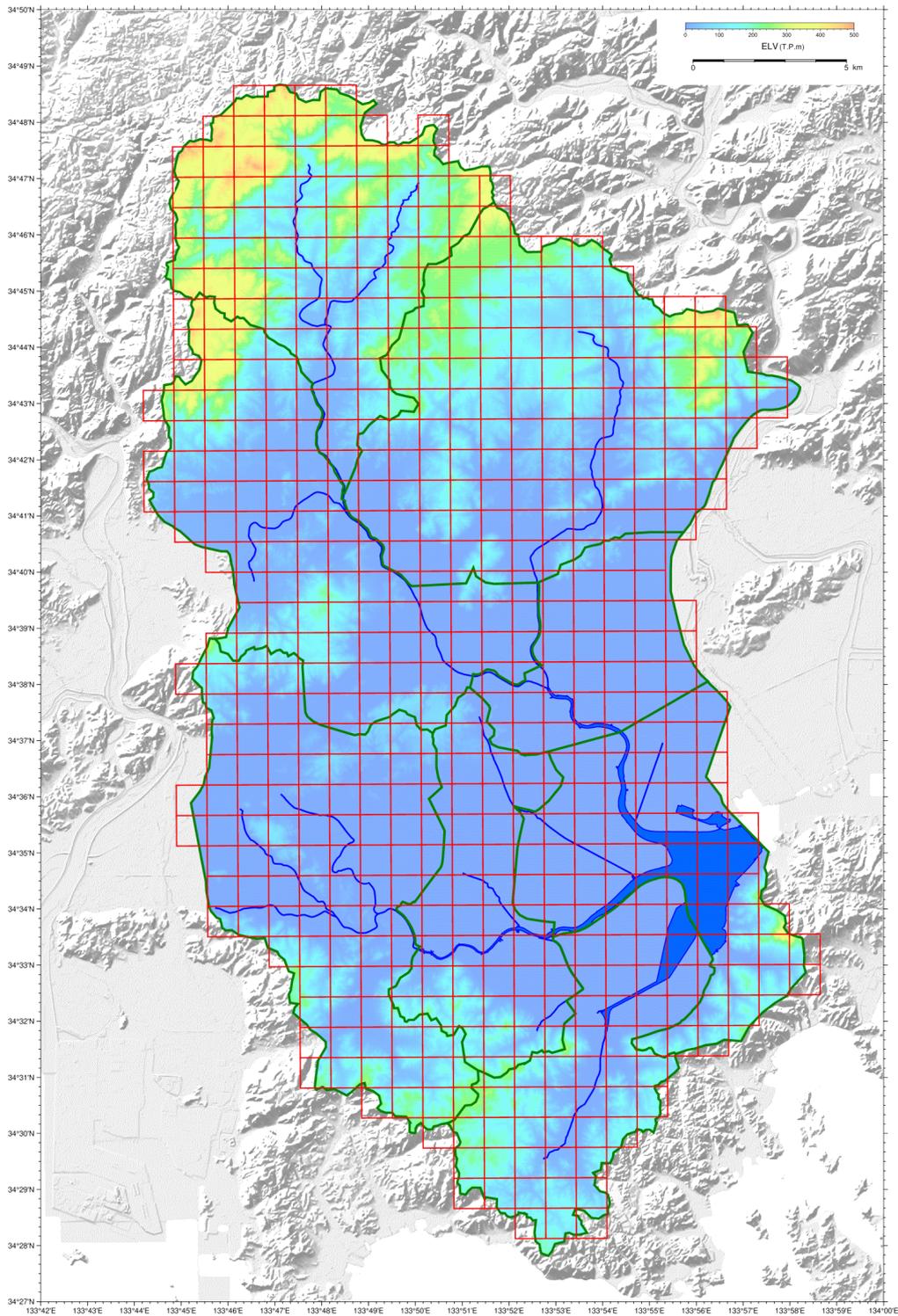


図 II-4 児島湖流域のメッシュ配置 (案)

出典) 国土交通省 国土数値情報,
 国土地理院 基盤地図情報
 より作成

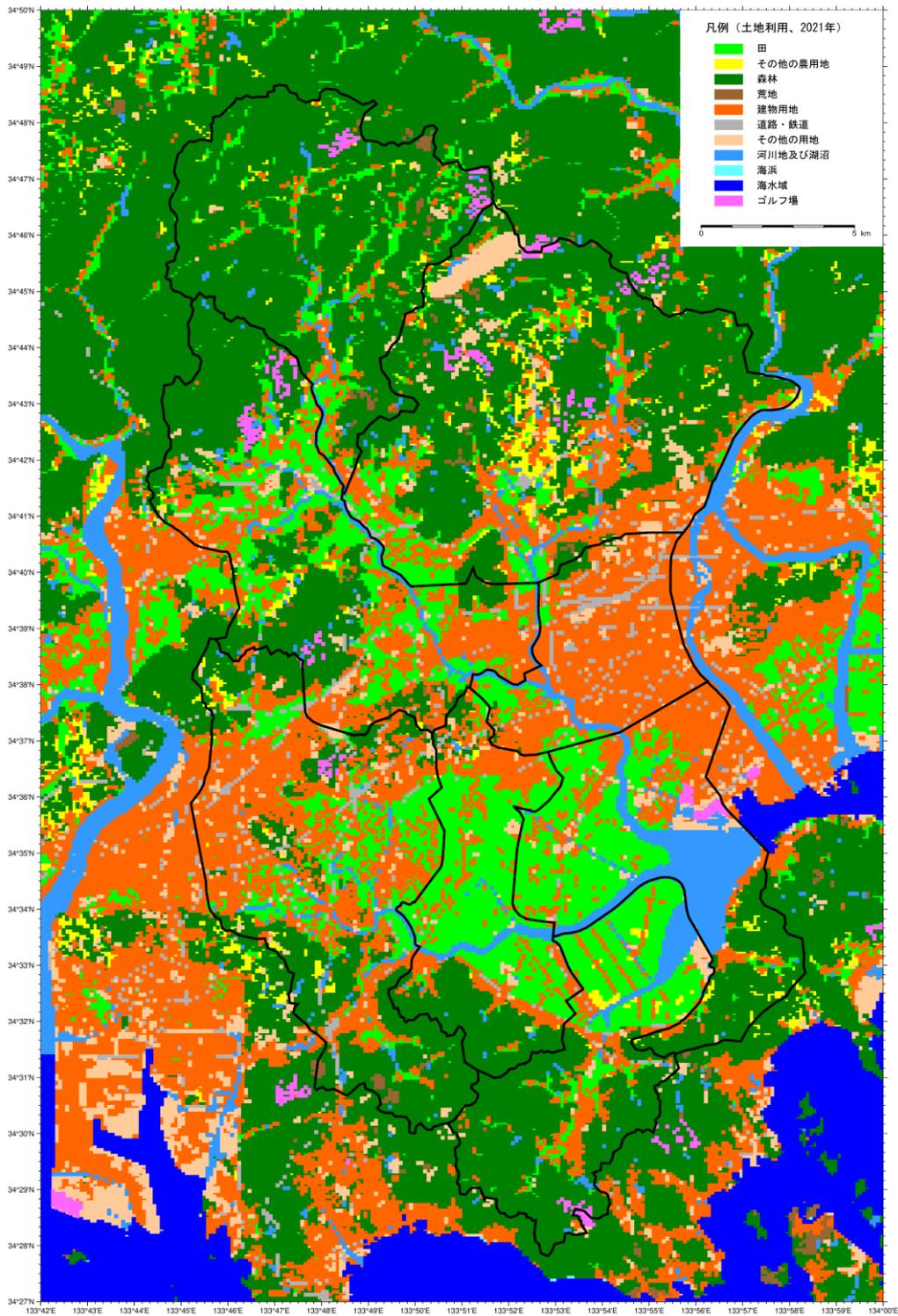


図 II-5 児島湖流域の土地利用図 (2021年)

出典) 国土交通省 国土数値情報,
 国土地理院 基盤地図情報
 より作成

2 流動モデル

(1) モデルの概要

流動モデルの基本構造は、児島湖を水平方向と鉛直方向に多層の格子で分割する3次元モデル（水平2次元多層レベルモデル）とする。流動モデルは流体力学の基礎方程式を差分化することにより解く数値モデルで、基本式は、3次元の運動方程式、連続の式及び水温の保存式で構成され、ブシネスク近似及び静水圧近似が施されている。本モデルは、河川水の流入、風による吹送流、水面での熱収支及び水温による密度変化を考慮する。

多層レベルモデルの概念図及び各変数（流速・水位）の定義点位置を図 II-6 に示す。

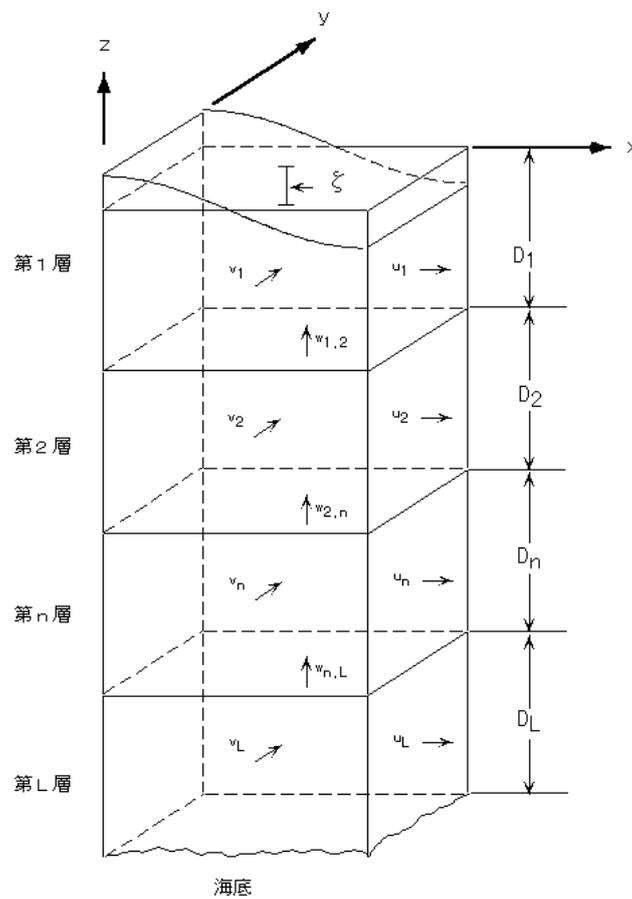


図 II-6 多層レベルモデルのモデル構造

(2) 基礎方程式

基本式は、回転系の非圧縮流体を仮定した運動方程式、連続の式及び水温の保存式であり、ブシネスク近似及び静水圧近似が施されている。

<連続の式>

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

<運動方程式>

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right) + F_x$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right) + F_y$$

$$\rho g = -\frac{\partial p}{\partial z}$$

<水温の保存式>

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + w \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + F_\theta$$

ここで、

x, y, z : 右手系の直交座標系、上向きを正	K_M : 鉛直渦動粘性係数
u, v, w : x, y, z 方向の流速成分	K_H : 鉛直渦拡散係数
p : 圧力	A_M : 水平渦動粘性係数
θ : 水温	A_H : 水平渦拡散係数
f : コリオリ係数	g : 重力加速度
ρ_0 : 代表密度	t : 時間
ρ : 密度	

$$F_x = A_M \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad F_y = A_M \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad F_\theta = A_H \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right)$$

である。

<湖水の状態方程式>

湖水の密度は塩分を 0 とした上で、以下の国際海水状態方程式(EOS80)に従い水温により算定する。

$$\begin{aligned}\rho &= a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3 + a_4 \cdot T^4 + a_5 \cdot T^5 \\ a_0 &= 999.842594, \quad a_1 = 6.793952 \times 10^{-2}, \\ a_2 &= -9.09529 \times 10^{-3}, \quad a_3 = 1.001685 \times 10^{-4}, \\ a_4 &= -1.120083 \times 10^{-6}, \quad a_5 = 6.536332 \times 10^{-9},\end{aligned}$$

<水平渦動粘性係数及び水平渦拡散係数>

水平渦動粘性係数 (A_M)、水平渦拡散係数 (A_H) は、Smagorinsky(1963)⁴による以下の計算式を用いて算出する。

$$A_{H,M} = C_{H,M} (\Delta x \cdot \Delta y) \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

ここで、 $C_{H,M}$ は経験的な値で 0.05~0.5 程度の値となる。本検討においては 0.1 とした。

<鉛直渦動粘性係数及び鉛直渦拡散係数>

鉛直渦動粘性係数 (K_M)、鉛直渦拡散係数 (K_H) は、プラントルの混合距離理論に従って以下の様に表される。

$$K_M = \psi_M l^2 \left| \frac{\partial U}{\partial z} \right|, \quad K_H = \psi_H l^2 \left| \frac{\partial U}{\partial z} \right|$$

ψ_m 、 ψ_h は密度成層の効果による係数である。Munk and Anderson(1948)⁵に従い、以下のようなリチャードソン数 Ri の関数で表される。

$$\psi_m = 0.06(1+10Ri)^{-1/2}, \quad \psi_h = 0.06(1+3.33Ri)^{-3/2}$$

リチャードソン数 Ri は以下の式で表される無次元数である。密度成層の強さと水平流速の鉛直シアアの比として表現される。

⁴ Smagorinsky,J.(1963) : General Circulation Experiments with the Primitive Equations I. The Basic Experiment, Monthly Weather Review,91,99-164

⁵ Munk,W.H. and E.R.Anderson(1948) : Notes on theory of the thermocline.,J.Mar.Res.,7,276-295

$$R_i = \frac{-\frac{g}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right)}{\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2}$$

密度成層の効果が流速(流れ)のシアーによる混合のエネルギーより大きくなれば R_i は大きな値となり、その結果鉛直粘性・拡散係数は小さな値となる。これは、密度成層の発達が生直混合を抑制する事に対応している。逆に、流れのシアーによる混合エネルギーが大きくなれば R_i は小さな値となり、鉛直粘性・拡散係数は大きな値となる。これは、流れによる混合が密度成層を壊して上下に混合する事に対応している。

混合距離 (l) は以下の経験式から求める。

$$l = \kappa H \left(1 - \frac{|z|}{H} \right) \left(\frac{|z|}{H} \right)^{1/2}$$

混合距離は密度中立状態の鉛直方向の乱れを長さのスケールで表したもので、水面と湖底では水の動きが制限されることからゼロとなる。ここで、

R_i : リチャードソン数

κ : カルマン定数 (=0.4)

l : 混合距離

H : 水深

z : 基準面からの鉛直座標値

である。

水面における熱フラックス Q_{surf} [J/m²/s] は、大気から水中へ向かう方向 (水を温める方向) を正としたとき、以下の式で表される⁶。

$$Q_{surf} = Q_s - (Q_b + Q_c + Q_e)$$

ここで、 Q_s : 吸収日射量 [J/m²/s]、 Q_b : 有効長波放射量 (大気-水面間の正味の放射量、[J/m²/s])、 Q_c : 顕熱量 (大気-水面間の乱流熱伝達、[J/m²/s])、 Q_e : 潜熱量 (水の蒸発散に伴う熱放出、[J/m²/s]) である。これらの熱量は、水面直上の気温 (T_a)、相対湿度 (f)、全天日射量 (Q_{s0})、雲量 (n)、水面上 10m 地点の風速 (W) から以下のように計算される。

< 吸収日射量 (水に吸収される日射量) >

水面に達した全天日射量を Q_{s0} [J/m²/s]、水面の短波反射率 (アルベド) を α とすると、吸収日射量 Q_s は、次式で表される。

$$Q_s = (1 - \alpha) Q_{s0}$$

自然水域の水面におけるアルベドは、水中に含まれる懸濁物質の種類と量によって複雑に変化するが、本業務においては $\alpha = 0.09$ とした。

< 有効長波放射量 (水から放出される正味の長波放射量) >

有効長波放射量 Q_b の算定には、雲の影響や気温・水温の温度差を考慮した以下に示す式を用いる事が一般的である⁷。

$$Q_b = S\sigma\theta^4 \left\{ a - b\sqrt{f \cdot e(T_a)} \right\} (1 - cn^2) + 4S\sigma\theta^3 (T_w - T_a)$$

ここで、 S : 水の黒体度 (長波放射率、 $S = 0.97$)、 σ : シュテファン-ボルツマン定数 ($\sigma = 5.6704 \times 10^{-8}$ [J/m²/K⁴/s])⁸、 T_a : 水面直上の気温 [°C]、 T_w : 水面直下の水温 [°C]、 θ : 気温の絶対温度 ($\theta = 273.15 + T_a$ [K])、 $e(T)$: 気温 T [°C] における飽和水蒸気圧 [mbar]、 f : 相対湿度 (0~1)、 n : 雲量 (0~1)、 $a \cdot b \cdot c$: モデル定数 ($a = 0.39$ 、 $b = 0.058$ 、 $c = 0.65$) である。なお、モデル定数については、他にも幾つかの組み合わせが提案されている。

⁶ 松梨順三郎: 環境流体汚染, 森北出版, 1993.

⁷ 淵秀隆・西村実・菱田耕造・岩下光男・相馬正樹・鳥羽良明・大久保明: 海洋科学基礎講座1 海洋物理I, 東海大学出版会, 1970.

⁸ 国立天文台 編: 理科年表, 丸善株式会社.

<顕熱量(大気との熱交換)>

顕熱量 Q_c は、以下の式で表される。

$$Q_c = \rho_a c_p C_c (T_w - T_a) W$$

ここで、 ρ_a : 空気の密度 ($\rho_a = 1.293$ [kg/m³])、 c_p : 空気の定圧比熱 ($c_p = 1007$ [J/kg/K])、 C_c : 顕熱輸送係数 ($C_c = 1.3 \times 10^{-3}$)、 W : 水面上 10m 地点の風速[m/s]である。

<潜熱量(水の蒸発にともなう熱輸送量)>

潜熱量 Q_e は、以下の式で表される。

$$Q_e = \frac{Q_c}{B}$$

ここで、 B はボーエン比と呼ばれ、以下の式で表される。

$$B = 0.66 \frac{T_w - T_a}{0.98 \cdot e(T_w) - f \cdot e(T_a)}$$

(3) 条件設定

流動モデルの計算条件（現況再現計算）の概要を表 II-2 に示す。

表 II-2 流動モデルの計算条件

項目		設定方法
計算期間		2021（令和3）年度～2024（令和6）年度
時間間隔		10 秒
地形・水深条件		湖底深浅測量結果から作成
計算格子	水平	全域 160m
	鉛直	0.5m 毎に分割
気象条件	風向風速	岡山地方気象台の毎時データを使用
	気温	
	相対湿度	
	全天日射量	高松地方気象台の毎時データを使用
	雲量※	2024 年 3 月 25 日まで 高松地方気象台の毎時データを使用 2024 年 3 月 26 日以降 気象庁局地数値予報モデル（LFM）の予報初期値データより児島湖湖心地点の数値を抽出
流入・流出条件	下水放流量	貸与資料を基に設定
	各機場から児島湖への流入量	各ポンプの排水能力と各ポンプの稼働時間を乗じた値から設定
	樋門からの排水量	樋門開門操作日報を基に設定
	河川流量	観測水位と締切堤防からの排水量から水収支を満たすように決定
	河川水温	岡山地方気象台の気温と笹ヶ瀬川・倉敷川の水温との相関関係から求めた値を使用

※ 高松地方気象台では雲量の観測を 2024 年 3 月 26 日に終了している。

① 地形・水深条件と計算格子

地形・水深条件は深淺測量結果を基に、水平格子幅 160m、鉛直格子幅 0.5m で作成した（図 II-7 参照）。なお、鉛直格子幅は第 1 層（水面に接する層）のみ水位変動に合わせて層厚が変化する。また、児島湖と七区貯水池の間は 1 格子を除いて壁境界として設定した。

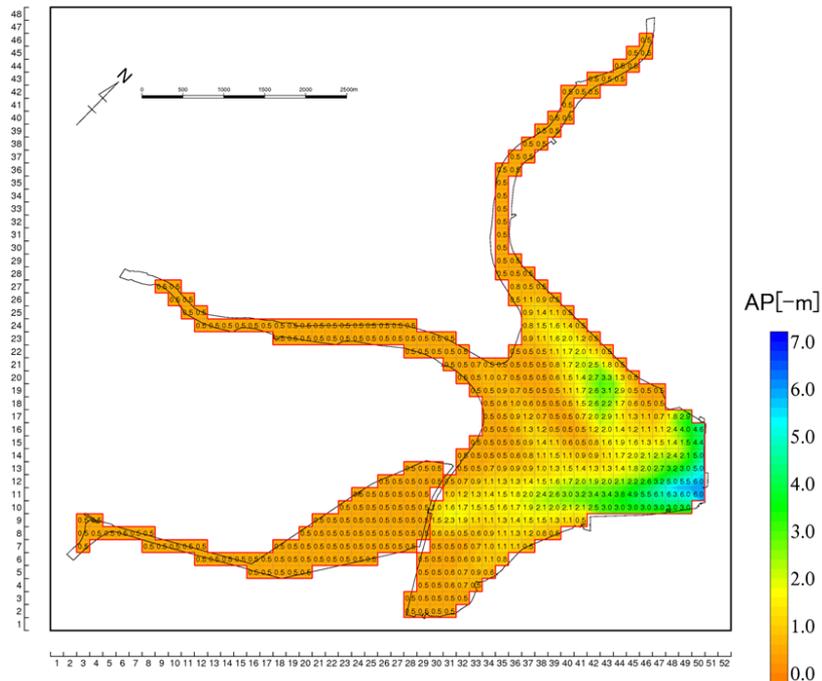
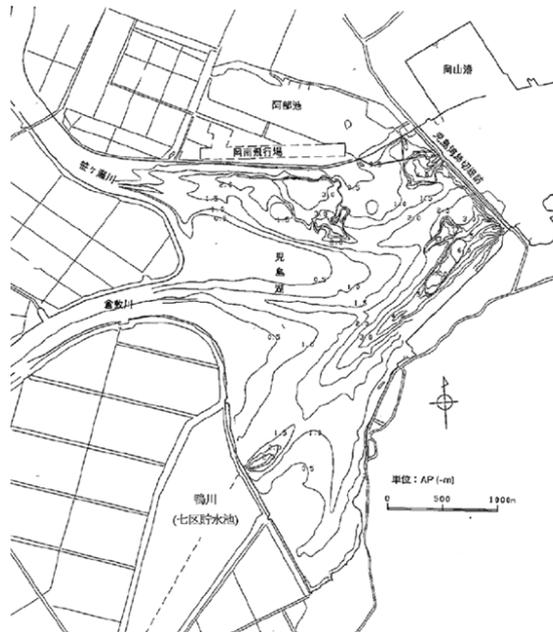


図 II-7 上図：深淺測量結果⁹、下図：作成した地形条件

⁹ 中国四国農政局 児島湖沿岸農地防災事務所：国営児島湖沿岸農地防災事業技術誌（平成 18 年 3 月）
102 ページ

② 気象条件

アメダス岡山、アメダス高松及び気象庁局地数値予報（LFM）における気象データを図 II-8 に示す。

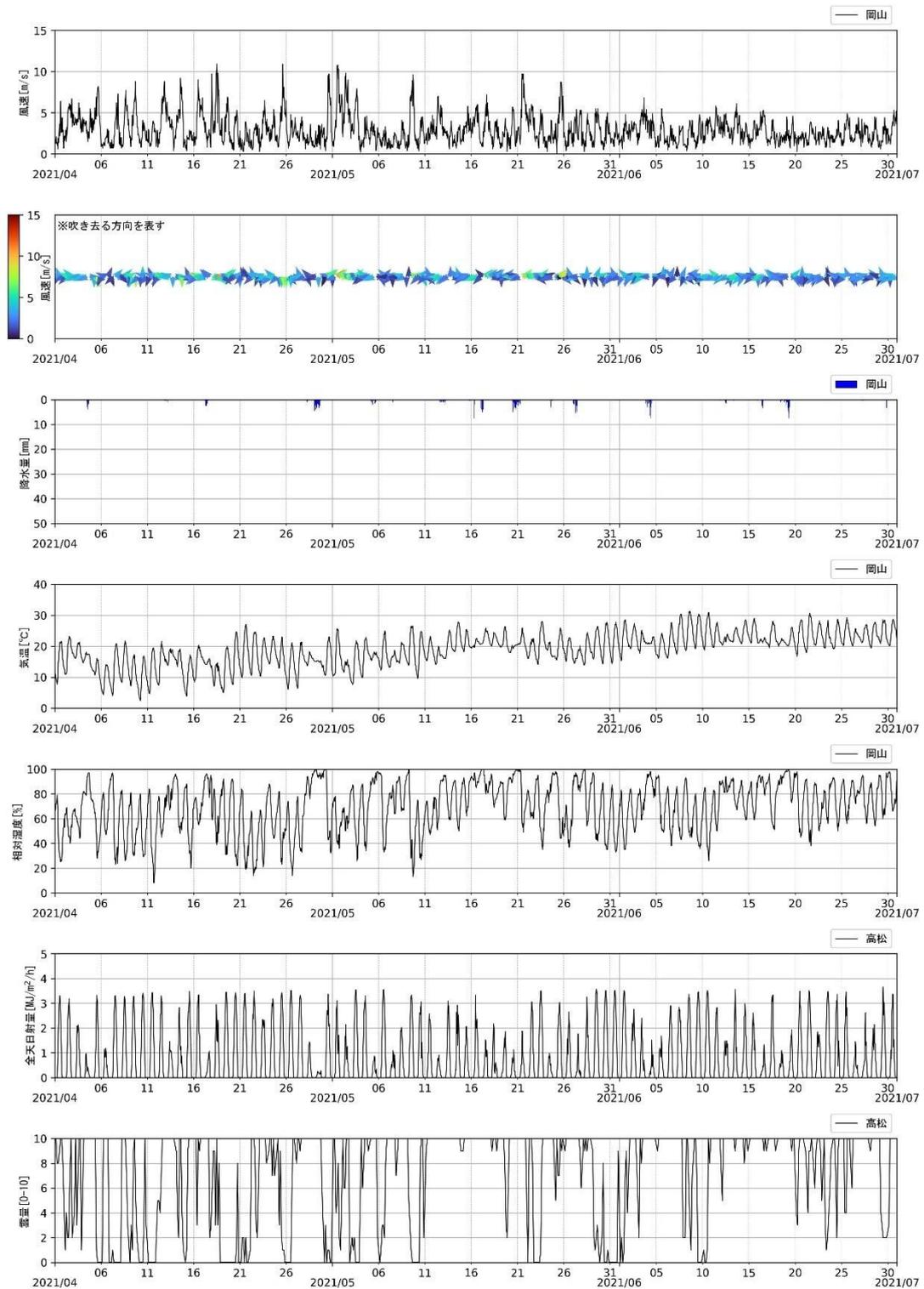


図 II-8 (1) シミュレーションに用いた気象データ (2021年4月～2021年6月)

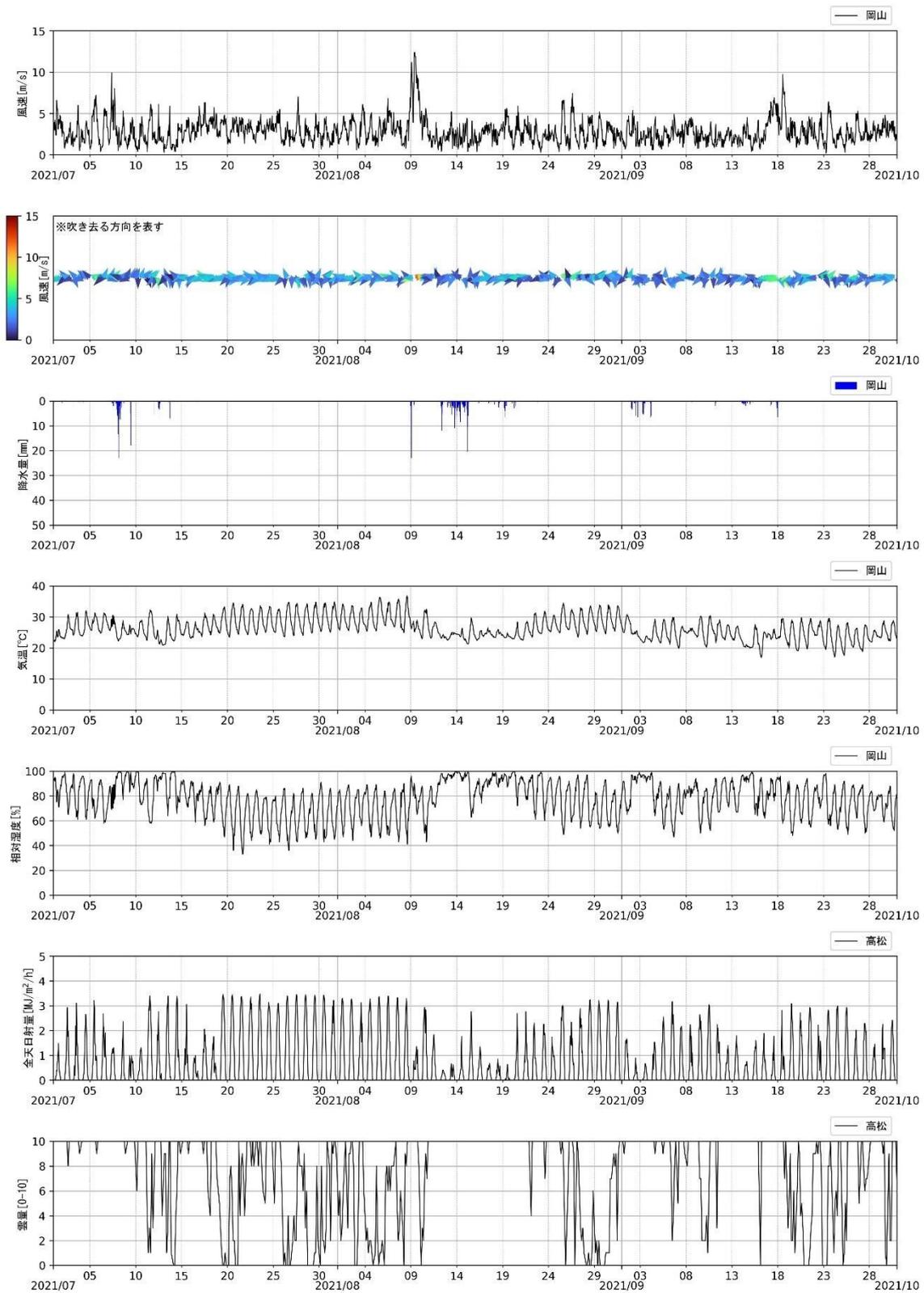


図 II-8 (2) シミュレーションに用いた気象データ (2021年7月~2021年9月)

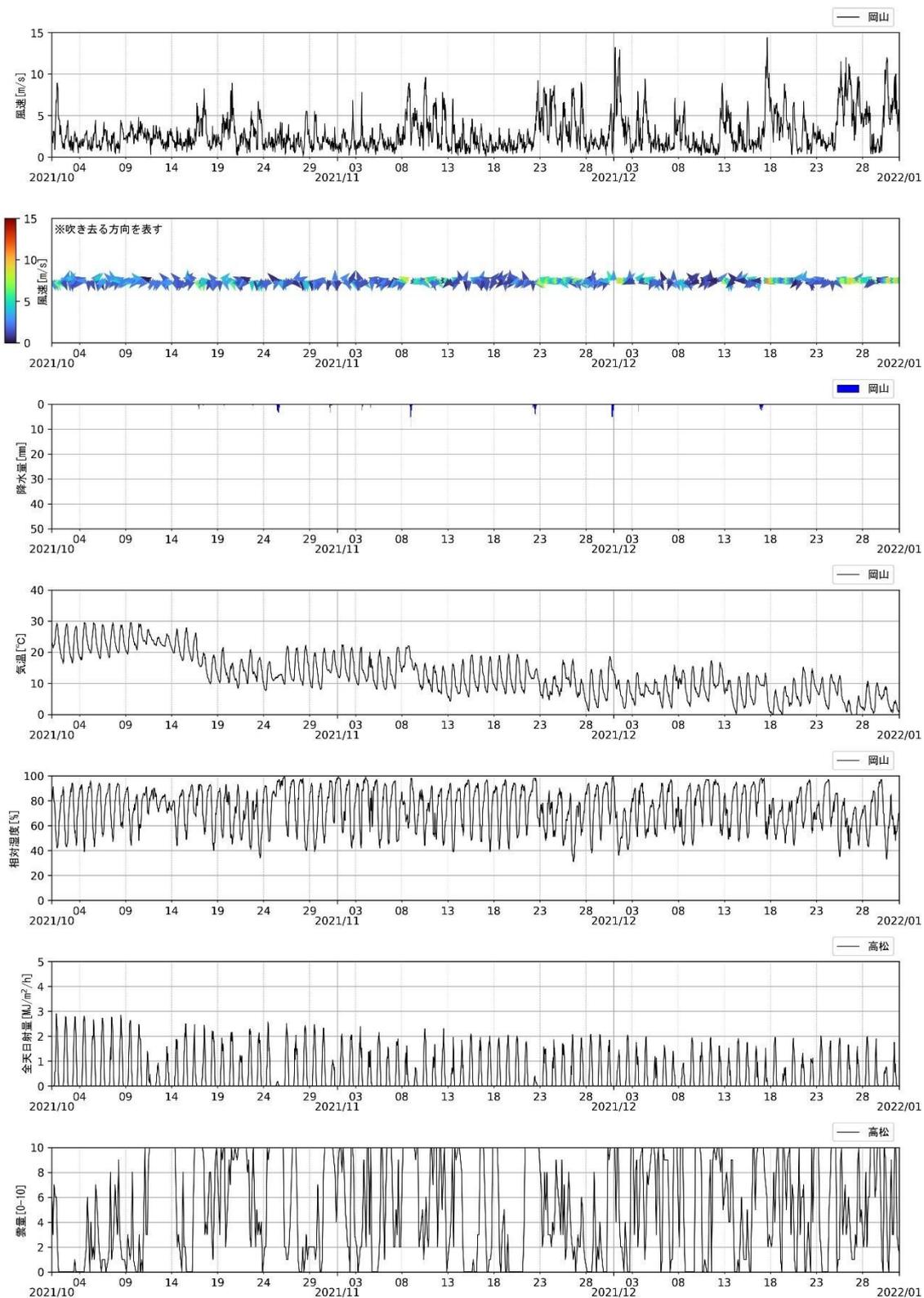


図 II-8 (3) シミュレーションに用いた気象データ (2021年10月~2021年12月)

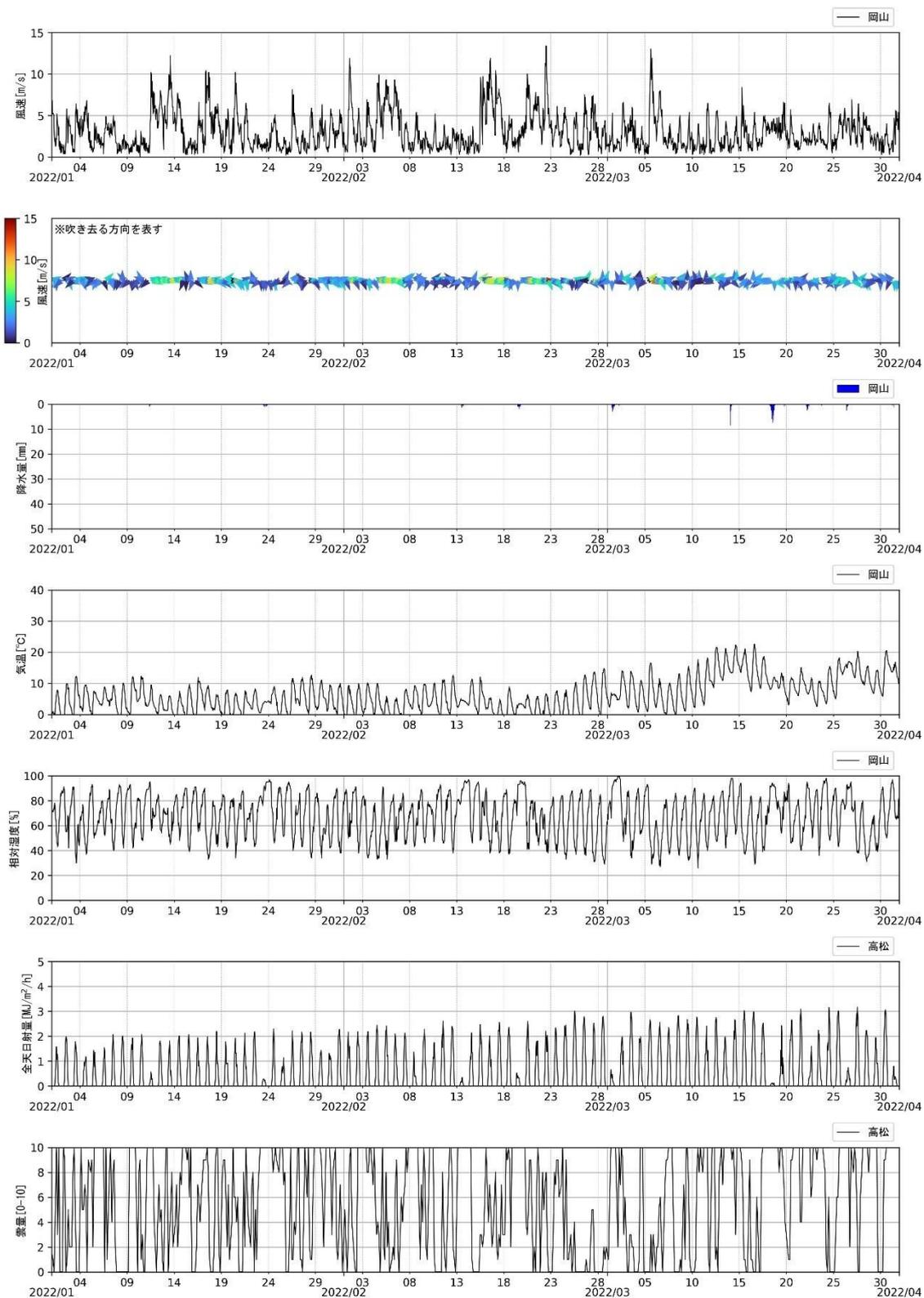


図 II-8 (4) シミュレーションに用いた気象データ (2022年1月~2022年3月)

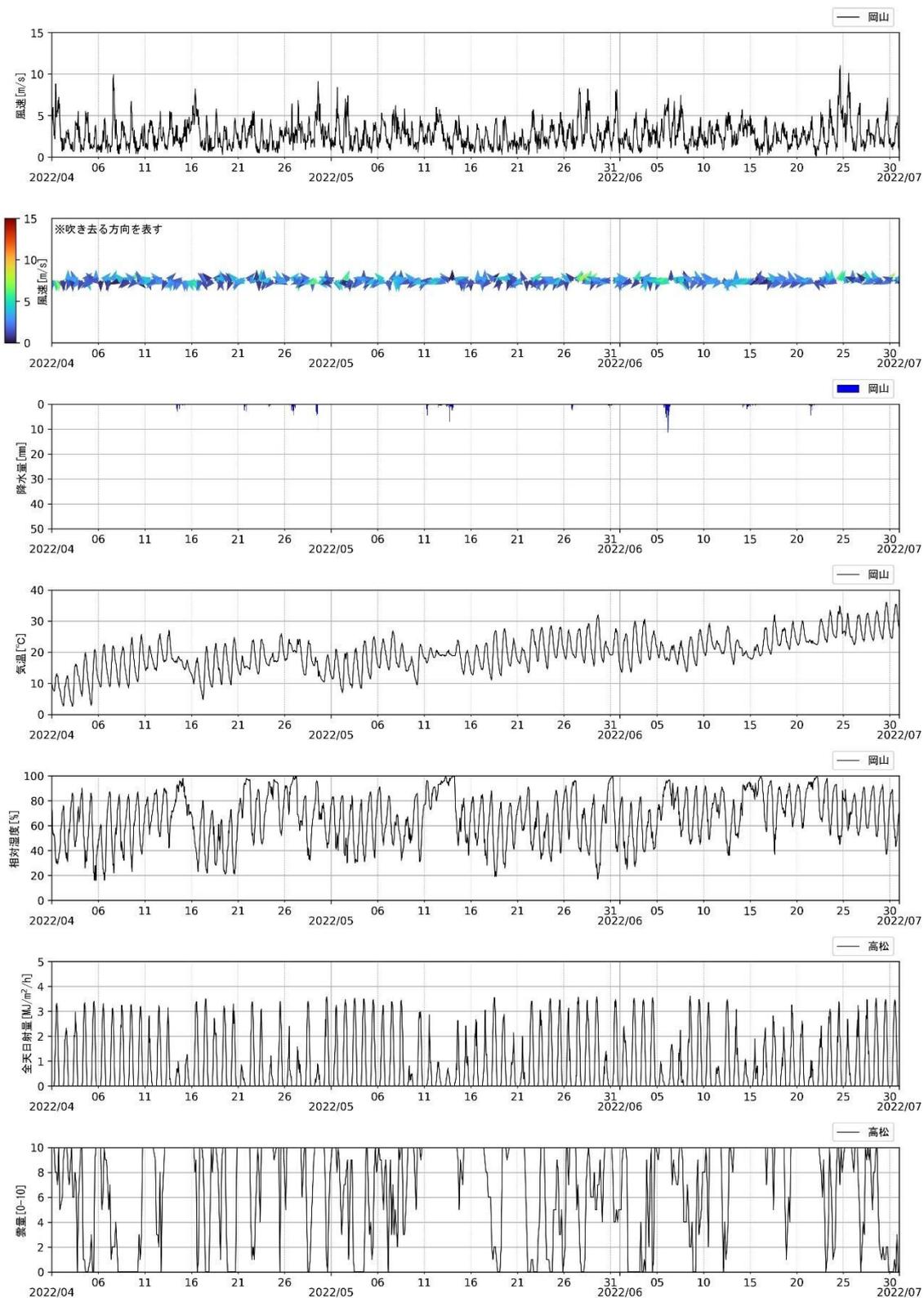


図 II-8 (5) シミュレーションに用いた気象データ (2022年4月~2022年6月)

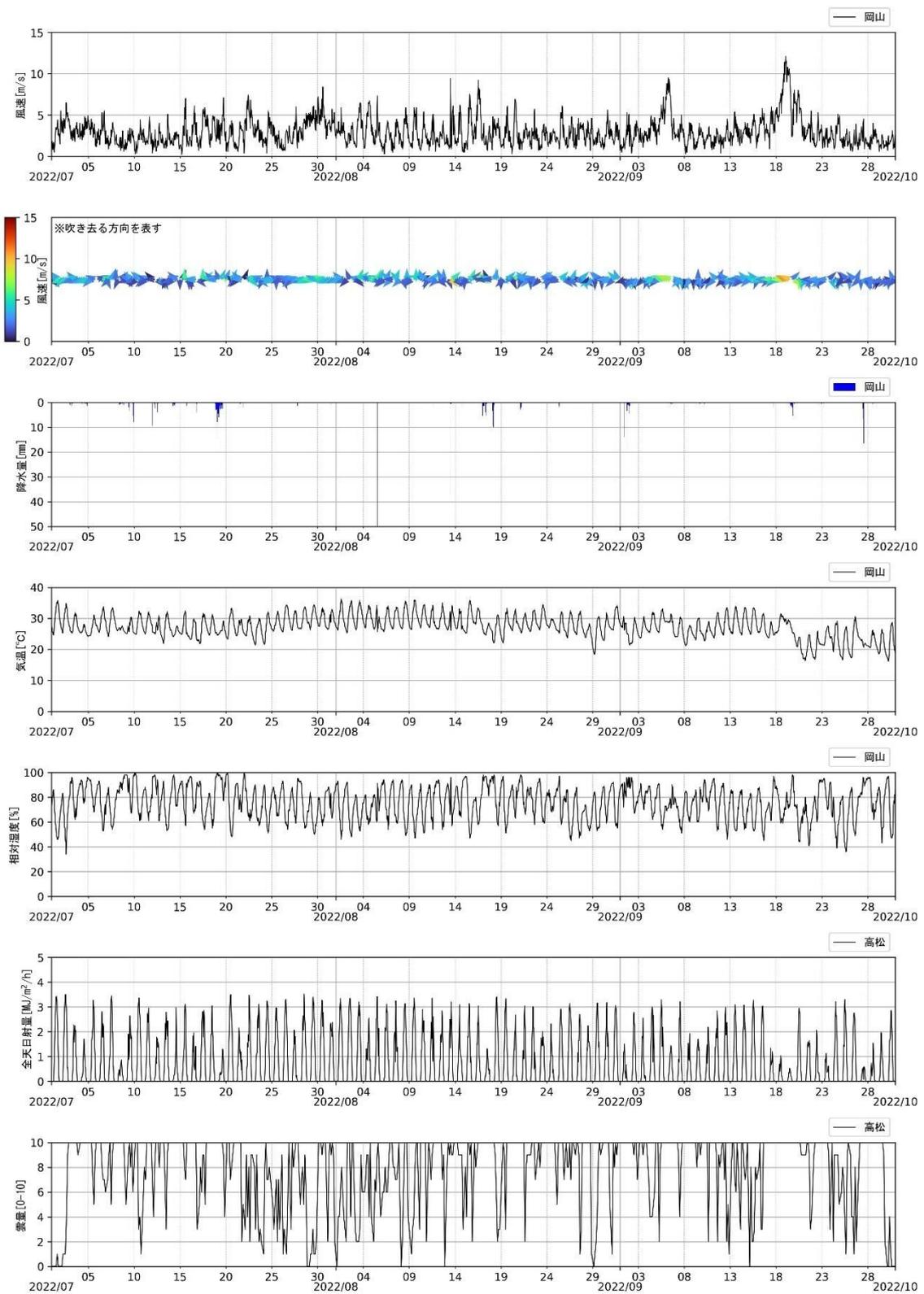


図 II-8 (6) シミュレーションに用いた気象データ (2022年7月~2022年9月)

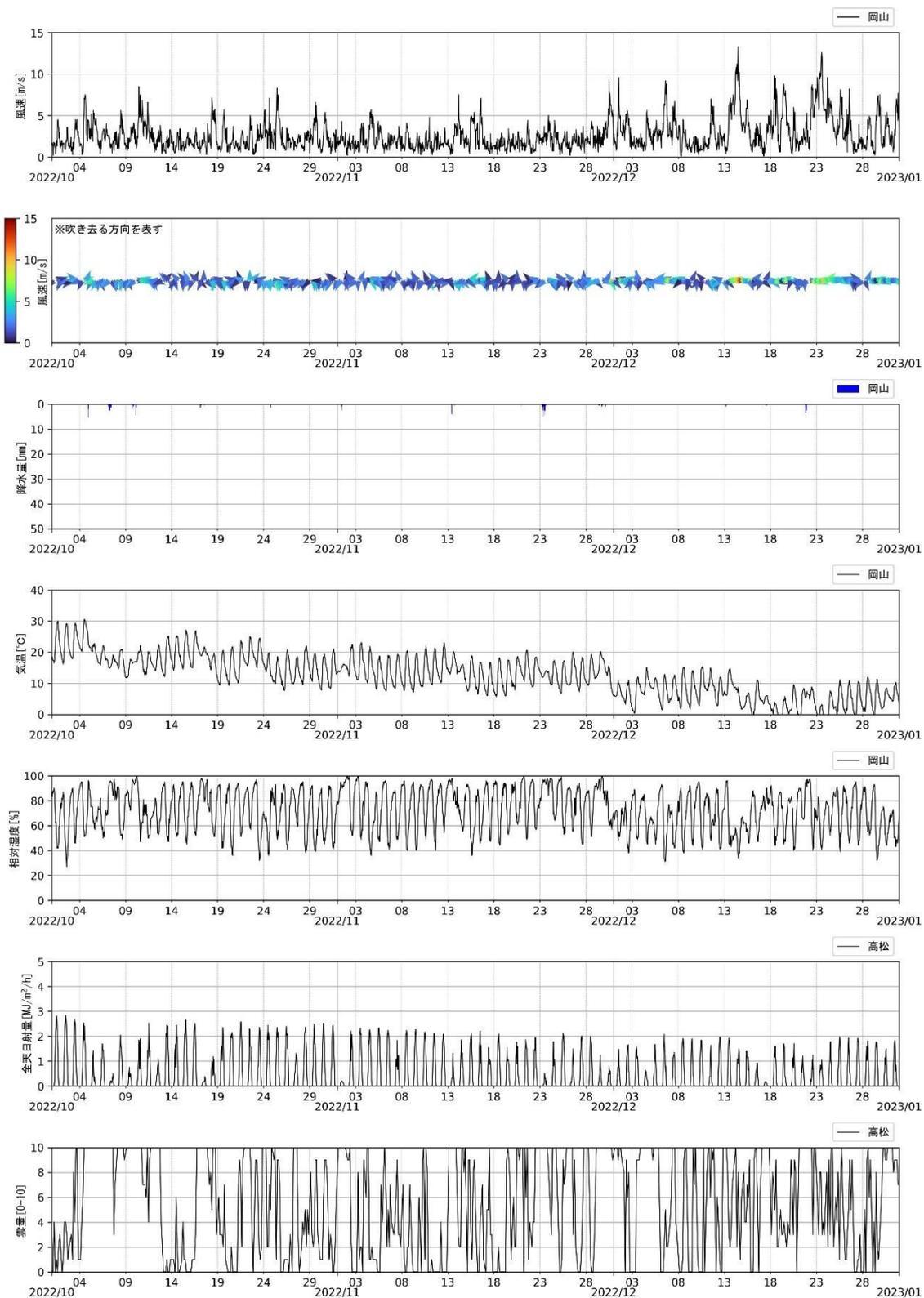


図 II-8 (7) シミュレーションに用いた気象データ (2022年10月~2022年12月)

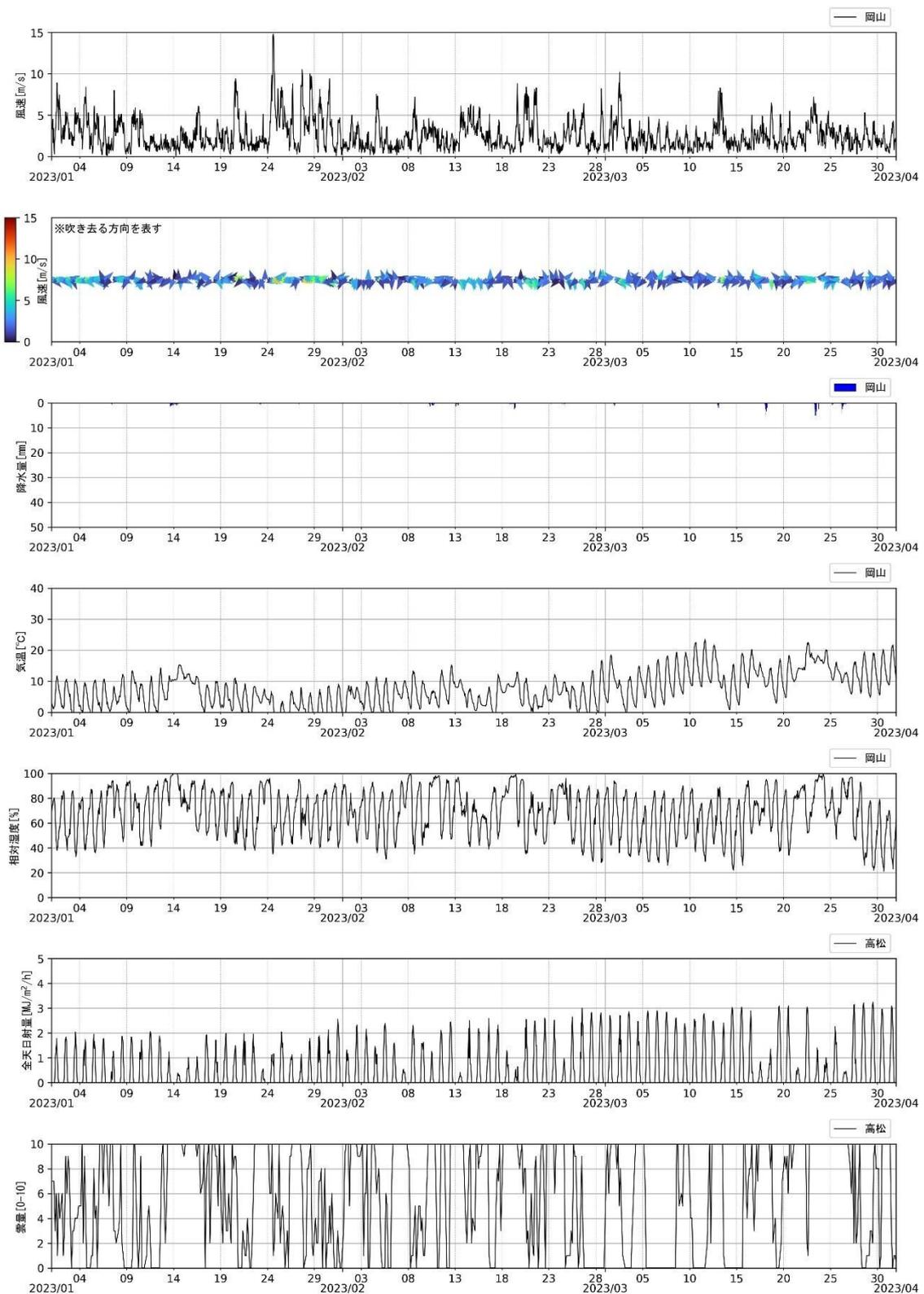


図 II-8 (8) シミュレーションに用いた気象データ (2023年1月~2023年3月)

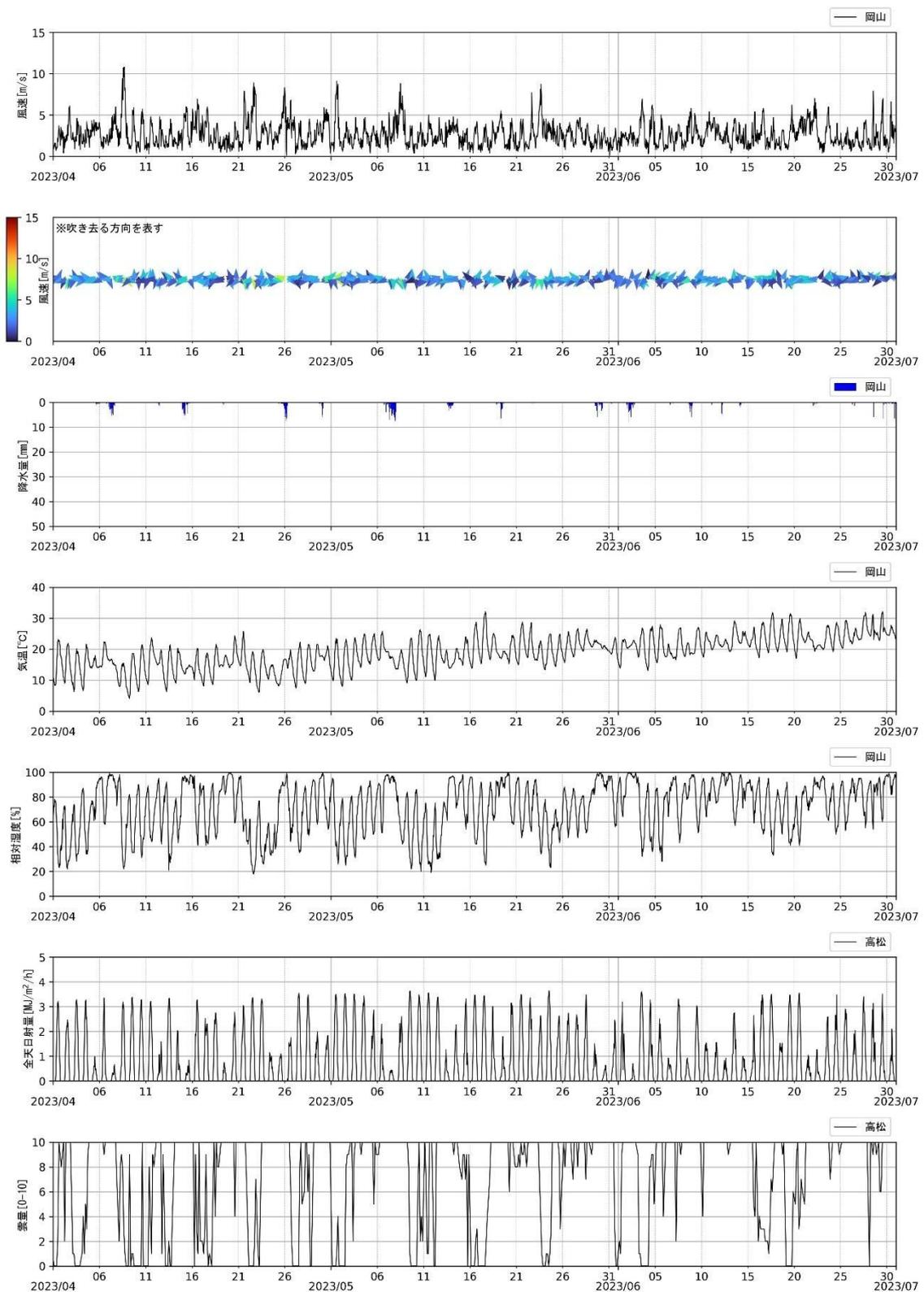


図 II-8 (9) シミュレーションに用いた気象データ (2023年4月~2023年6月)

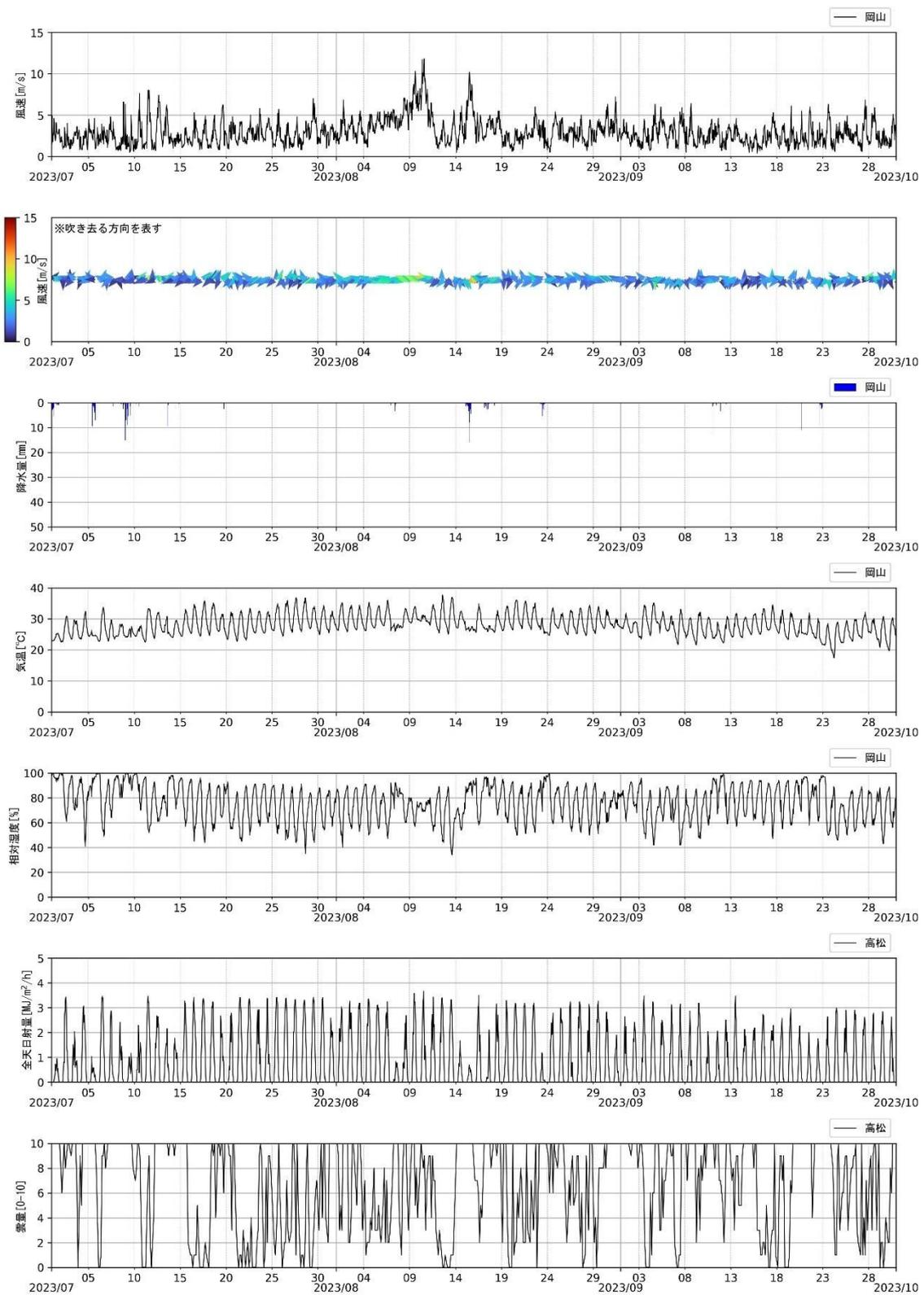


図 II-8 (10) シミュレーションに用いた気象データ (2023年7月~2023年9月)

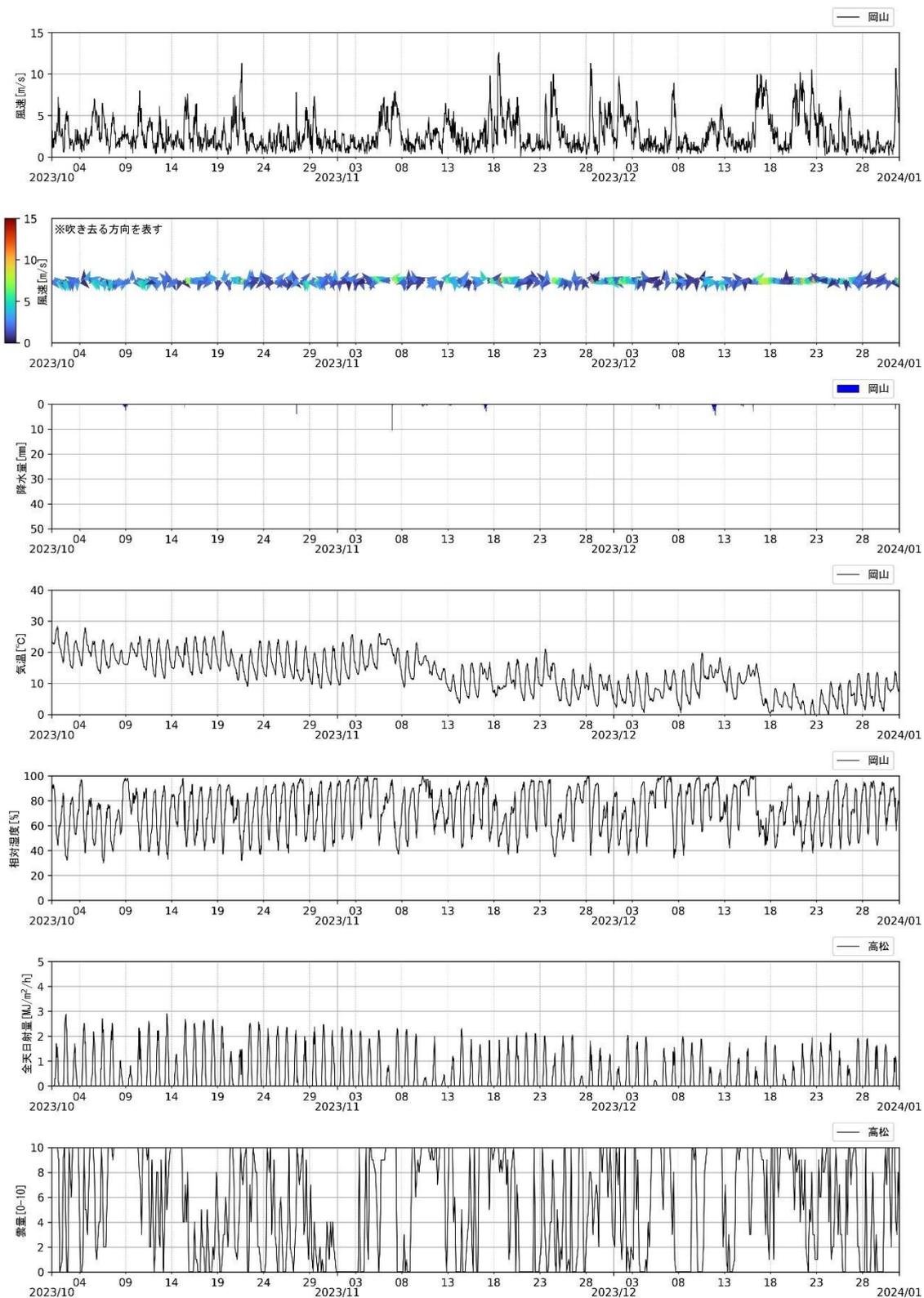


図 II-8 (11) シミュレーションに用いた気象データ (2023年10月~2023年12月)

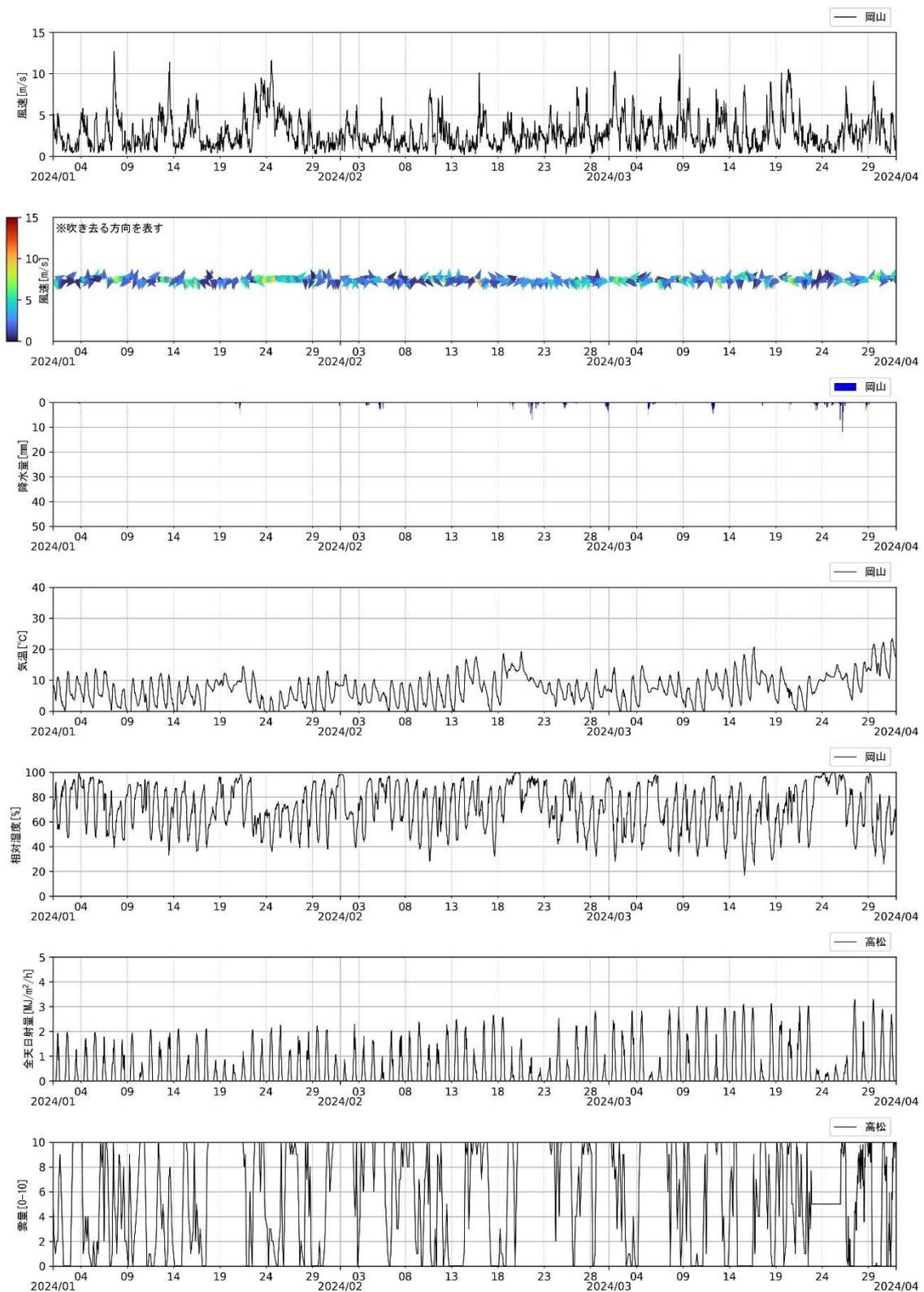


図 II-8 (12) シミュレーションに用いた気象データ (2024 年 1 月~2024 年 3 月)

(※雲量は 2024 年 3 月 25 日まで高松地方気象台、3 月 26 日以降は LFM の値を使用)

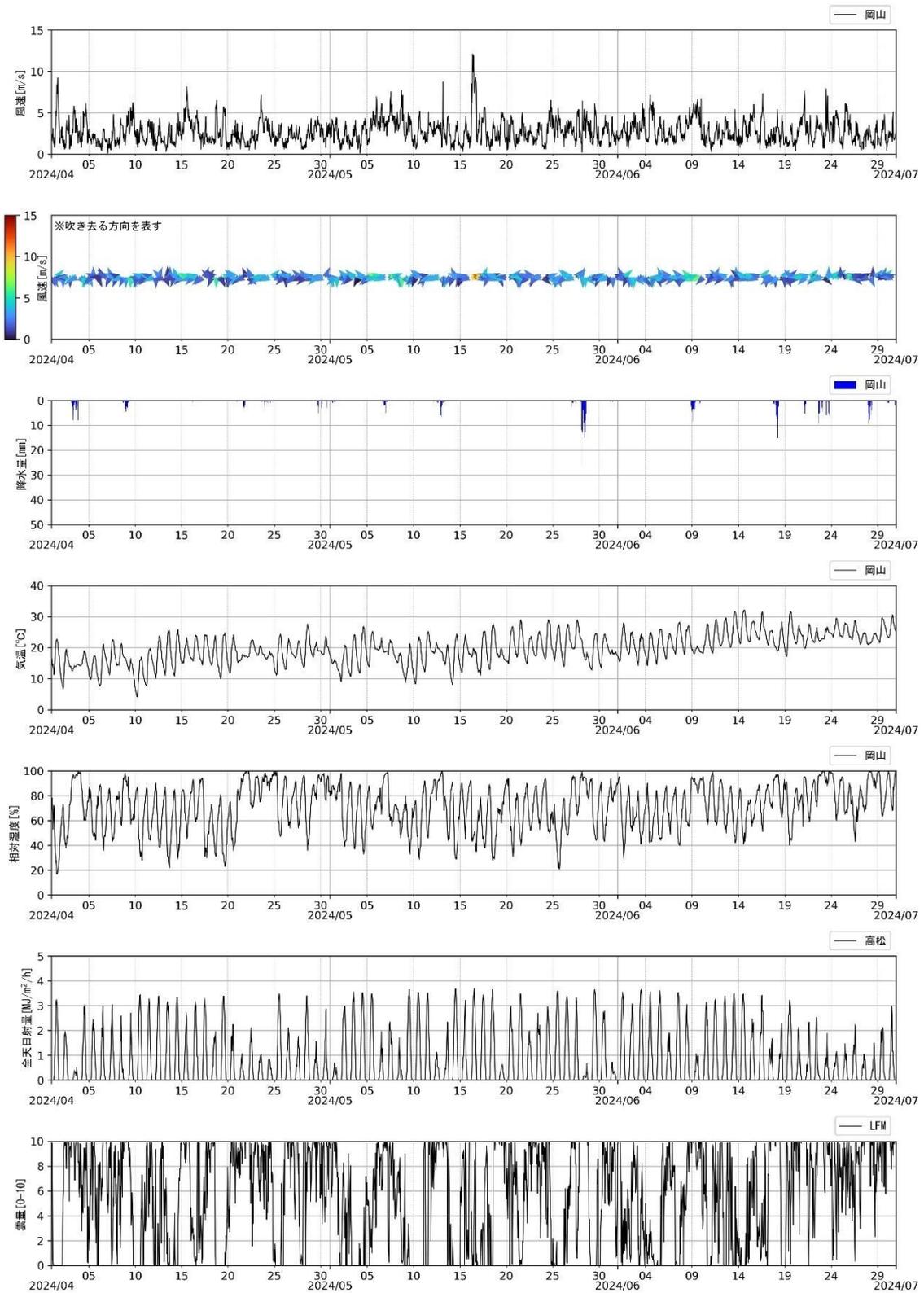


図 II-8 (13) シミュレーションに用いた気象データ (2024年4月~2024年6月)

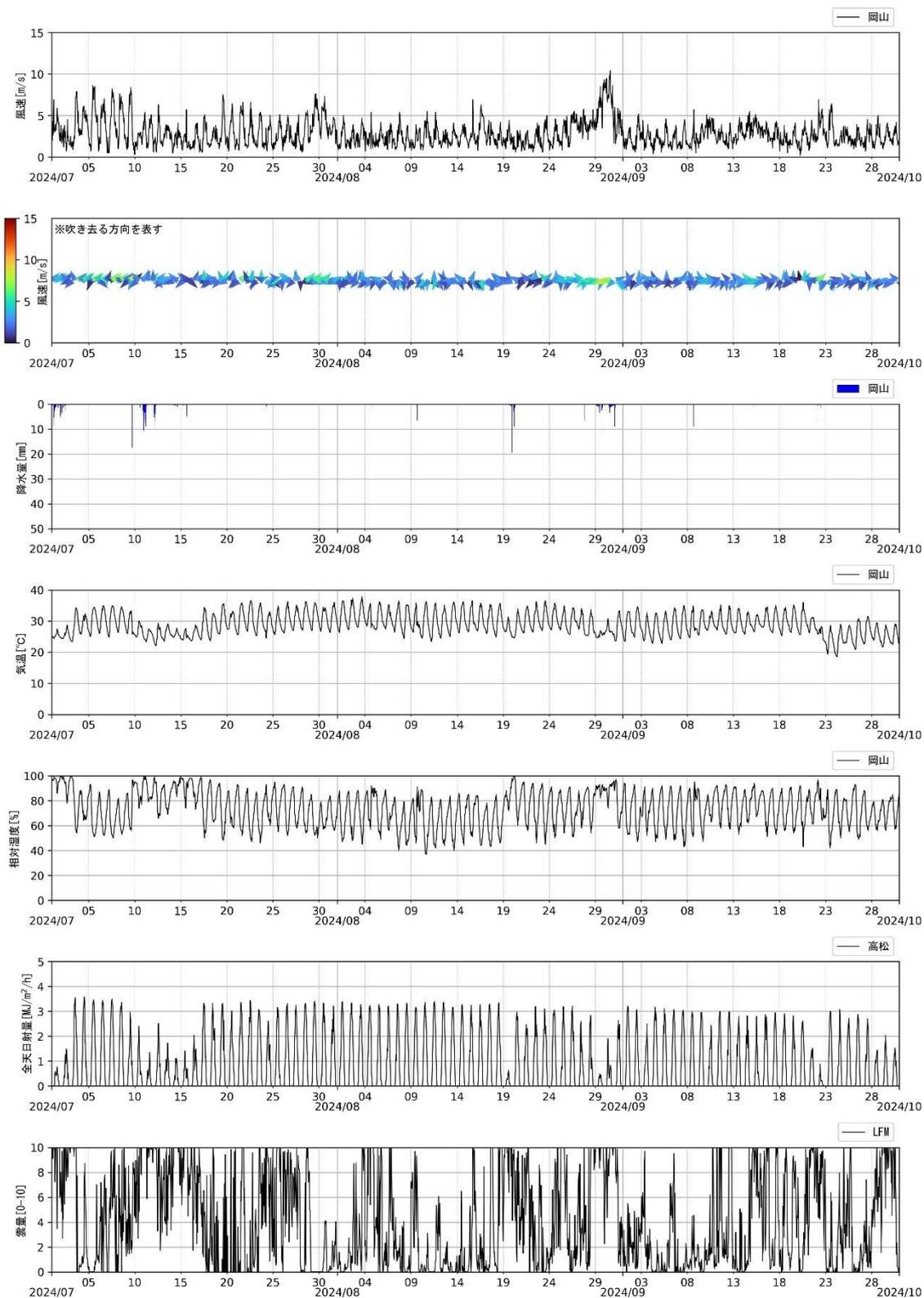


図 II-8 (14) シミュレーションに用いた気象データ (2024年7月~2024年9月)

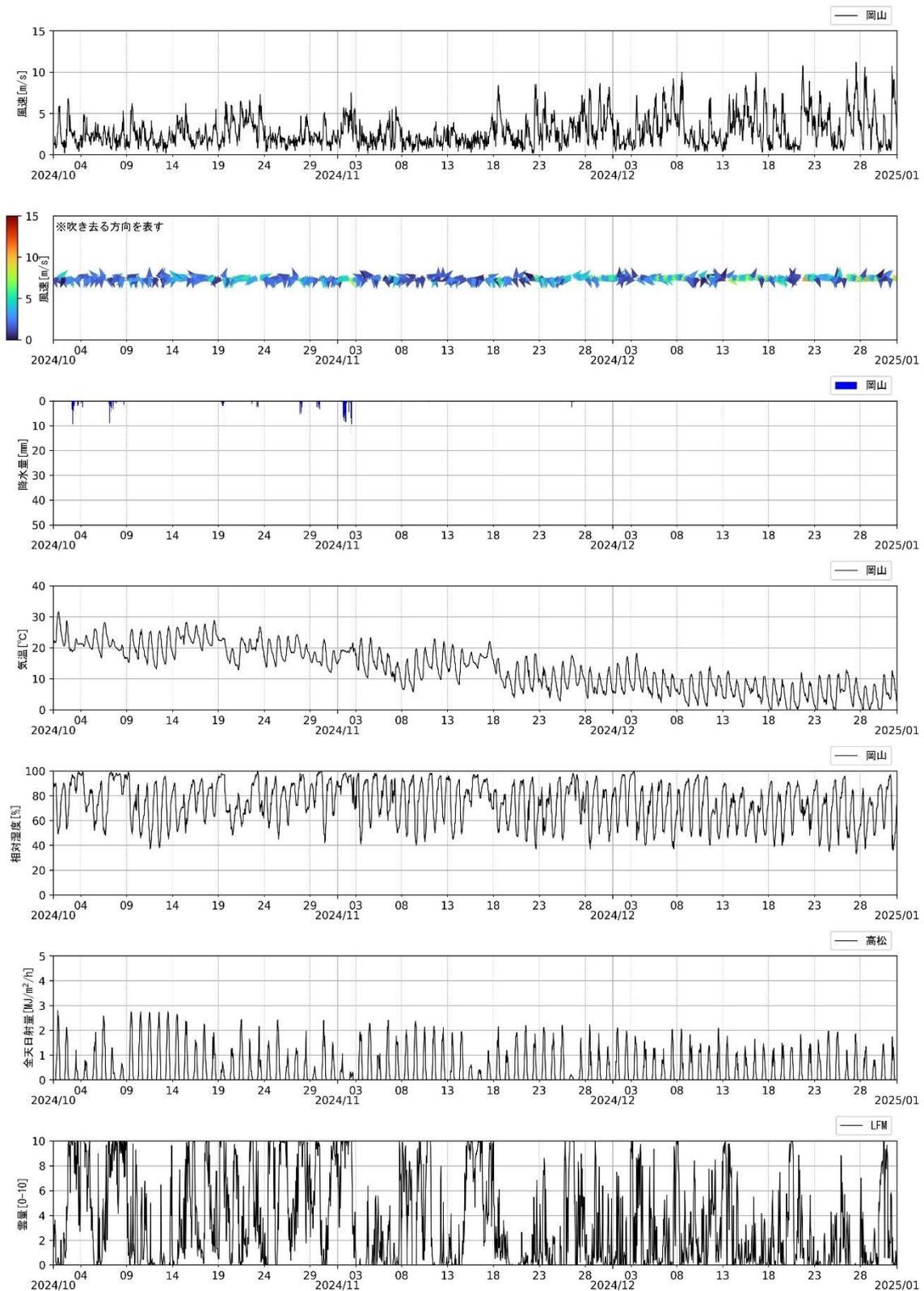


図 II-8 (15) シミュレーションに用いた気象データ (2024年10月~2024年12月)

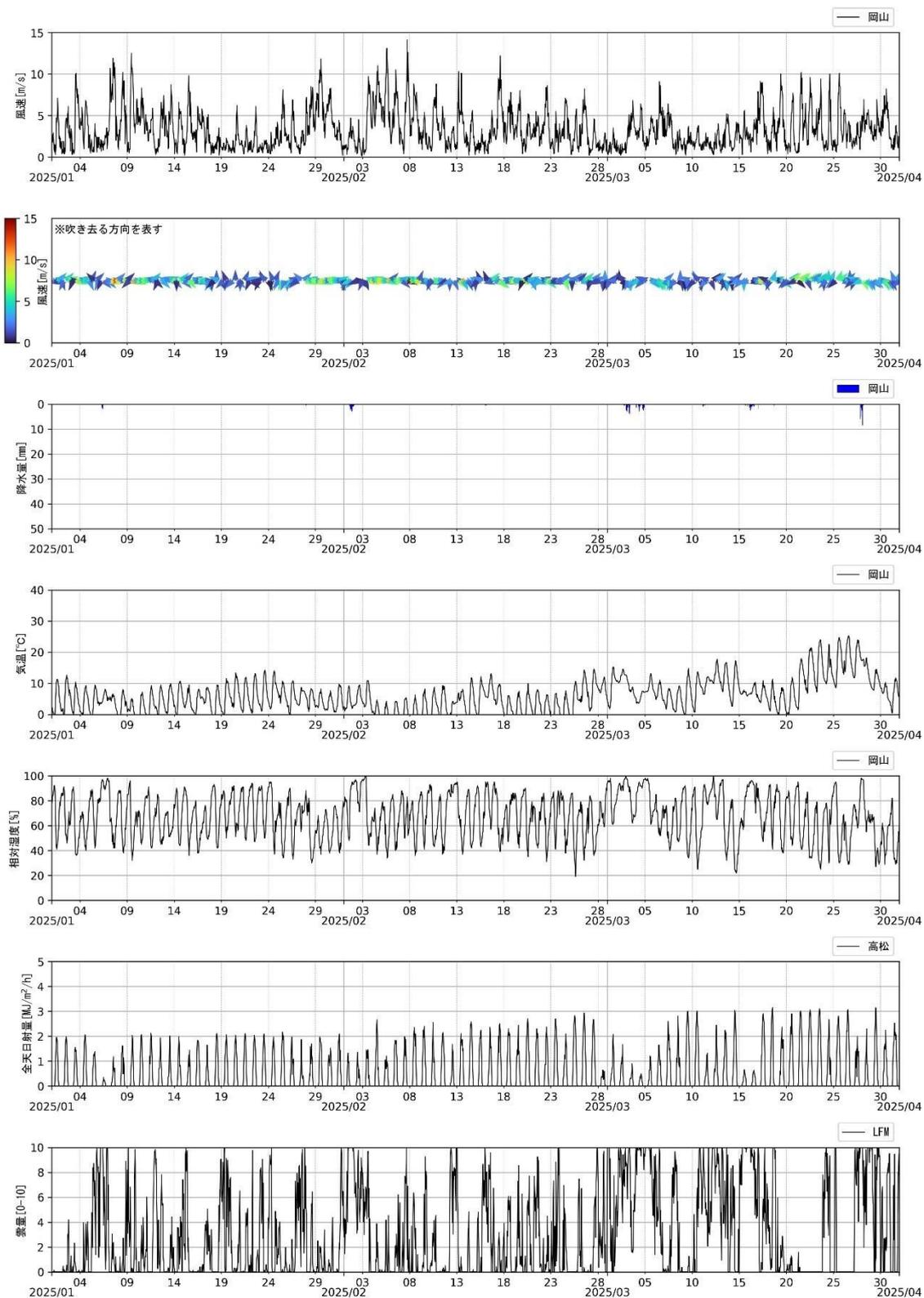
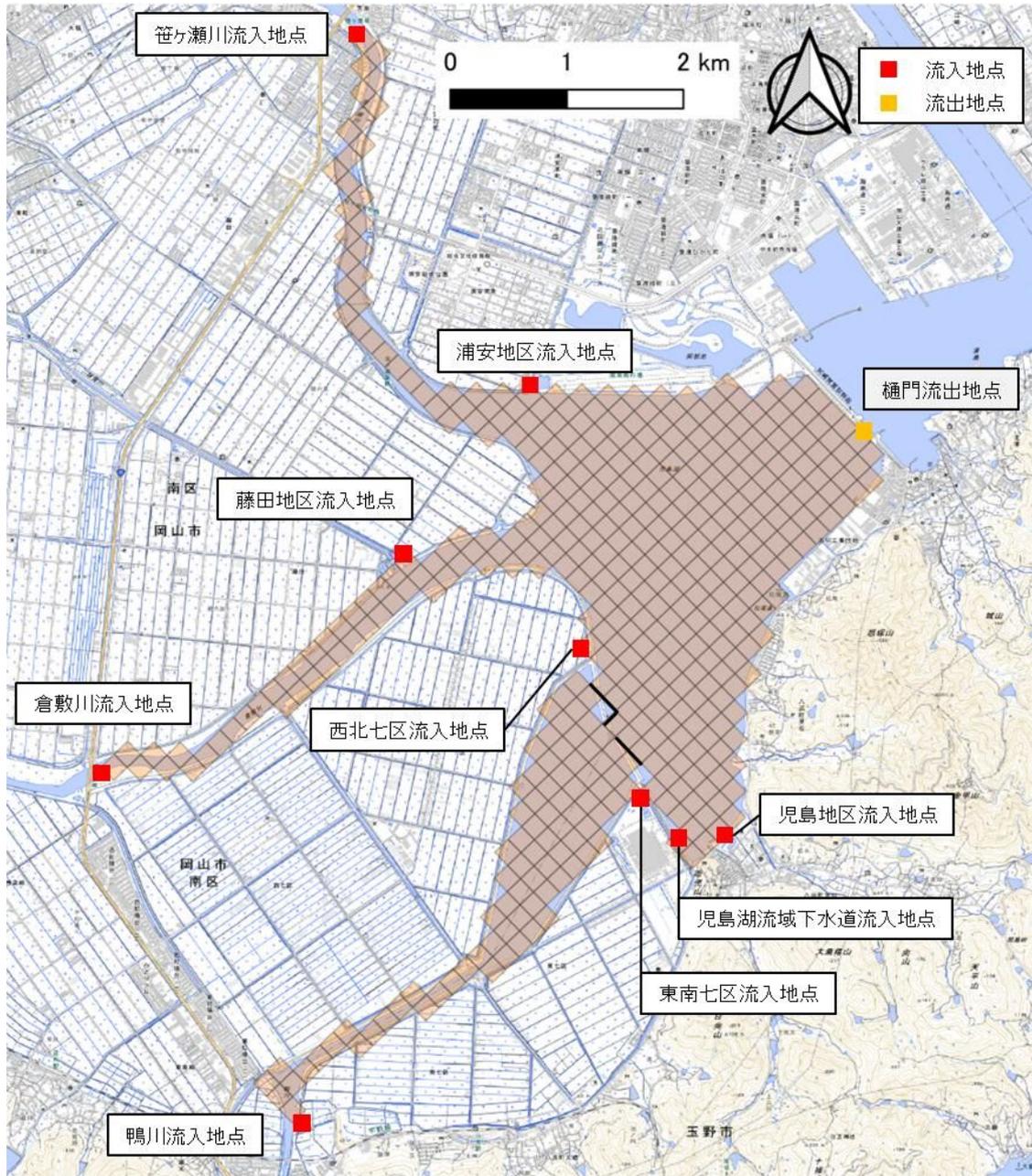


図 II-8 (16) シミュレーションに用いた気象データ (2025年1月~2025年3月)

③ 流入・流出条件

第9期水質シミュレーションモデルにおける流入・流出地点を図 II-9 に示す。
各地点の流入量・流出量は以下のとおりに設定した。



地理院地図を加工して作成

図 II-9 第9期水質シミュレーションモデルにおける流入・流出地点

※ 浦安地区の排水は浦安東排水機場、藤田地区の排水は国営妹尾川排水機場及び十二号排水機場、西北七区の排水は七区排水機場、東南七区の排水は東南七区排水機場、児島湖流域下水道からの放流水は、浄水事務所地点から児島湖に流入するとした。児島地区の排水は八浜地点に流入するとしている

<下水放流量>

児島湖流域下水道からの排水量については、貸与資料を基に月別値で与えた。

<各機場から児島湖への流入量>

児島湖の周辺では排水のための機場が整備されており、これら機場の運転状況から児島湖への流入水量を推計することが可能である。

排水機場からの児島湖への流入水量は、以下の式により推計される。

$$\text{排水量(m}^3\text{/日)} = \sum \{i\text{台目のポンプ能力(m}^3\text{/hr)} \times i\text{台目のポンプの運転時間(hr)}\}$$

上記の算定式より、児島湖周辺の排水機場から児島湖に流入する水量を日毎に求めた。

<樋門からの流出量>

児島湾中央管理事務所の「樋門閘門操作月報」を基に、樋門からの排水量を与えた。

<河川流量>

児島湖へ流入する全流入量を算出し、全流入量から下水放流量・各機場から児島湖への流入量を差し引くことで、全河川流量を求めた。その後、全河川流量を流域面積比で按分することで、各河川の流量を求めた。

ここで、児島湖へ流入する全流入量は以下の式により推計される。

$$A \frac{dh}{dt} = Q_{in} - Q_{out}$$

ここで、 A : 児島湖の湖面積 (m^2)、 h : 児島湖の水位 (m)、 Q_{in} : 全流入量 (m^3/s)、 Q_{out} : 全流出量 (m^3/s)、である。

次頁以降に、設定した各地点の流入量・流出量の時系列図を示す(図 II-10)。

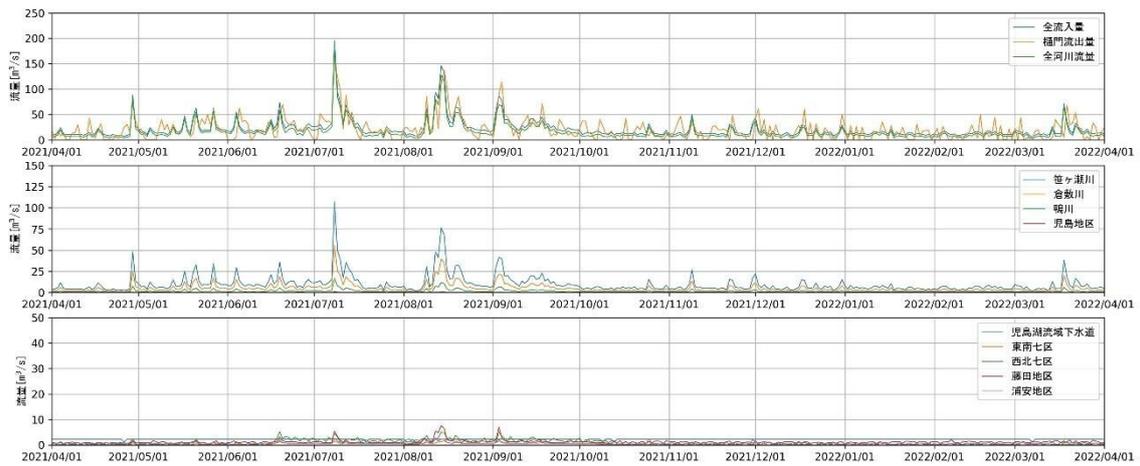


図 II-10 (1) 各地点の流入量・流出量 (2021 年度)

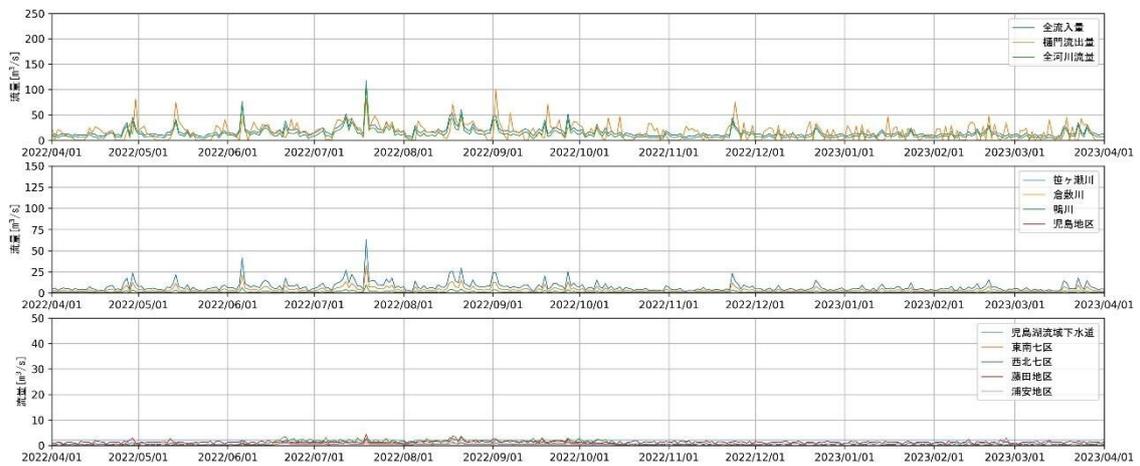


図 II-10 (2) 各地点の流入量・流出量 (2022 年度)

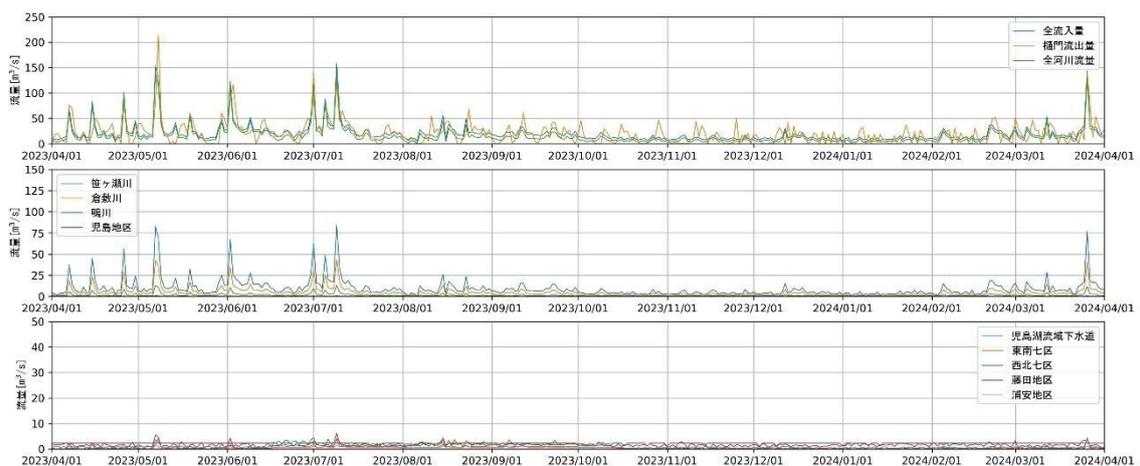


図 II-10 (3) 各地点の流入量・流出量 (2023 年度)

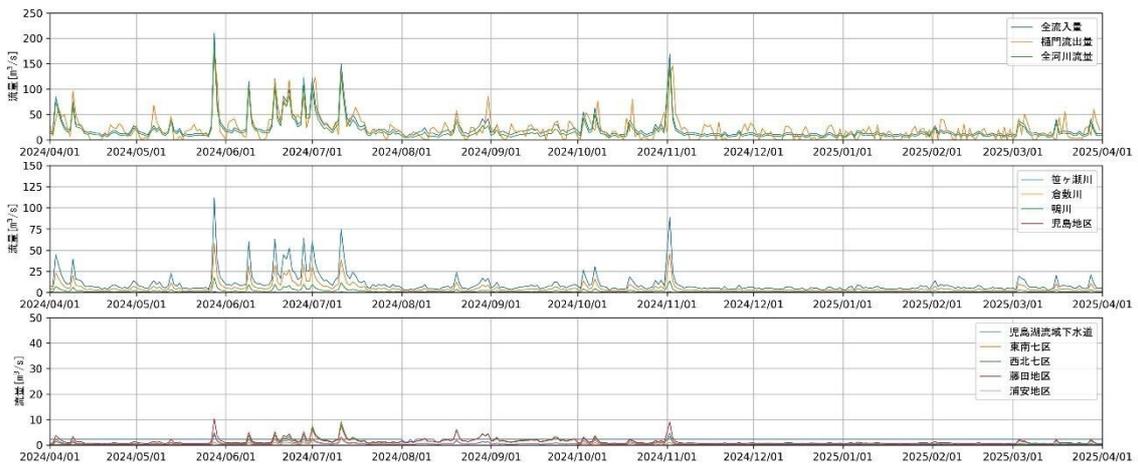


図 II-10 (4) 各地点の流入量・流出量 (2024 年度)

<河川水温>

河川水温については、岡山地方気象台における気温と笹ヶ瀬橋、倉敷川橋における水温観測結果（月 1 回測定）の相関式を作成し、笹ヶ瀬川と倉敷川の河川水温を推定した。なお、気温には採水時間の前 24 時間平均値を用いた。相関式を図 II-11 に示す。決定係数が 0.95 を超えていることから、上記の方法で河川水温を精度よく推定できると考えられる。

笹ヶ瀬川・倉敷川以外の流入水温については、浦安地区は笹ヶ瀬川の推定河川水温を、浦安地区以外は倉敷川の推定河川水温を設定した。

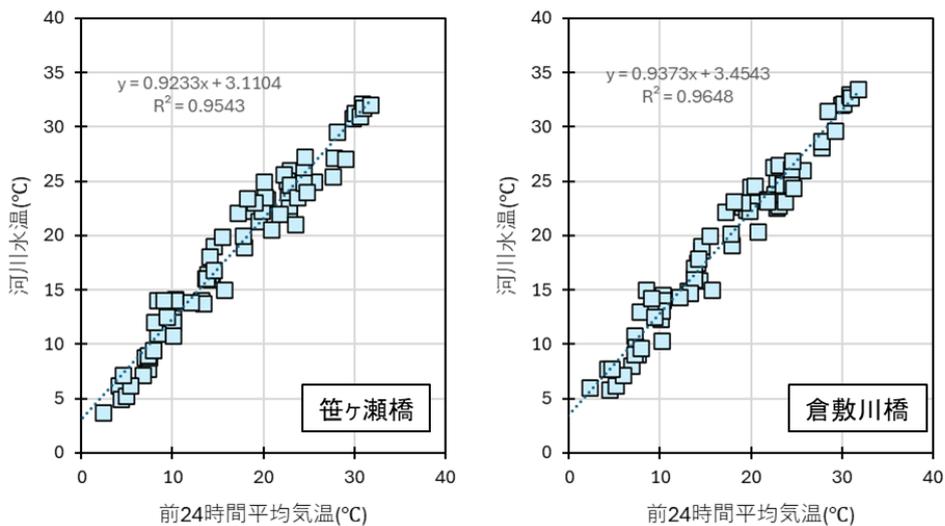
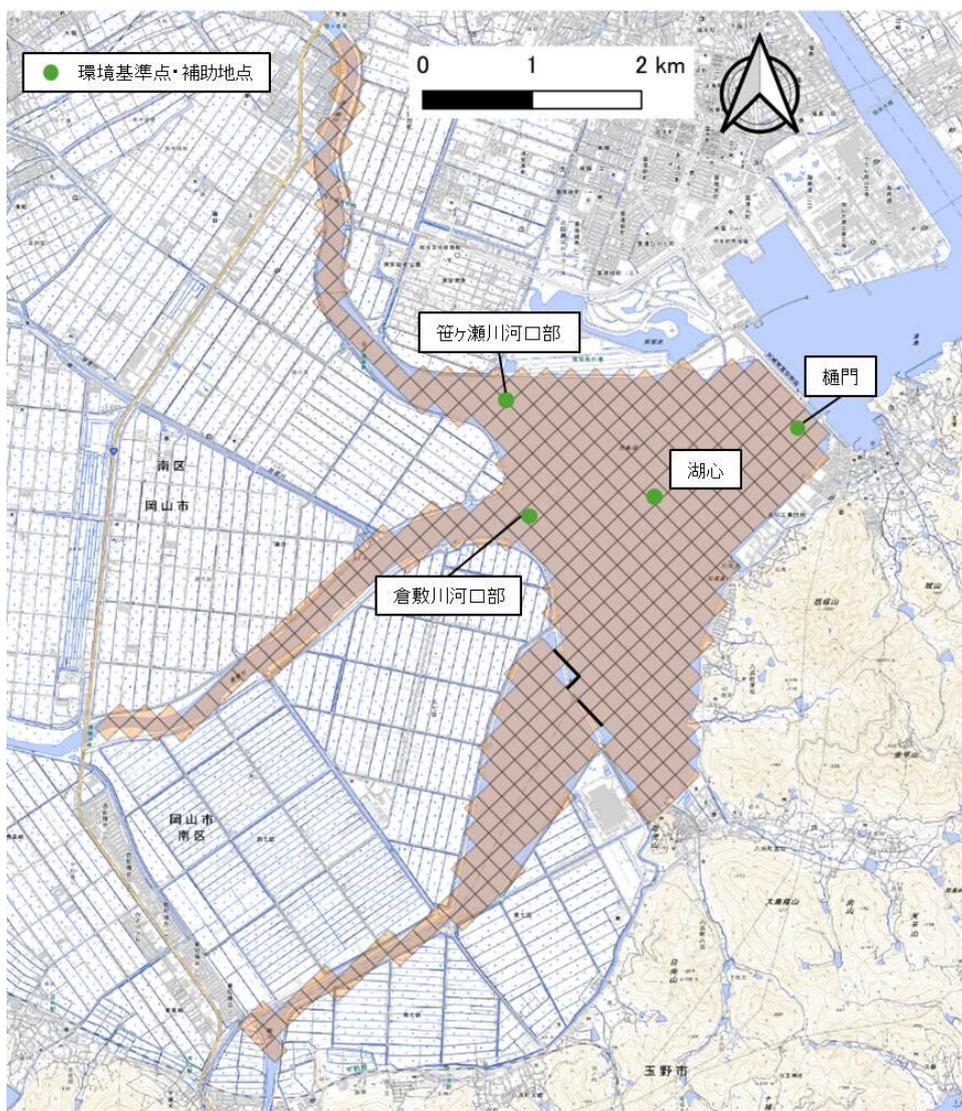


図 II-11 岡山地方気象台の気温と河川水温の相関

(4) 再現計算結果

公共用水域水質測定結果（月 1 回測定）から水温観測値を整理し、計算水温と比較した。比較に使用した観測地点は図 II-12 に示す 4 地点である。また、湖内で行われている水位連続観測結果（時別値）を整理し、計算水位と比較した。

図 II-13 に各年度の水位・水温の計算値と観測値を示す。計算水位は観測水位とよく一致していることから、構築したモデルは児島湖における水収支をよく再現できていると言える。また計算水温は観測水温と概ね一致しており、モデルは児島湖内の水温の季節変化を概ね再現できていると言える。



※地理院地図を加工して作成

図 II-12 流動モデルの再現性確認地点（公共用水域水質調査地点）

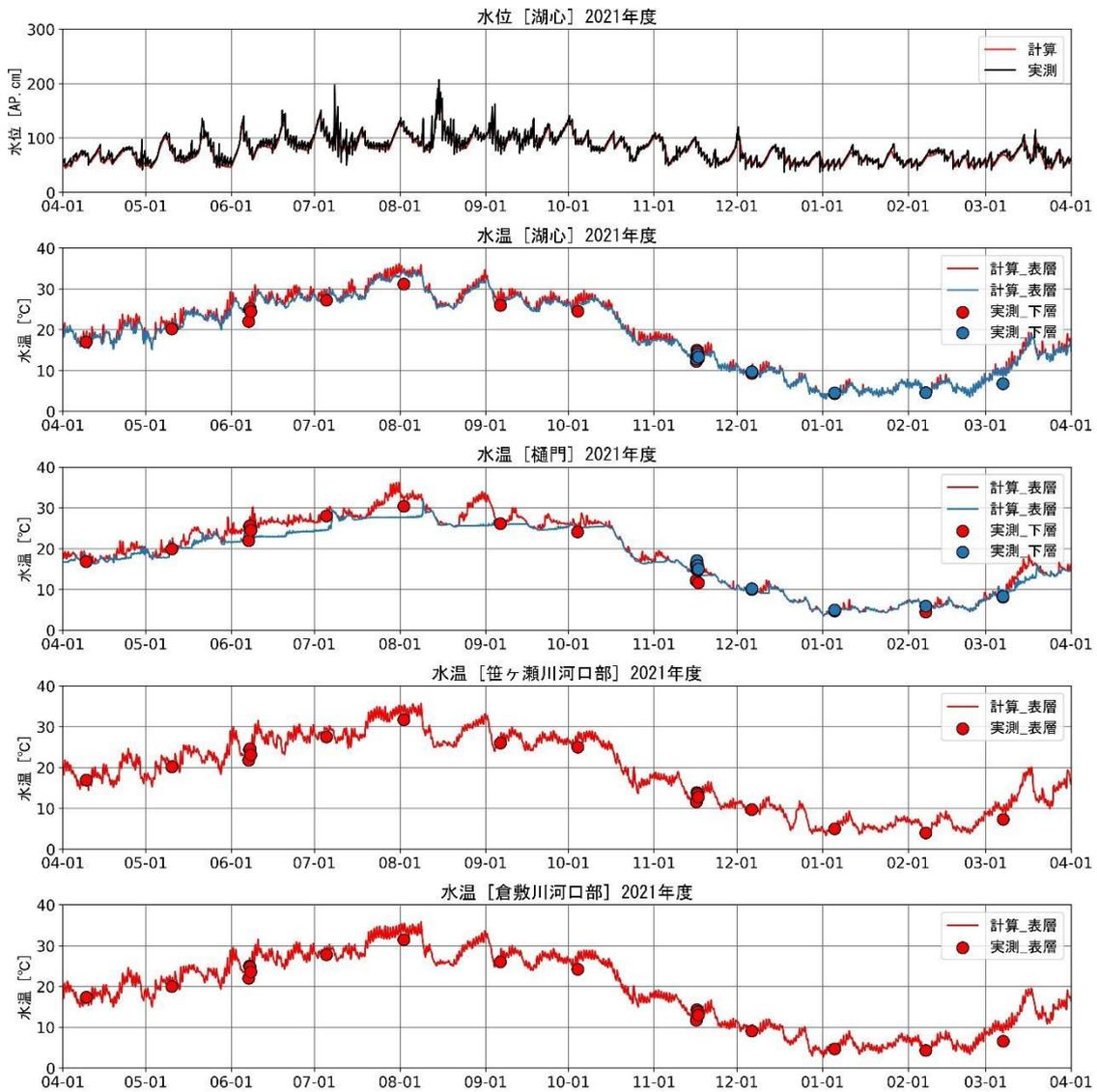


図 II-13 (1) 水位・水温の計算値と観測値の比較 (2021 年度)

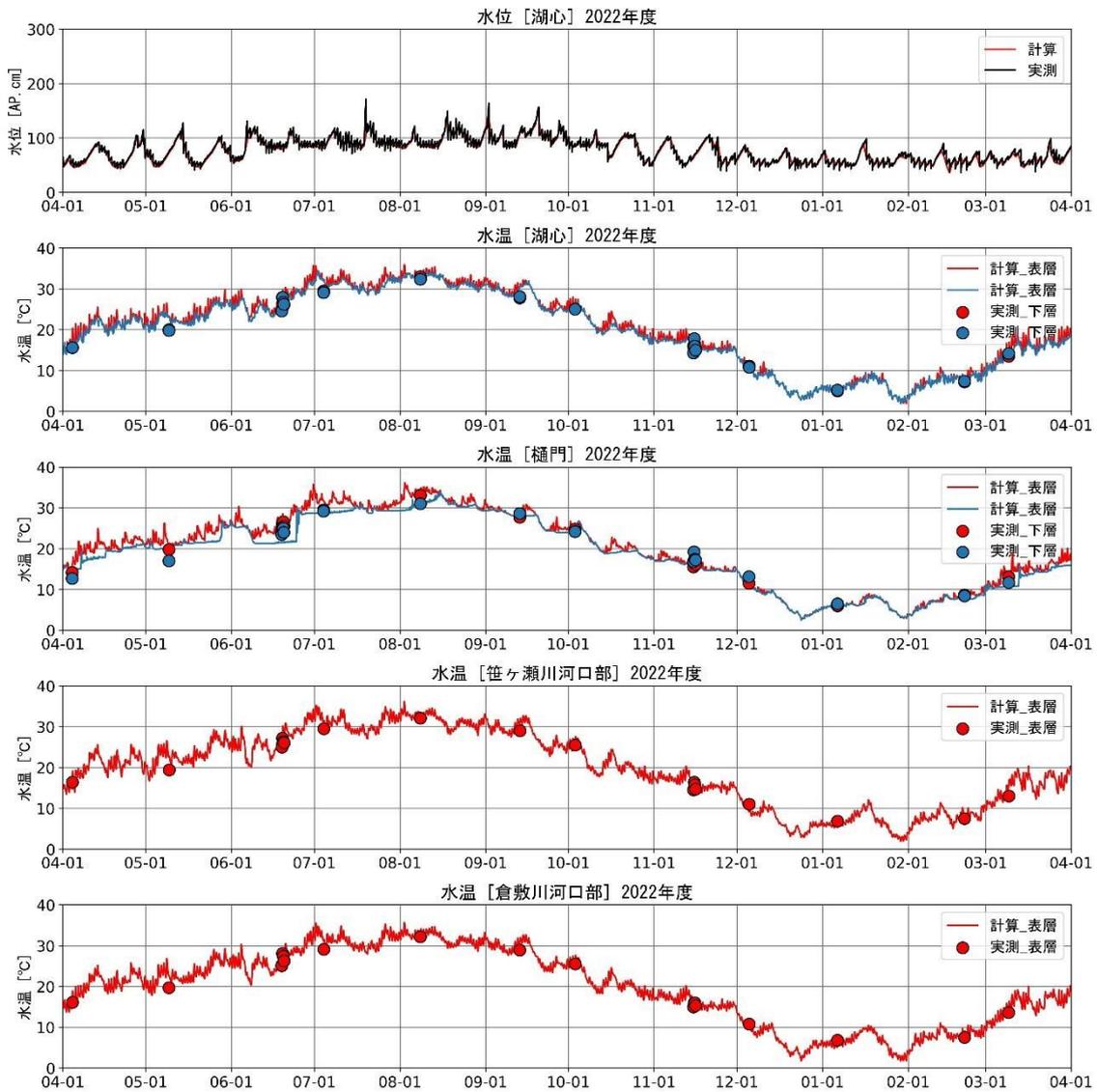


図 II-13 (2) 水位・水温の計算値と観測値の比較 (2022 年度)

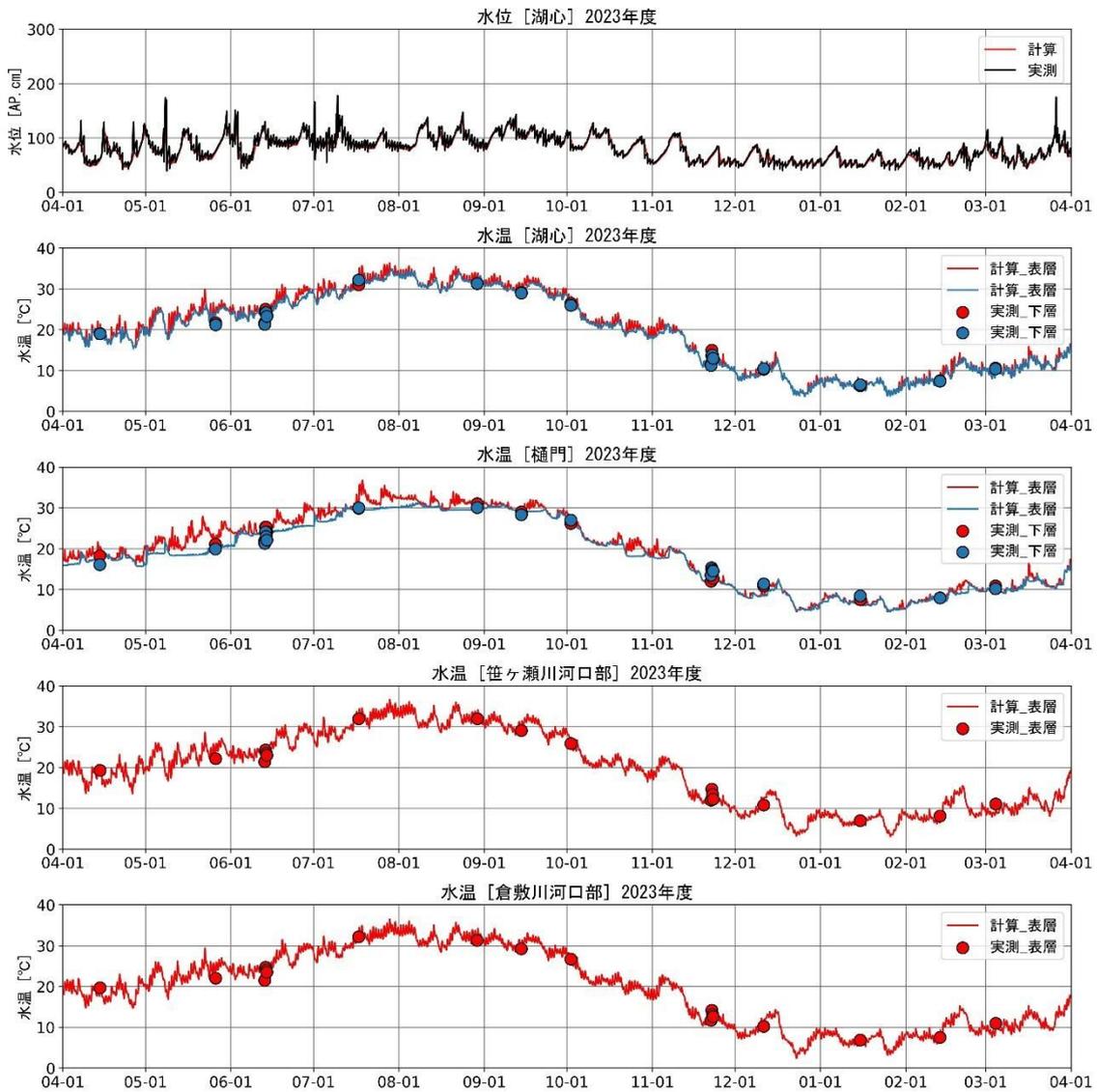


図 II-13 (3) 水位・水温の計算値と観測値の比較 (2023 年度)

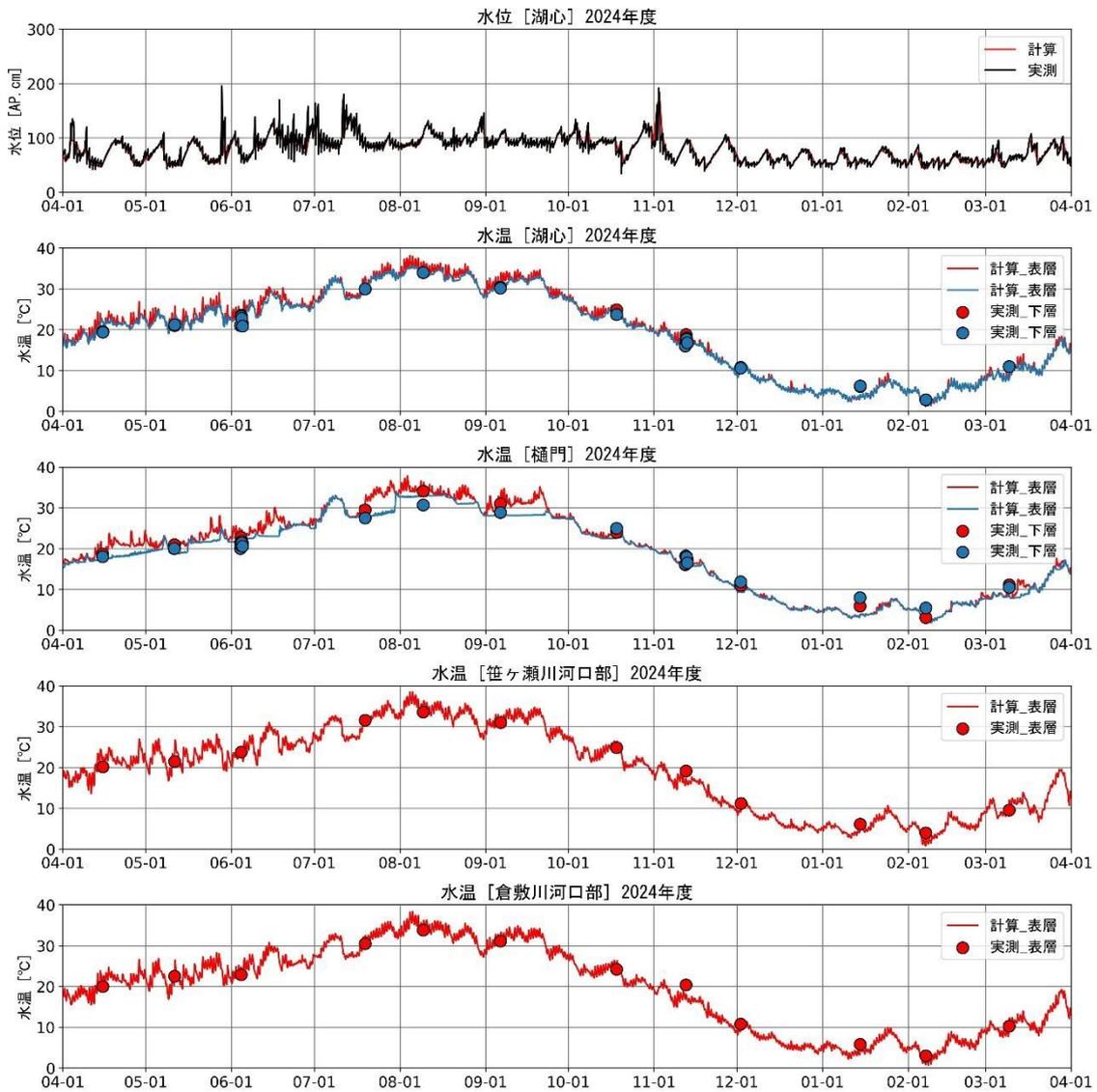


図 II-13 (4) 水位・水温の計算値と観測値の比較 (2024 年度)

3 水質モデル

(1) モデルの概要

モデルの予測計算項目（図中□）間の物質循環経路（図中→）図を図 II-14 に示す。このモデルは、各構成要素間の物質輸送を炭素 (C)、窒素 (N)、リン (P)、酸素 (O) を指標元素として算定する物質循環型のモデルであり、水質と底質、底生生物の相互作用を考慮したものである。水質-底質結合生態系モデルの詳細な計算項目を表 II-3~表 II-5 に示す。有機物項目は分解性を3段階考慮しているが、これは近年湖沼域で課題となっている難分解性有機物を表現するものである。

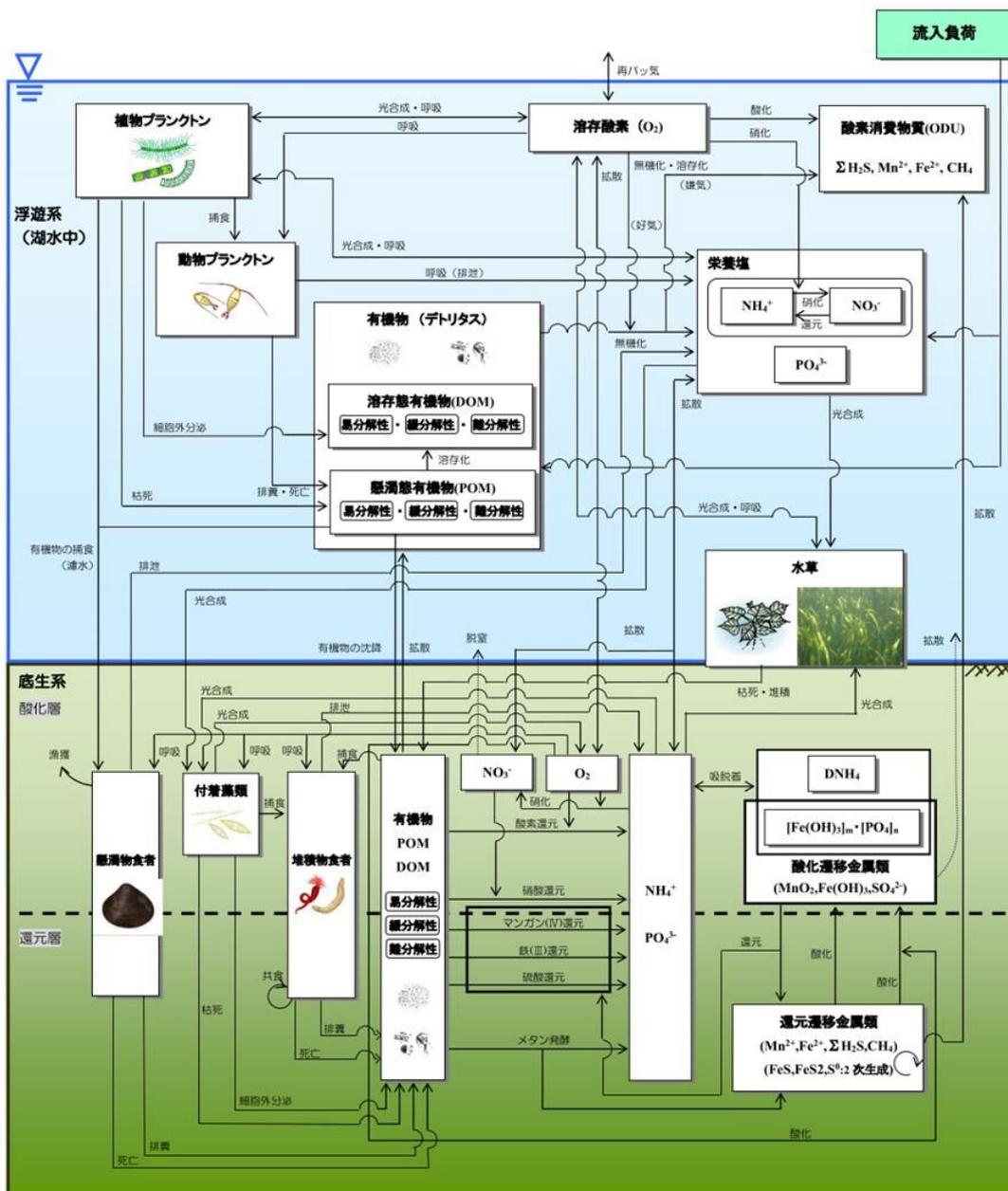


図 II-14 水質-底質結合生態系モデルの概念図

表 II-3 (1) 水質の計算項目

変数名	計算項目	単位
PHY	植物プランクトン濃度	μ g/L
ZOO	動物プランクトン濃度	mgC/L
DO	溶存酸素濃度	mgO/L
POC _{fast}	易分解性の懸濁態有機炭素濃度	mgC/L
POC _{slow}	難分解性の懸濁態有機炭素濃度	mgC/L
POC _{refractory}	不活性物質の懸濁態有機炭素濃度	mgC/L
DOC	溶存態有機炭素濃度	mgC/L
PON _{fast}	易分解性の懸濁態有機窒素濃度	mgN/L
PON _{slow}	難分解性の懸濁態有機窒素濃度	mgN/L
PON _{refractory}	不活性物質の懸濁態有機窒素濃度	mgN/L
DON	溶存態有機窒素濃度	mgN/L
POP _{fast}	易分解性の懸濁態有機リン濃度	mgP/L
POP _{slow}	難分解性の懸濁態有機リン濃度	mgP/L
POP _{refractory}	不活性物質の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濃度	mgN/L
PO ₄ -P	リン酸態リン濃度	mgP/L
ODU	酸素消費物質濃度 (Σ H ₂ S, Mn ²⁺ , Fe ²⁺ , CH ₄ の合計値)	mgO/L

水質サブモデルにおいては、TOC、COD、全窒素 (T-N)、全りん (T-P) 濃度は、(2)のようにモデルの中で計算される解析項目の濃度より換算して算出した。

表 II-3 (2) TOC、COD、全窒素 (T-N)、全りん (T-P) の算出方法

$$\begin{aligned} \text{TOC} &= (\text{植物プランクトン PHY} \times \text{係数 a}') + (\text{動物プランクトン ZOO} \\ &\quad + \text{非生物態 POC}) + \text{DOC} \\ \text{COD} &= (\text{植物プランクトン PHY} \times \text{係数 a}) + (\text{動物プランクトン ZOO} \times \text{係数 b}) \\ &\quad + (\text{非生物態 POC} \times \text{係数 c}) + (\text{DOC} \times \text{係数 d}) \\ \text{T-N} &= \text{TON} + \text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_x\text{-N} \\ \text{TON} &= \text{植物プランクトン態 N} + \text{動物プランクトン態 N} + \text{非生物態 PON} + \text{DON} \\ \text{T-P} &= \text{TOP} + \text{PO}_4\text{-P} \\ \text{TOP} &= \text{植物プランクトン態 P} + \text{動物プランクトン態 P} + \text{非生物態 POP} + \text{DOP} \end{aligned}$$

表 II-4 底質の計算項目

変数名		計算項目	単位
<i>TOC</i>	固相+液相	底泥中の全有機炭素	mgC/g-dry
<i>TON</i>		底泥中の全有機窒素	mgN/g-dry
<i>TOP</i>		底泥中の全有機リン	mgP/g-dry
<i>NH₄-N</i>	液相	間隙水中のアンモニア態窒素	mgN/L
<i>NO_x-N</i>		間隙水中の亜硝酸及び硝酸態窒素	mgN/L
<i>PO₄-P</i>		間隙水中のリン酸態リン	mgP/L
<i>DO</i>		間隙水中の溶存酸素	mgO/L
<i>SO₄²⁻</i>		間隙水中の硫酸イオン	mgS/L
<i>Mn²⁺</i>		間隙水中の Mn(II)イオン	mgMn/L
<i>Fe²⁺</i>		間隙水中の Fe(II)イオン	mgFe/L
<i>ΣH₂S</i>		間隙水中の ΣH ₂ S (=H ₂ S+HS ⁻)	mgS/L
<i>CH₄</i>		間隙水中のメタン	mgC/L
<i>MnO₂</i>	固相	底泥中の二酸化マンガン	mgMn/g-dry
<i>Fe(OH)₃</i>		底泥中の水酸化鉄	mgFe/g-dry
<i>FeS</i>		底泥中の硫化鉄	mgS/g-dry
<i>FeS₂</i>		底泥中の黄鉄鉱	mgS/g-dry
<i>S⁰</i>		元素状硫黄	mgS/g-dry
<i>DNH₄⁺</i>		吸着態のアンモニア態窒素	mgN/g-dry
<i>DPO₄⁻</i>		吸着態のリン酸態リン	mgP/g-dry

表 II-5 底生生物の計算項目

変数名	計算項目	単位
<i>DIA</i>	付着藻類	gC/m ²
<i>BSF</i>	懸濁物食者 (シジミ)	gC/m ²
<i>BDF</i>	堆積物食者	gC/m ²
<i>WEED</i>	水草	gC/m ²

モデルの枠組みとしては上記の生物項が含まれているが、現時点では付着藻類と水草のみを考慮している。

(2) 条件設定

水質モデルの計算条件（現況再現計算）の概要を表 II-6 に示す。

表 II-6 水質モデルの計算条件

項目		設定方法
計算期間		2021（令和3）年度～2024（令和6）年度
時間間隔		30秒
地形・水深条件		湖底深浅測量結果から作成（流動モデルに従う）
計算格子	水平	全域 160m（流動モデルに従う）
	鉛直	0.5m 毎に分割（流動モデルに従う）
気象条件	全天日射量	高松地方気象台の毎時データを使用
流入・流出条件	河川負荷量	笹ヶ瀬川と倉敷川については実測水質濃度と流動モデルの条件として推定した流量から L-Q 式（図 II-15 参照）を作成して負荷量を算出。 その他の河川については、笹ヶ瀬川もしくは倉敷川の水質濃度と流動モデルの条件として推定した流量を乗じて負荷量を算出。
	下水放流負荷	実測水質と流量を乗じて算出
	樋門からの排水	流動モデルで算出した排水量に排水門湖側の計算水質濃度を乗じて排出。
初期値	水質	2020年11月の実測値を設定
	底質	岡山県による既存の調査結果を基に設定
	水生植物	岡山県による既存の調査結果を基に設定

第8期水質保全計画では、原単位法による排出汚濁負荷量（面源系は面源原単位との整合をとった負荷量解析モデルによる計算値）を流域モデルに入力して流入負荷量を推定していたが、本モデル構築においては、2（3）③で算定した河川流量と実測された河川水質を用いて L-Q 式を作成し、流入負荷量を推定することとした。L-Q 式は、流量と負荷量の関係を示す統計的な式であり、一般的に次式で表される。

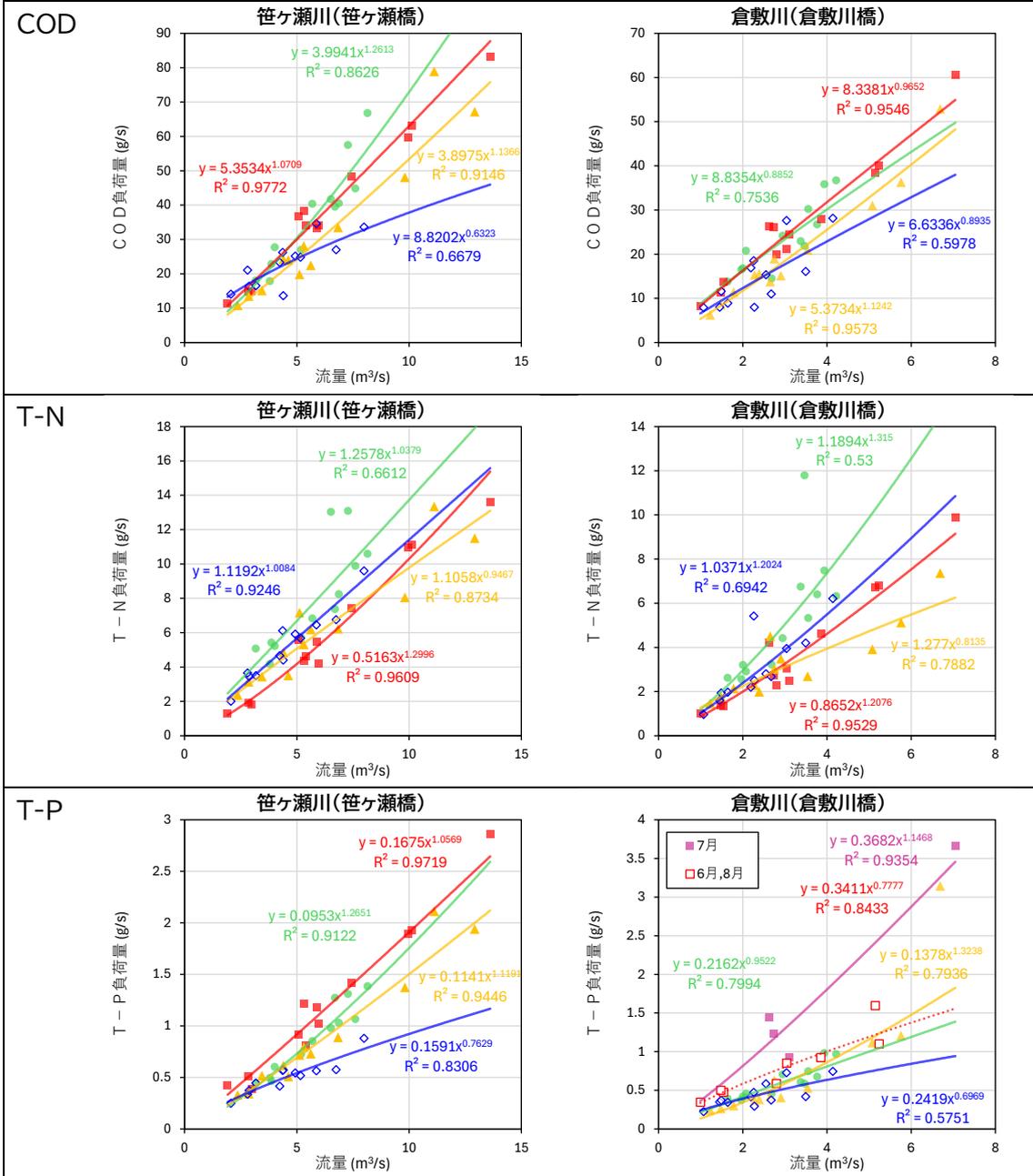
$$L = aQ^b \quad (L: \text{負荷量}, Q: \text{流量}, a, b: \text{係数})$$

笹ヶ瀬川・倉敷川の実測水質には季節性がみられるため、L-Q 式は季節別に作成し（図 II-15）、実測された季節性が概ね再現できることを確認した（図 II-16）。

留意点として、使用した水質データ（公共用水域水質測定結果）は平常時に調査されているため、一部の項目については出水時の負荷量を過少評価している可能性がある。

第 8 期計画期間の L-Q 式

●: 春季(3月~5月)、■: 夏季(6月~8月)、▲: 秋季(9月~11月)、◇: 冬季(12月~2月)



※倉敷川(倉敷川橋)の T-P 濃度は 7 月にピークとなる場合が多いため、7 月を分けて L-Q 式を作成した。

図 II-15 笹ヶ瀬川と倉敷川の L-Q 式

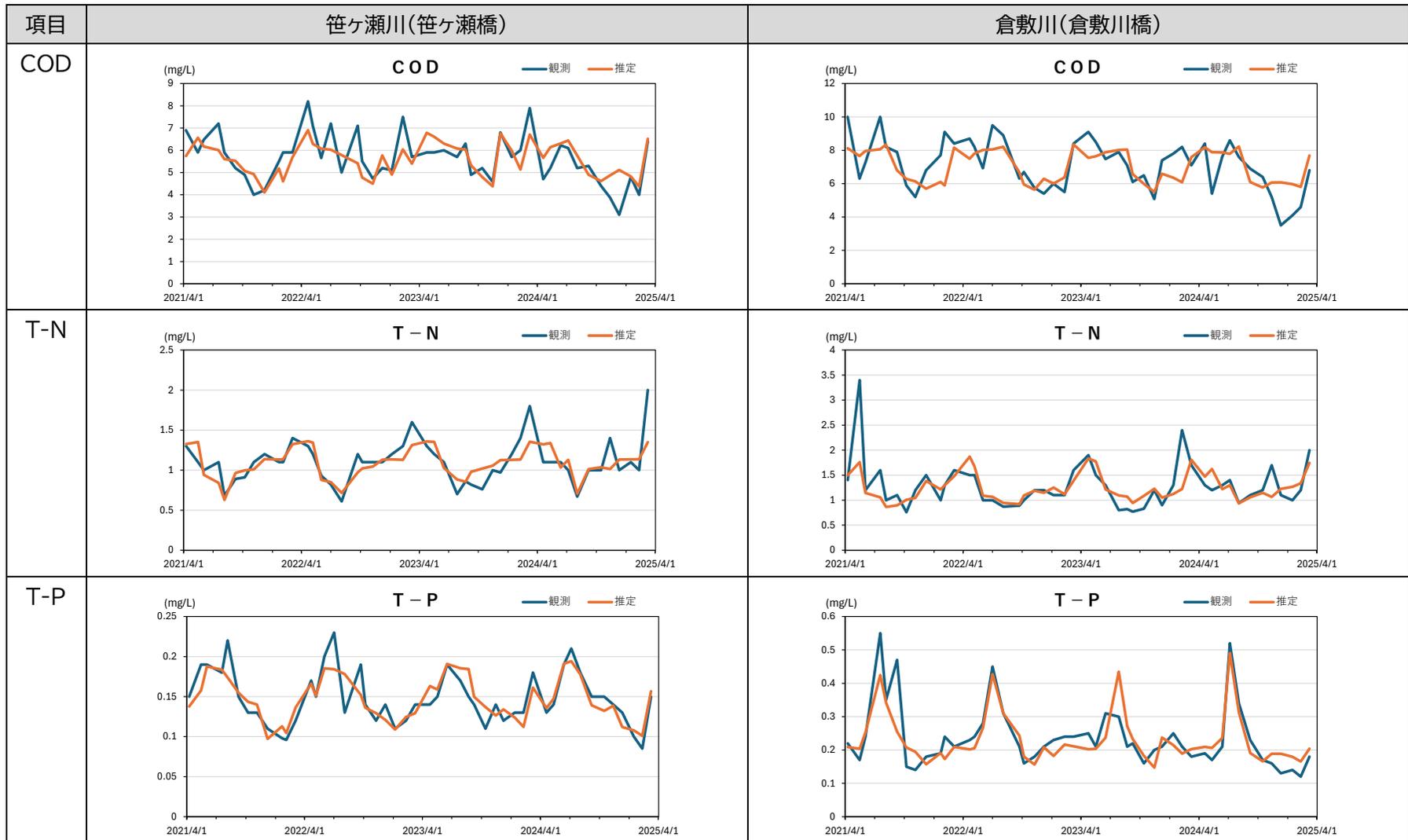


図 II-16 L-Q 式から推定した流入河川の水質と実測水質の比較

図 II-17 に発生負荷量（寒色系棒グラフ）と L-Q 式から算出した負荷量を含む流入負荷量（暖色系棒グラフ）の比較を示す。これによると、流入負荷量／発生負荷量の比は COD で 1.0～1.3、T-N（全窒素）で 0.7～0.9、T-P（全リン）で 0.6～0.9 となっている。前述のように、図 II-15 の L-Q 式は平常時の観測結果から作成しているため、一般に出水時に流入量が跳ね上がるリンの負荷量については過小評価していると考えられる。

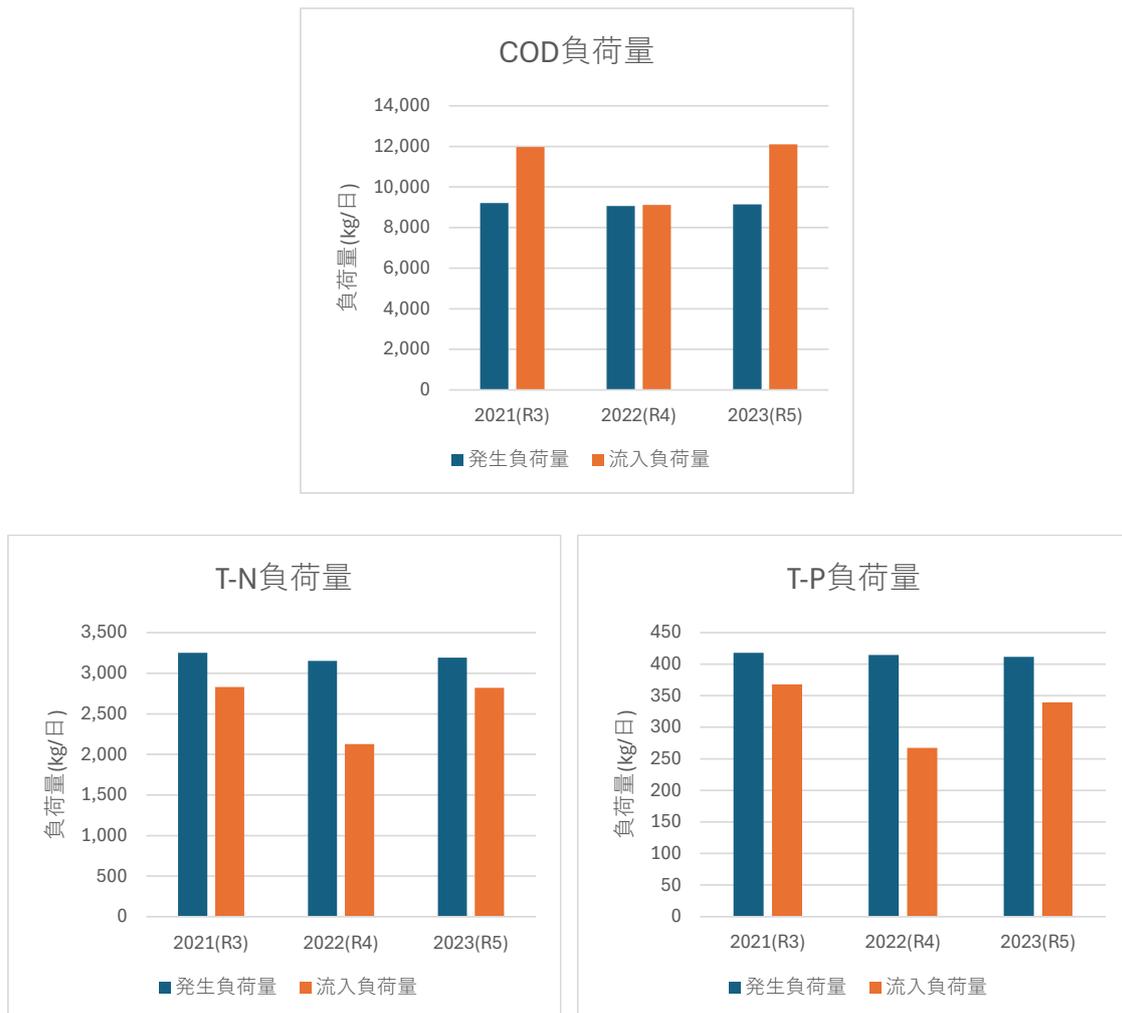


図 II-17 発生負荷量と L-Q 式から推定した流入負荷量の比較

水草の設定を行うにあたり、衛星画像を活用した植生分布の推定を行った。推定方法とその結果を以下に示す。推定結果は、計算対象期間（2021～2025年度）における8月の分布を示している。本計算では、主に湖南部にヒシ、笹ヶ瀬川河口付近にホテイアオイが繁茂するとし、植物の初期値を設定している。湖南部のヒシに関しては今年8、9月に現地で目視確認した結果から概ねの現存量が推定されているが、ホテイアオイについては年変動も大きく、本計算では十分な検証ができていない。

■概要

：水草繁茂マップ作成マニュアル（令和7年5月、環境省 水・大気環境局 海洋環境課）に従い、衛星画像から湖面上の植生の範囲を簡易的に推定

参考 URL : <https://www.env.go.jp/content/000314903.pdf>

■使用した衛星データ

：Sentinel-2（空間解像度 10m、観測頻度 5日程度）

■使用した画像

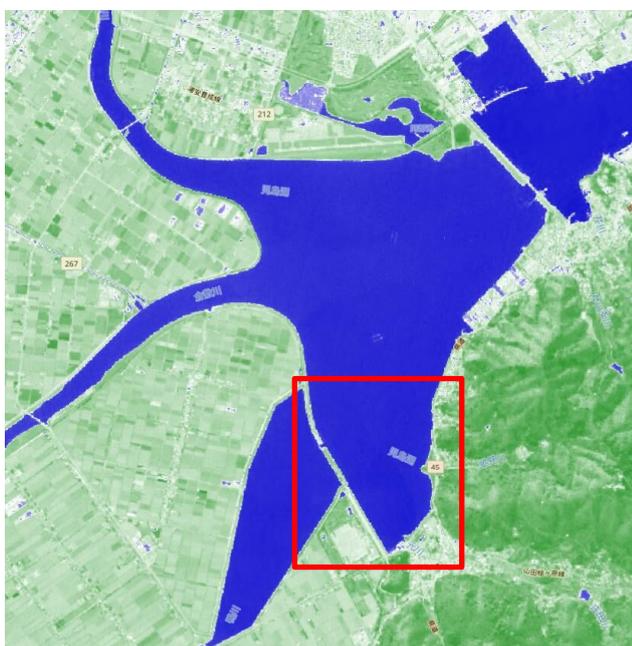
：湖面上の植生の指標として、主に正規化水指数（NDWI）を使用
（画像の特徴は右表参照）

■留意事項

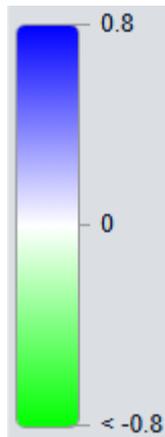
：衛星画像では植生の種類は特定できない。アオコやウキクサが濃い場合は水草と見分けがつかない場合もある。児島湖の水域と陸域の切り分けは現時点では未実施

画像の種類	特徴	画像の作成方法または算定式
True color (RGB 画像)	肉眼で見える色合いに近いカラー画像を表す。湖面の状況を直感的に理解しやすいという利点がある。	赤、緑、青の波長域で撮影された3枚の画像を合成することにより作成される。
NDVI (正規化植生指数)	植生の被覆や活性度合いを表す。-1～+1の範囲をとり、植生が濃いと値が大きくなる。	$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ NIR は近赤外域、R は赤色光の反射率
NDWI (正規化水指数)	地表面の水の存在と深い関わりをもつ指標。-1～+1の範囲をとり、地表面が帯水状況にあると値が大きくなる。湖沼においては、NDWI を用いて水面のアオコと水草を判別した研究事例がある。	$NDWI = (GR - SWIR) / (GR + SWIR)$ GR は緑色光、SWIR は中間赤外の反射率

衛星画像からみた夏季の植生状況 (2017~2025年)



正規化
水指数
(NDWI)



※Sentinel-2 L2A プロダクト
(分解能 10m) より作成。
※緑が濃いほど正規化水指数
(NDWI) が低く、水分量が
少ない。

本モデルにおいて動物プランクトンを構成要素として考慮するにあたり直近の観測結果が得られなかったため、夏季に湖内4地点で調査を実施した。図 II-18 に個体数を示す。同定の結果、得られた動物プランクトンは輪形動物門（ワムシ）と節足動物門（ミジンコ）であった。参考のため、諏訪湖での動物プランクトン調査結果（個体数を図 II-19 に示す。児島湖湖心の8月の動物プランクトン個体数は諏訪湖の夏季最大値と同程度であり、組成も類似している。

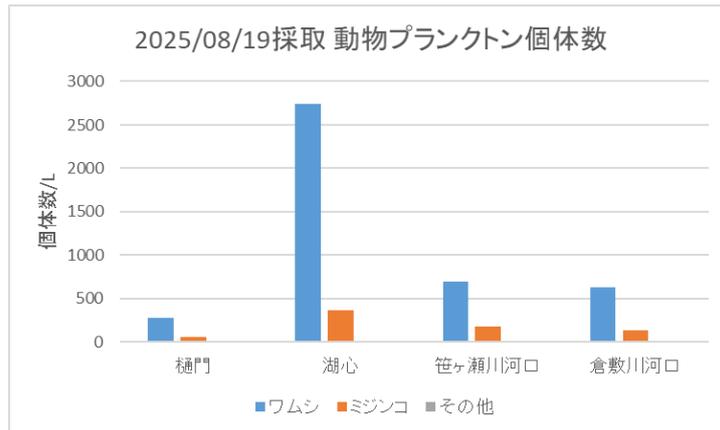


図 II-18 2025/08/19 に採取した動物プランクトン個体数

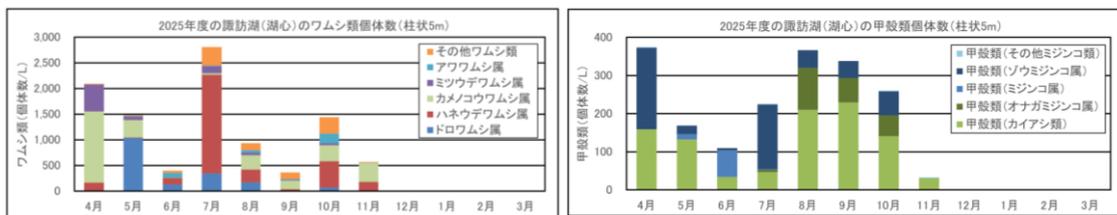
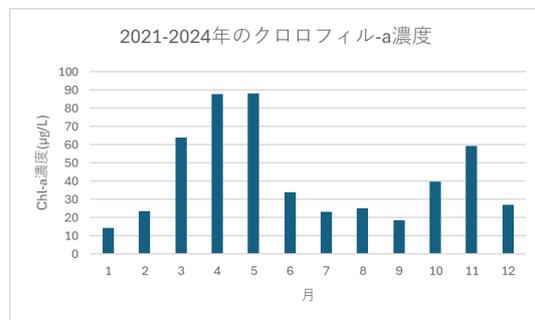


図 II-19 諏訪湖湖心における動物プランクトン個体数（諏訪湖環境研究センター）

モデルではプランクトンについて炭素量に換算して物質循環の計算を行うため、図 II-18 の個体数を種類ごとの体サイズから炭素量に換算した。モデルにおいて動物プランクトンは植物プランクトンと動物プランクトンを摂餌しているが、動物プランクトンの炭素量は炭素換算した夏季の植物プランクトンを上回っており、児島湖の植物プランクトン量やその季節変動（右図参照）には動物プランクトンが大きく影響していると考えられる。



(3) 再現計算結果

公共用水域水質測定結果（月 1 回測定）と計算結果を比較することにより水質計算の再現性を確認した。比較に使用した観測地点は図 II-12 に示す 4 地点である。

図 II-20～図 II-23 に表層・下層の実測水質計算結果の比較図を示す。

- ・クロロフィル-a (Chl-a) の計算結果では、冬季に実測値より低めとなっている年が見られる。児島湖の植物プランクトン現存量に影響を及ぼすと考えられる動物プランクトン現存量については 2025 (R7) 年 8 月のデータのみであることから、既存知見等を活用し、妥当な再現性が得られるように調整を行う。
- ・湖内の COD 濃度は夏季に計算結果の方が高い傾向を示している。本モデルにおいて COD は非生物態の有機物と生物態の有機物の合算により算出していることから、これらの換算係数の再検討を行う。
- ・DO については、樋門において下層の計算結果が若干貧酸素傾向が強く出ている。
- ・SS の計算結果は実測値より低めとなっている。出水時の負荷量や巻き上げの係数等を見直す。
- ・T-P については比較的良好な再現性が得られている。
- ・T-N について、河口地点では概ね実測値と計算結果は同レベルであるが、湖内の地点では計算結果が高めの再現となっている。湖内において窒素濃度を下げる仕組みがあると考えられる。候補としては水生植物による吸収・固定、脱窒過程等が考えられる。とくに現時点ではホテイアオイの現存量把握ができていないため、これらの影響について既存知見等をもとに検討を行う。(参考：河床における付着藻類および湖内の水生植物を考慮する前はさらに窒素濃度の計算結果が高く実測値との乖離が大きかった)

(流域モデルの計算結果を用いることにより流動及び負荷量算定結果が更新されることから、水質計算結果も更新される)

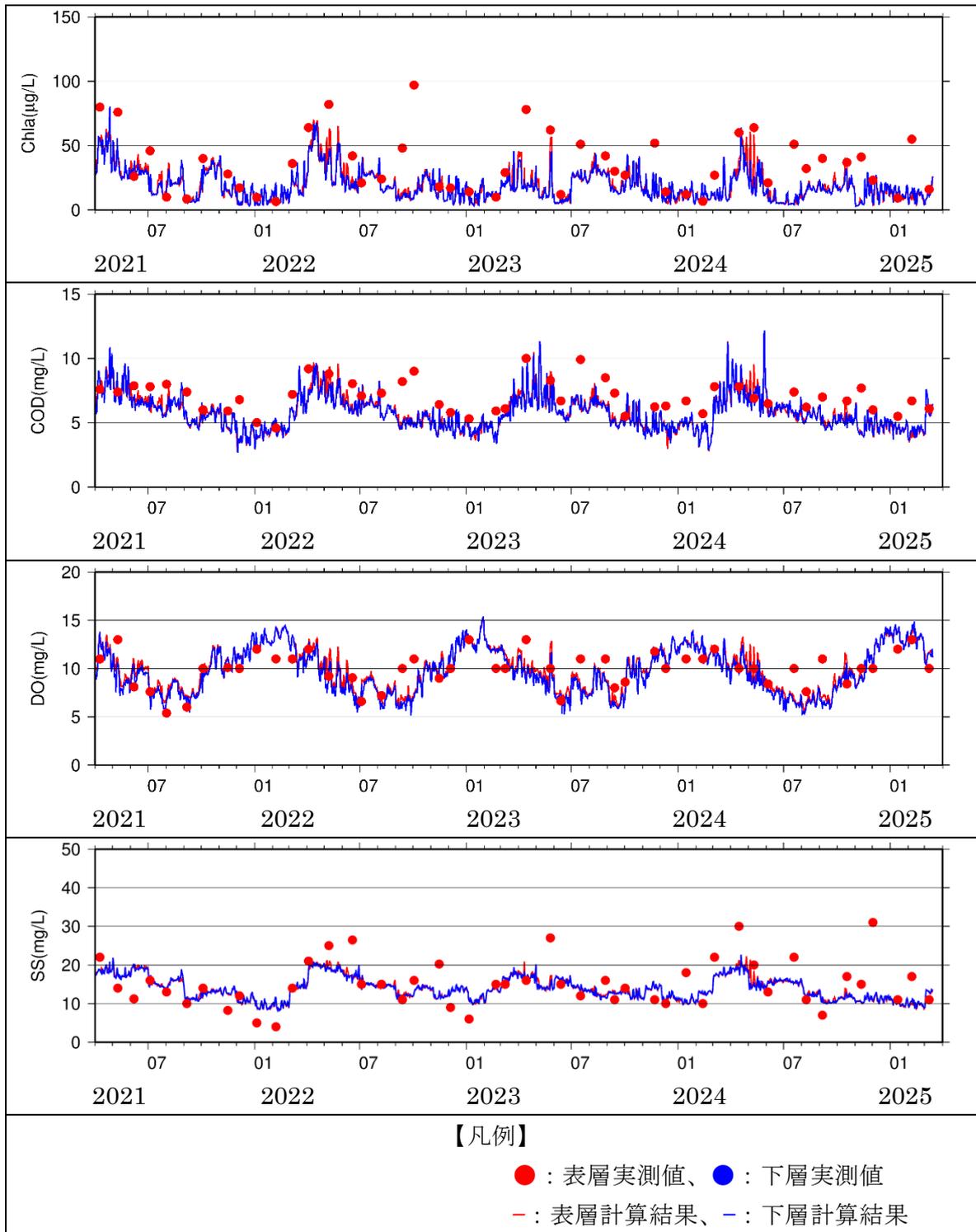


図 II-20(1) 水質計算結果 (笹ヶ瀬川河口、Chl-a、COD、DO、SS)

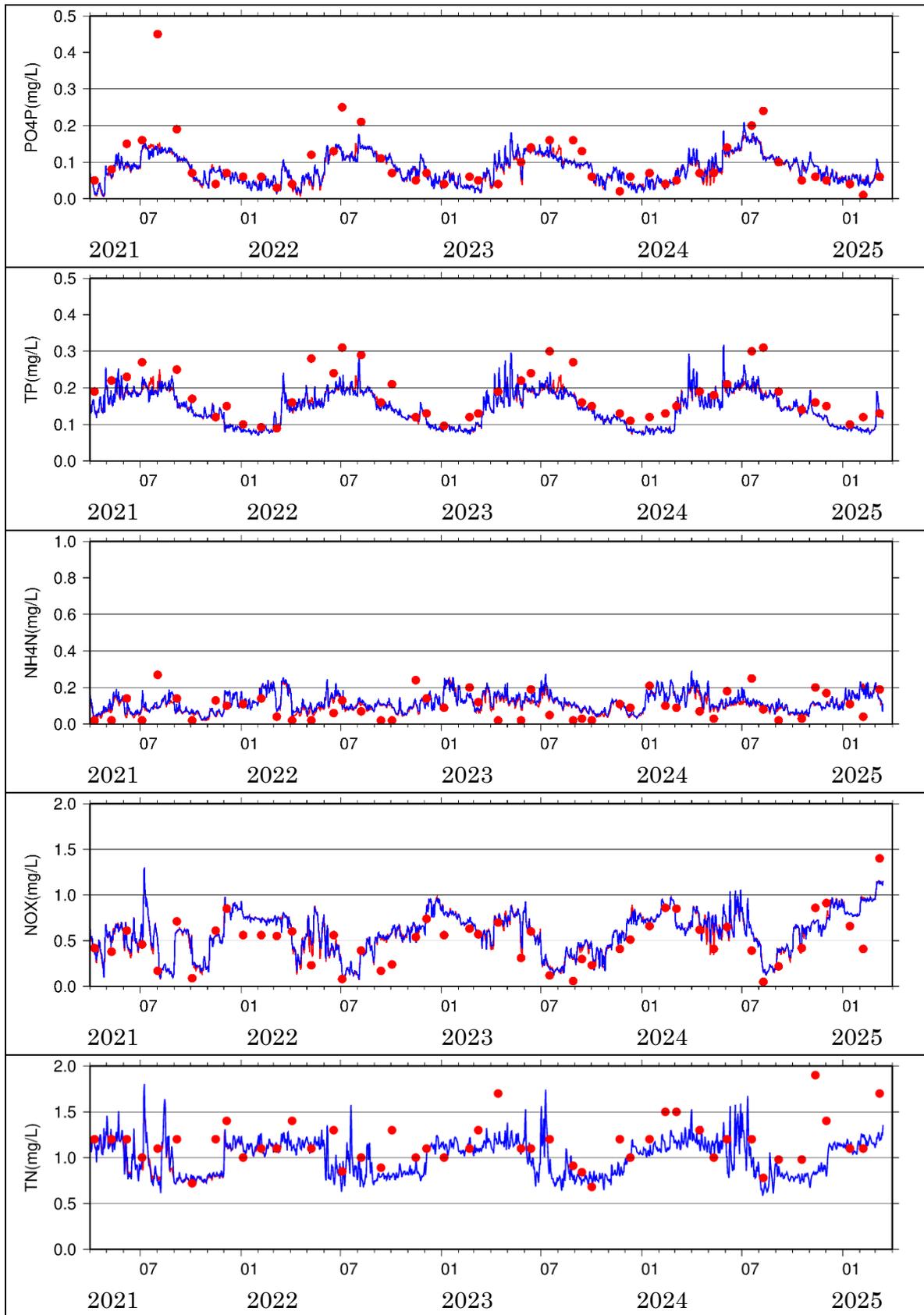


図 II-20 (2) 水質計算結果 (笹ヶ瀬川河口、 PO_4 -P、T-P、 NH_4 -N、 NO_x 、T-N)

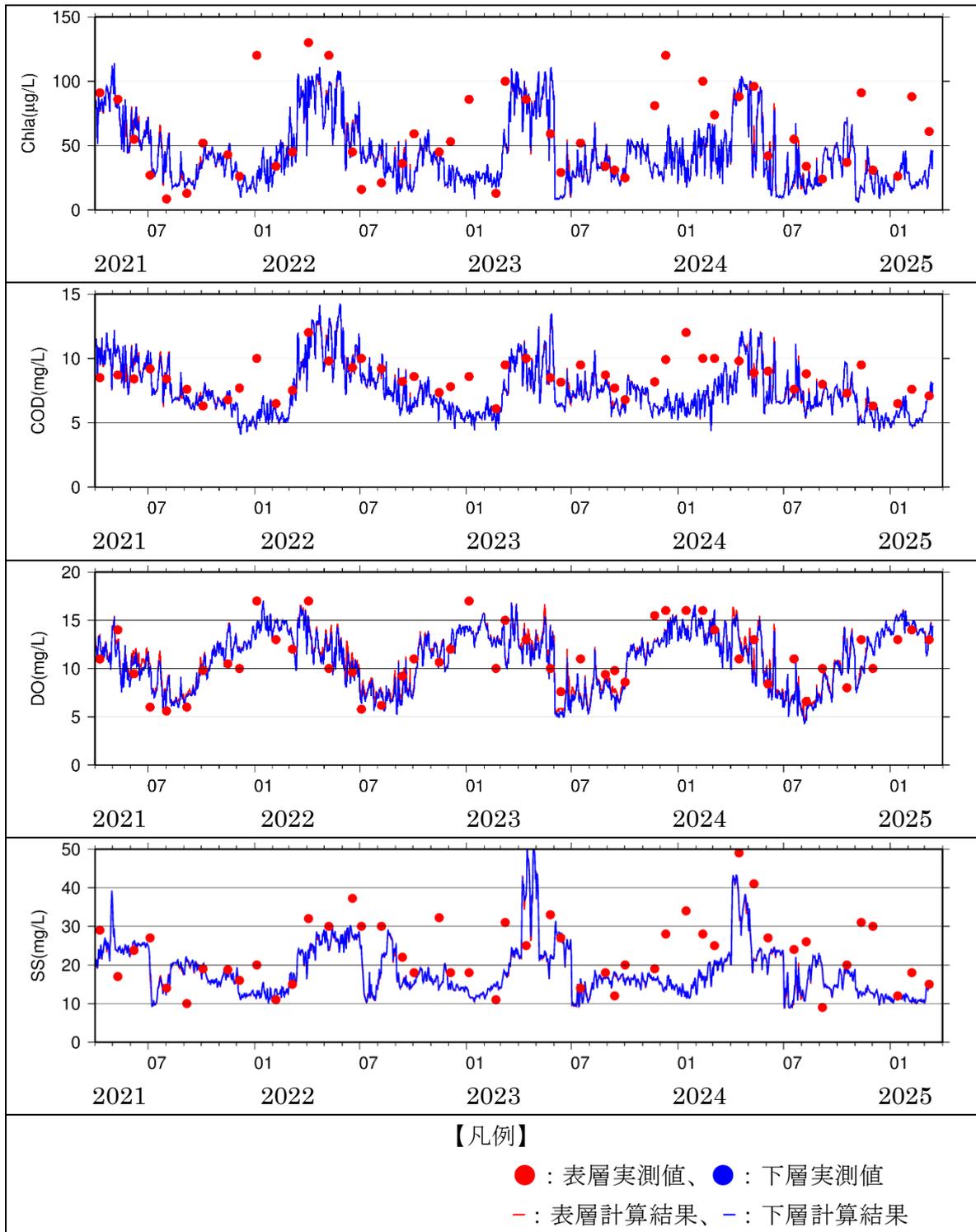


図 II-21(1) 水質計算結果 (倉敷川河口、Chl-a、COD、DO、SS)

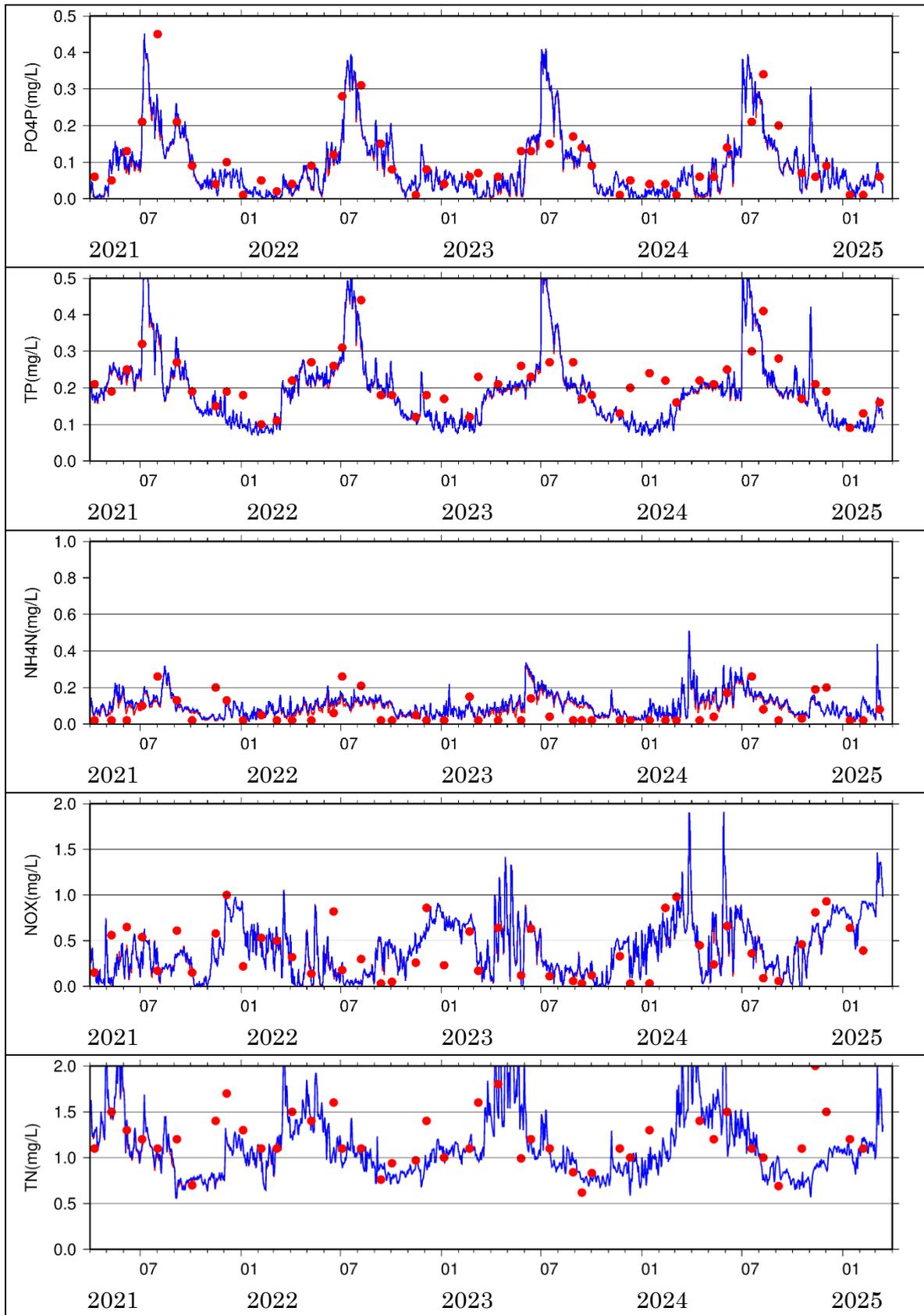


圖 11-21 (2) 水質計算結果 (倉敷川河口、PO₄-P、T-P、NH₄-N、NO_x、T-N)

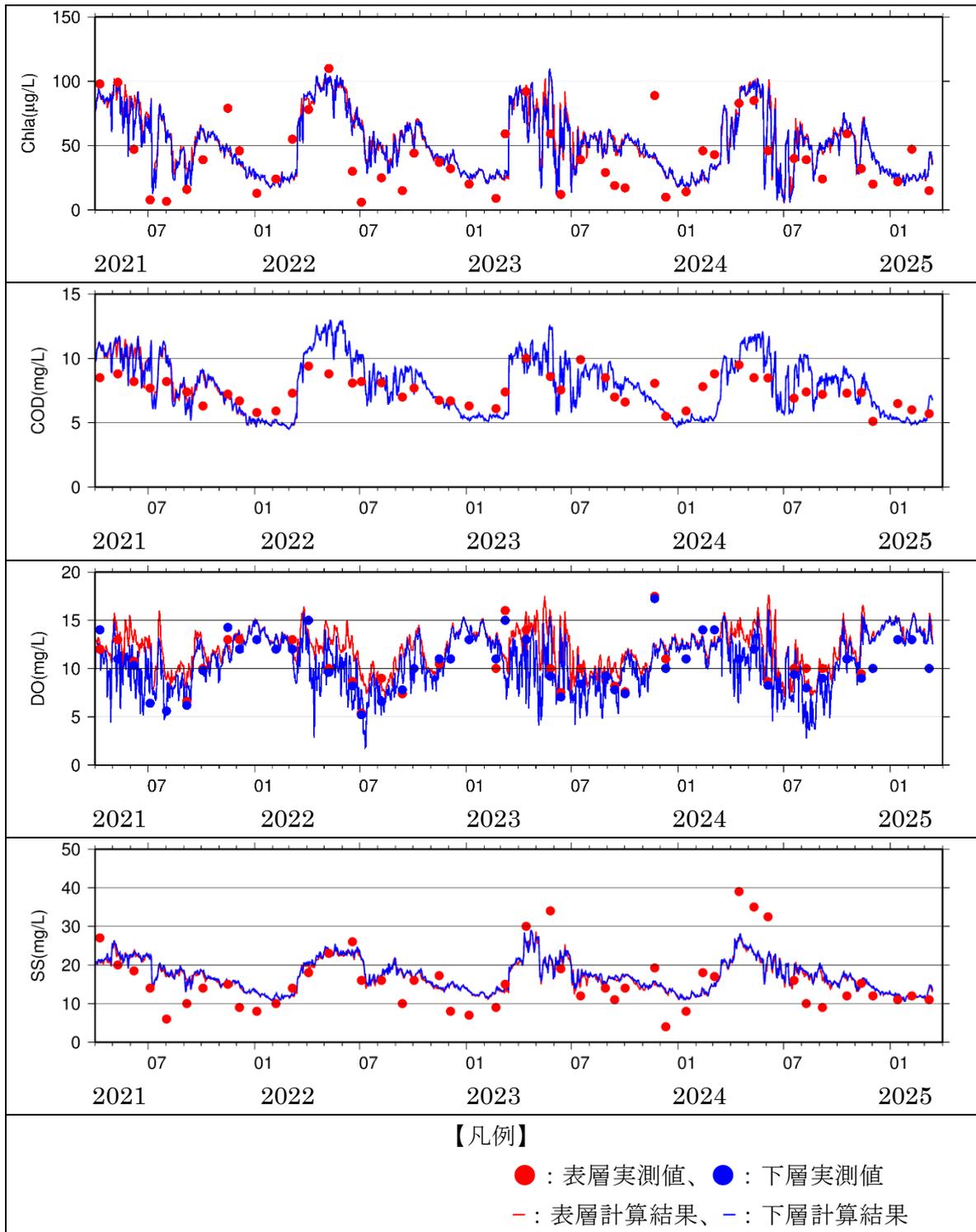


圖 11-22 (1) 水質計算結果 (湖心、Chl-a、COD、DO、SS)

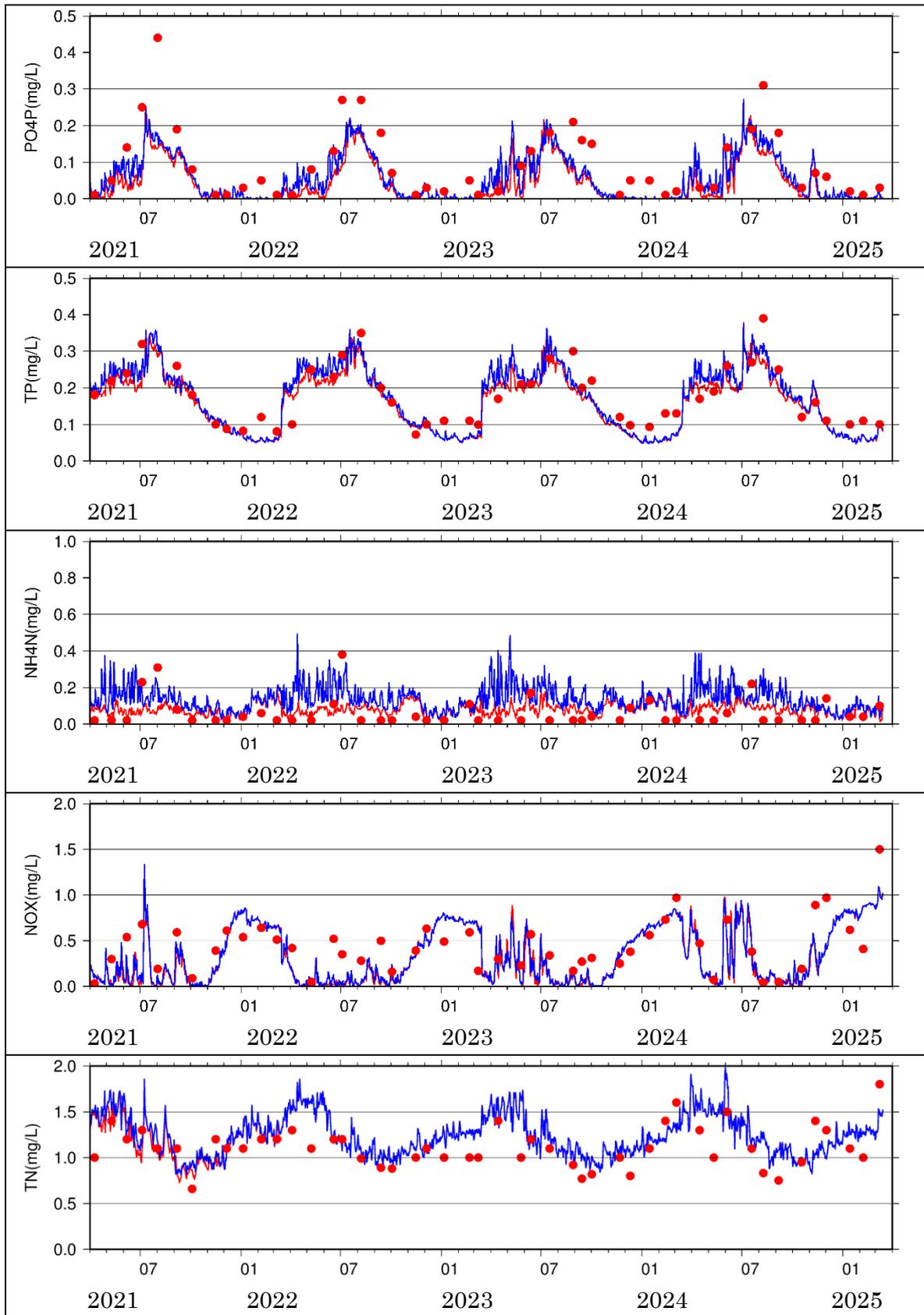


圖 II-22 (2) 水質計算結果 (湖心、 PO_4 -P、T-P、 NH_4 -N、 NO_x 、T-N)

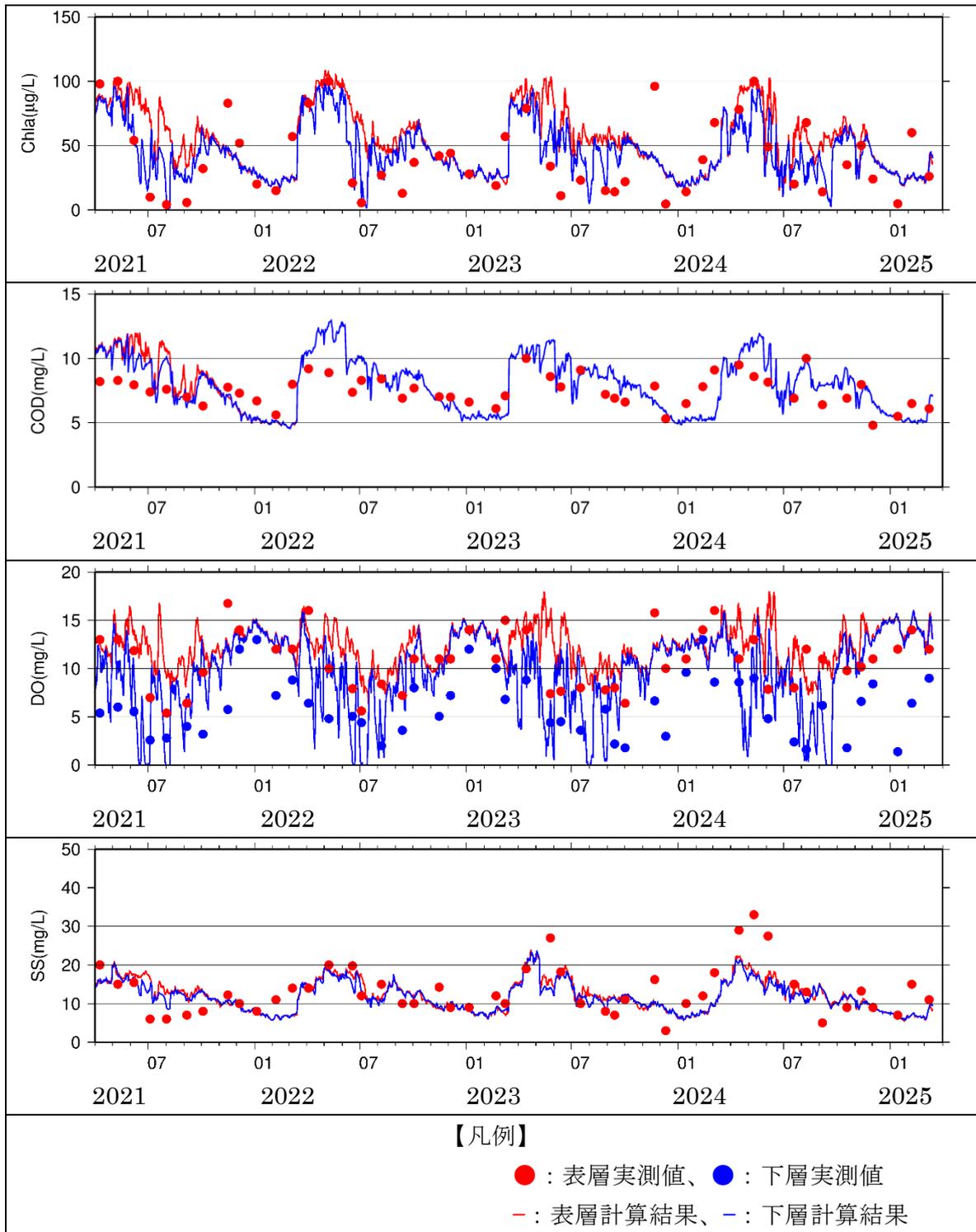


圖 11-23(1) 水質計算結果 (樋門、Chl-a、COD、DO、SS)

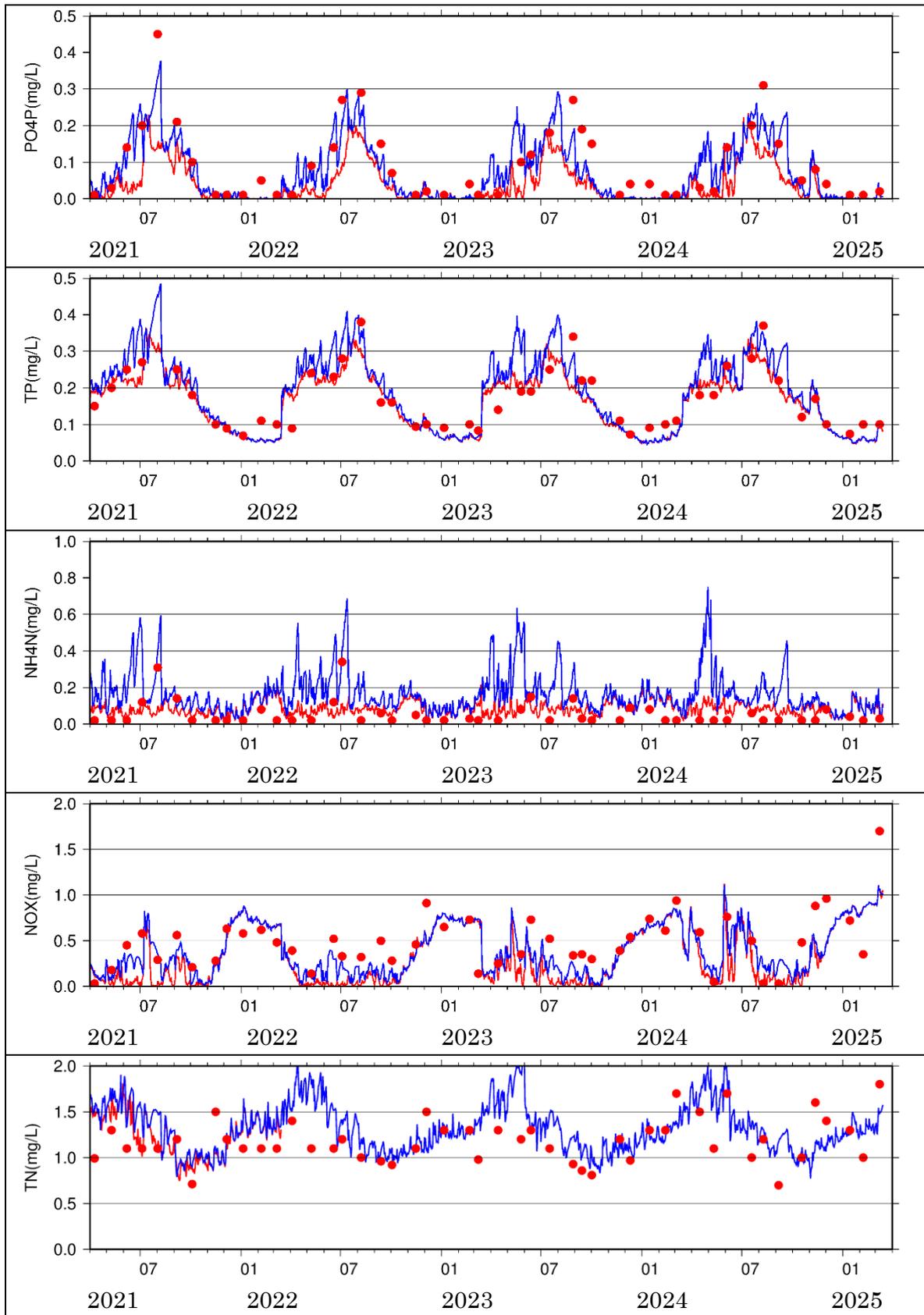


圖 II-23 (2) 水質計算結果 (樋門、PO₄-P、T-P、NH₄-N、NO_x、T-N)

4 透明度モデル

(1) モデルの概要

児島湖において目標値が定められている透明度の対策効果を予測するため、水質モデルの出力項目（クロロフィル a、SS、DOC）から透明度を予測する統計モデルを構築した。

透明度モデルは、「湖沼の底層溶存酸素量及び沿岸透明度に関する水質保全対策の手引き（環境省 水・大気環境局 水環境課、2020年3月）」（以下「手引き」という。）に基づき構築した。本手法では、透明度を低下させる要因として、植物プランクトン（クロロフィル a を指標とする）、植物プランクトン以外の懸濁物（以下「トリプトン」という。）、有色溶存有機物（以下「CDOM」という。）の3成分を想定している（図 II-24）。

透明度モデルの構築及び再現性の詳細については、資料3に掲載した。

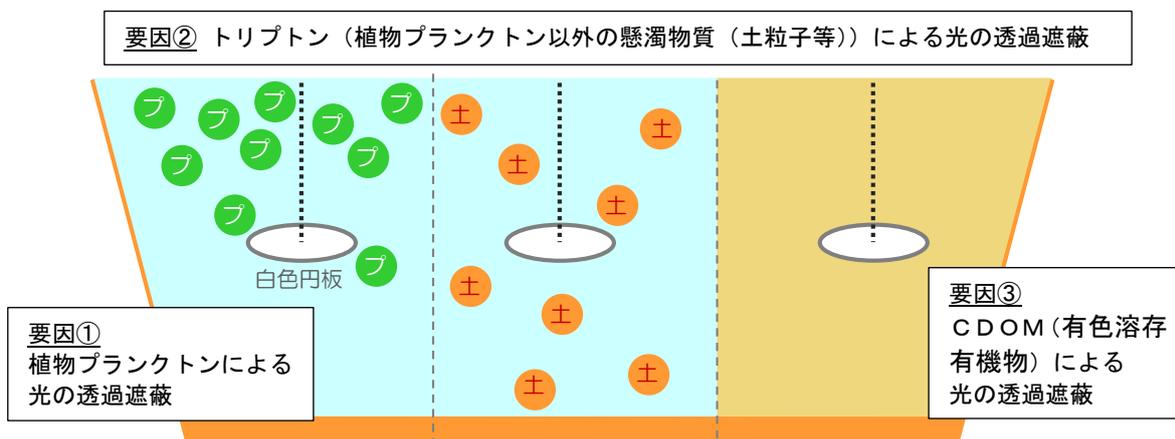


図 II-24 沿岸透明度が低下する3つの基本的な要因

資料 3

令和 7 年 12 月 23 日

第 9 期児島湖水質保全計画策定検討会 第 2 回会議

児島湖における水質汚濁要因解析

児島湖における水質汚濁要因解析

目 次

I 既存データを用いた解析	1
1 水質と排出負荷量の関係.....	1
(1) 過去約 40 年間の概況	1
(2) 各年代の比較.....	2
2 児島湖と主要流入河川の水質の関係	5
(1) 年間平均値 (過去約 40 年間)	5
(2) 季節平均値 (直近の 10 年間)	7
(3) (参考) 流域の土地利用の変遷	8
II 透明度モデルの構築及び透明度低下要因の検討.....	14
1 透明度モデルの構築.....	14
(1) モデルの概要.....	14
(2) 基礎方程式と条件設定.....	15
(3) パラメータの決定 (重回帰分析)	17
(4) 検証.....	18
2 透明度低下要因の検討	19
(1) 近年の透明度低下要因.....	19
(2) 長期的な透明度低下要因の変化	20
III 水質シミュレーションモデルを用いた解析	22
1 解析手法	22
2 負荷量影響計算結果.....	22

I 既存データを用いた解析

1 水質と排出負荷量の関係

「児島湖及び流入河川の実測水質」と「原単位法により推計された排出負荷量」を流域別・年代別に比較することにより、児島湖流域における水質汚濁特性やその長期変化傾向を簡易的に把握した。

(1) 過去約 40 年間の概況

児島湖及び流入河川の水質と排出負荷量の関係（1988～2023 年度）を図 I-1 に示す。水質と負荷量は基本的に比例関係にあることが確認できた。ただし、COD は全窒素（T-N）、全りん（T-P）に比べてばらつきが大きかった。また、湖内では COD だけでなく T-P についてもばらつきが顕著にみられた。

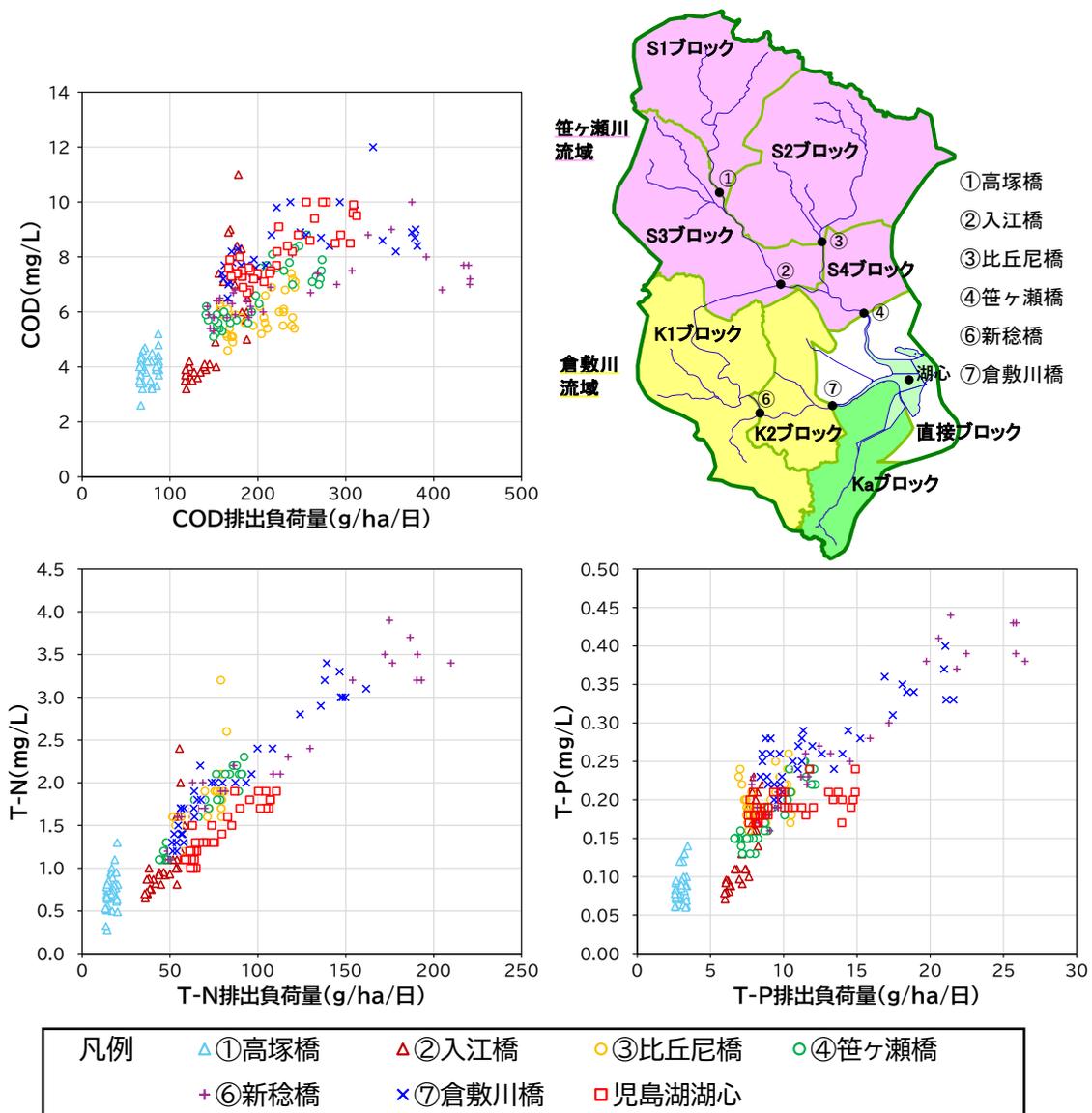


図 I-1 児島湖流域の水質と排出負荷量の関係

注1. 縦軸は児島湖・流入河川の水質（年平均値）、横軸は単位面積当たりの排出負荷量（原単位法）を示す。

注2. 1988（昭和63）年度～2023（令和5）年度を対象とした。

(2) 各年代の比較

児島湖及び主要流入河川（笹ヶ瀬川、倉敷川）における各年代の水質と排出負荷量の関係を図 I-2 に、地点ごとの関係を図 I-3 に、調査地点の概要を表 I-1 に示す。

COD については、排出負荷量の削減に伴い濃度が低下傾向にあったが、2010 年代頃から流入河川・湖内ともに濃度が大きく下がらなくなってきている。

T-N については、排出負荷量の削減に伴い、流入河川・湖内ともに濃度が低下し、両者は比例していた。水質と負荷量の関係は、笹ヶ瀬川と倉敷川はほぼ同様であるのに対し、湖心の T-N 濃度は低い傾向にあり、流下過程での脱窒等の影響が考えられる。

T-P については、流入河川では排出負荷量の削減に伴う濃度低下がみられるが、湖内ではその傾向が弱かった。また、2000～2010 年代頃から、流入河川においても排出負荷量削減の影響が不明瞭になってきている。

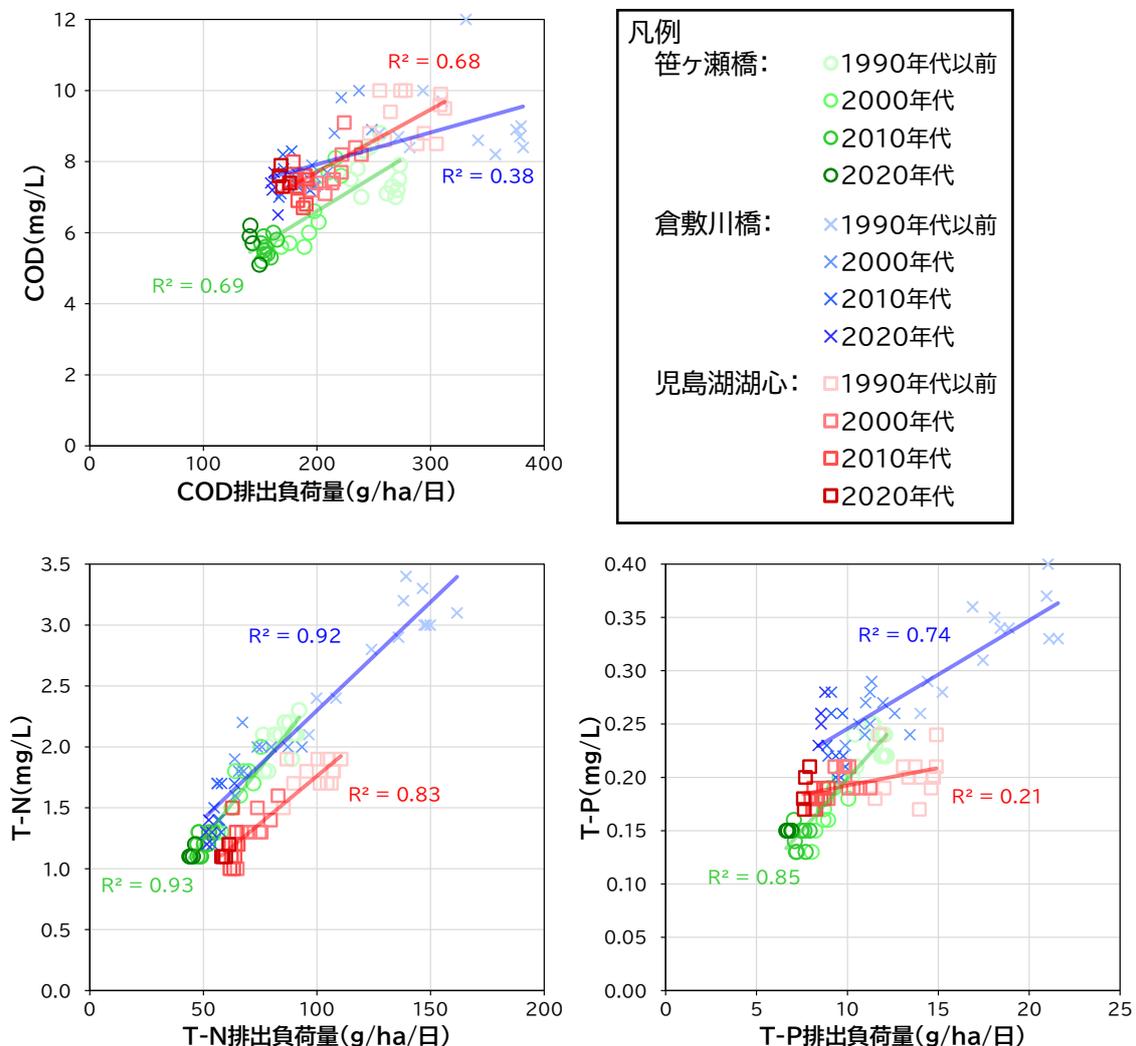
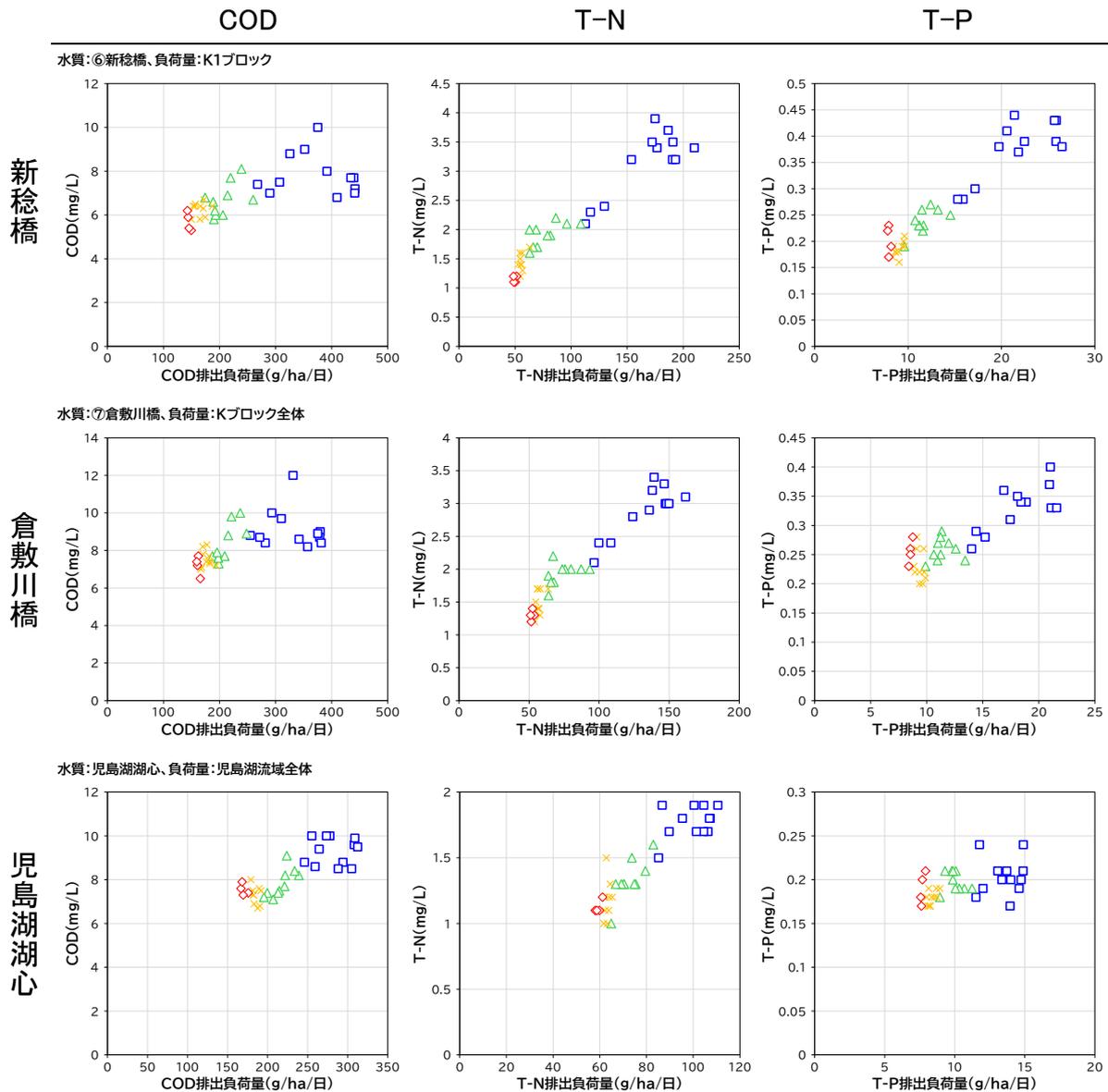


図 I-2 各年代の水質と排出負荷量の関係

注1. 縦軸は児島湖・流入河川の水質（年平均値）、横軸は単位面積当たりの排出負荷量（原単位法）を示す。

注2. 1988（昭和 63）年度～2023（令和 5）年度を対象とした。

注3. 全年代を通した回帰直線と決定係数（ R^2 ）を併せて示した。



凡例 □:1990年代以前 △:2000年代 ×:2010年代 ◇:2020年代

図 I-3(2) 各年代の水質と排出負荷量の関係 (倉敷川水系、児島湖湖心)

表 I-1 水質調査地点と対応する負荷量算定ブロック (令和5年度時点)

水質調査地点		負荷量算定ブロック		土地利用形態別面積割合 (%)			
水域名	地点名	ブロック名	面積(ha)	山林	水田	畑	その他
笹ヶ瀬川水系	①高塚橋	S1	7,097	82	10	4	4
	②入江橋	S1+S3	16,461	54	17	4	25
	③比丘尼橋	S2	11,432	58	12	9	22
	④笹ヶ瀬橋	S全体	31,045	51	15	6	29
倉敷川水系	⑥新稔橋	K1	9,699	32	16	3	49
	⑦倉敷川橋	K全体	14,768	28	23	3	46
児島湖	湖心	全ブロック	54,357	40	20	4	37

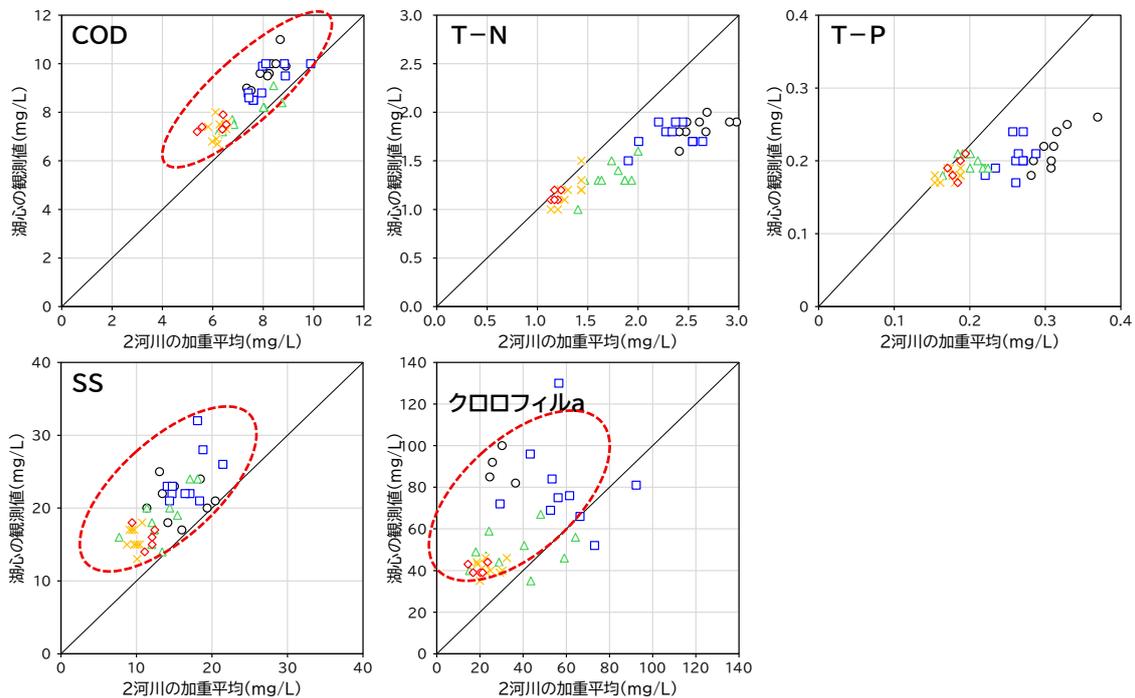
2 児島湖と主要流入河川の水質の関係

児島湖に流入する主要 2 河川（笹ヶ瀬川、倉敷川）の最下流の観測地点の水質を流域面積で重みづけ平均し、湖心の観測値と比較することにより、湖内での水質汚濁メカニズム（一次生産、溶出等）の影響を簡易的に把握した。ここで、流域面積は児島湖ハンドブック（令和 7 年 3 月）より引用し、笹ヶ瀬川流域：倉敷川流域＝297.5km²：154km²（≒2：1）としている。

(1) 年間平均値（過去約 40 年間）

児島湖湖心と主要流入河川（流域面積による加重平均）の水質の年間平均値の関係を図 I-4 に、時系列の推移を図 I-5 にそれぞれ示す。COD、SS、クロロフィル a 濃度は「2 河川の加重平均＜湖心」の傾向が長期にわたって確認され、湖心の COD は 1～2mg/L 程度高かった。このことから、湖内での一次生産、直接流域からの負荷、底泥巻き上げ等の影響が示唆された。

一方、T-N、T-P 濃度は、以前は「2 河川の加重平均＞湖心」の傾向が顕著であったが、近年は両者がほぼ一致するようになり、何らかのメカニズムの変化があったと考えられるが、詳細は不明である。



凡例 ○:1980年代 □:1990年代 △:2000年代 ×:2010年代 ◇:2020年代

図 I-4 児島湖湖心と主要流入河川の水質の関係（年間平均値）

注1. 縦軸は児島湖湖心の水質（年間平均値）、横軸は笹ヶ瀬橋・倉敷川橋の水質（年間平均値）の流域面積加重平均を示す。

注2. 1981（昭和 56）年度～2024（令和 6）年度の 44 年間で対象とした。

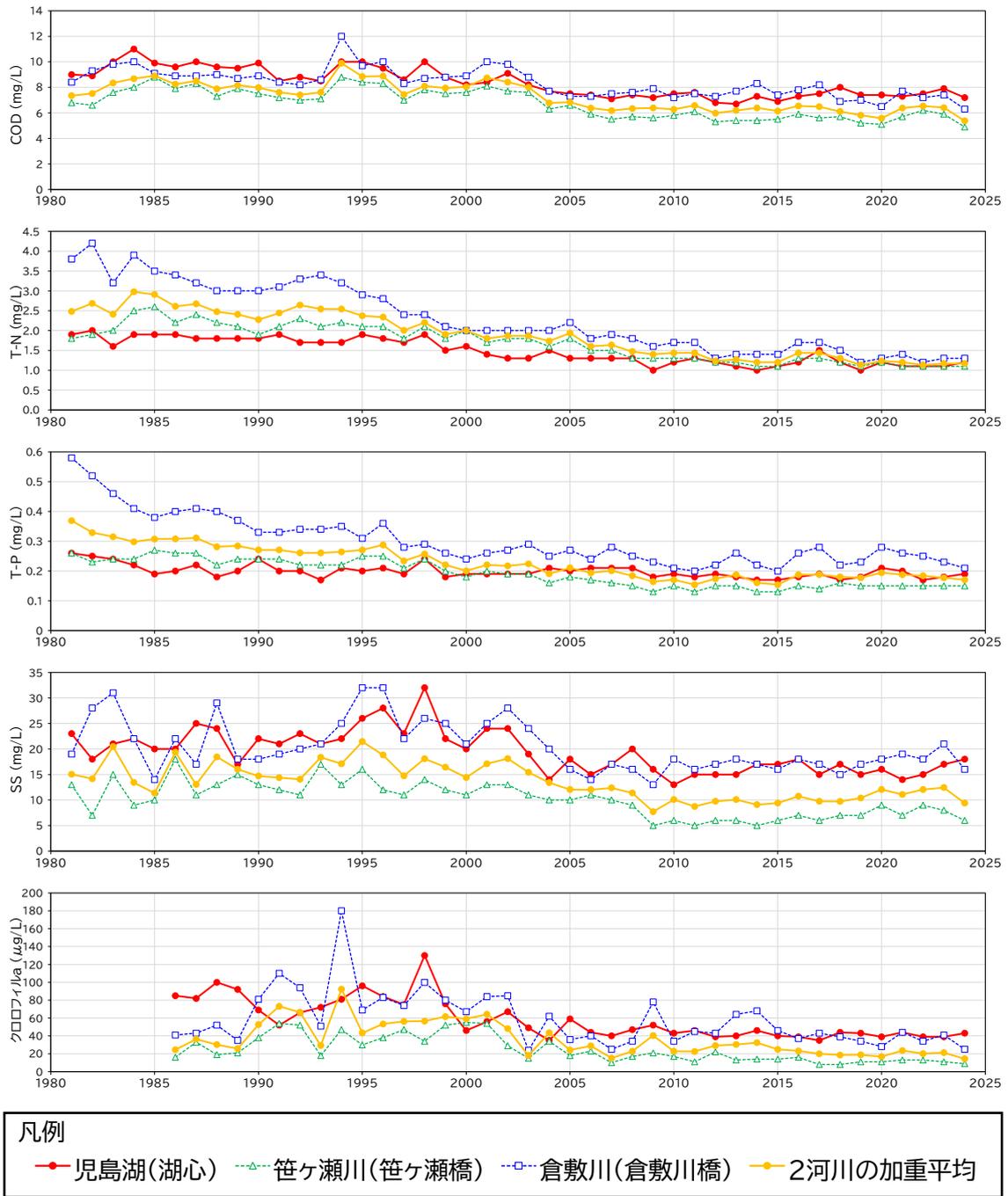


図 I-5 児島湖及び主要流入河川の年平均水質の推移
(2 河川の流域面積による加重平均を併せて示す)

(2) 季節平均値（直近の10年間）

児島湖湖心と主要流入河川（流域面積による加重平均）の水質の季節平均値の関係を図 I-6 に示す（対象期間は直近の10年間）。基本的に湖内と流入河川の水質は大きく乖離していないが、夏季の T-P 濃度は湖内で上昇する傾向があり、湖内での溶出等の影響が示唆された。また、クロロフィル a 濃度は春季に湖内で上昇する傾向がみられた。

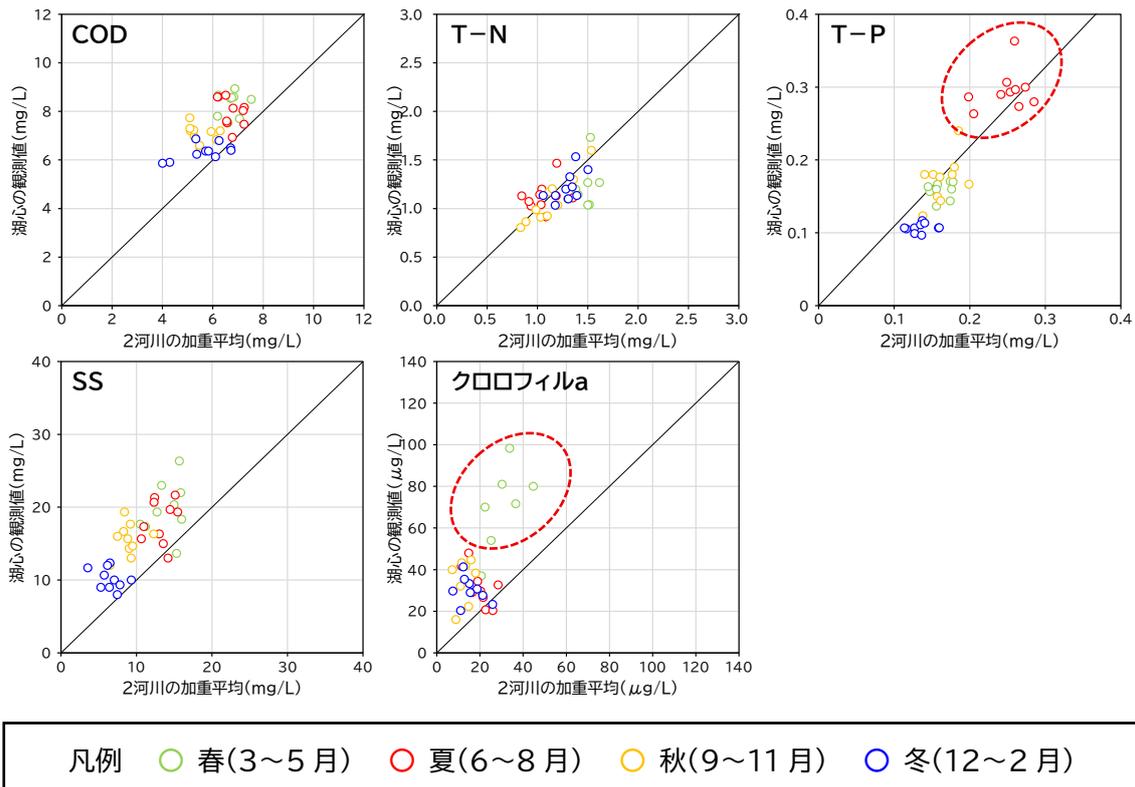


図 I-6 児島湖湖心と主要流入河川の水質の関係（季節平均値）

注1. 縦軸は児島湖湖心の水質（季節平均値）、横軸は笹ヶ瀬橋・倉敷川橋の水質（季節平均値）の流域面積加重平均を示す。

注2. 2015（平成27）年度～2024（令和6）年度の10年間を対象とした。

(3) (参考) 流域の土地利用の変遷

1976年～2021年の児島湖流域の土地利用を図 I-7 に、各ブロックの土地利用割合の変化を図 I-8 に示す。児島湖流域の土地利用は、経年的に田が減少し、建物用地が増加してきており、この変化は特に S4 ブロックで顕著である。一方、畑地（その他の農用地）、森林割合は大きくは変化していない。

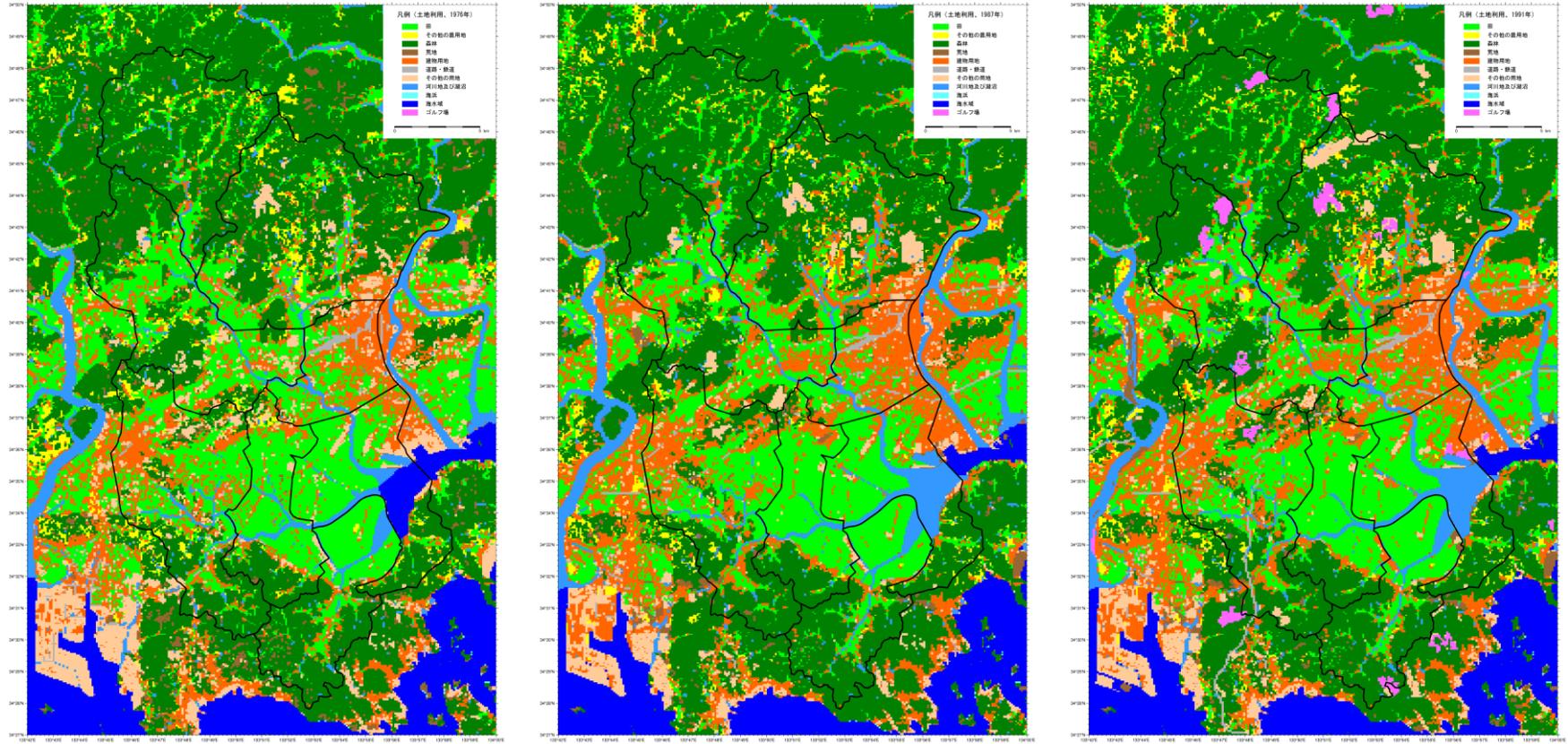


図 I-7(1) 児島湖流域の土地利用分布 (1976年、1987年、1991年)

出典) 国土交通省 土地利用細分メッシュデータ

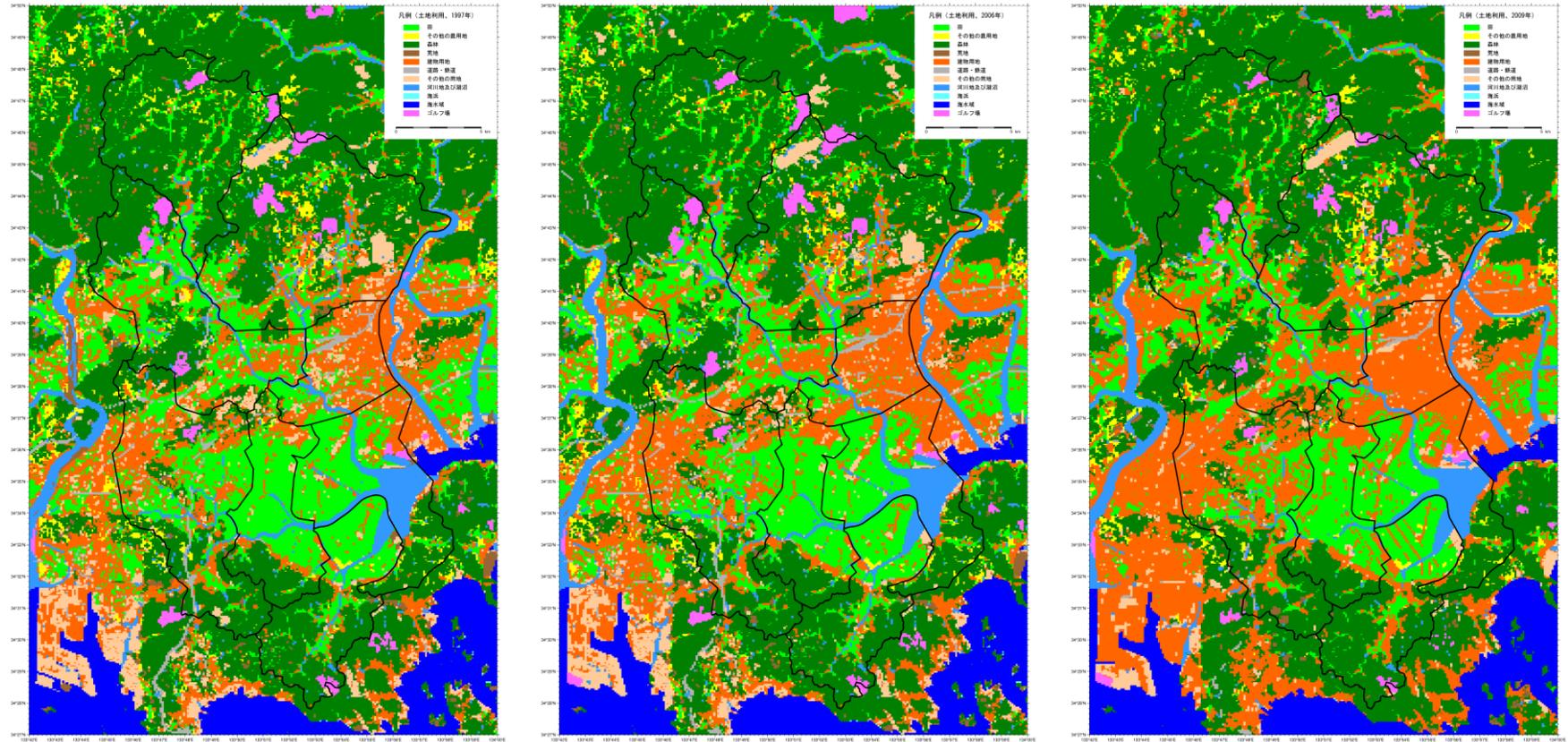


図 I-7(2) 児島湖流域の土地利用分布 (1997年、2006年、2009年)

出典) 国土交通省 土地利用細分メッシュデータ

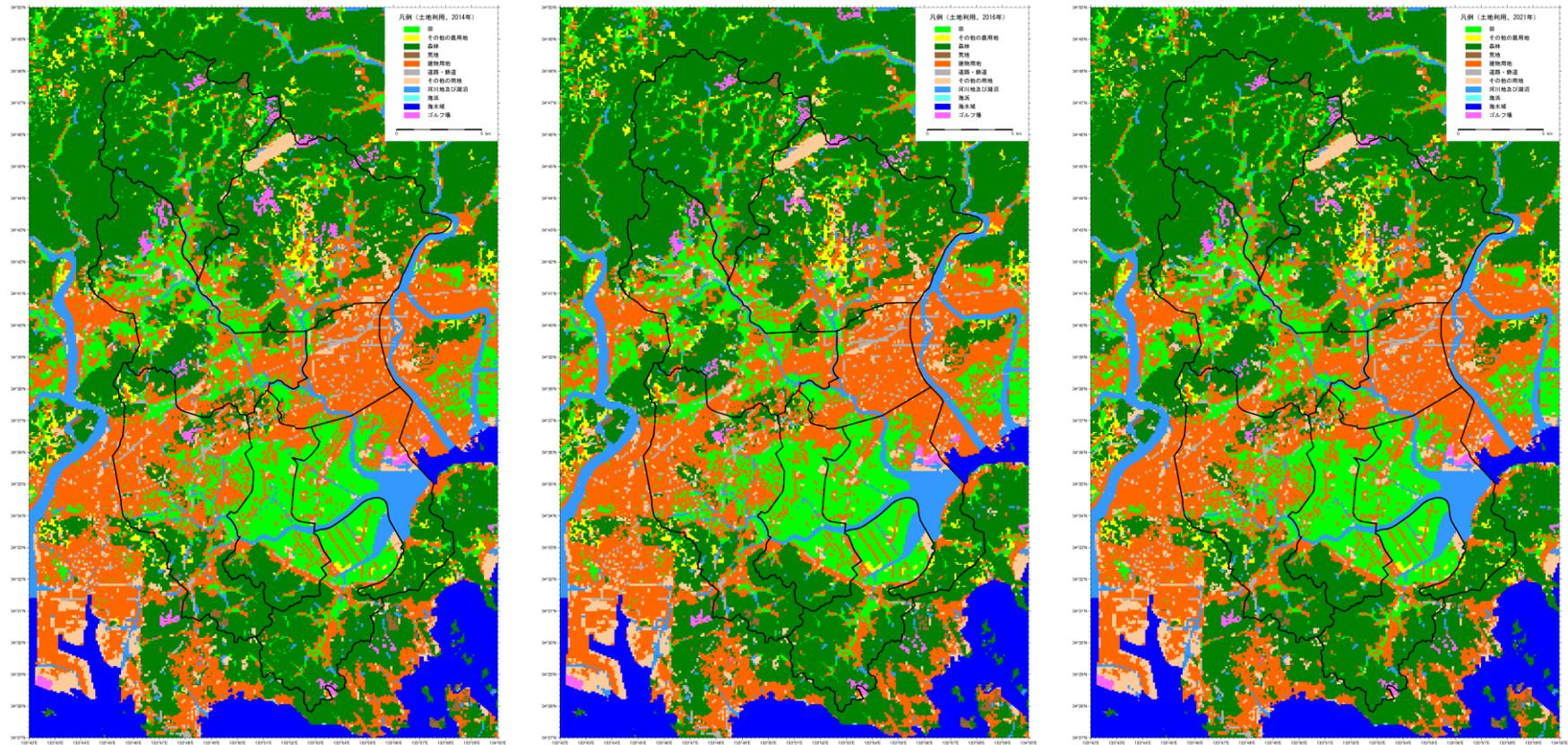


図 I-7(3) 児島湖流域の土地利用分布（2014年、2016年、2021年）

出典）国土交通省 土地利用細分メッシュデータ

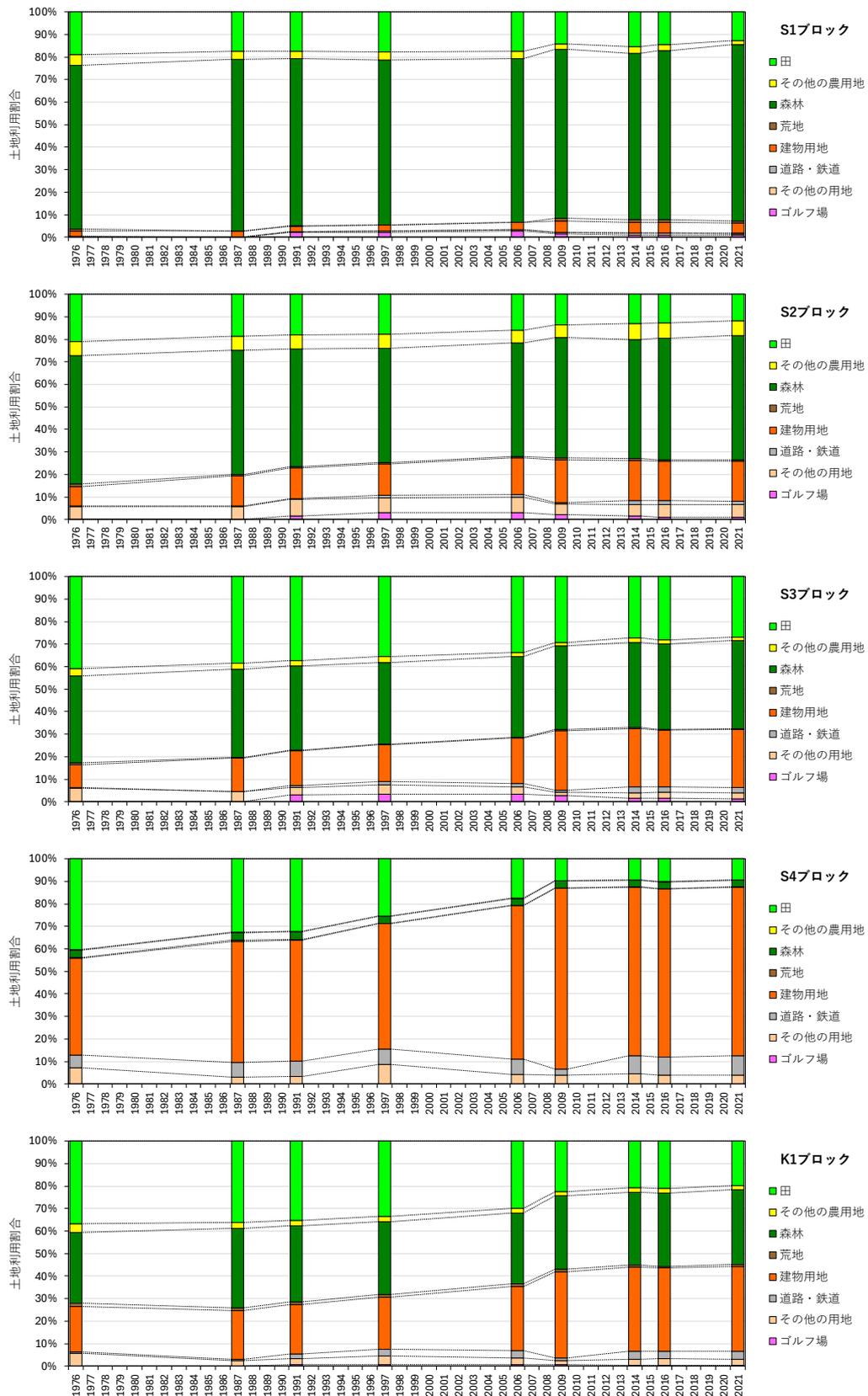


図 I-8(1) 各ブロックの土地利用割合（水域を除く）の経年変化

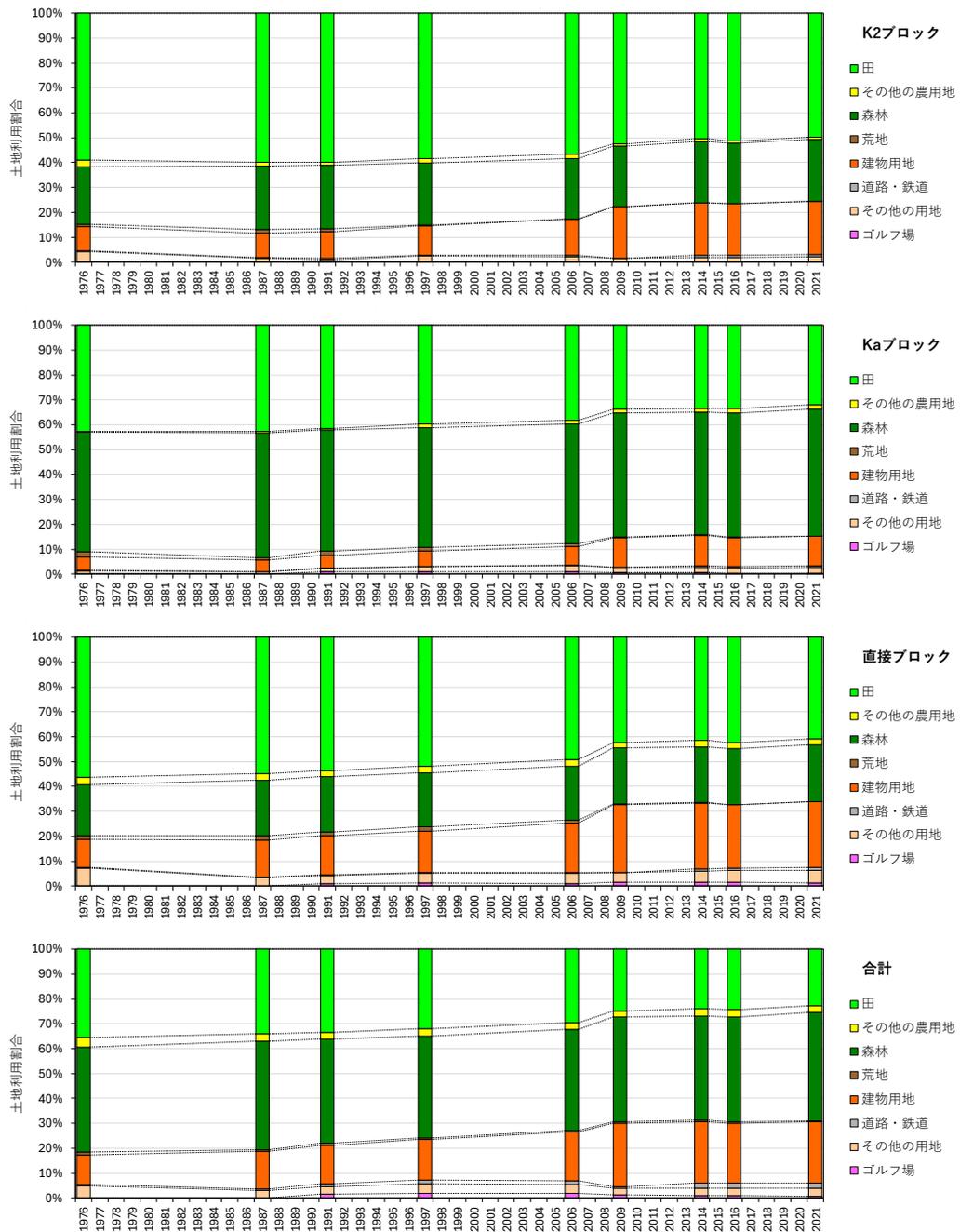


図 I-8(2) 各ブロックの土地利用割合（水域を除く）の経年変化



II 透明度モデルの構築及び透明度低下要因の検討

1 透明度モデルの構築

(1) モデルの概要

児島湖において目標値が定められている透明度の低下要因を解析し、対策効果を予測するため、水質モデルの出力項目（クロロフィル a、SS、DOC）から透明度を予測する統計モデルを構築した。

透明度モデルは、「湖沼の底層溶存酸素量及び沿岸透明度に関する水質保全対策の手引き（環境省 水・大気環境局 水環境課、2020年3月）」（以下「手引き」という。）に基づき構築した。本手法では、透明度を低下させる要因として、植物プランクトン（クロロフィル a を指標とする）、植物プランクトン以外の懸濁物（以下「トリプトン」という。）、有色溶存有機物（以下「CDOM」という。）の3成分を想定している（図 II-1）。手引きでは、全国の多くの指定湖沼において透明度モデルが構築され、3成分から透明度を良好に再現できることが確認されている（図 II-2）。児島湖では手引きによるモデルは構築されていなかったため、現地の水質データを用いた重回帰分析によりモデルを構築した。

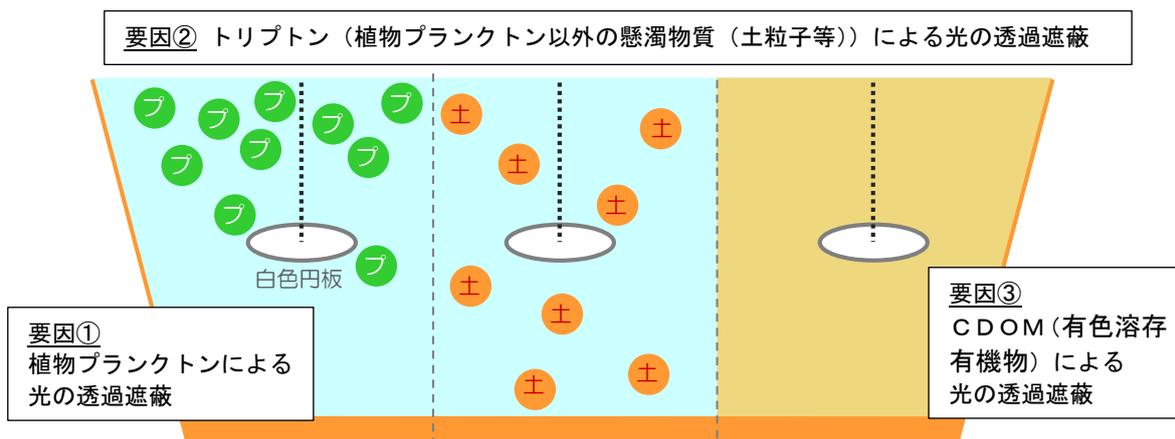
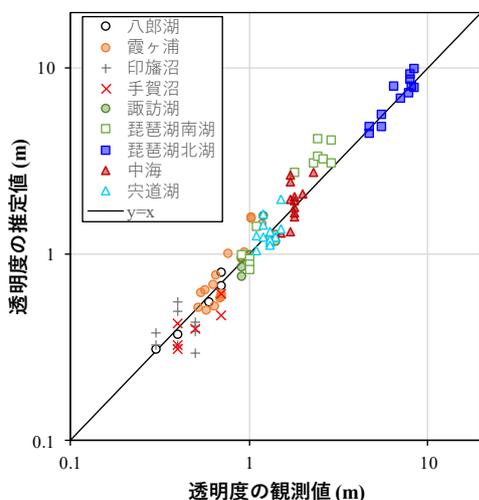


図 II-1 沿岸透明度が低下する3つの基本的な要因



出典：「湖沼の底層溶存酸素量及び沿岸透明度に関する水質保全対策の手引き」（環境省 水・大気環境局 水環境課、2020年3月）

図 II-2 透明度の観測値と推定値の関係

(2) 基礎方程式と条件設定

① 基礎方程式

水中の3成分を変数とした透明度推定式を以下に示す。

$$SD^{-1} = a_1 \cdot [\text{Chl-a}] + a_2 \cdot [\text{Tr}] + a_3 \cdot [\text{CDOM}] + b_1 \quad (\text{式 1})$$

ここで、SDは透明度(m)、[Chl-a]はクロロフィルa濃度($\mu\text{g L}^{-1}$)、[Tr]はトリプトン濃度(mg L^{-1})、[CDOM]はCDOMの吸収係数(m^{-1})、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 b_1 は係数である。手引きでは、 a_3 は0.41、 b_1 は 0.040 m^{-1} が代表的な値として示されており、本検討ではこれらの値を採用した。一方、 a_1 、 a_2 は重回帰分析により決定される係数となっている。

式1の右辺の各項の大きさは、沿岸透明度低下に対する各要因の寄与の程度を反映していると考えられる(たとえば $a_1 \cdot [\text{Chl-a}]$ は植物プランクトンの寄与)。右辺の各項を比較することで、透明度の主要な低下要因を推定できるのが本手法の特徴となっている。

② 使用データ

岡山県「流出水対策地区測定結果」より、令和2年度～令和5年度の湖内4地点(湖心・樋門は毎月、笹ヶ瀬川河口・倉敷川河口は年4回)の調査結果を使用した(対象項目:透明度、クロロフィルa、SS、VSS(揮発性浮遊物質)、溶存有機炭素(DOC)、全水深)。クロロフィルa濃度は「現地における機器測定結果」と「アセトン抽出法による測定結果(令和2年度)」を比較し、回帰式によって機器測定結果を補正して用いた。

③ トリプトン濃度([Tr])の設定

式1の[Tr]は以下の式により推定した。

$$[\text{Tr}] = [\text{SS}] - [\text{PSS}] = [\text{SS}] - d \cdot [\text{Chl-a}] \quad (\text{式 2})$$

ここで、[SS]はSS濃度(mg L^{-1})、[PSS]は植物プランクトン性SS濃度(mg L^{-1})、 d は係数である。式2では、[PSS]が[Chl-a]に比例すると仮定し、係数 d を用いて[Chl-a]を[PSS]に換算している。本検討では手引きに示されている係数 d の代表的な値(表II-1)を採用した。

表 II-1 手引きに示されている「汎用モデル」の係数 d

係数	春季	夏季	秋季	冬季
$d (\text{mg } \mu\text{g}^{-1})$	0.098	0.082	0.063	0.122

湖内4地点のトリプトン濃度（式2による推定値）と無機態SS濃度（=[SS] - [VSS]）の関係を図 II-3 に示す。トリプトンは主に土粒子等の無機態SSによって構成されるため、両者を比較することにより、推定結果の妥当性を確認できる。図 II-3 より、トリプトンは無機態SSより基本的に高濃度（トリプトンには有機濁質も含まれるため）かつ回帰直線の傾きが1に近いといった特徴がみられ、推定は概ね良好であったことが伺える。

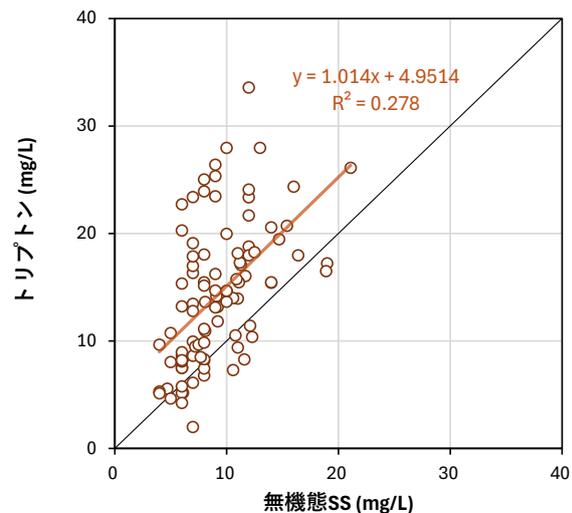


図 II-3 トリプトン濃度の推定結果の検証

④ CDOMの吸収係数（[CDOM]）の設定

式1の[CDOM]は一般的に測定されないため、手引きに掲載されている以下の式により、DOC濃度から[CDOM]を簡易的に推定した。

$$[\text{CDOM}] = 0.178 D^{-0.263} \cdot [\text{DOC}] \quad (\text{式 3})$$

ここでDは全水深（m）、[DOC]はDOC濃度（mg/L）である。

代替指標から[CDOM]を推定する場合は、図 II-4 の八郎湖の例のように上記の式を利用できないケースも存在するため、[CDOM]を直接測定した場合に比べて精度が低下することに留意する必要がある。

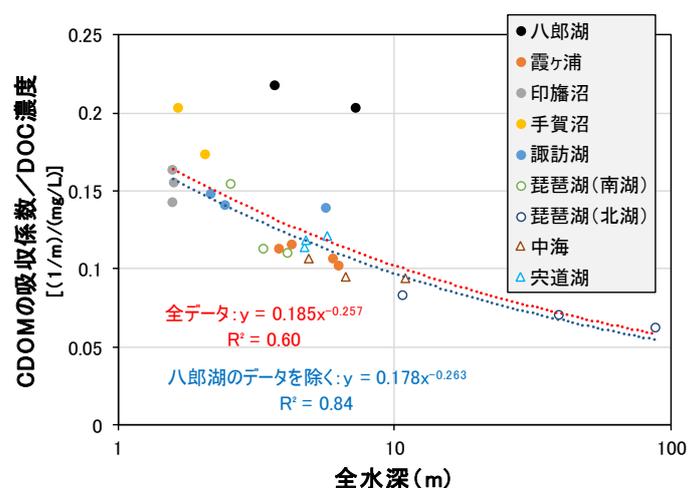


図 II-4 [CDOM]／[DOC]比と全水深の関係

出典：「湖沼の底層溶存酸素量及び沿岸透明度に関する水質保全対策の手引き」（環境省 水・大気環境局 水環境課、2020年3月）

(3) パラメータの決定 (重回帰分析)

(3) の条件を用いた重回帰分析により、式 1 の係数 a_1 、 a_2 を求めた。重回帰分析の対象データに関して、(a) 全期間・全地点、(b) 季節別、(c) 灌漑期・非灌漑期、(d) 地点別の 4 パターンの透明度モデルを構築し、再現性を比較した。

モデルによる透明度の推定結果と観測値の比較を図 II-5 に示す。図中には、モデルの再現性指標として、決定係数 (R^2)、二乗平均平方根誤差 (RMSE) 及び変動係数 (RMSE を観測値平均で除した値: $CV(RMSE)$) を掲載した。再現性の違いは大きくないものの、誤差が最も小さかったのは

(b) 季節別であり、RMSE は 0.15m、 $CV(RMSE)$ は 24%であった。

(b) の係数 a_1 、 a_2 を表 II-2 に示す。各係数は、他湖沼の値の範囲内であった。

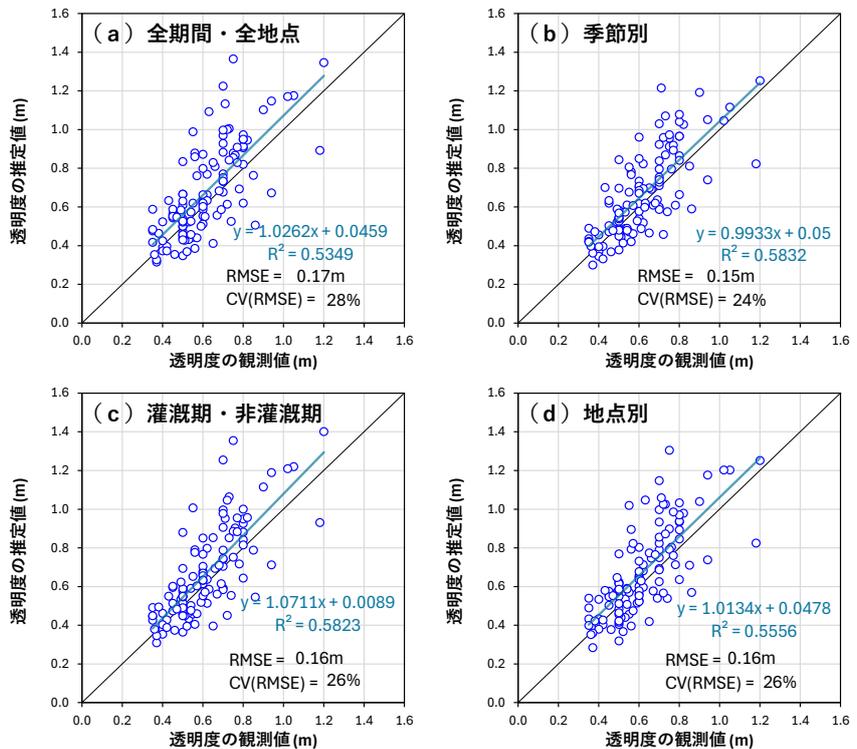


図 II-5 透明度の観測値と推定値の関係

表 II-2 透明度モデルの係数 a_1 、 a_2 と再現性指標

パターン	時期・地点	係数 a_1 ($L \mu g^{-1} m^{-1}$)	係数 a_2 ($L mg^{-1} m^{-1}$)	標本数 N	透明度の観測 値平均(m)	RMSE (m)	CV(RMSE) (%)
(b)季節別	春季	0.0062***	0.082***	30	0.6	0.10	19
	夏季	0.017***	0.078***	28	0.5	0.10	19
	秋季	0.0082*	0.070***	30	0.6	0.18	29
	冬季	0.015***	0.060***	30	0.7	0.18	25
【参考】 他湖沼の 値の範囲 (手引き より)	春季	0.0032~ 0.0170	0.027~ 0.086	65~824	0.4~5.6	0.1~1.6	25~56
	夏季	0.0054~ 0.0202	0.040~ 0.112	68~819	0.4~5.9	0.1~1.6	20~52
	秋季	0.0036~ 0.0183	0.035~ 0.092	67~817	0.5~5.9	0.1~1.4	20~52
	冬季	0.0057~ 0.0204	0.054~ 0.089	49~819	0.5~7.1	0.2~1.4	20~47

* : $p < 0.05$, *** : $p < 0.001$

注 1. 春季: 3~5 月、夏季: 6~8 月、秋季: 9~11 月、冬季: 12~2 月とした。

注 2. 重回帰分析にあたっては、外れ値 (2 データ) を除外した。

(4) 検証

児島湖では、透明度の年平均値に対して目標値が定められている。そこで、「(b) 季節別モデル」に約 40 年間の水質データ（公共用水域水質測定結果）を入力し、湖心の透明度（年平均値）の再現性を検証した。ただし、公共用水域では DOC は未測定のため、前述のデータ（流出水対策地区測定結果）の平均値を使用した。

湖心の透明度（年平均値）の観測値と推定値の推移を図 II-6 に、両者の関係を図 II-7 に示す。平成 16 年度・令和元年度頃に 0.2m 程度のズレがみられるものの、RMSE は 0.06m、CV(RMSE)は 11%と良好な値を示し、構築したモデルは透明度の経年変動をよく再現していた。

年平均値（湖心）

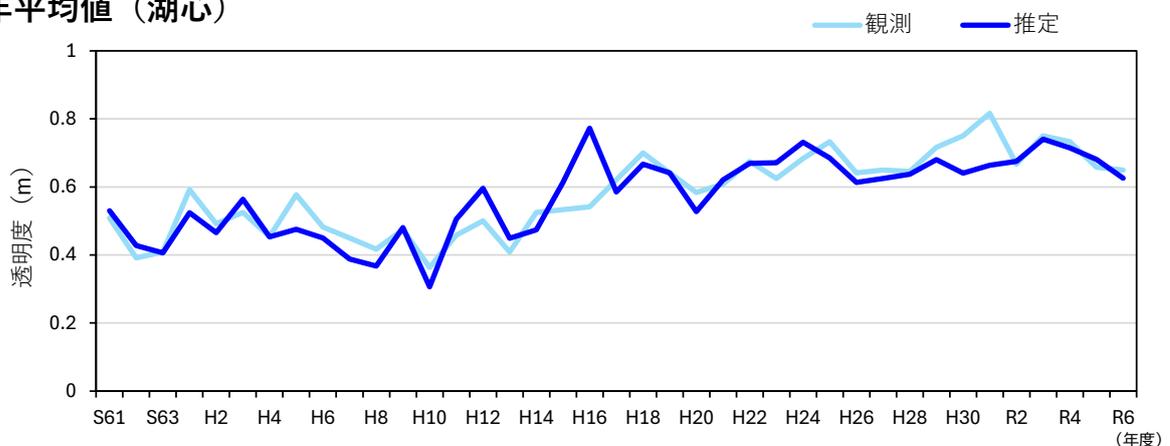


図 II-6 児島湖湖心における透明度（年平均値）の観測値と推定値の推移

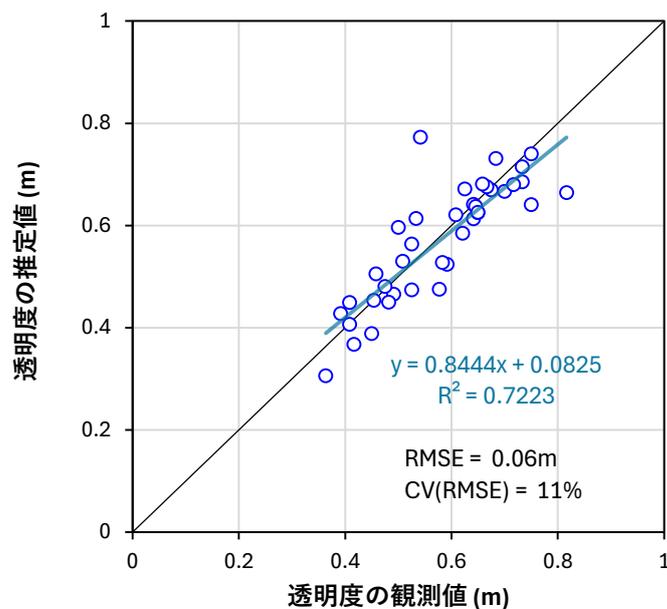


図 II-7 児島湖湖心における透明度の観測値と推定値の年平均値の関係
（昭和 61 年度～令和 6 年度）

2 透明度低下要因の検討

(1) 近年の透明度低下要因

「(b) 季節別モデル」により、各要因の透明度低下への寄与率を推定し、地点ごと・季節ごとに整理した結果を図 II-8 に示す。本図は、式 1 の右辺の各項の積み上げ棒グラフ（割合表示）である。以下の結果から、近年の児島湖において透明度を低下させている主要な要因はトリプトン（植物プランクトン以外の懸濁物）と推定された。

- 地点ごとにみると、全ての地点でトリプトンの寄与率が高い（平均 59%）。
- 季節ごとにみると、透明度が上昇する冬季は植物プランクトンとトリプトンの寄与率が同程度となっているものの、他の季節ではトリプトンの寄与率が高くなっている（平均 62%）。

なお、トリプトンの主要な供給プロセスとして、流域からの土砂流入や底泥の巻き上がり等が考えられる。

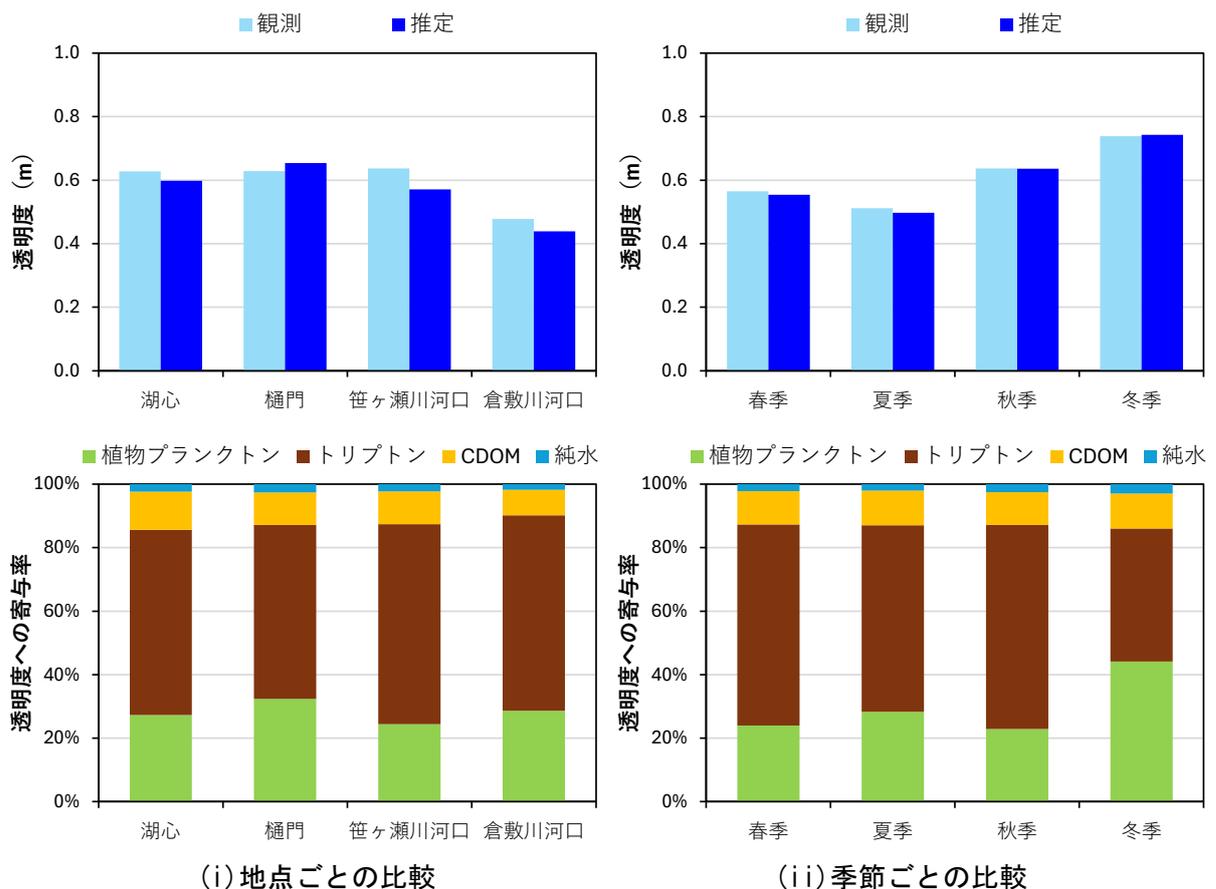


図 II-8 透明度低下要因の推定結果（令和 2 年度～令和 5 年度の平均）

注1. 上段は透明度の観測値・推定値、下段は透明度への寄与率の推定値を示し、植物プランクトンの寄与率 = $a_1[\text{Chl-a}]$ 、トリプトンの寄与率 = $a_2[\text{Tr}]$ 、CDOM の寄与率 = $a_3[\text{CDOM}]$ 、純水の寄与率 = b_1 である。

注2. 推定値は「(b) 季節別モデル」によるもの。

(2) 長期的な透明度低下要因の変化

「(b) 季節別モデル」に公共用水域水質測定結果を入力し、長期的な透明度低下要因の内訳を推定した。湖心における透明度低下要因の経年変化を図 11-9 に示す。昭和末期～平成初期は植物プランクトンとトリプトンの寄与率が同程度であったが、透明度の改善とともに徐々に植物プランクトンの寄与率が低下し、相対的にトリプトンの寄与率が増加していると推定された。

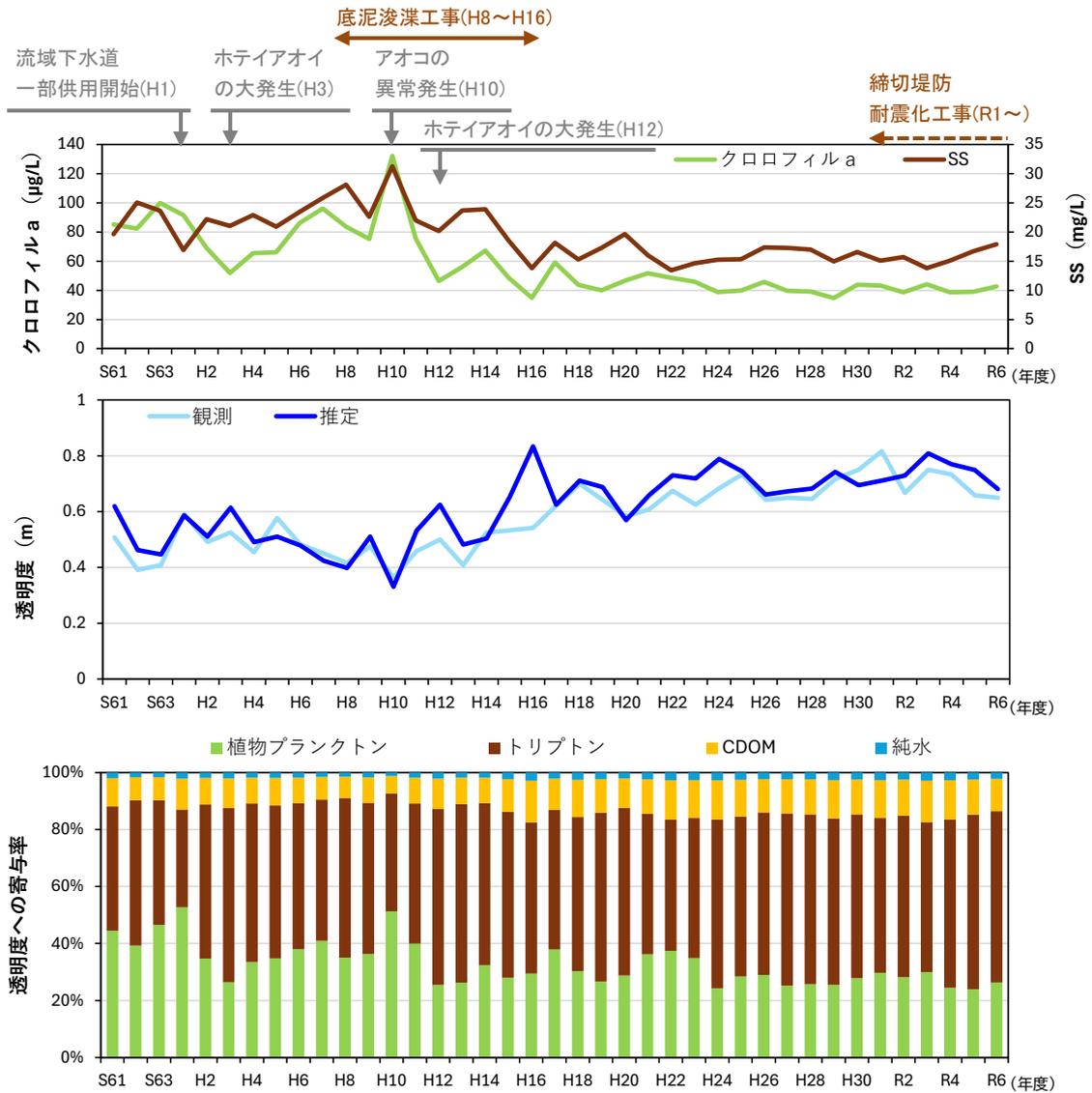


図 II-9 湖心における透明度低下要因の推定結果（昭和 61 年度～令和 6 年度）

- 注1. 上段はクロロフィル a・SS の観測値、中段は透明度の観測値・推定値（いずれも年平均値）。
- 注2. 下段は透明度への寄与率の推定値を示し、植物プランクトンの寄与= a_1 [Chl-a]、トリプトンの寄与= a_2 [Tr]、CDOM の寄与= a_3 [CDOM]、純水の寄与= b_1 である。
- 注3. 推定値は「(b) 季節別モデル」によるもの。
- 注4. 児島湖ハンドブック（令和 7 年 3 月）より、児島湖に関する主なできごとを抜粋・併記した。

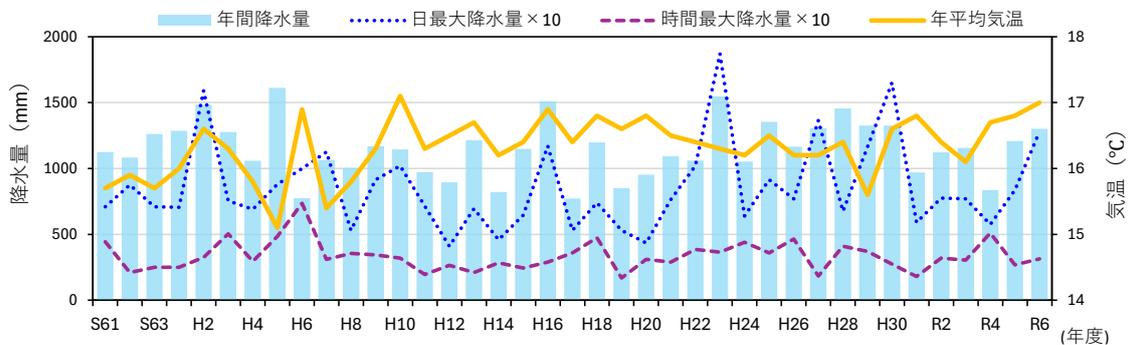


図 II-10 岡山地方気象台における降水量・気温の推移（参考）

III 水質シミュレーションモデルを用いた解析

1 解析手法

水質の現況再現計算を実施している計算セットを用いて、児島湖の水質汚濁要因解析を行った。解析手法としては、モデルで考慮している各要因をゼロとした場合の水質観測地点での水質濃度の低下幅を推定した。

水質モデルで検討できる要因としては、流入地点ごとの流入負荷量、底質からの溶出、内部生産の影響、水草等の影響等である。本資料では、児島湖流域からの負荷流入を笹ヶ瀬川（Sブロック）、倉敷川（Kブロック）、処理場、その他に分けてそれぞれゼロとした場合の水質観測地点における水質濃度の低下傾向を推定した。

2 負荷量影響計算結果

笹ヶ瀬川（Sブロック）、倉敷川（Kブロック）、処理場、その他の各負荷量をゼロとした場合の各水質観測地点（笹ヶ瀬川河口、倉敷川河口、湖心、樋門）の現況ケースからの濃度低下（年度平均）を棒グラフで表したものを図 III-1 に示す。

これによると、笹ヶ瀬川河口の水質濃度は笹ヶ瀬川（Sブロック）の負荷量をゼロにすることにより濃度が大きく低下し、それ以外の負荷量をゼロとしても顕著な濃度の低下は見られていない。

倉敷川河口の水質濃度は倉敷川（Kブロック）の負荷量をゼロにすることにより濃度が大きく低下するが、笹ヶ瀬川（Sブロック）やその他の負荷量をゼロとしても若干の濃度低下が見られている。

湖心および樋門の水質濃度については、T-P（全りん）では笹ヶ瀬川（Sブロック）の負荷量の影響が大きい、倉敷川（Kブロック）やその他の負荷量の影響も見られ、処理場の影響は小さい。T-N（全窒素）についても笹ヶ瀬川（Sブロック）の負荷量の影響が大きい、処理場を含むそれ以外の3つの負荷量の影響も見られる。CODについてもT-Nと同様の傾向を示している。

図 III-2 に2023（R5）年度の笹ヶ瀬川（Sブロック）、倉敷川（Kブロック）、処理場・その他に分けた発生負荷量の割合を示す。これによるとT-P、T-N、CODいずれも笹ヶ瀬川（Sブロック）の負荷量が全体の半分程度を占め、もっとも大きな負荷量となっている。倉敷川（Kブロック）と処理場・その他については、項目によって割合の大小が異なる。図 III-1 の湖心・樋門の結果ではすべての項目・地点において笹ヶ瀬川（Sブロック）の影響が最も大きく出ており、図 III-2 の負荷量割合と概ね整合する。

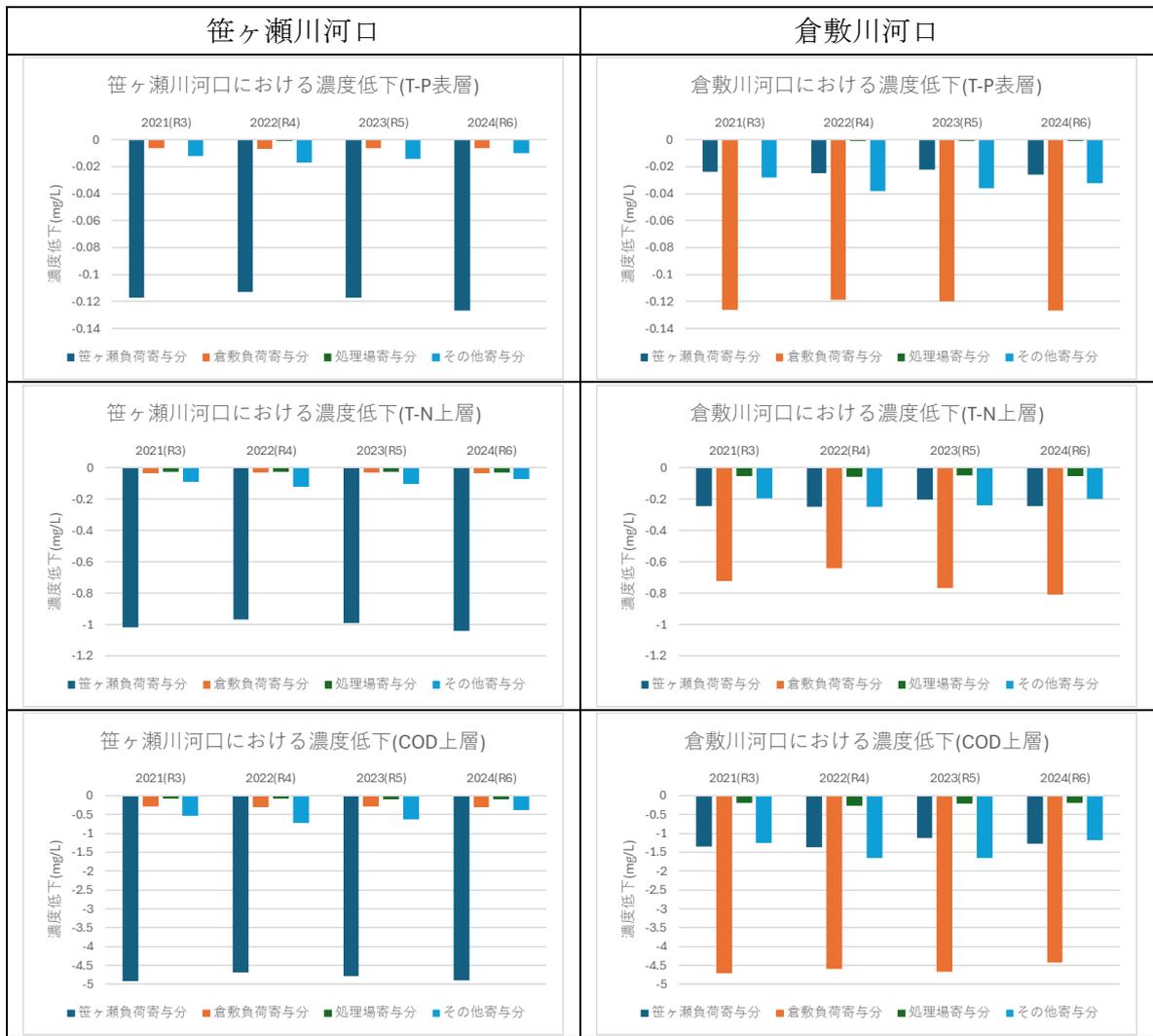


図 III-1(1) 流入負荷量影響検討計算結果 (笹ヶ瀬川河口・倉敷川河口、表層)

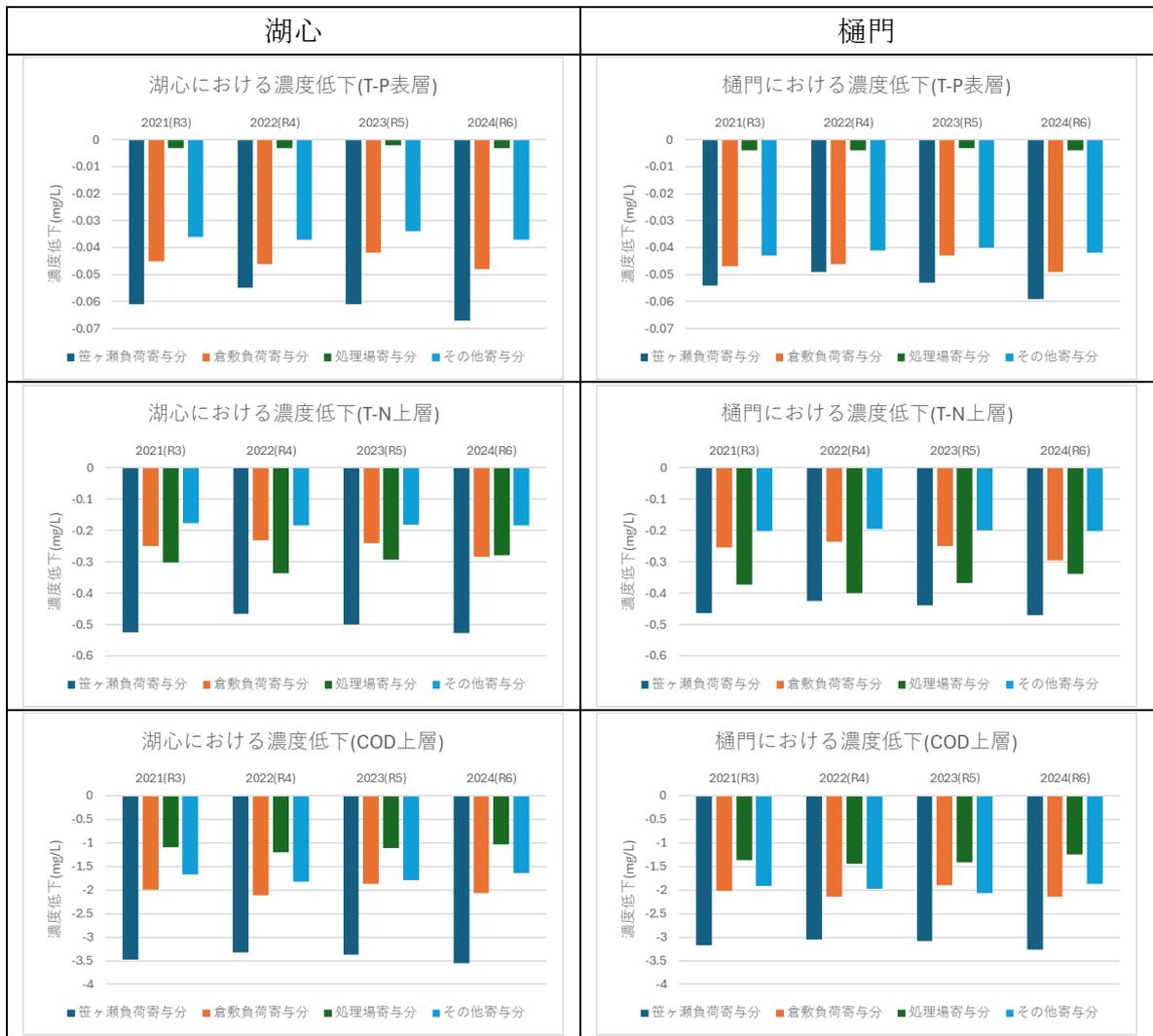


図 III-1 (2) 流入負荷量影響検討計算結果 (湖心・樋門、表層)

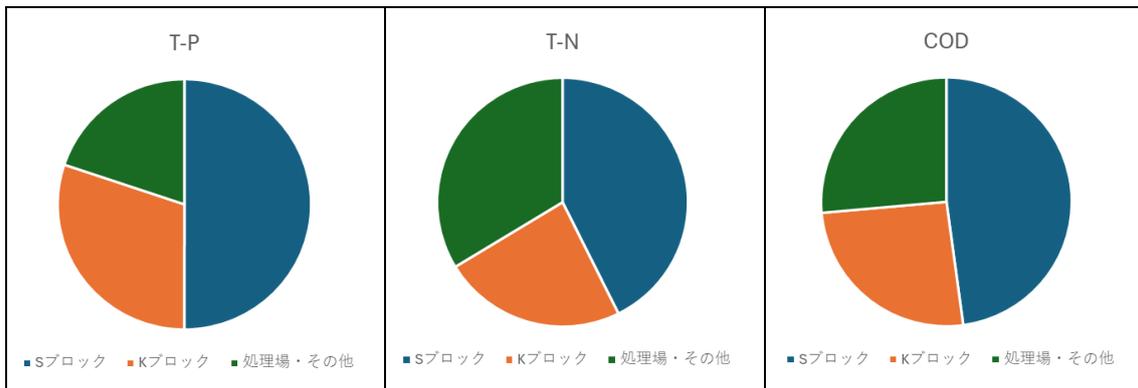


図 III-2 発生負荷量の割合 (2023 (R5) 年度)

令和 7 年 12 月 23 日
第 9 期児島湖水質保全計画策定検討会 第 2 回会議

計画の方向性について

1 方向性（案）

(1) 計画期間の延長について

児島湖へ流入する汚濁負荷量を大幅かつ確実に削減できる生活排水対策等を柱とする施策は第 8 期計画までに実施してきており、今後は面源対策など、中・長期的な取組によって初めて効果が表れる施策や県民の関心を高める普及啓発活動などの重要性が増している。これを踏まえ、計画期間を従前の 5 年から 10 年に延長する。

(2) 対策・調査研究について

長期ビジョンに掲げる達成目標や児島湖の将来像を実現するため、第 8 期計画に掲げる対策を継続し汚濁負荷量の削減に取り組むことを基本としつつ、県民が児島湖に親しみを感じ児島湖の保全に係る機運を高める取組や児島湖の水生生物の保全を目指す取組に重点を置く。

2 計画期間の延長について

8 期 40 年にわたって湖沼水質保全計画を策定し、各種対策を実施してきた結果、児島湖へ流入する汚濁負荷量については 40%以上削減されてきている。それに伴い水質も改善してきた。一方で、近年は汚濁負荷量が着実に削減されているにもかかわらず水質は横ばいとなっている。

これまでの取組により、流域の生活排水対策は着実に進捗し、汚水処理人口普及率は約 9 割に至り、今後、汚濁負荷量を大幅に削減することは困難である。

また、L 字型肥料（リン酸・カリウムの含有率の低い肥料）の普及啓発をはじめとした面源対策や児島湖の環境保全に係る普及啓発活動などは、中・長期的な取組によって初めて効果が表れるものであり、従前のおり 5 年という短・中期の計画目標を立てる合理性は乏しいと考えられる。

以上を踏まえ、第 9 期計画については計画期間を従前の 5 年から 10 年に延長する方向で検討する。

なお、第 1 回会議でもご指摘があったとおり、計画中の環境の変化や新たな脅威の発生にも対応できるよう、6 年目で計画前半の 5 年間の中間評価を行うことを想定している。また、第 9 期計画中の調査研究（原単位設定のためのデータ取得等を含む。）の進捗状況については、従前から毎年度実施している「児島湖の共同研究に関する検討会」の中で適宜検討を行う予定としたい。

計画期間を 10 年とする場合のスケジュール（案）を以下に示す。

■計画期間を10年とする場合のスケジュール（案）

年数	年 度	主な実施内容
1	令和8年度	・第9期計画策定
2～5	令和9～12年度	・「児島湖の共同研究に関する検討会」における湖沼計画に関連した報告・検討【1回/年度】
6	令和13年度	・第9期児島湖水質保全計画中間評価検討会(仮)【3回】
7～10	令和14～17年度	・「児島湖の共同研究に関する検討会」における湖沼計画に関連した報告・検討【1回/年度】
	令和18年度	・第10期計画策定

※参考：計画期間を10年としている釜房ダム貯水池のスケジュール

年数	年 度	主な実施内容
1	平成24年度	・第6期計画策定
2～5	平成25～28年度	・「宮城県環境審議会水質専門委員会議」において湖沼計画における取組状況の説明及び湖沼計画関連の調査結果の報告【各1回/年度】 ・「宮城県環境審議会」において、平成29年度に中間見直しを行うことについて諮問【平成28年度】
6	平成29年度	・「宮城県環境審議会水質専門委員会議」において中間評価を実施【3回】 ・「宮城県環境審議会」において、中間見直しの結果について答申
7～10	平成30～令和3年度	・「宮城県環境審議会水質専門委員会議」において湖沼計画における取組状況の説明及び湖沼計画関連の調査結果の報告【各1回/年度】
	令和4年度	・第7期計画策定

※「宮城県環境審議会水質専門委員会議」：令和6年2月以降は「宮城県環境審議会水質部会」となっている

3 今後の対策・調査研究

(1) 長期ビジョンと対策の関連性の整理

湖沼計画には、「計画の目標及び対策と長期ビジョンをつなぐ道筋を示すこと」とされていることから、長期ビジョンの将来像と第8期計画の位置づけについて整理を行った。

第8期計画において、長期ビジョンの複数の望ましい将来像に関連する“生物多様性の確保”、“水辺環境の整備・管理”については記載があるものの具体的な対策には結びついていない。

第9期計画策定において、これらの項目を対策・調査研究に位置付けることを検討する。

■長期ビジョンの将来像と第8期計画の位置づけ

将来像	具体的な内容	取り組む内容	第8期計画の位置づけ
生活を支える児島湖	きれいで豊富な水や広大な干拓地、豊かな漁場が地域の農業・漁業を支える	水質の保全・改善	○
		生態系の保全	○
		生物多様性の確保	△ (生物多様性基本法の運用)
暮らしを守る児島湖	締切堤防が水害から地域を守り渇水時の水がめになる	防災対策	(×) (耐震化対策※)
訪れたいくなる児島湖	ひらけた水辺空間が散策やウォッチングなど暮らしにうるおいを与える	水辺環境の整備・管理	△ (アダプト事業の推進)
遊びたいくなる児島湖	水がきれいで自然豊かな湖辺や水面が釣りやバードウォッチングなど遊びの場を提供する	水質の保全・改善	○
		生態系の保全	○
		生物多様性の確保	△ (生物多様性基本法の運用)
		水辺環境の整備・管理	△ (アダプト事業の推進)
学べる児島湖	児島湖の干拓の歴史や生息する生き物、環境問題などが環境学習の生きた教材となる	環境学習の推進	○
		生態系の保全	○
		生物多様性の確保	△ (生物多様性基本法の運用)
気持ちの良い水辺・自然豊かな児島湖	水がきれいで自然豊かな児島湖を将来にわたって確保する	水質の保全・改善	○
		生態系の保全	○
		生物多様性の確保	△ (生物多様性基本法の運用)
		自然環境の保護	△ (アダプト事業の推進)
県民が守り育て未来へ引き継ぐ児島湖	児島湖を県民共有の貴重な財産として守り育て未来へ引き継ぐ	環境学習の推進	○
		県民との連携	○
「環境おかやま」を内外に情報発信する児島湖	児島湖の環境保全への取組を通じて「環境おかやま」を内外に情報発信する	普及啓発・情報発信	○

○：計画に位置づけられており、対策が実施されている項目

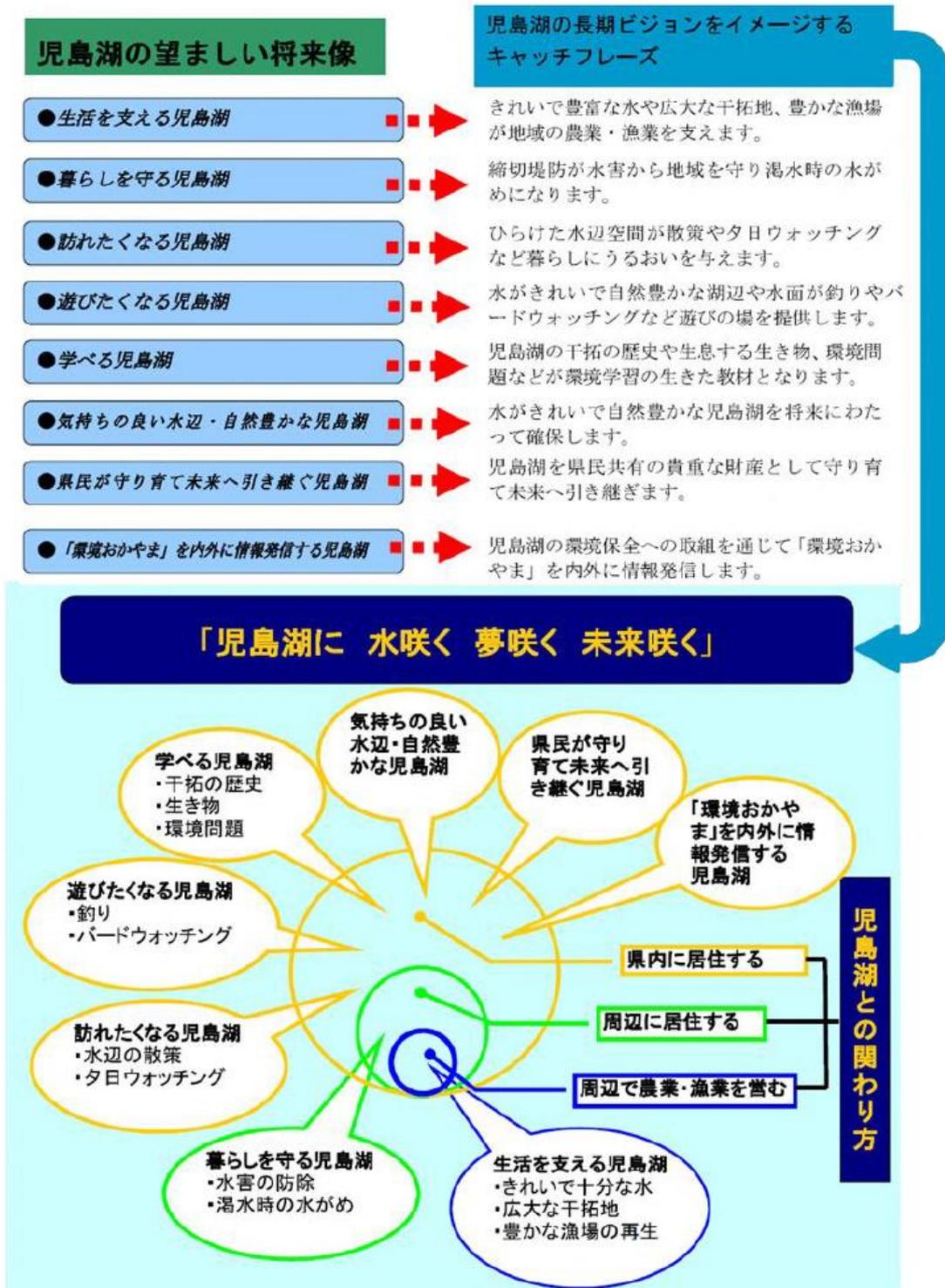
△：計画に位置づけられているが、対策が実施されていない項目

×：計画に位置づけられていない項目

※中国四国農政局により児島湾締切堤防の耐震化対策（国営総合農地防災事業（児島湾沿岸地区））が実施されている。

■参考：長期ビジョン

○湖沼水質保全計画に基づく各種対策の推進及び県民との連携による取組により、環境基準の達成を目指しつつ、生物多様性の観点からも、できる限り早期に透明度1 m 程度への水質改善を図り、「児島湖に 水咲く 夢咲く 未来咲く」をキャッチフレーズとした児島湖の望ましい将来像を目指す。



■参考：計画に基づく各種対策と長期ビジョンとの関連性



(2) 水質汚濁要因やその他課題の整理

資料3において検討中の水質汚濁要因の解析・検討において、現時点では以下のような水質汚濁要因が想定されている。

■ 想定される水質汚濁要因

水質項目	想定される水質汚濁要因
COD	・湖内で上昇（一次生産、直接流域からの負荷、底泥巻き上げ等）
T-N	・流入河川水質の影響
T-P	・流入河川水質の影響 ・夏季の上昇は湖内溶出の影響
クロロフィル a	・春季に湖内で増加
透明度	・以前は植物プランクトンの寄与率が高かった ・近年はトリプトンの寄与率が高くなっている ・トリプトンの要因としては流域からの土砂流入や底泥の巻き上げ等が考えられる

また、児島湖へ流入する汚濁負荷の最大の発生源は生活排水であることから、更なる汚濁負荷量の削減には、県民の協力が必要であるが、県民の児島湖に関する興味・関心が低いことが大きな課題となっており、これを高めることが急務である。

令和7年度に児島湖に関するアンケート調査を実施したところ、「児島湖の環境として重要なもの」の項目では、多いものから「水質」（28%）、「魚などの水生生物」（22%）、「水辺の植物」（15%）と回答があり、また、「将来の望ましい児島湖像」の項目は、「生き物が豊富な児島湖」（57%）が最も多く、次いで「水面が青く見える児島湖」（23%）であった。

このことから、県民は児島湖の水質のみならず水生生物の多様性を重視していることが伺える。

■ 令和7年度 児島湖に関するアンケート調査結果概要

調査項目（総回答数）	回 答（回答数、割合）
児島湖の環境として重要なもの(909)	水質(255、28%)、水生生物(206、22%)、 水辺の植物(136、15%)
将来の望ましい児島湖像(323)	生き物（魚や鳥など）が豊富な児島湖(185、57%) 水面が青く見える児島湖(76、23%)

(3) 基本的な方針

長期ビジョンに掲げる達成目標や児島湖の将来像を実現するため、第8期計画に掲げる対策を継続し汚濁負荷量の削減に取り組むことを基本としつつ、県民が児島湖に親しみを感じ、児島湖の保全に係る機運を高める取組や児島湖の水生生物の保全を目指した取組に重点を置く。

(4) 対策（案）について

ア 第8期計画に掲げる対策（継続）

下水道の整備等の生活排水対策の更なる推進や、L字型肥料の普及啓発などの第8期計画に掲げる対策を継続し、着実な汚濁負荷量の削減に取り組む。

イ 親しみを感じ児島湖の環境保全に係る機運を高める取組（拡充）

既に第8期計画において様々な普及啓発を実施している。第9期計画では、効果的な普及啓発が実施できるよう既存の普及啓発事業の内容、時期又は期間などの見直しを図る。また、次の取組の導入を検討する。

- ・ 民間団体等との連携による普及啓発・環境学習の推進
- ・ 食（水産物・農産物）を通じた児島湖とのふれあいによる興味・関心の向上

ウ 水生生物の保全を目指した取組（新規）

県民は児島湖の水質のみならず、水生生物等の保全を重要視していることから、水質の改善と同時に水生生物の保全に資する事業として、水生植物（沈水・抽水植物）の再生・保全に取り組む。本取組では次の効果を期待している。

- ・ 水生生物の生息環境の創出・保全
- ・ 底泥の巻き上げ防止による透明度の向上
- ・ 水生植物（抽水植物）の刈り取りによる水質改善（栄養塩の持ち出し）
- ・ 環境学習の場としての活用による県民の児島湖への興味・関心の向上

(5) 調査研究（案）について

○ 湖内における調査研究

ア 環境用水の導水による効果把握について

令和7年度に児島湖環境用水として旭川豊水の水利使用権を得たことから、これによる児島湖の滞留日数の短縮効果及び一次生産の抑制効果による水質改善効果についても検証を行う。

イ 植物プランクトンの状況と児島湖水質への影響について

CODが湖内で上昇している要因と考えられる一次生産の状況を把握するため、植物プランクトンの状況、変遷等について確認する。

ウ 児島湖の底泥巻き上げによる水質汚濁について

CODの上昇、透明度の低下に寄与していると考えられる底泥の巻き上げについて、その状況や要因について検討を行う。

エ 児島湖における水生植物の植生の把握と水質改善への寄与の解析について

現在の児島湖の水生植物の植生を把握し、過去からの変化について、気候や児島湖の水質の観点から解析を行う。

また、第9期水質シミュレーションモデルに調査した植生データを組み込み、水生植物による水環境への影響評価を可能とし、水生植物の保全に係る対策による効果の予測・把握に役立てる。

○ **流入負荷に関する対策・調査研究**

ア **水質シミュレーションによる河川水質の改善と児島湖水質の改善の関係性の解析**

流域からの負荷量は各種対策の実施により着実に減少しているが、T-N、T-P においては流入河川水質の影響が示唆されている。モデルにより河川ごとの負荷の削減をシミュレートし、児島湖の水質改善に効果的な対策を検討する。

イ **L字型肥料の施用の効果把握**

これまでの湖沼計画においても実施してきたL字型肥料の施用の効果について検証を行う。

○ **気候変動が児島湖の水質等に与える影響とその対応・適応策の検討について**

今後、気候変動の影響による気温や水温などの変化が大きくなることが予想されるため、気候変動が児島湖の水質等に与える影響等について調査・研究を行う。

○ **第10期計画策定に資する各種基礎データの収集について**

第10期計画の策定に向け、原単位の見直しや水質シミュレーションモデルの改善のため、出水時調査をはじめとする基礎データの収集を行う。

調査研究のテーマについて、委員の皆様からご意見・ご提案を頂戴したい。