

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
(経過報告)

2021 年（令和 3 年）10 月

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

1. 将来水質予測に用いたモデルの概要	1-1
1.1 はじめに	1-1
1.2 モデルの概要	1-1
2. 現況年度(2020年度)の気象等の概要	2-1
2.1 気象データ(年度別値)	2-1
2.2 気象データ(月別値)	2-5
2.3 水位データ	2-10
3. 現況再現シミュレーション(2020年度)	3-1
3.1 データ整備の方法	3-1
3.2 計算条件	3-12
3.3 計算結果	3-13
4. 将来予測シミュレーション(2025年度)	4-1
4.1 データ整備の方法	4-1
4.2 計算条件	4-6
4.3 計算結果	4-8
5. シミュレーション結果を踏まえた水質目標値の設定	5-1
5.1 評価方法	5-1
5.2 結果まとめ	5-4
6. 原単位法による負荷量推計	6-1
6.1 負荷量の計算方法	6-1
6.2 原単位の計算	6-3
6.3 負荷量計算結果	6-12

1. 将来水質予測に用いたモデルの概要

1.1 はじめに

滋賀県では 2005 年度以降、琵琶湖流域の水文・水質状況を再現・予測できる「琵琶湖流域水物質循環モデル」（以下「モデル」という。）を構築し、水質保全施策の効果予測や水質汚濁メカニズムの解明等を行ってきた。具体的には、第 5・6・7 期の湖沼水質保全計画（以下「湖沼計画」という。）に係る水質予測シミュレーションを実施したほか、琵琶湖における難分解性有機物の起源推定を行い、陸域由来に比べて湖内生産由来のものが卓越することなどを明らかにした。

一方で近年、琵琶湖では在来魚介類の減少が問題となっており、この要因の一つとして、流域スケールでの物質循環の様相が大きく変化し、植物プランクトンから動物プランクトン、魚介類につながる物質循環が滞ってきたことが指摘されている。そのため、物質の存在量（ストック）だけではなく移流量（フロー）についても把握・評価するためのモデルの改良を行うとともに、第 7 期湖沼計画では、琵琶湖における物質循環の状況を踏まえた方向性を提示するため、有機物のフローを把握することができる全有機炭素（TOC）を使用した解析・予測を行った。

第 8 期湖沼計画では、生態系保全も視野に入れた水質管理手法を検討するため、各種水質指標のみならず、魚介類等を含む物質循環や全層循環の状況などについて、長期の連続計算と再現ができるよう改良を行ったモデルを用いて、現況再現と将来予測を行うものとする。具体的には、2020 年度における社会や環境の状況について整理し、2020 年度の再現計算を行うとともに、5 年後（2025 年度）までの対策等のシナリオについてデータを整理し、2020 年度を現況とした 2025 年度までの水質予測計算を実施する。

1.2 モデルの概要

モデルは琵琶湖の陸域・湖内の水物質循環に関するモデルを結合し、非定常な解析が可能な分布型モデルとして構築している。「陸域水物質循環モデル」「湖内流動モデル」「湖内生態系モデル」の 3 つから成り、それぞれ気象や地形、社会条件等のデータと他のモデルからの出力を読み込んでシミュレートする（図 1-1）。

陸域水物質循環モデルは、蒸発散モデル、地表流モデル、地下水モデルなど 5 つの要素モデルから成る 500m 正方メッシュの分布型物理モデルであり、水（流量）の他、物質として溶存態成分、SS とそれに吸着した懸濁態成分について、負荷発生から湖内流入まで解析する（図 1-2）。水循環については、降水をインプットデータとし、地表面での降水の分配～地下水流～地表流～河道流といった流域での水の挙動に関する物理現象を解析する各サブ

モデルを統合することによって流域全体の現象を解析する。物質循環については、点源負荷については原単位法により計算を行い、また負荷の発生・排出・流達過程における物理的機構を再現するため、面源負荷の発生と負荷流達機構について土壌流出量算定モデル等を用いた解析を行う。物質形態については、溶存態成分として難分解性有機物 (RDOC)、易分解性有機物 (LDOC)、難分解性有機態窒素 (RDN)、易分解性有機態窒素 (LDN)、無機態窒素 (DIN)、難分解性有機態リン (RDOP)、易分解性有機態リン (LDOP)、無機態リン (DIP) の 8 形態、SS として難分解性有機態 SS (RSS)、易分解性有機態 SS (LSS)、砂、シルト、粘土の 5 形態を仮定し、物質の分解・浄化や、吸着する有機物、窒素、リンについても考慮する。

湖内流動モデルは、琵琶湖内部での水の流動および水温変化を計算するモデルである (図 1-3)。層位モデルを用いた準三次元的解析が可能であり、流れの解析に用いる基礎方程式は静水圧近似と Boussinesq 近似を用いた非圧縮性流体の連続の式および運動方程式である。水域を平面方向に 1km×1km に分割し、鉛直方向には水深の異なる 12 層に分割し作成したメッシュを計算単位として、外部条件 (気象、河川流出入) を与えることにより、湖内での水の流れを計算し、湖内での流速および水温分布を結果として出力する。

湖内生態系モデルは、物質の移流・拡散過程、水-底質相互作用を含む湖内の生化学反応過程を基盤とするモデルである (図 1-4)。陸域水物質循環モデルから出力される負荷量、湖内流動モデルから得られる流速、水温等を入力値として用い、湖内における移流拡散モデルと生態系モデルを結合させ、各コンパートメント量 (植物プランクトン、動物プランクトン、高次捕食者、懸濁態有機物、溶存態有機物、沈水植物、金属類) の全てを連成的に解くことで、生態系および栄養塩の動態を予測する。計算単位となるメッシュは、平面・鉛直方向ともに湖内流動モデルと同じである。なお湖内生態系モデルでは、前述のように有機物として COD ではなく炭素量 (TOC 等) を用いた解析を行っているが、最終的に COD で評価するために、再度 TOC を湖内水質の統計データから COD に換算するという操作を行う。

陸域および湖内のモデルにおける計算領域を図 1-5 に示す。

【琵琶湖流域水物質循環モデルに関する参考文献】

佐藤祐一・小松英司・永禮英明・上原浩・湯浅岳史・大久保卓也・岡本高弘・金再奎：陸域－湖内流動－湖内生態系を結合した琵琶湖流域水物質循環モデルの構築とその検証，水環境学会誌，34（9），pp.125-141，2011.

佐藤祐一・早川和秀・永田貴丸・尾原禎幸・岡本高弘・七里将一・山口保彦・酒井陽一郎・中村光穂・後藤直成・今井章雄・富岡典子・佐野友春・小松一弘・土屋健司・高津文人・霜鳥孝一・中野伸一・程木義邦・小松英司・上原浩：政策課題研究3 生態系保全につながる物質循環のあり方に関する研究，滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 研究報告書，16，pp.55-79，2021.

佐藤祐一・大久保卓也・東善広・水野敏明・井上栄壮・永田貴丸・岡本高弘・金再奎・木村道徳・石崎大介・亀甲武志・小松英司・上原浩：政策課題研究2 琵琶湖流域における水・生物・暮らしの「つながり」の再生に関する研究，滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 研究報告書，10，pp.27-51，2015.

佐藤祐一・大久保卓也・小松英司・上原浩・湯浅岳史・永禮英明・岡本高弘・金再奎：政策課題研究1 琵琶湖流域管理システムに関する政策課題研究（その1）－面源負荷流出モデルの構築と湖内水質への影響評価－，滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 研究報告書，7，pp.32-46，2012.

佐藤祐一：自治体における湖沼流域水質予測モデル構築の現状と課題，水環境学会誌，37（7），pp.253-256，2014.

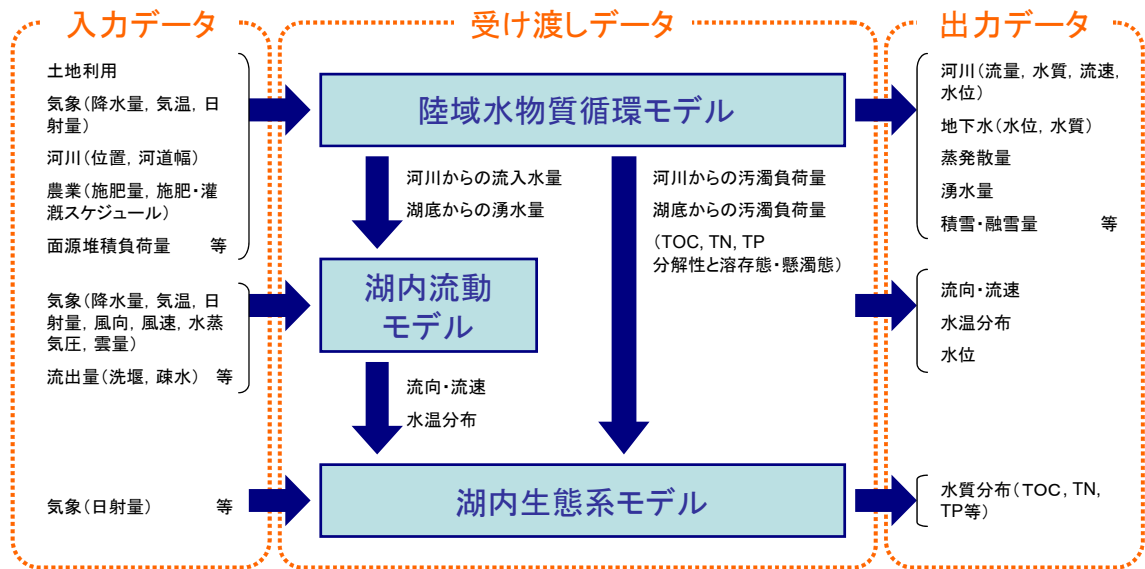


図 1-1 琵琶湖流域水物質循環モデルの全体像

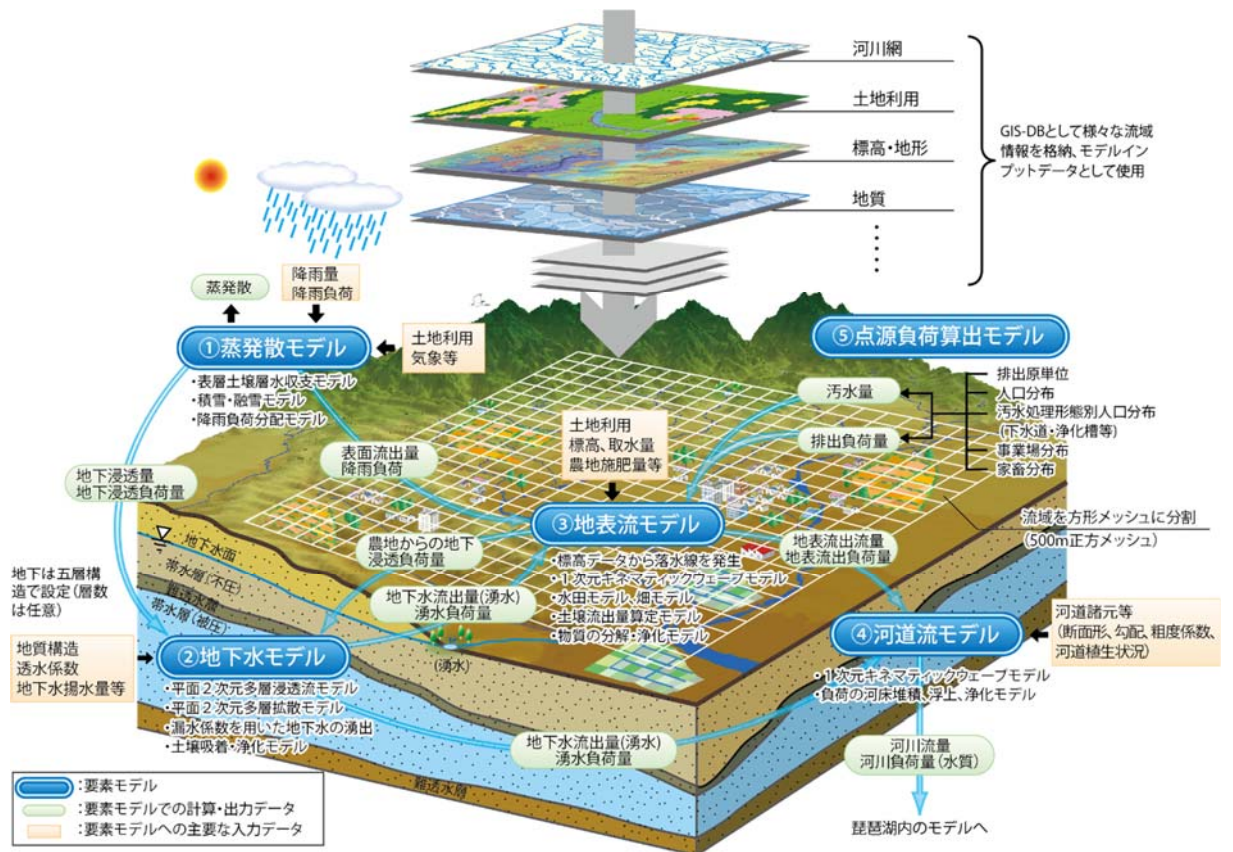


図 1-2 陸域水物質循環モデルの概要

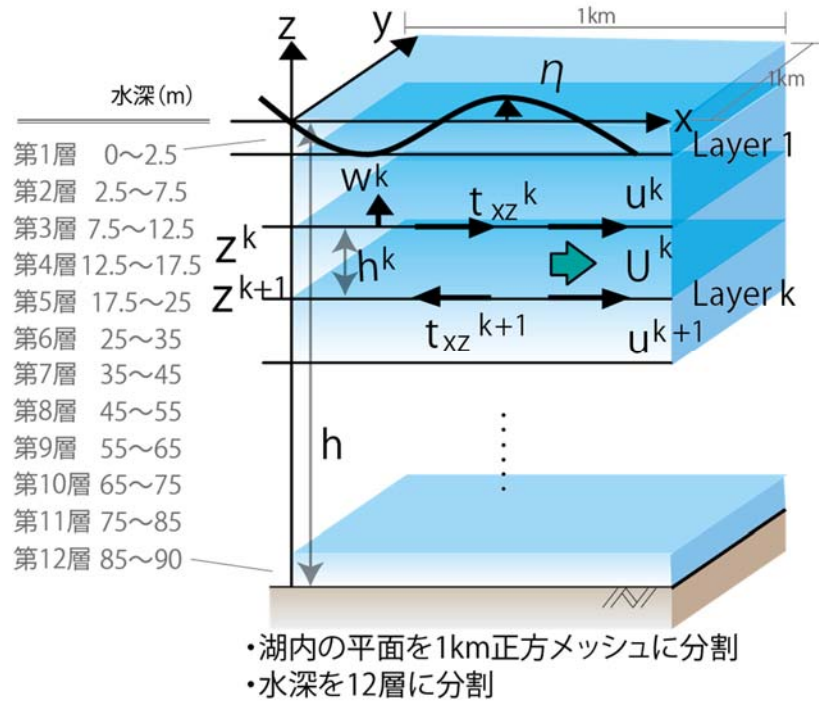


図 1-3 湖内流動モデルの概要

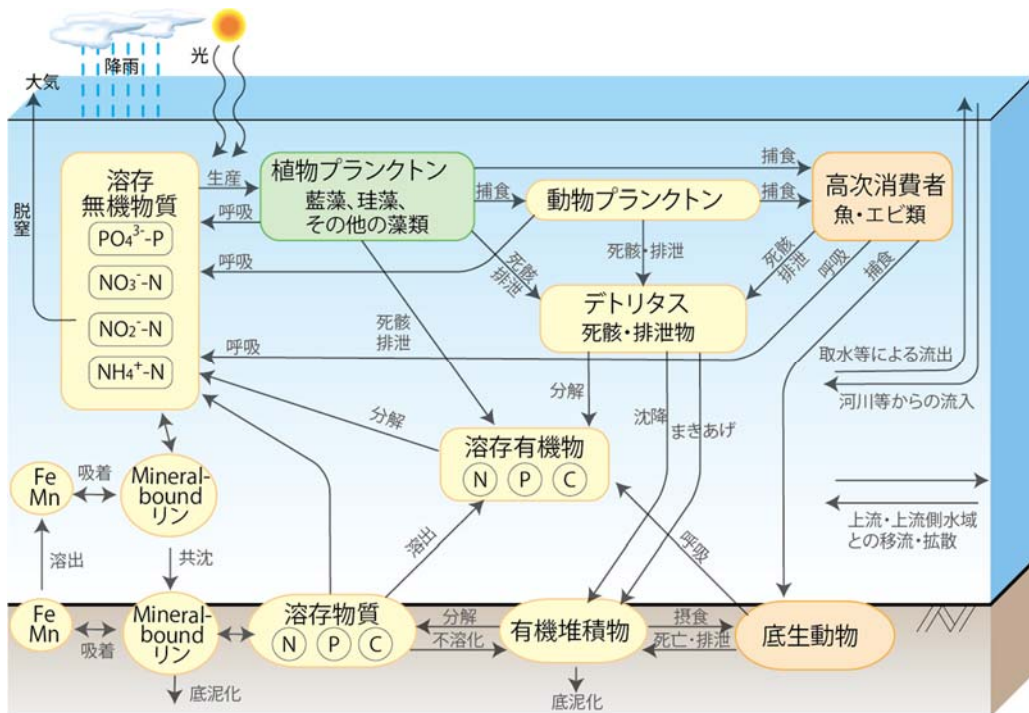


図 1-4 湖内生態系モデルの概要

計算領域

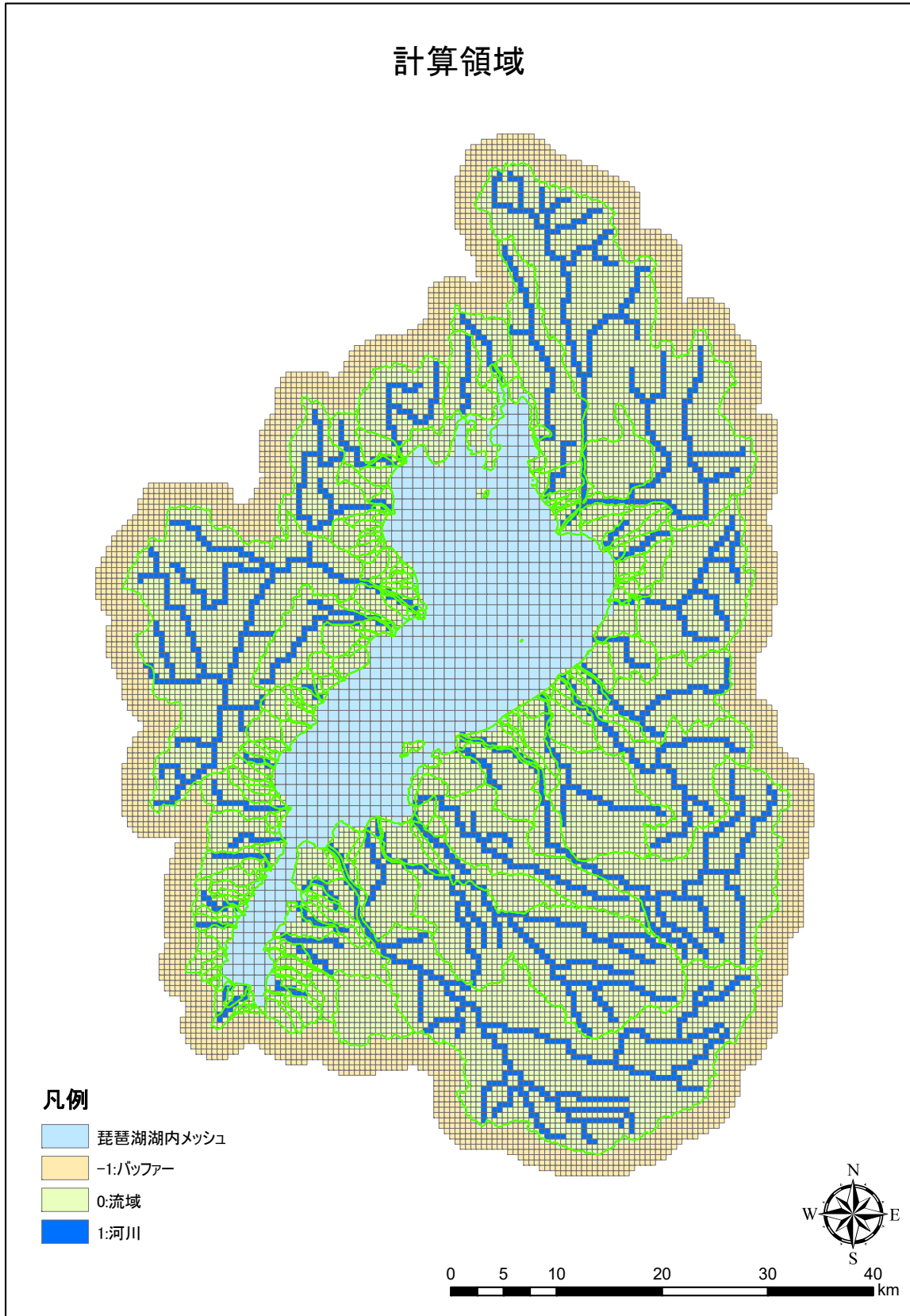


図 1-5 モデルにおける計算領域（陸域は 500m、湖内は 1km メッシュ）

2. 現況年度(2020年度)の気象等の概要

2.1 気象データ(年度別値)

近20ヶ年の気温、降水量、日射時間、積雪深についてまとめたものを以下に示す。現況再現対象である2020年度は、平年に比べて気温が高く、降水量が多い年であった。また、台風の日本への上陸がなかった。

表 2-1 年間値での比較 (2001～2020年度)

年度		彦根		彦根		彦根		柳ヶ瀬	
		年平均気温		年降水量		年日照時間		年最深積雪深	
		℃	平均比	mm	平均比	時間	平均比	cm	平均比
2001	H13	15.2	-0.2%	1,436	-11.8%	1,979	4.7%	108	1.2%
2002	H14	14.7	-3.1%	1,332	-18.2%	1,835	-3.0%	41	-61.6%
2003	H15	14.8	-2.5%	1,898	16.5%	1,663	-12.1%	89	-16.6%
2004	H16	15.5	1.8%	1,731	6.2%	1,897	0.3%	124	16.2%
2005	H17	14.7	-3.5%	1,472	-9.6%	1,800	-4.8%	202	89.3%
2006	H18	15.2	0.0%	1,552	-4.7%	1,845	-2.5%	18	-83.1%
2007	H19	14.9	-2.0%	1,560	-4.2%	1,828	-3.3%	97	-9.1%
2008	H20	15.2	-0.2%	1,462	-10.3%	1,899	0.4%	47	-56.0%
2009	H21	14.9	-1.9%	1,449	-11.1%	1,745	-7.8%	136	27.5%
2010	H22	15.0	-1.4%	1,769	8.6%	1,945	2.8%	249	133.4%
2011	H23	15.1	-0.8%	1,902	16.7%	1,793	-5.2%	181	69.6%
2012	H24	14.9	-1.8%	1,633	0.3%	1,938	2.5%	100	-6.3%
2013	H25	15.2	-0.2%	1,492	-8.4%	2,112	11.7%	79	-26.0%
2014	H26	15.0	-1.2%	1,563	-4.0%	1,869	-1.2%	160	50.0%
2015	H27	15.7	3.0%	1,633	0.2%	1,991	5.2%	62	-41.9%
2016	H28	15.5	1.9%	1,735	6.5%	1,916	1.3%	142	33.1%
2017	H29	14.9	-2.1%	1,826	12.1%	1,935	2.3%	165	54.6%
2018	H30	15.9	4.6%	1,757	7.8%	1,950	3.1%	19	-82.2%
2019	R1	16.1	5.8%	1,514	-7.0%	1,983	4.9%	10	-90.6%
2020	R2	15.8	3.9%	1,863	14.4%	1,906	0.8%	105	-1.6%
20ヶ年平均		15.2	—	1,629	—	1,891	—	107	—

※データ出典：気象庁 Web サイト、アメダスデータ

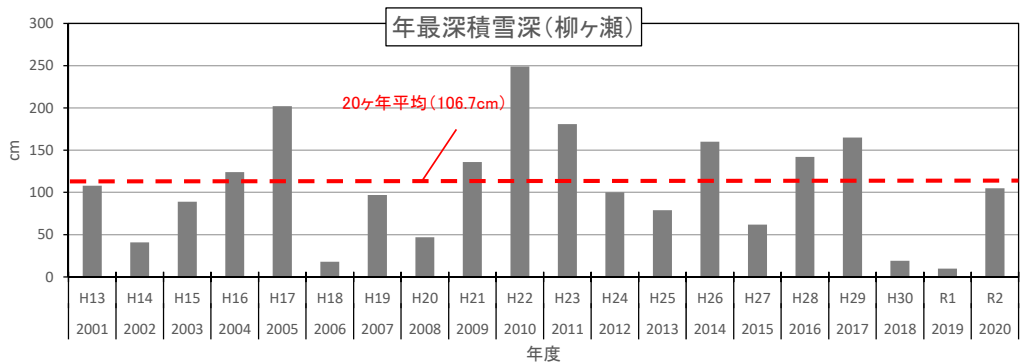
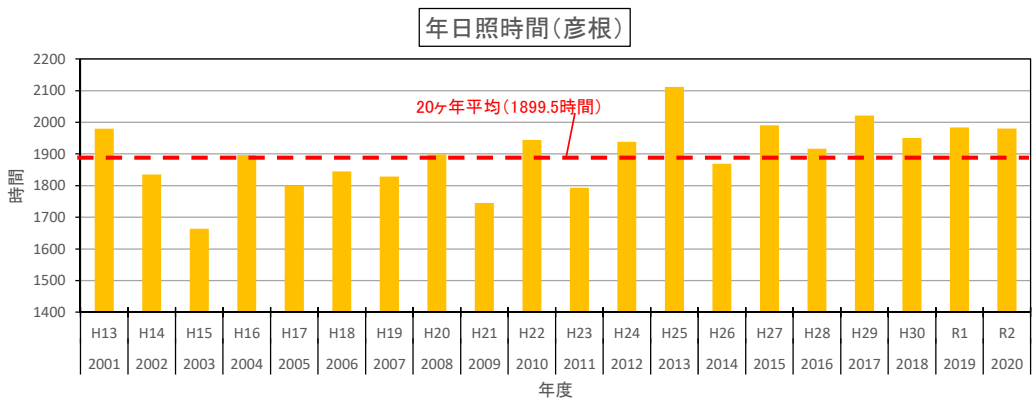
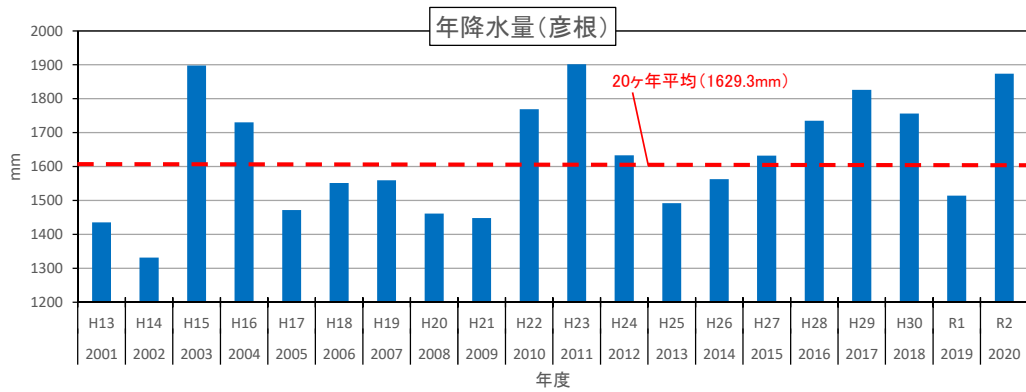
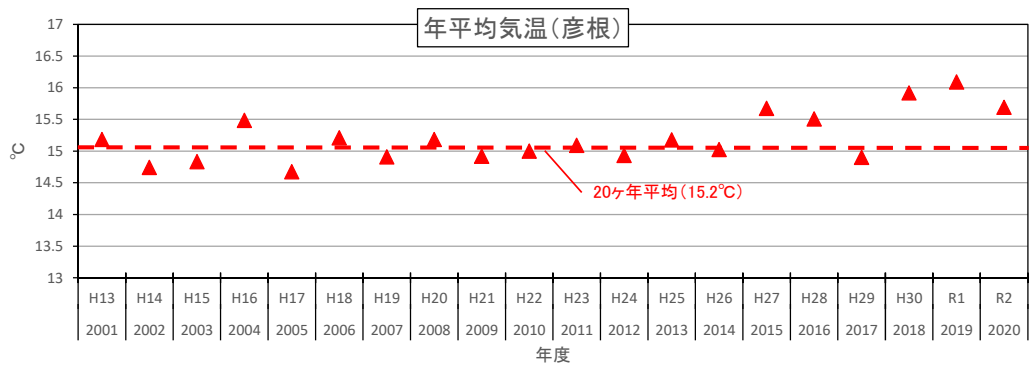


図 2-1 年間値(気温、降水量、日照時間、最深積雪深)での比較

表 2-2 年度別の台風上陸数

年度		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年間
2001	H13					1	1							2
2002	H14				2			1						3
2003	H15		1			1								2
2004	H16			2	1	3	2	2						10
2005	H17				1	1	1							3
2006	H18					1	1							2
2007	H19				1	1	1							3
2008	H20													0
2009	H21							1						1
2010	H22					1	1							2
2011	H23				1		2							3
2012	H24			1			1							2
2013	H25						2							2
2014	H26				1	1		2						4
2015	H27				2	1	1							4
2016	H28					4	2							6
2017	H29				1	1	1	1						4
2018	H30				1	2	2							5
2019	R1				1	2	1	1						5
2020	R2													0
20ヶ年平均		0	0.05	0.15	0.6	1	0.95	0.4	0	0	0	0	0	3.15
15～20年平均		0	0	0	1.0	2.25	1.5	1	0	0	0	0	0	4

※台風上陸数：台風が中心が北海道、本州、四国、九州の海岸線に達した場合を「日本に上陸した台風」。

ただし、小さい島や半島を横切って短時間で再び海に出る場合は「通過」

データ出典：気象庁 Web サイト、過去の台風資料

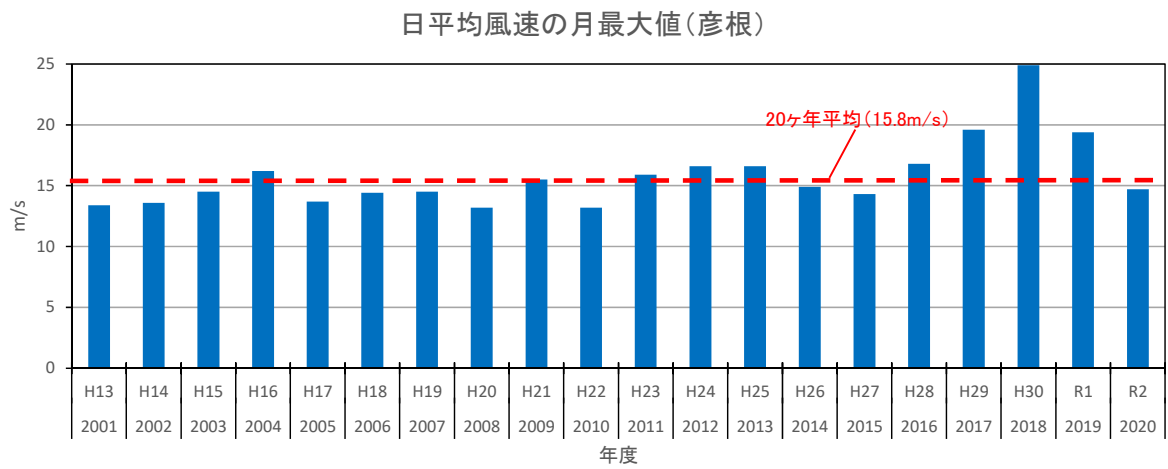
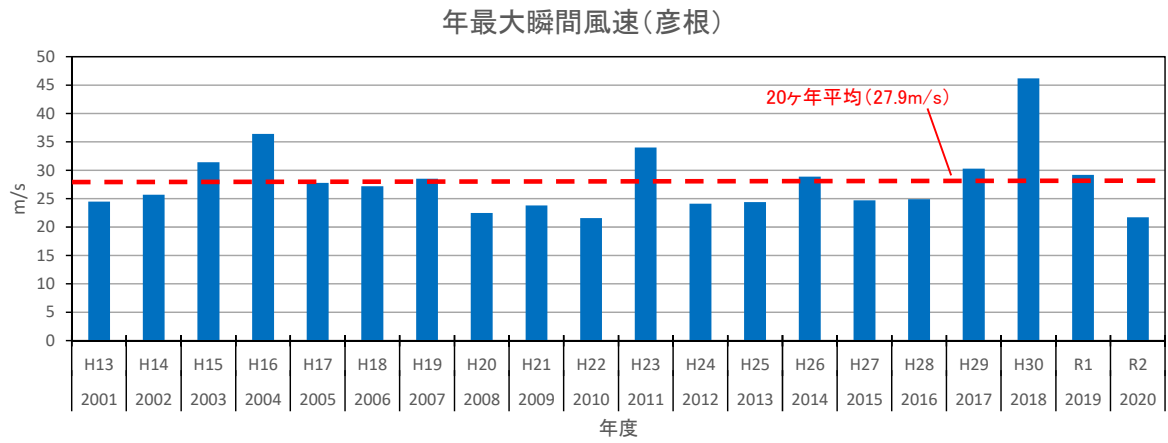


図 2-2 風速関連の年間値での比較

2.2 気象データ(月別値)

気温と降水量について月別にまとめたものを以下に示す。2020年度は8～9月、2～3月に気温が高く、また6～7月の降水量が多い一方で8、11月は少なかった。

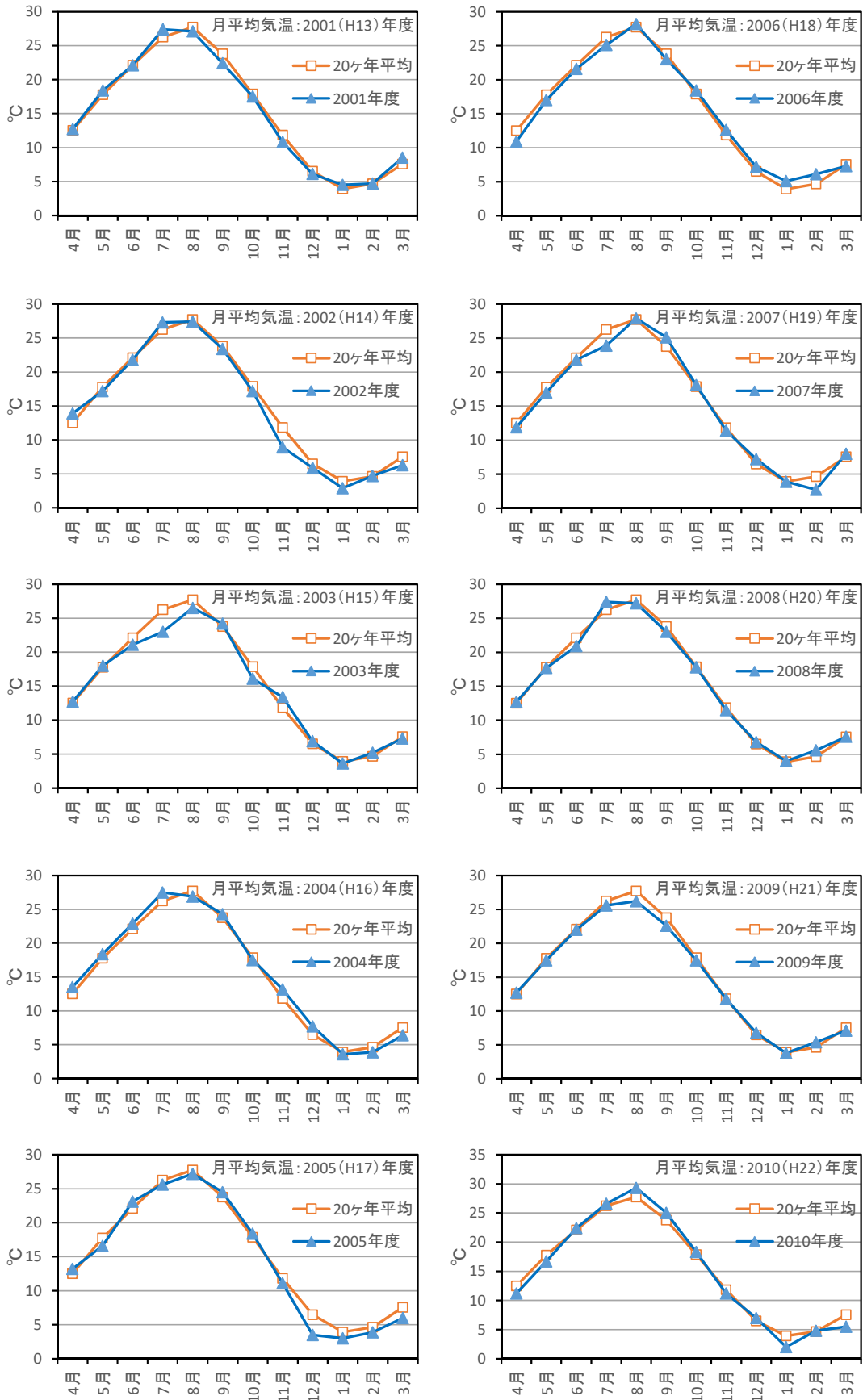


図 2-3 月平均気温での比較(1)

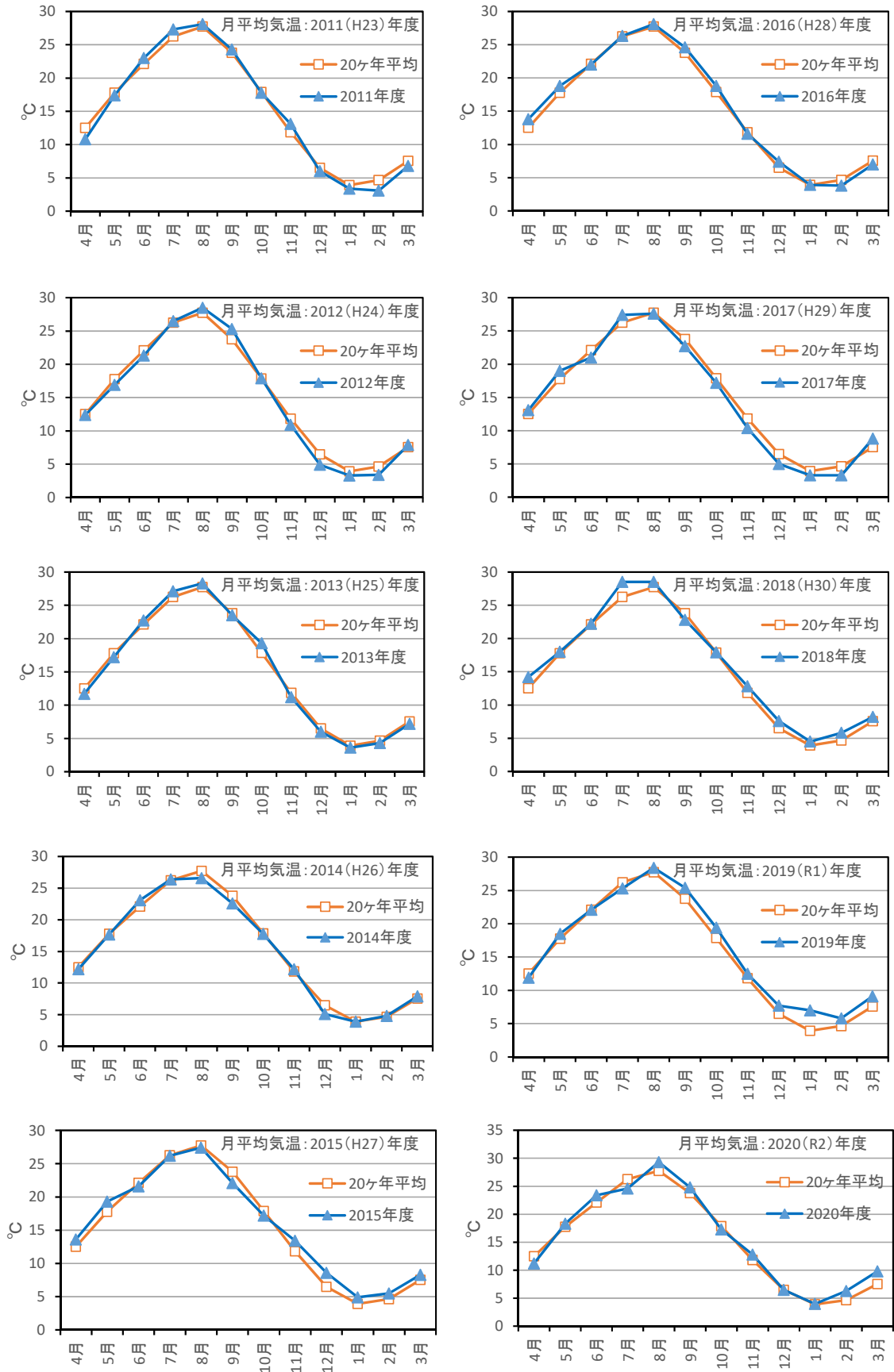


図 2-4 月平均気温での比較(2)

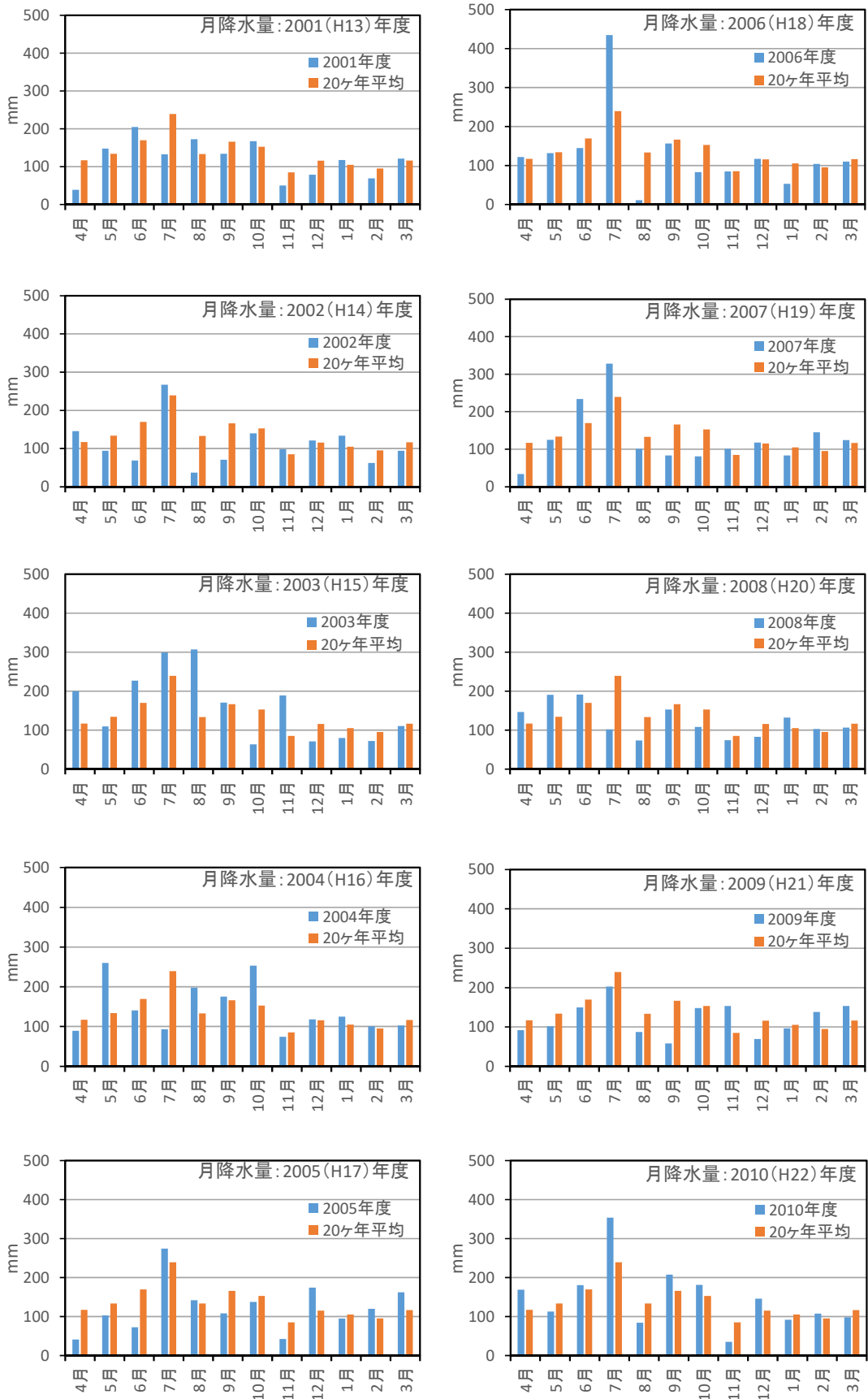


図 2-5 月降水量での比較(1)

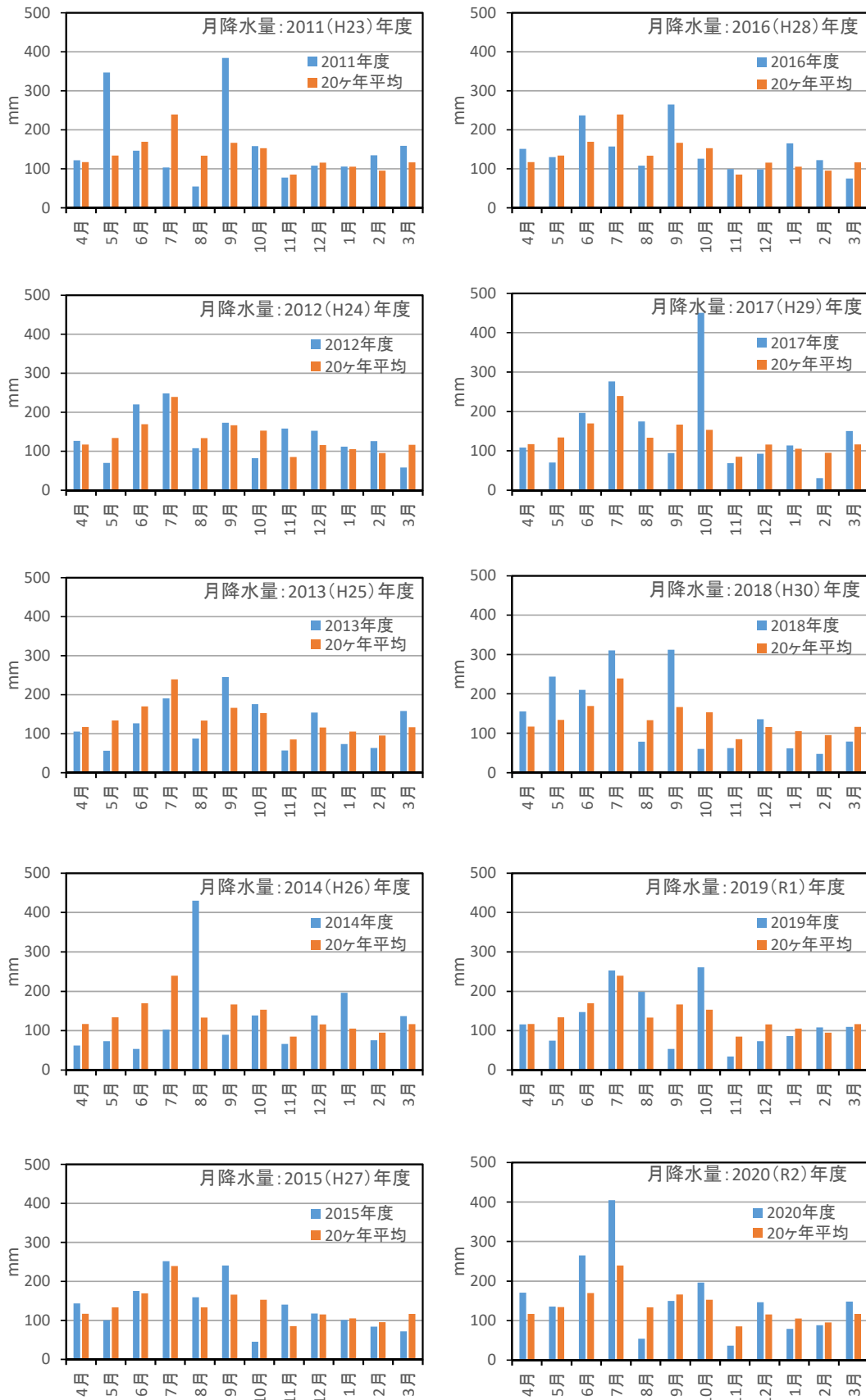


図 2-6 月降水量での比較(2)

2.3 水位データ

水位変動をまとめたものを以下に示す。2020年度は平年値に近い変動であった。

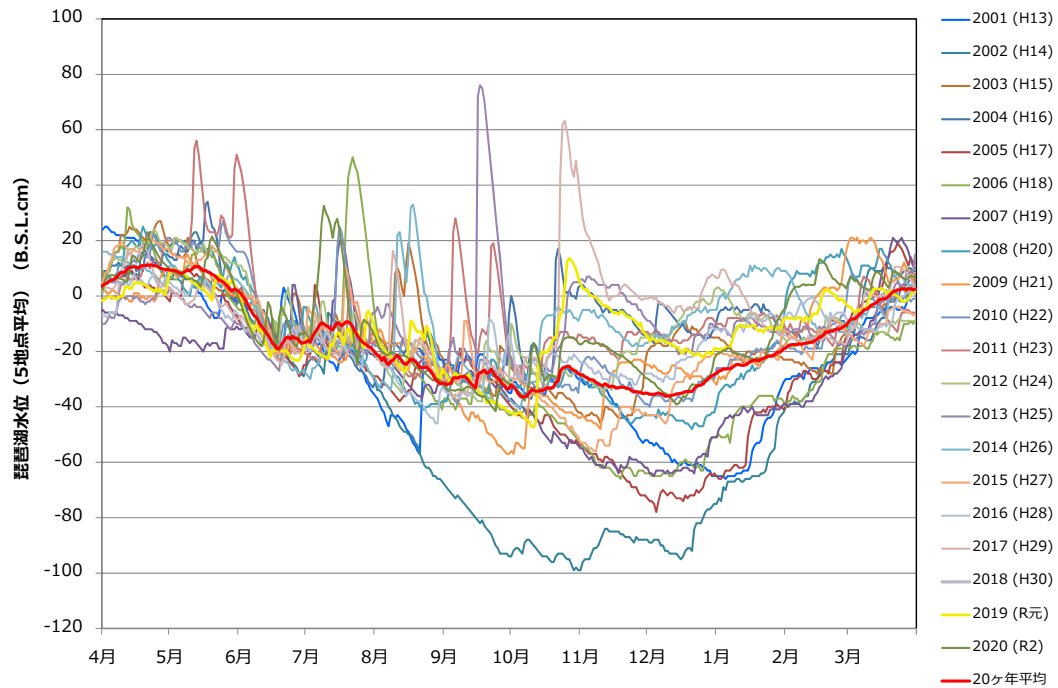


図 2-7 20ヶ年の琵琶湖水位の変化 (5地点平均)

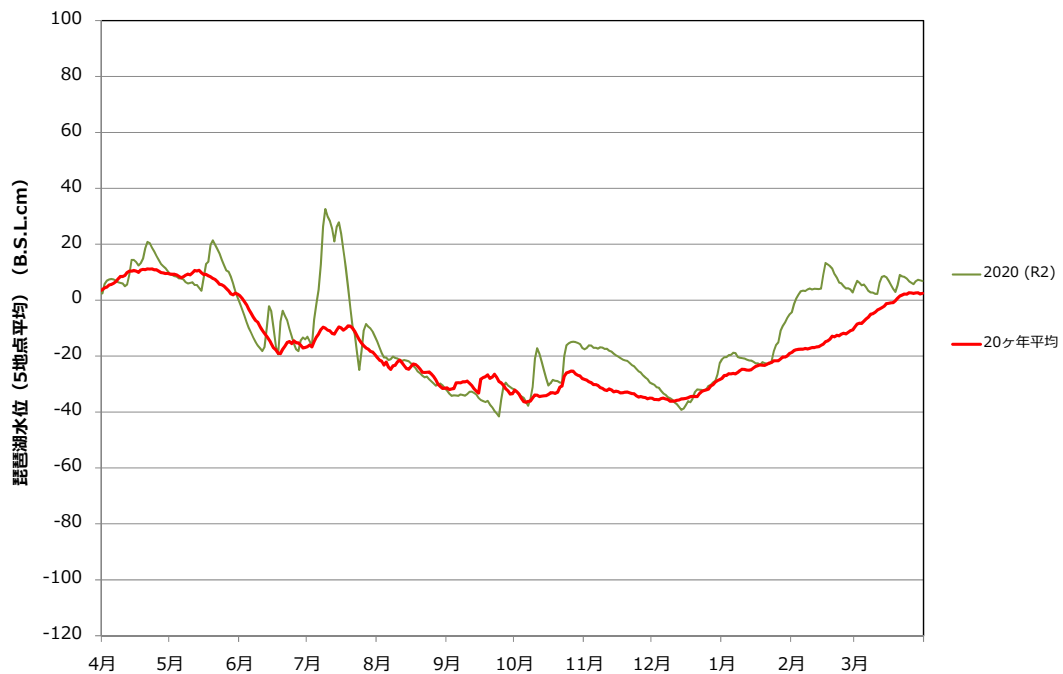


図 2-8 琵琶湖水位 2020年度と20ヶ年平均の比較

3. 現況再現シミュレーション(2020 年度)

3.1 データ整備の方法

(1) 処理場系

流域下水道については、下水道課提供の 2020 年度における各処理場の排水量・水質の実績値より負荷量を算出した。

公共下水道およびし尿処理場については、2020 年 4 月時点の滋賀県の事業場環境管理台帳システム（以下「エコマス」という。）または大津市提供データから抽出した排水量・水質の実績値より負荷量を算出した。

農業集落排水処理施設については、農村振興課提供の施設一覧を元に、各施設の排水量・水質の実績値をエコマスから抽出して負荷量を算出した。

各処理施設（下水処理場の場合は放流口）の住所から該当するメッシュを求め、当該メッシュより上記で計算した負荷を発生させた。

なおエコマス等の実績値については、複数の観測値が存在する場合には最新のデータを使用した。必ずしも 2020 年度に調査がなされているとは限らない。

(2) 生活系

下水道課提供の集落別処理形態別人口（下水道・農業集落排水等処理施設・合併処理浄化槽・単独浄化槽・その他（＝し尿処理と仮定））（集落数：滋賀県内で 2924 個）のデータは、2014 年度の実績をベースとして、2020、2025、2045 年度における中長期の整備計画を 2015 年度時点にまとめたものである（以下「第 7 期集落別処理人口計画値」と呼ぶ）。一方で 2020 年度については、同課提供の市町別の処理形態別人口（下水道・農業集落排水等処理施設、合併浄化槽、その他）の実績値（以下「第 8 期市町別処理人口実績値」と呼ぶ）が存在するため、両者の整合を図りながらメッシュ別の 2020 年度における実績値を設定する必要がある。

そこで、以下の手順により 2020 年度のメッシュ別処理形態別人口を設定した。

- ① 2020 年度市町別処理形態別人口実績値を求める：第 8 期市町別処理人口実績値のうち「その他」に該当する人口を、第 7 期集落別処理人口計画値の単独浄化槽・し尿処理の比率に応じて分割する。さらに、下水道課提供の 2020 年度の下水道接続率（下水道整備区域にあって実際に下水道に接続している人口の割合）の市町別実績値を元に下水道接続人口を求める（未接続分はそれ以外の処理形態比率に応じて割り振る）。
- ② 第 7 期の計画値と第 8 期の実績値の比率を求める：2020 年度市町別処理形態別人口に

ついて、第7期計画値に対する第8期実績値の比率を求める。

- ③ 2020年度メッシュ別処理形態別人口を求める：第7期計画時に作成した2020年度メッシュ別処理形態別人口計画値（以下【参考】参照）について、②で求めた市町別・処理形態別比率をかける。市町別処理形態別人口が①に整合するように補正して、最終的な2020年度のメッシュ別処理形態別人口を計算する。

作成されたメッシュ別処理形態別人口の例を図 3-3 に示す。

【参考】第7期計画時の2020年度メッシュ別処理形態別人口計画値の算出方法（第7期湖沼計画策定時資料より抜粋）

下水道課提供の集落別処理形態別人口のデータ（EXCEL形式）をGISで用いるシェープファイル形式で整備し、土地利用を考慮して、500mメッシュに分割した。具体的な方法は以下の通りである。

- ① 2010年度国勢調査の結果（平成22年国勢調査（小地域））をGISでまとめたものと、下水道課の集落別データをマッチングさせ、処理形態別人口のGISデータ（シェープファイル形式）を作成する。なお集落界は国勢調査と下水道課データで異なることもあり、下記のように対処した。

(ア) 国勢調査の集落が複数の下水道課データの集落を包含する場合：下水道課データの集落別処理形態別人口を合計し、国勢調査のGISデータに統合する。

(イ) 下水道課データの集落が複数の国勢調査の集落を包含する場合：下水道課データの集落別処理形態別人口を、国勢調査の集落別人口の比率で割り振り、国勢調査のGISデータに統合する。

- ② ①により作成した集落別処理形態別人口のGISデータと、500mメッシュ別土地利用GISデータ（作成方法は後述）を重ね合わせ（図 3-1）、下記の方法で集落別処理形態別人口を500mメッシュに分割する（図 3-2）。

(ア) 集落 i ($i=1,2,\dots,I$; I は集落数) において、処理形態 k ($k=1,2,\dots,K$; K は処理形態の数) にかかる人口を P_i^k とする。この集落が重なるメッシュ j ($j=1,2,\dots,J$; J は集落 i が重なるメッシュ数) を求める。

(イ) 集落 i がメッシュ j にかかる面積を A_i^j とする。またメッシュ j における市街地面積比率を C_j とする。

(ウ) これより、集落 i からメッシュ j に割り振る処理形態 k の人口 $D_{i,j}^k$ を以下のように求める。

$$D_{i,j}^k = P_i^k \times \frac{C_j \cdot A_i^j}{\sum_j (C_j \cdot A_i^j)}$$

(エ) なお、メッシュ j に市街地が存在しない場合は水田・畑の面積比率を、それもない場合は山林・他の面積比率を対象として、上記と同様の計算を行う。

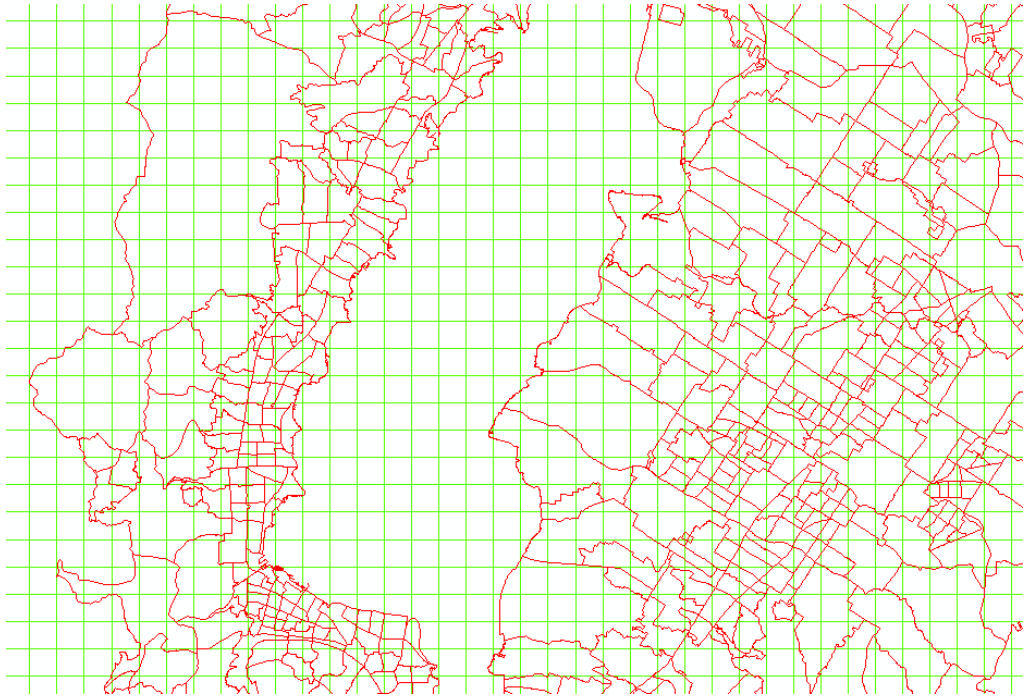


図 3-1 集落（赤）とメッシュ（緑）の関係（南湖周辺の例）

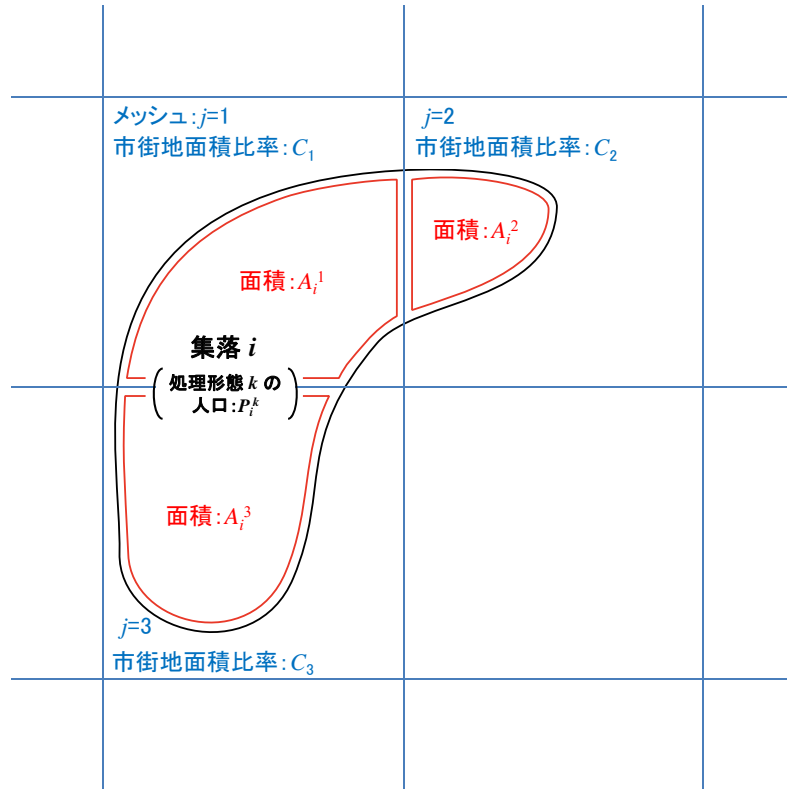


図 3-2 集落別処理形態別人口のメッシュへの分割方法概念図

下水道課提供の処理形態別人口は、下水道整備人口を記したものであるため、これを接続人口に直し、浄化槽等を含めて実際の排水処理形態別人口に修正する必要がある。しかし、接続率等のデータは市町別にしか把握されていないため、上記で算出したメッシュ別下水道整備人口に市町別の接続率のデータをかけて接続人口を算出し、整備人口と接続人口の差分を合併浄化槽・単独浄化槽・し尿処理に現在の比率で割り振ることとした（下水道以外の人口がゼロの地域は、未接続人口を全て合併浄化槽に割り振る）。また、最新の処理形態別人口データは 2014 年度のものであったが、これが 2015 年度でも同等であると仮定し、以降の計算に使用した。また京都市分については別途計上した。

このようにして得られたメッシュ別処理形態別人口に対し、各処理形態の原単位をかけ、生活系由来負荷量を算出した。

【注：処理形態別人口の算出方法の相違について】

以上のように 2015 年度と 2020 年度では処理形態別人口の元データが異なるため、結果についても一部影響が生じている。処理形態別人口のうち下水処理については、整備人口（処理区域に在住している人口）ではなく、接続人口（実際に下水道に接続している人口）として表している。前述のように、これは各地域の下水道整備人口に各地域の接続率をかけて算出する。整備区域にあるが接続していない人口については、その他の処理形態（農集排、合併浄化槽等）にその人口比率に応じて割り振り、またその他の処理形態人口がない場合は、全て合併浄化槽に割り振ると仮定している。2015 年度については集落別の詳細な処理形態別人口データが存在したため、上記の計算を集落別に行ったが、2020 年度については市町別にしか処理形態別人口が存在しなかったため、市町別に行った。これがどのような違いを生むかについて、ある仮想地域（A 町）を 1 つとして計算した事例と、そこに含まれる 2 つの集落（X 集落、Y 集落）から構成されるとして計算した事例について以下説明する。下水道接続率は 90% であるとする。

A 町：人口 100 人（下水道整備 85 人、農集排 10 人、合併浄化槽 5 人）

・うち X 集落：人口 85 人（下水道整備 85 人、その他 0 人）

・うち Y 集落：人口 15 人（下水道整備 0 人、農集排 10 人、合併浄化槽 5 人）

このとき、A 町全体で上記の未接続人口の計算をすると、

下水道接続 $85 \times 0.9 = 76.5$ 人、農集排 $10 + 85 \times 0.1 \times 10/15 = 15.7$ 人、合併浄化槽 $5 + 85 \times 0.1 \times 5/10 = 7.8$ 人

一方で集落別で上記の計算をすると、

X 集落 下水道接続 $85 \times 0.9 = 76.5$ 人、農集排 0 人、合併浄化槽 $85 \times 0.1 = 8.5$ 人

Y 集落 下水道接続 0 人、農集排 10 人、合併浄化槽 5 人

合計で下水道接続 76.5 人、農集排 10 人、合併浄化槽 13.5 人

となり、下水道接続以外で推定値に乖離が生じる。前者の計算が 2020 年度、後者の計算が 2015 年度の推定方法なので、元データの相違により、合併浄化槽人口が減少することになる。第 6 章で示す処理形態別人口の経年変化は、上記のような推定方法の違いを含んだものであることに注意されたい。

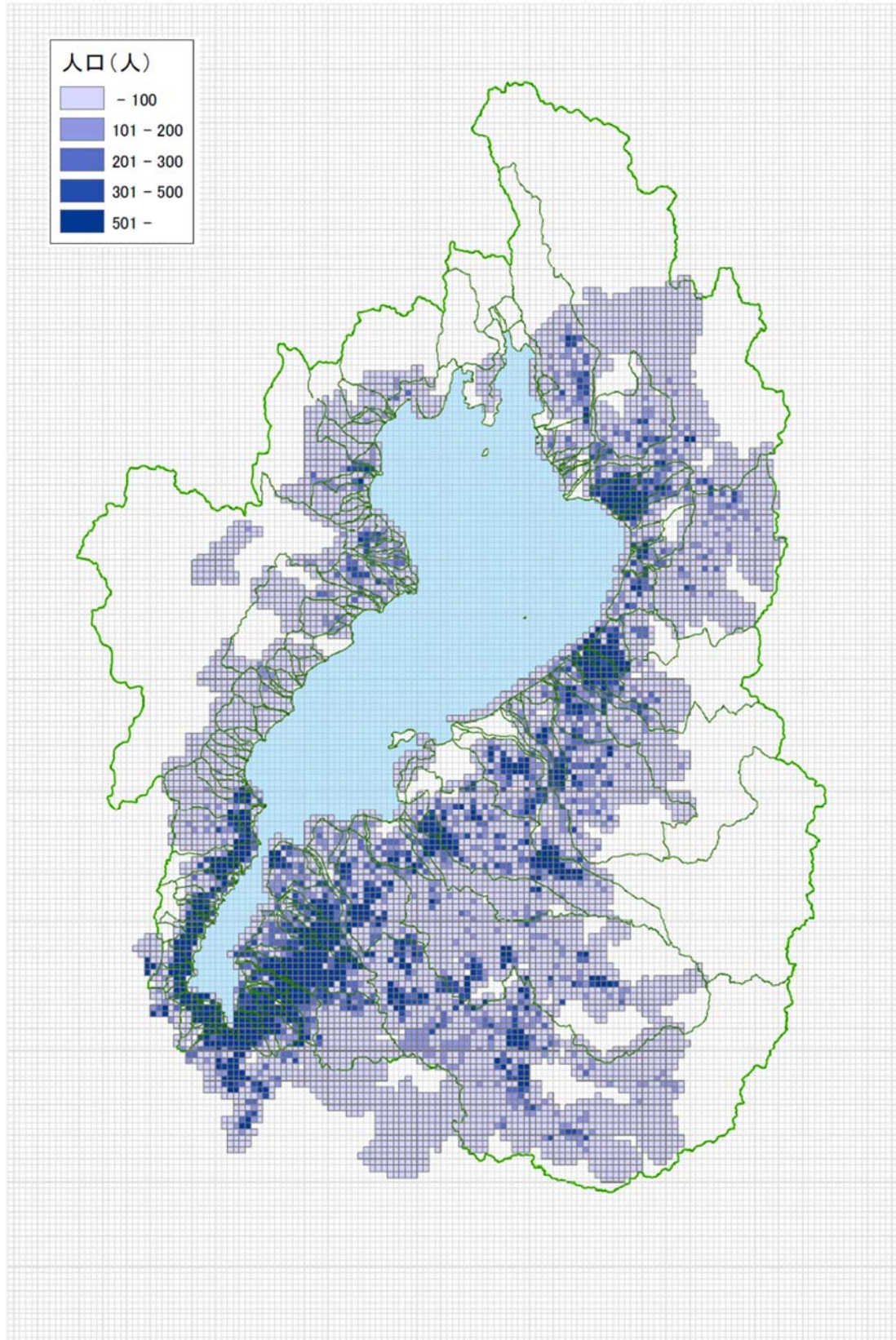


図 3-3 処理形態別人口分布（下水道接続人口の例）

(3) 産業系

2020年4月時点のエコマスまたは大津市提供データから抽出した事業場別排水量・水質の実績値より、各事業場の負荷量を算出した。各事業場の住所から該当するメッシュを求め、当該メッシュより計算した負荷を発生させた。エコマスまたは大津市提供データから対象とする産業系負荷を算出する方法は、以下の通りである。

- ① 排水の全量が下水道に接続されている事業場を除外する。
- ② 下水処理場、し尿処理場、農業集落排水処理施設を除外する。
- ③ 住宅団地・マンション・個人宅等を除外する（これらの負荷については、別途の処理形態別人口の負荷として計上されているため）。
- ④ 排水水質について、各事業場で複数の採水日の水質データがある場合は、最新のデータを採用する。同日に複数の水質データがある場合は、「放流口」などの記載があるものを優先するとともに、各水質項目に関して最大値を採用する。
- ⑤ 採水データがない事業場については、当該産業中分類（1993年10月（第10回）改定）別の排水水質平均値を採用する。産業中分類別の調査がない業種については、全業種の平均値を採用する。
- ⑥ 各事業場について、排水量と排水水質をかけて負荷量を算出する。

上記処理の結果、2020年度の負荷量算出対象事業場としては計4,444件が抽出された（図3-4）。

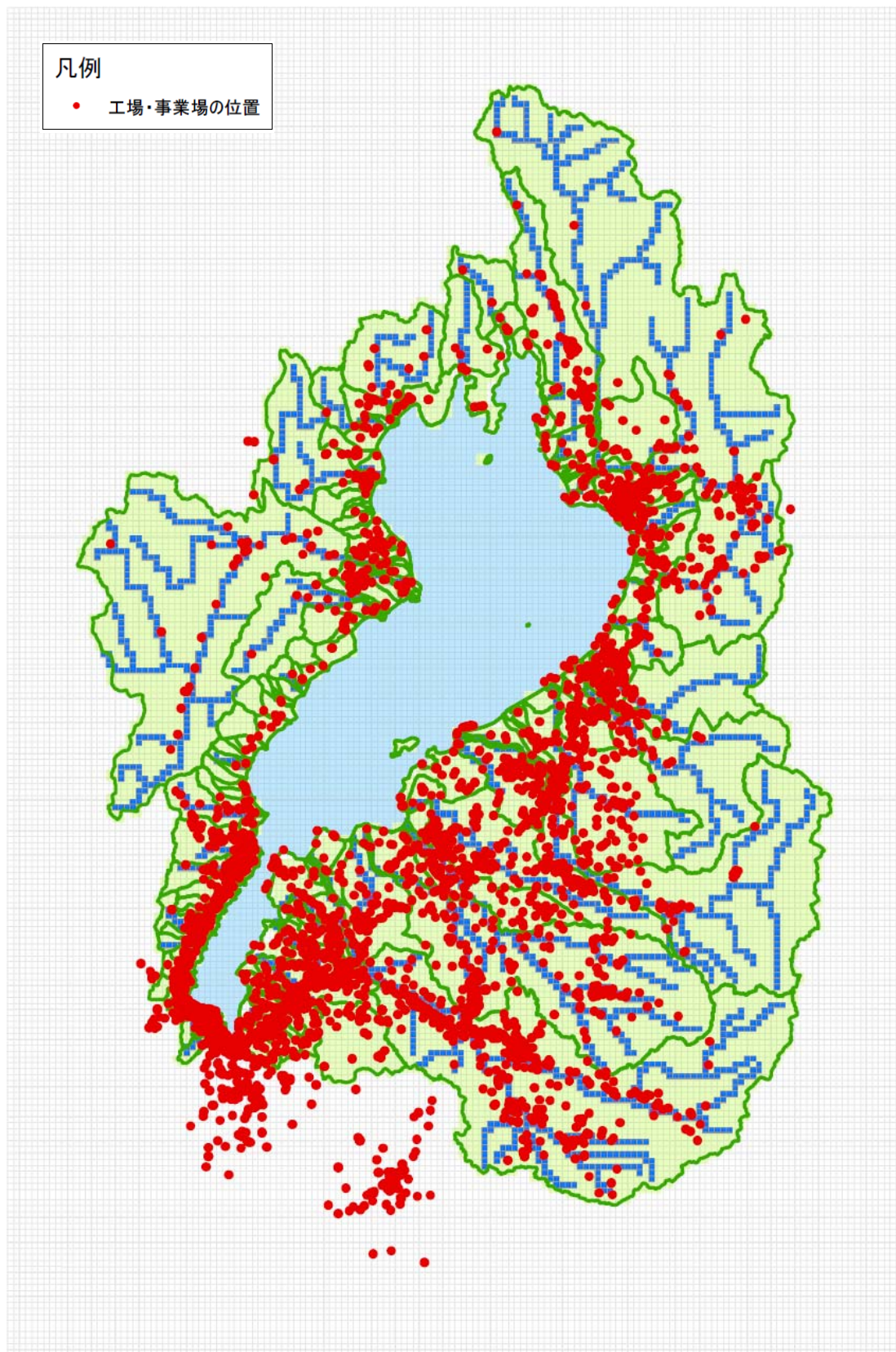


図 3-4 産業系負荷量算出の対象事業場の位置

なお畜産施設および観光客に係る負荷については、以下の考えにより第 6 期湖沼計画より産業系負荷として計上している。

畜産施設については、滋賀県では牛・鶏の糞尿と豚の糞については全量農地還元されている。また豚の尿は、浄化装置を所有している畜産農家は放流し、浄化装置を所有していない畜産農家は 100%再利用されている。この浄化装置を所有している畜産農家からの負荷がエコマス等に掲載されているため、畜産系負荷については全てエコマス等より計上する（畜産系負荷として、原単位法により畜産頭数×原単位といった計算は実施しない）。

観光客については、観光客が訪れる施設についても一般にはエコマス等に掲載されていることから、産業系として計上する（観光客数に原単位（合併浄化槽換算）をかけて計上することはしない）。

(4) 面源系

国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ¹（2016 年度）を元に、市町別の土地利用統計データの変化率をかけて、2020 年度見合いのメッシュ別土地利用データを作成した。具体的な方法は以下の通りである。

- ① 滋賀県で年度ごとにまとめている統計データ「国土利用計画管理運営事業に係る土地利用現況把握調査」から、2015 年度から 2020 年度にかけての市町別・各土地利用別の面積の年間変化比率を算出する。
- ② 国土数値情報（2016 年）のデータに、①の市町ごとの変化比率をかける。なお各土地利用の対応関係は以下の通りである。

【国土数値情報】	～	【統計データ】
水田・畑	～	農用地
山林	～	森林
市街地	～	宅地
道路	～	道路
荒れ地	～	原野
その他	～	その他
水面・ゴルフ場：		変化なし

¹ 3 次メッシュ 1/10 細分区画（100m メッシュ）毎に、各利用区分（田、畑、果樹園、森林、荒地、建物用地、幹線交通用地、湖沼、河川等）を整備したもの。

- ③ 各メッシュにおける面積比率の合計が1になるように補正を行う。補正の方法は以下の通りである。補正後土地利用＝補正前土地利用×(1-水面・ゴルフ場)/(水面・ゴルフ場除く合計)

(5) 負荷削減対策

面源を対象とした負荷削減対策として、「環境こだわり農業(水稲)」「水質保全対策事業」「流入河川浄化事業」の3種類が設定されている。それぞれの事業について、実施されている地点のメッシュあるいは河川を設定し、設定した負荷削減量を地表流あるいは河川水から毎時削減するようにした。2005～2020年度における削減量は以下の通りである。なお、年度途中の削減量については線形補間した。

1) 環境こだわり農業

環境こだわり農業実施時における負荷削減率を表3-1に示す(県農業技術振興センター調査)。また、後述する水田負荷原単位(g/ha/日)を元に、各年度における環境こだわり農業実施面積と灌漑日を考慮して、流域全体における負荷削減量を算定した(表3-2)。これを、農地のある流域内全メッシュの農地面積に応じて配分することで、効果を考慮した。

表 3-1 環境こだわり農業による負荷削減効果

流出負荷量*の比較(稲作期間中) (単位:kg/ha)

区分(年度)	土壌タイプ	試験区	COD	TN	TP
精密調査田(H17)	細粒グライ土(半湿田)	慣行区a	76.5	6.2	1.7
		環境こだわり区b	53.6	3.2	1.4
		削減率% (a-b)/a	29.9	48.4	13.8
精密調査田(H18)	細粒グライ土(半湿田)	慣行区	138.6	11.0	1.9
		環境こだわり区	83.5	5.9	1.4
		削減率	39.8	46.4	27.8
精密調査田(H19)	細粒褐色低地土(乾田)	慣行区	141.7	15.0	3.0
		環境こだわり区	98.1	10.9	1.8
		削減率	30.8	27.3	38.6
削減率3か年平均値(精密調査田)%			33.5	40.7	26.7

調査場所:H17～18 安土町東老蘇、H19 東近江市下羽田

供試品種:「秋の詩」(東老蘇)、「コシヒカリ」(下羽田)

* 流出負荷量＝地表から排水路へ出た排水の負荷量＋地下へ浸透した水の負荷量

表 3-2 環境こだわり農業による負荷削減量の推移

項目	原単位	削減率	環境こだわり農業実施面積				灌漑日	負荷削減量			
			2005	2010	2015	2020		2005	2010	2015	2020
	g/ha/日		ha	ha	ha	ha	日	kg/日	kg/日	kg/日	kg/日
COD	171.8	33.5%	4155	11790	13085	12987	153	101.0	286.6	318.1	315.7
TN	31.1	40.7%	4155	11790	13085	12987	153	22.6	64.2	71.3	70.8
TP	4.32	26.7%	4155	11790	13085	12987	153	2.1	5.9	6.6	6.5

2) 水質保全対策事業

農村振興課提供資料より、農業排水等を浄化する目的で実施されている事業の負荷削減量を表 3-3 に示す。

表 3-3 水質保全対策事業による負荷削減量の推移 (kg/日)

地域	COD				T-N				T-P			
	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020
神上沼 北湖	23.0	23.0	23.0	23.0	8.1	8.1	8.1	8.1				
小中之湖 北湖	162.1	162.1	162.1	162.1	53.4	53.4	53.4	53.4	6.36	6.36	6.36	6.36
川 並 北湖	6.1	6.1	6.1	6.1	1.3	1.3	1.3	1.3	0.10	0.10	0.10	0.10
高 月 北湖		14.3	14.3	14.3		1.7	1.7	1.7		0.09	0.09	0.09
新 旭 北湖	4.1	4.1	4.1	4.1	1.5	1.5	1.5	1.5				
浮 舟 北湖	16.0	16.0	16.0	16.0	2.7	2.7	2.7	2.7	0.36	0.36	0.36	0.36
高月II期 北湖	38.0	38.0	38.0	38.0	1.5	1.5	1.5	1.5	0.08	0.08	0.08	0.08
竜王南部 北湖	4.4	4.4	4.4	4.4	2.1	2.1	2.1	2.1	0.33	0.33	0.33	0.33
赤野井湾(木浜) 南湖	17.7	17.7	17.7	17.7	4.6	4.6	4.6	4.6	0.60	0.60	0.60	0.60
ちはら 北湖		4.5	4.5	4.5		2.7	2.7	2.7		0.52	0.52	0.52
守山南部 南湖			36.4	36.4			8.0	8.0			1.22	1.22
白鳥川中流I期 北湖			14.2	39.9			2.7	6.6			0.90	2.01

3) 流入河川浄化事業

流域政策局提供資料より、浚渫事業等による負荷削減量を表 3-3 に示す。

表 3-4 流入河川浄化事業による負荷削減量の推移 (kg/日)

地域	COD				T-N				T-P			
	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020
木浜内湖 南湖					8.7	11.7	14.4	16.5	0.38	0.56	0.96	1.20
平湖・柳平湖 南湖					10.6	14.3	16.3	16.5	0.40	0.65	0.92	0.95
西の湖 北湖									0.08	0.13	0.16	0.17
赤野井湾流入河川 南湖	14.2	32.2	32.2	32.2	5.2	9.9	9.9	9.9	0.43	0.92	0.92	0.93

4) まとめ

以上をまとめたものを表 3-5 に示す。

表 3-5 負荷削減対策事業による負荷削減量の推移 (kg/日)

項目	COD				T-N				T-P			
	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020	2005	2010	2015	2020
環境こだわり農業	101.0	286.6	318.1	315.7	22.6	64.2	71.3	70.8	2.1	5.9	6.6	6.5
水質保全対策事業	271.4	290.2	340.8	366.5	75.3	79.7	90.5	94.3	7.8	8.4	10.6	11.7
流入河川浄化事業	14.2	32.2	32.2	32.2	24.5	35.9	40.6	42.9	1.3	2.3	3.0	3.2
計	386.6	609.0	691.1	714.4	122.4	179.9	202.4	208.0	11.2	16.6	20.1	21.5

3.2 計算条件

(1) 計算期間

現況再現の対象年度は2020年度（2020年4月1日～2021年3月31日）であるが、将来予測を行うにあたってより長期間のモデルの現況再現性を確認するため、各モデルについて助走計算期間を含め下記の通り3ヶ年の連続計算を行った。

陸域水物質循環モデル：2018年1月1日から2021年3月31日まで

湖内流動モデル：2018年2月1日から2021年3月31日まで

湖内生態系モデル：2018年3月1日から2021年3月31日まで

(2) キャリブレーション

各モデルについて、水質や水量等の観測結果が再現できるようキャリブレーション（モデルパラメータの調整）を行った。具体的には、陸域水物質循環モデルについては、主要河川の流量、水質等を参照した。湖内流動モデルについては、水深別の湖内水温の季節変化および水位等を参照した。湖内生態系モデルについては、湖沼計画における評価が必要となる琵琶湖表層のTOC、TN、TPを中心として、水深別水質（各態CNP、難分解性比率、DO等）の季節変化等についても参照した。

3.3 計算結果

(1) 陸域水物質循環モデル

琵琶湖流入河川のうち流域面積の大きい上位3河川である野洲川（流域面積：383km²）、姉川（流域面積：369km²）、安曇川（流域面積：306km²）（図 3-5）において、2020年度の河川流量と水質を検証した結果を図 3-6～図 3-8 に示す。河川流量、TOC、TN、TP、およびその形態別濃度は、1ヶ月に1回の定期調査については概ね再現されている。過去に実施した降水時を含む検証結果については、p.1-3 に示す参考文献を参照のこと。

計算した結果をもとに、陸域における2018～2020年度の各年の水および物質（TOC、TN、TP）の収支を集計したものを図 3-9～図 3-11 に示す。2019年度は降水量が比較的少なく、他年度に比べて水量および流入負荷量が少なくなっているが、2018年度と2020年度は近い値となった。

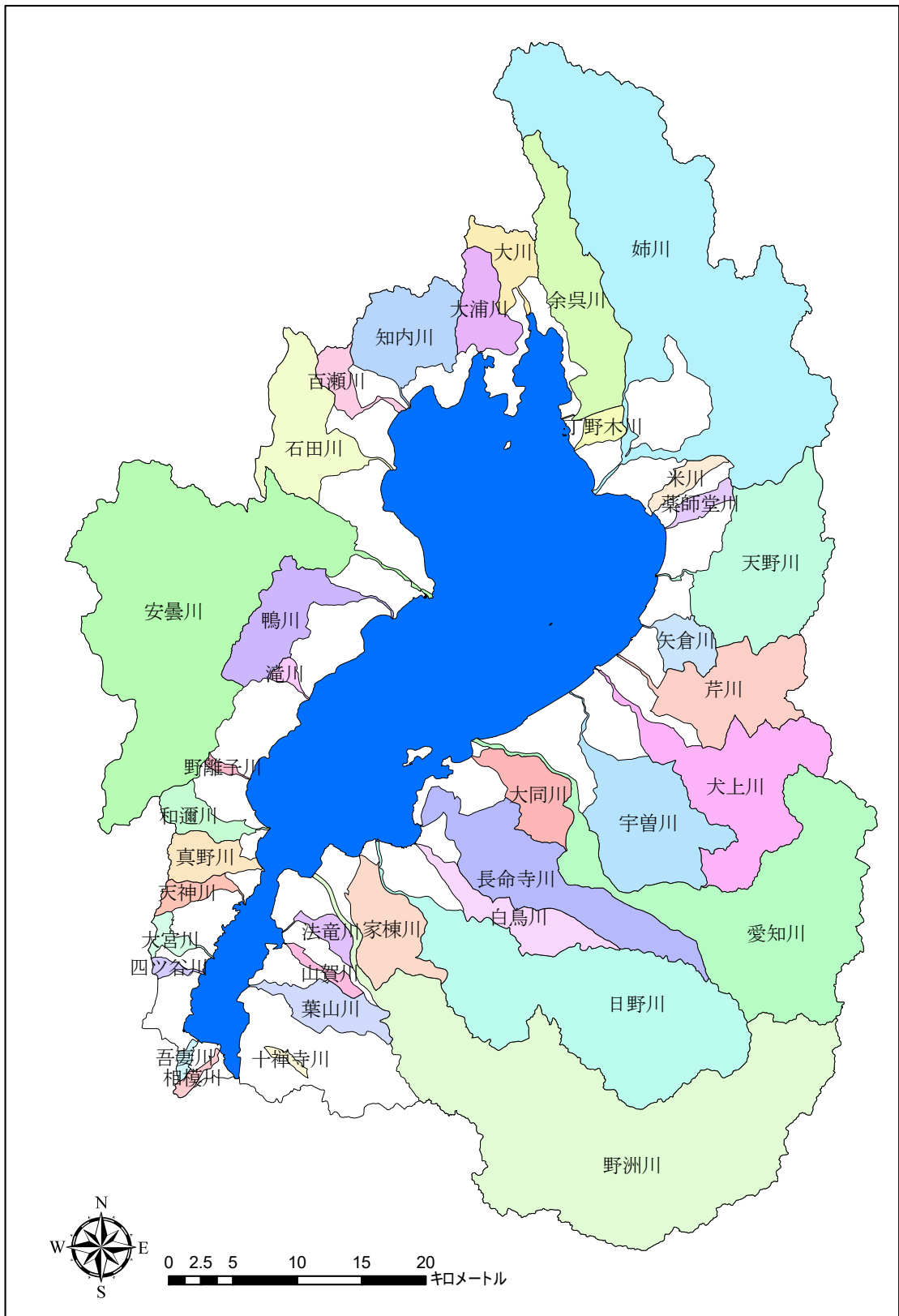


図 3-5 主な流入河川流域

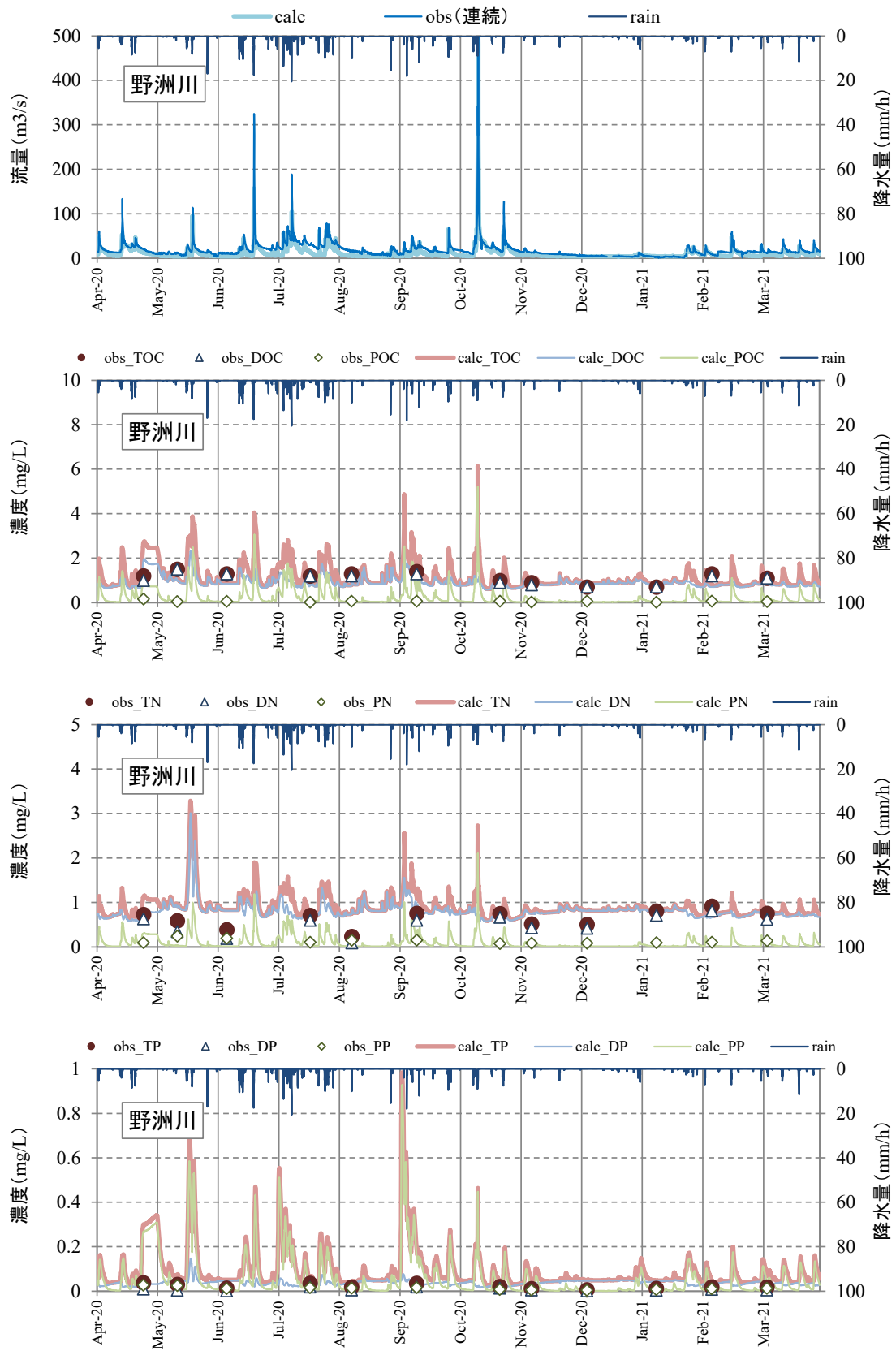


図 3-6 野洲川の流量・水質検証結果 (2020 年度)

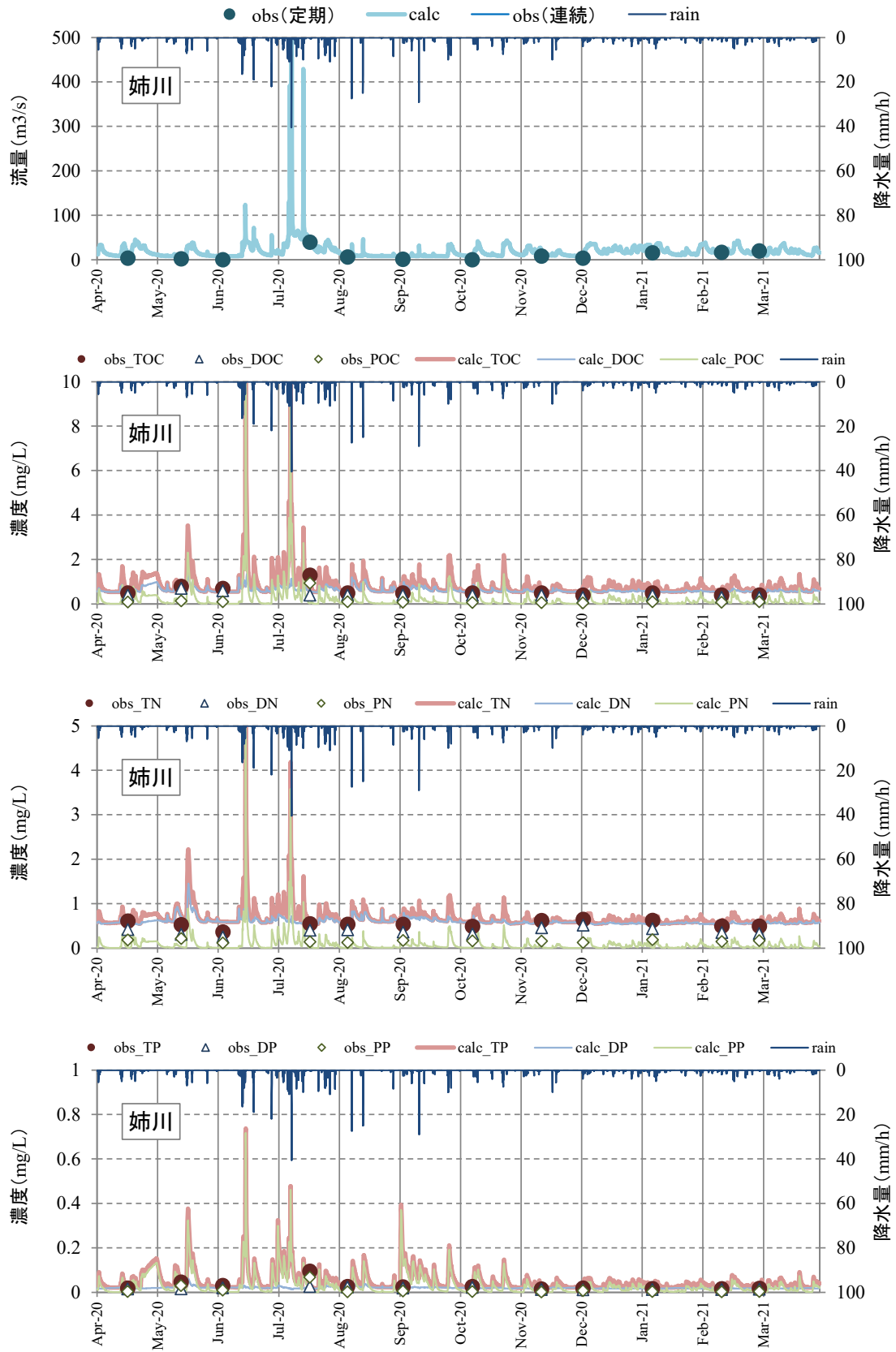


図 3-7 姉川の流量・水質検証結果 (2020 年度)

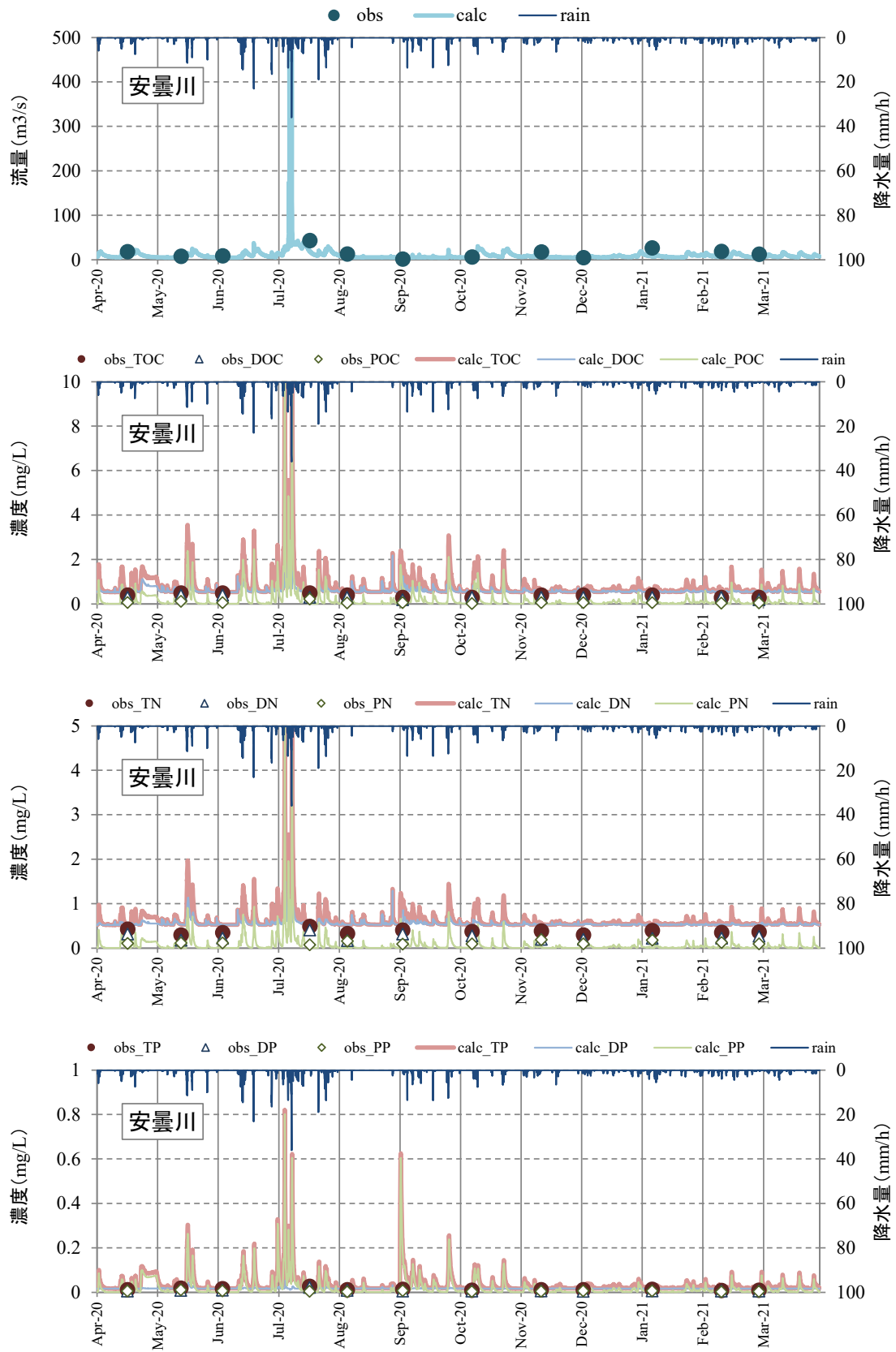
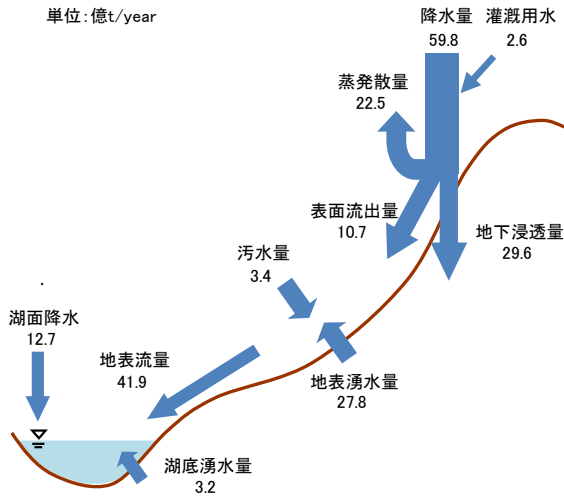
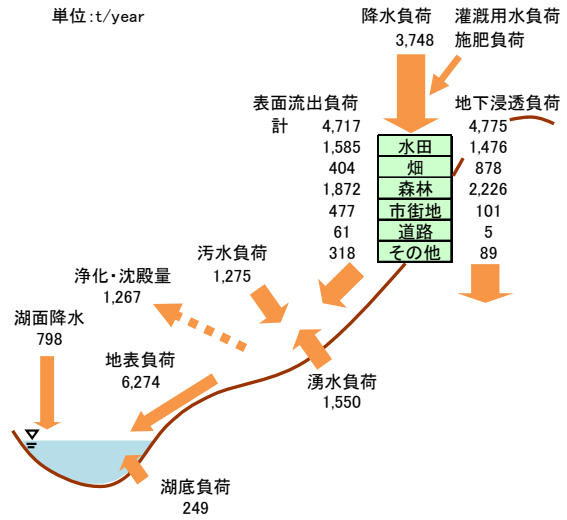


図 3-8 安曇川の流量・水質検証結果 (2020 年度)

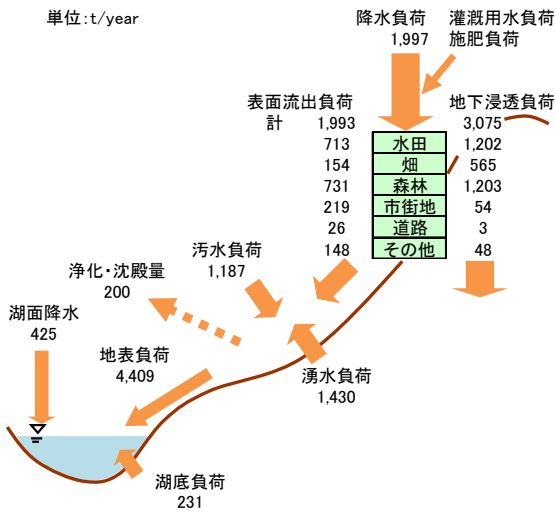
1. 水収支図



2. TOC収支図



3. TN収支図



4. TP収支図

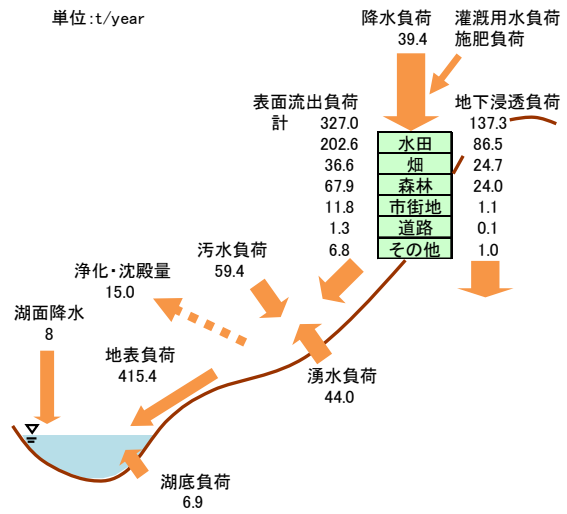
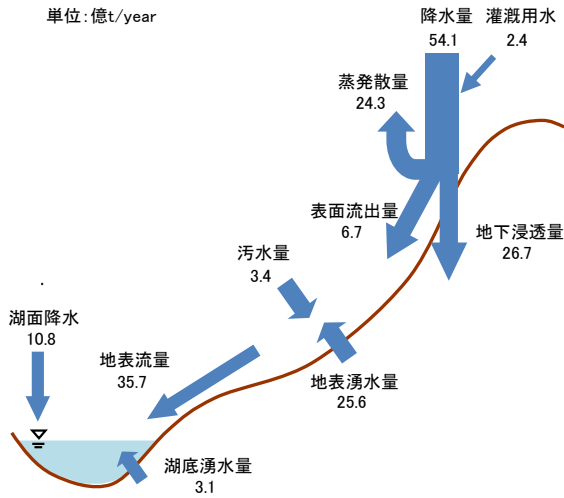
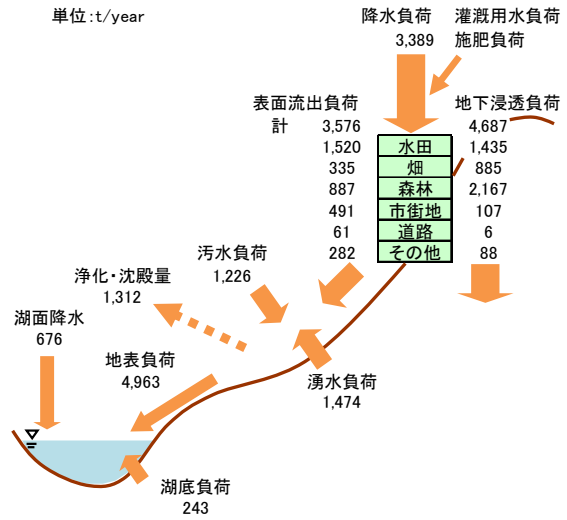


図 3-9 陸域における水・物質収支 (2018 年度)

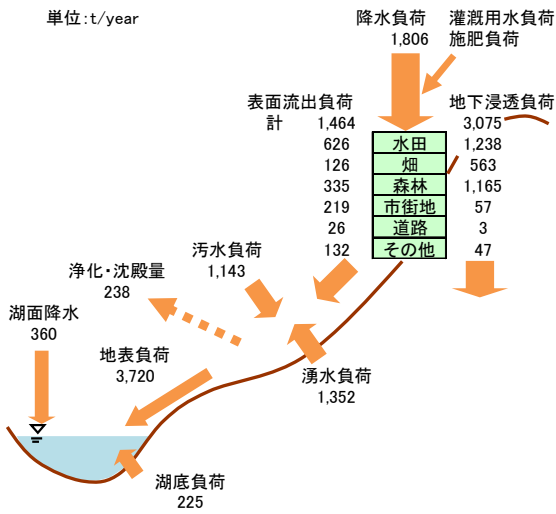
1. 水収支図



2. TOC収支図



3. TN収支図



4. TP収支図

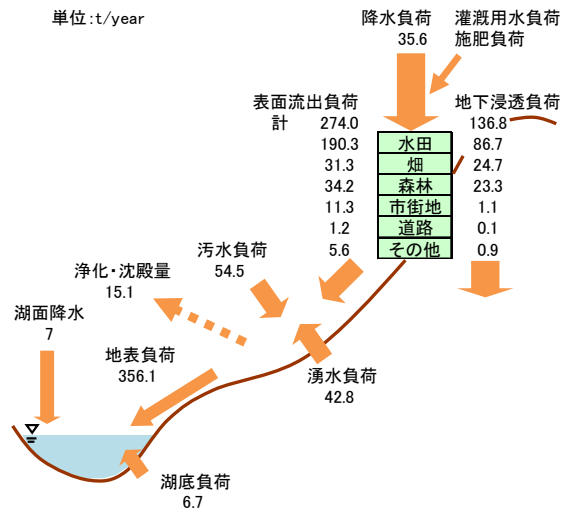
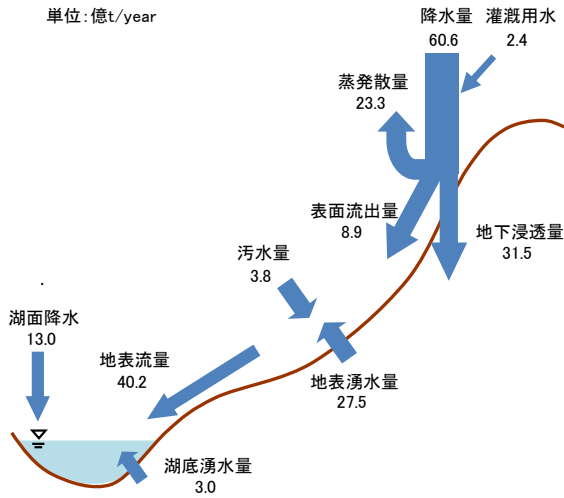
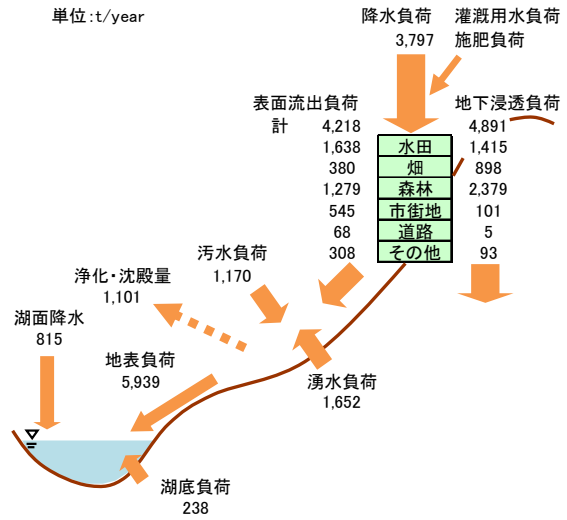


図 3-10 陸域における水・物質収支 (2019 年度)

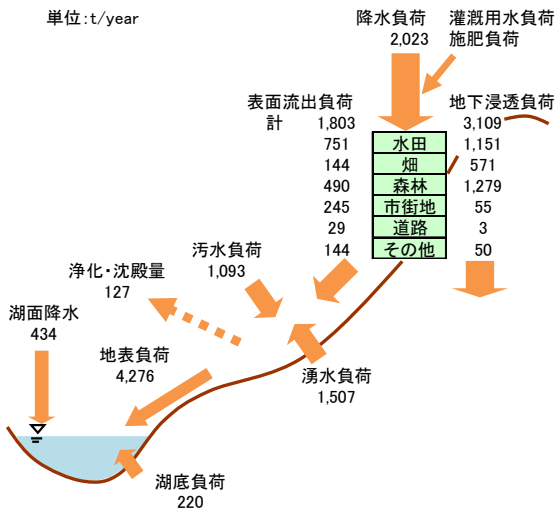
1. 水収支図



2. TOC収支図



3. TN収支図



4. TP収支図

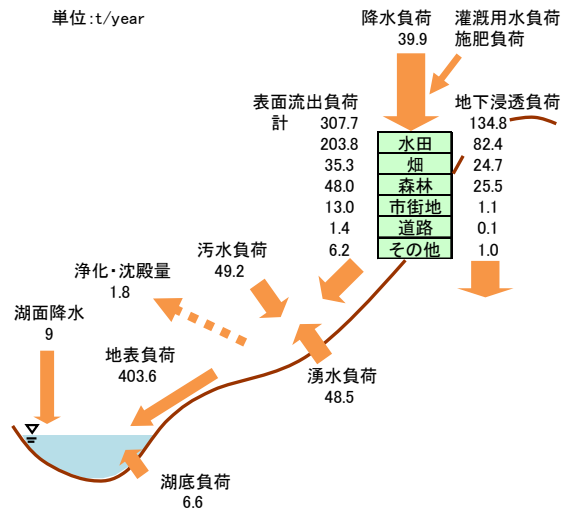


図 3-11 陸域における水・物質収支 (2020 年度)

(2) 湖内流動モデル

今津沖中央（17B）、南比良沖中央（12B）、唐崎沖中央（6B）における2018～2020年度の水深別水温を検証した結果を図 3-12～図 3-14 に示す。モデル計算値は水深別調査で実測された水温の変化をよく再現しており、水温上昇期・下降期においても実測とほぼ同様の変化を示していることが確認できる。

2018年度末、2019年度末は観測史上初めて全層循環が未完了となったが、その再現性を見るために図 3-12 における湖底付近の水温を拡大したものを図 3-15 に示す。2018年度末は第11層以深の計算値で水温が表層と乖離しており、全層循環未完了を再現することができた。2019年度末は計算値では水深別水温に乖離が見られなかったが、17B においては観測値でも2020年3月の水深5mと湖底1mとの水温差はわずか0.1℃であり、水温の観点からはほぼ全層循環完了に近いものであったといえる。したがって水温の再現性という点では十分な精度を有していると考えられた。

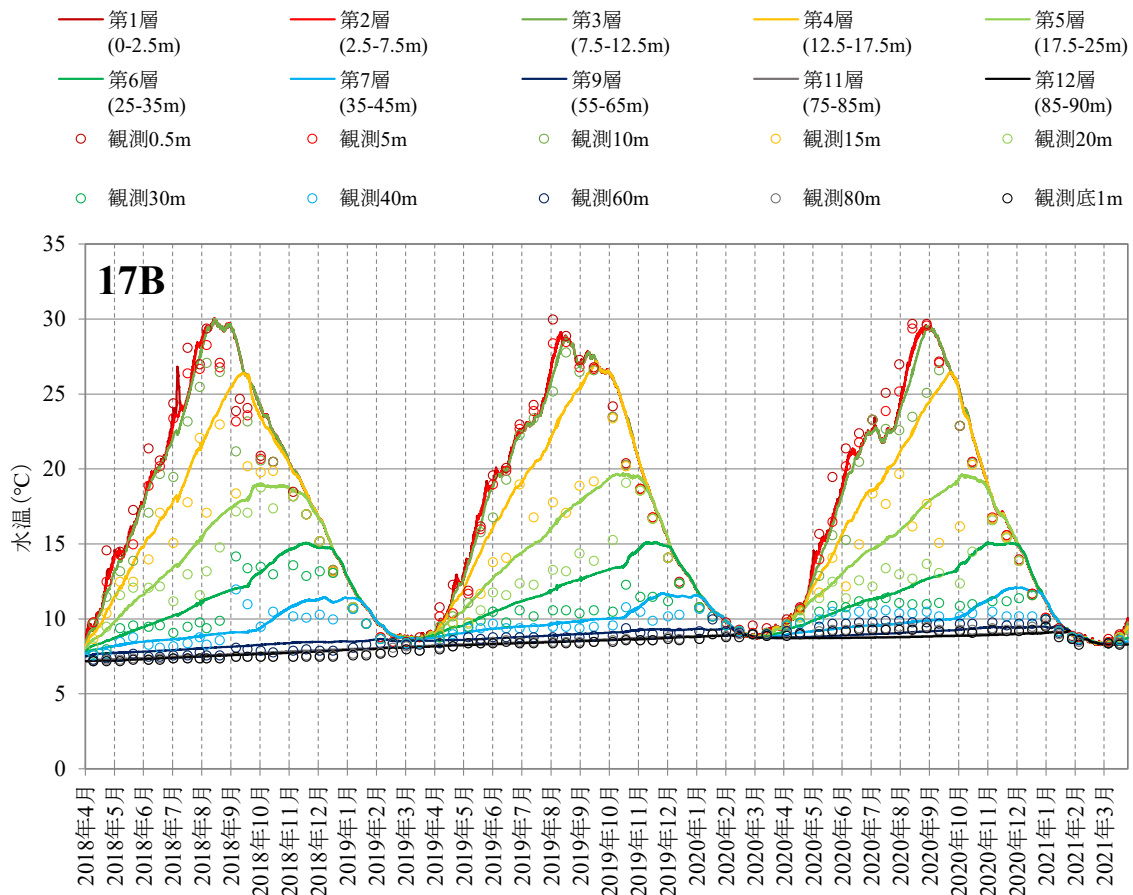


図 3-12 今津沖中央（17B）における水温検証結果

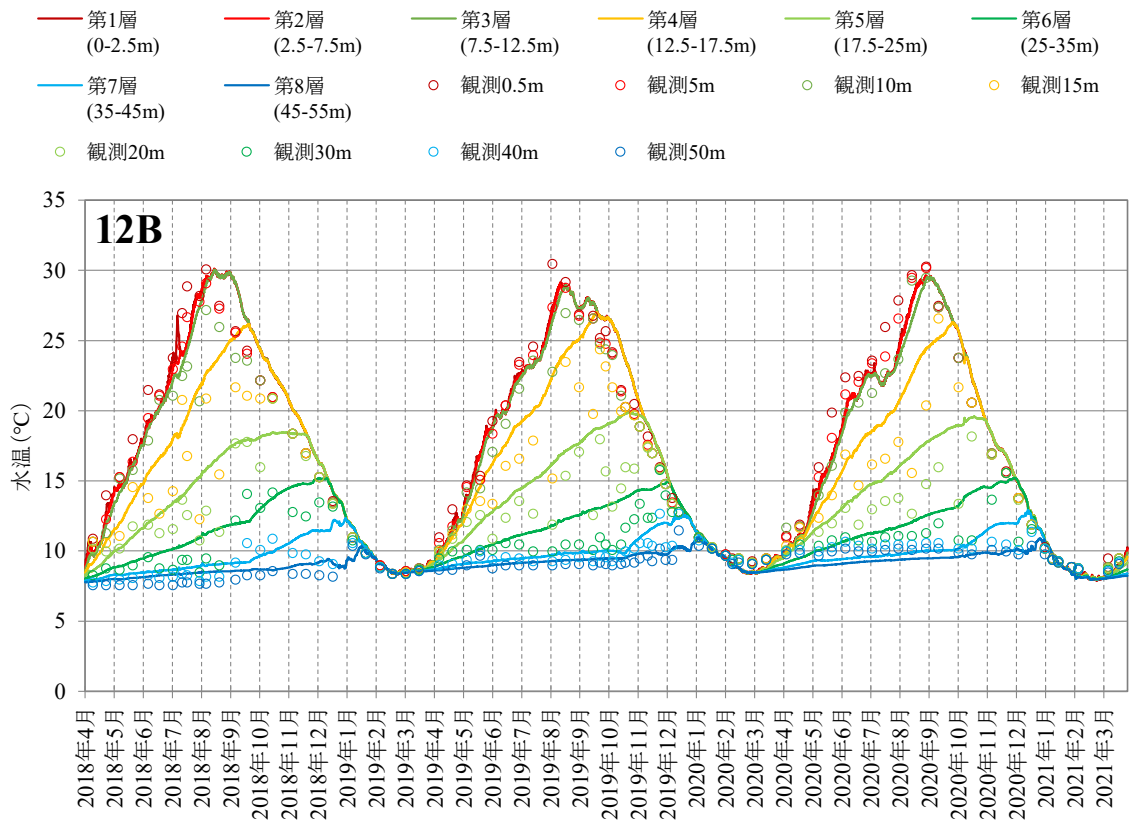


図 3-13 南比良沖中央 (12B) における水温検証結果

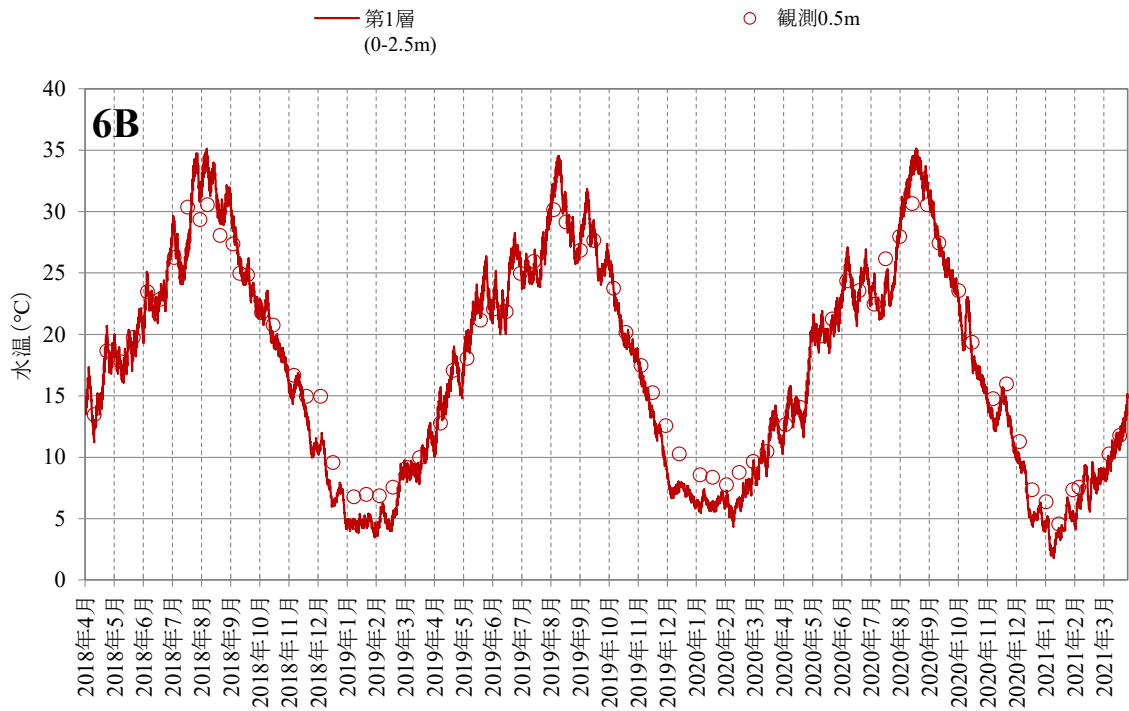


図 3-14 唐崎沖中央 (6B) における水温検証結果

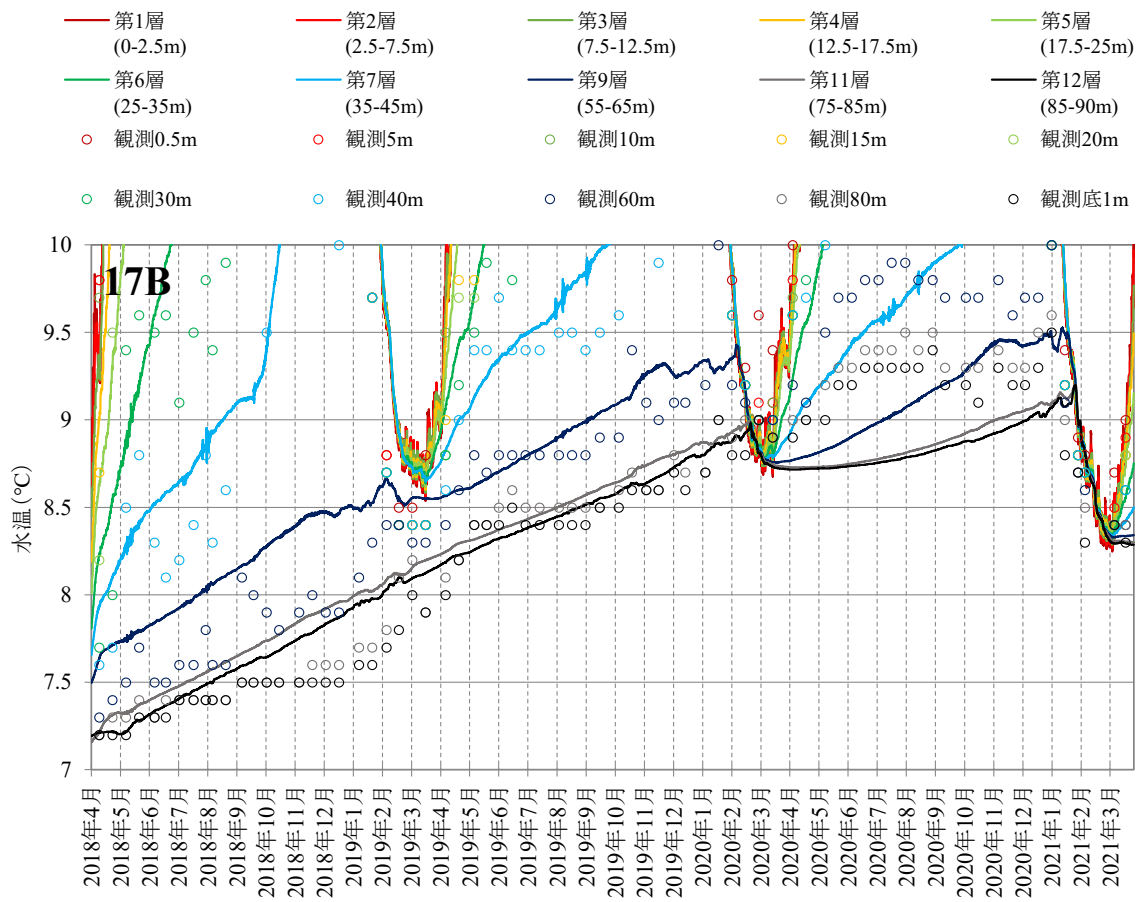


図 3-15 今津沖中央 (17B) の湖底付近の水温

2018～2020年度の水位変動について検証した結果を図 3-16 に示す。降水時を含む季節変動を十分に再現できており、陸域からの流入水量や湖面蒸発量が精度よく再現できていると考えられる。

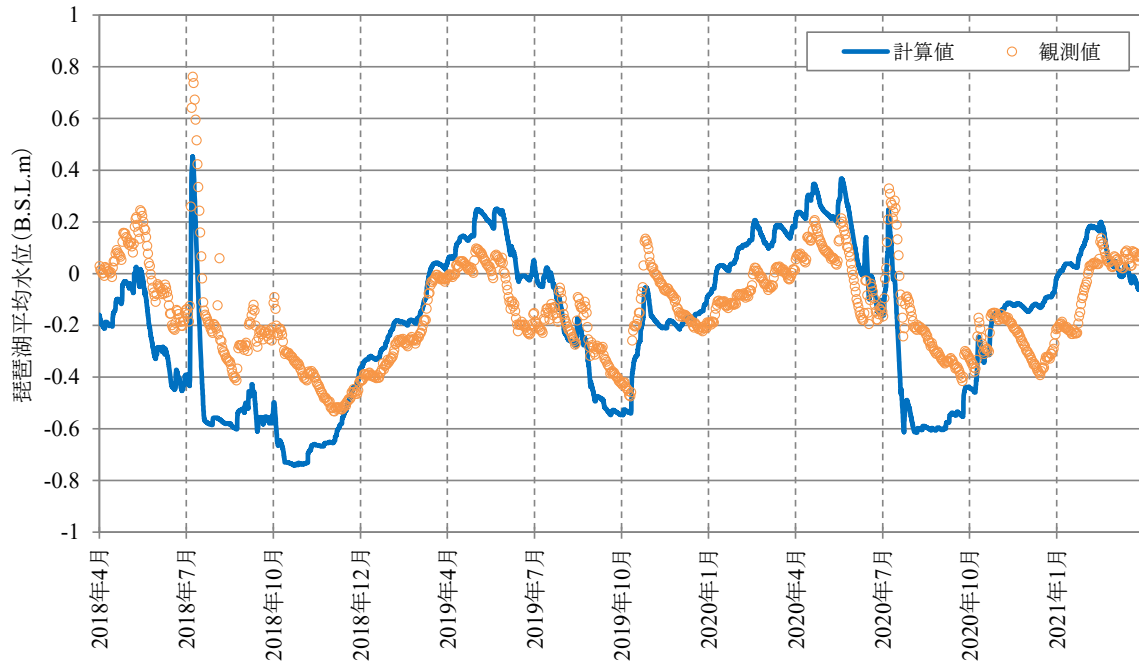


図 3-16 琵琶湖水位の検証結果

(3) 湖内生態系モデル

TOC・TN・TP について、各観測地点の観測値と計算値の年間平均値を示した結果を図 3-17 に示す（計算については、観測のあった日時における値を利用している）。なお TOC については、滋賀県とそれ以外（国土交通省、水資源機構）で測定方法が異なるため、POC と DOC を別々に測定している滋賀県の観測データのみを検証対象とした。北湖では沿岸、湖央や地点ごとの濃度のばらつきが概ね再現され、分布型モデルを用いることで陸域流入負荷を河川ごとに予測した利点を十分に反映した結果となった。一方で、南湖では北湖に比べて濃度が高い傾向は再現できたものの、TP ではいずれの地点でも計算値が観測値よりも低くなる傾向が見られた。また、有機物についてはいくつかの地点、時期において、2020 年度に生分解試験を実施し、難分解性比率（RTOC/TOC）を算出したので、その検証結果について示す予定。

次に、湖内生態系モデルの予測結果の時系列的な評価を行う。今津沖中央（17B）、南比良沖中央（12B）、唐崎沖中央（6B）における水質の観測値と計算値の時系列変化を比較したものがそれぞれ図 3-18～図 3-20 である。TOC については北湖で春期～夏期の濃度上昇と冬期の下降が概ね再現できた。TN については夏期に減少し、冬期に回復する傾向を再現できた。TP については観測では顕著な季節変化は見られないが、計算では循環期に濃度が上昇する傾向が見られた。

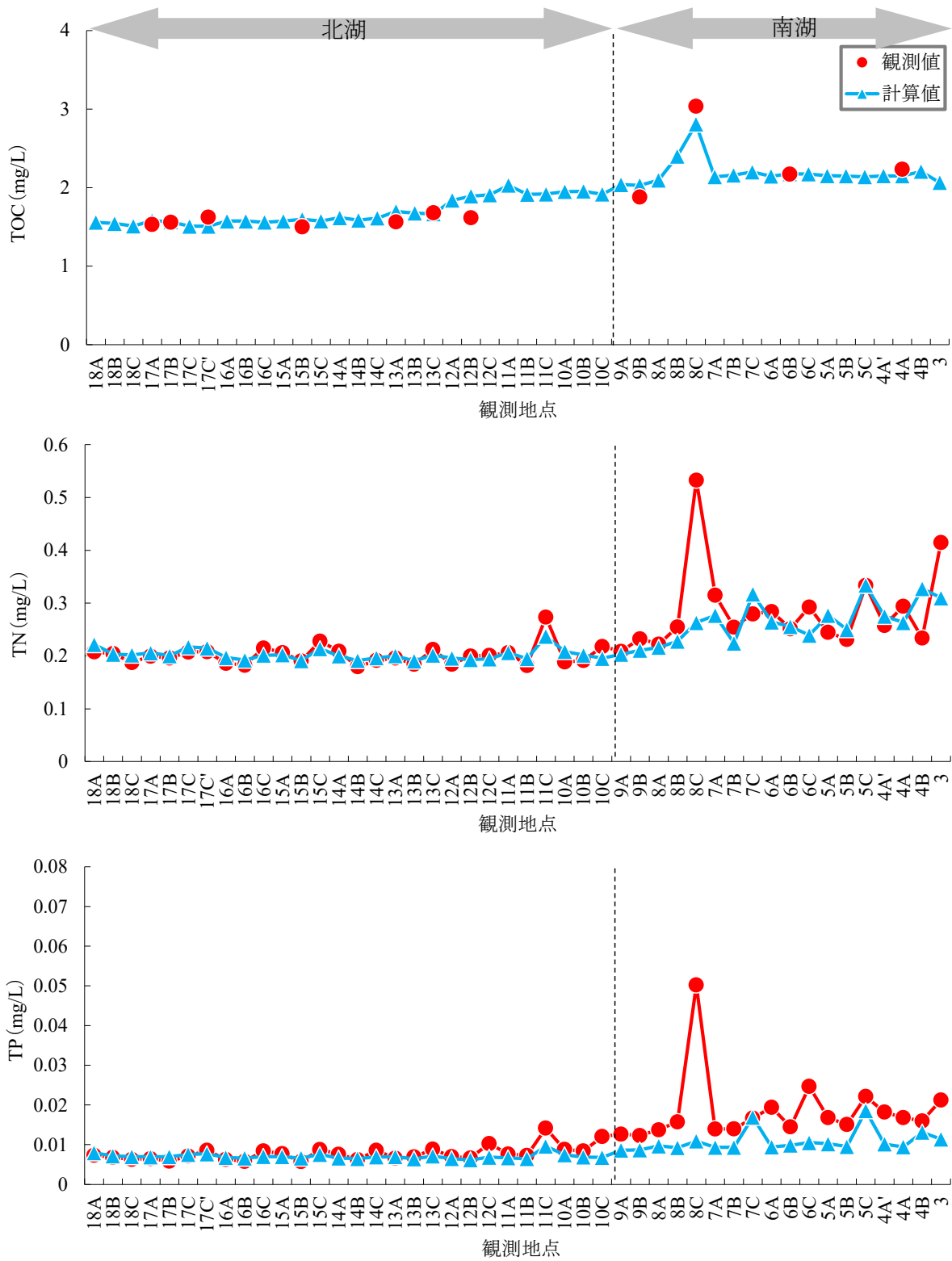


図 3-17 各観測地点における水質年平均値（2018～2020 年度）の検証結果

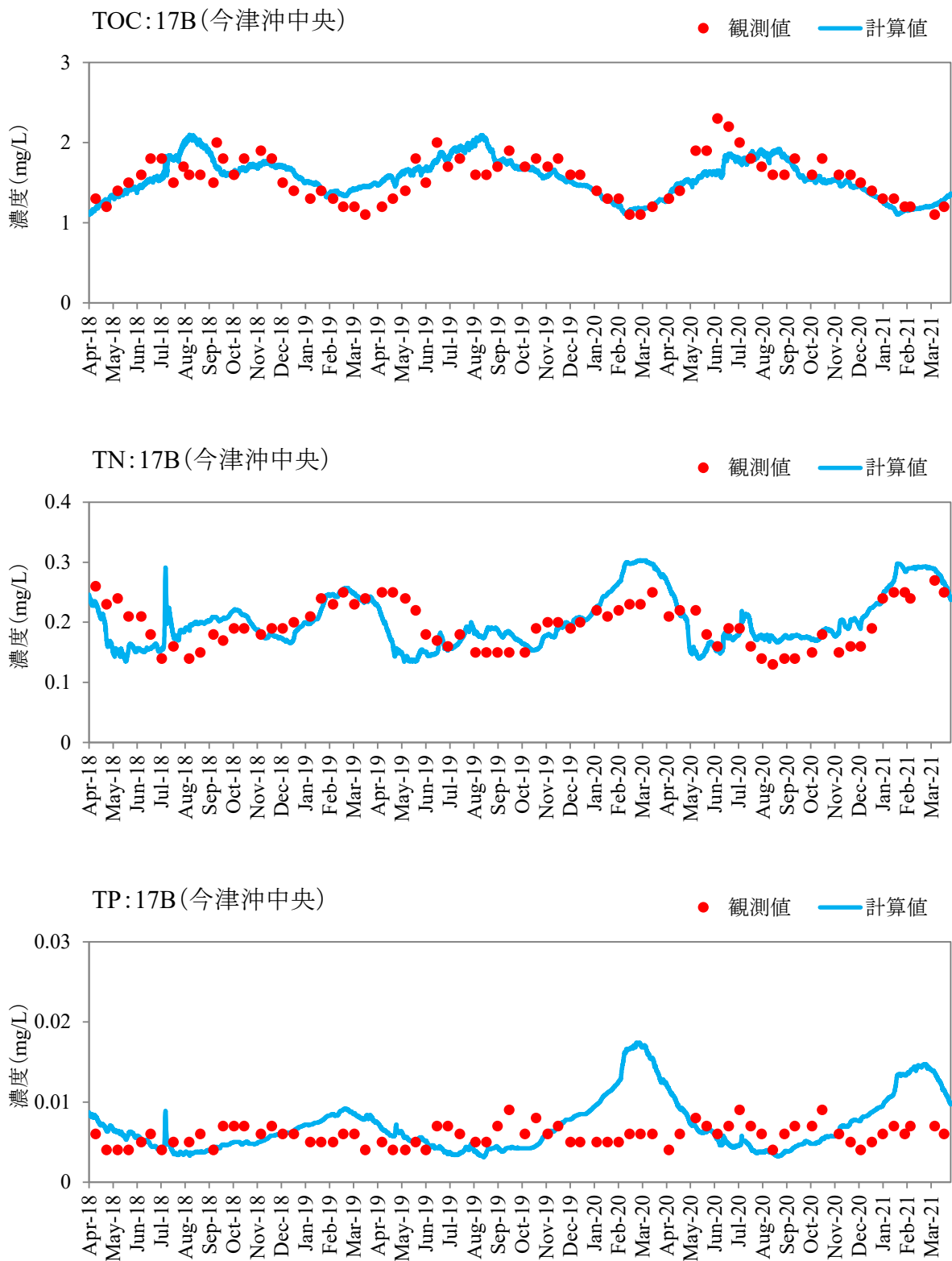


図 3-18 今津沖中央 (17B) における水質の時系列変化の検証結果

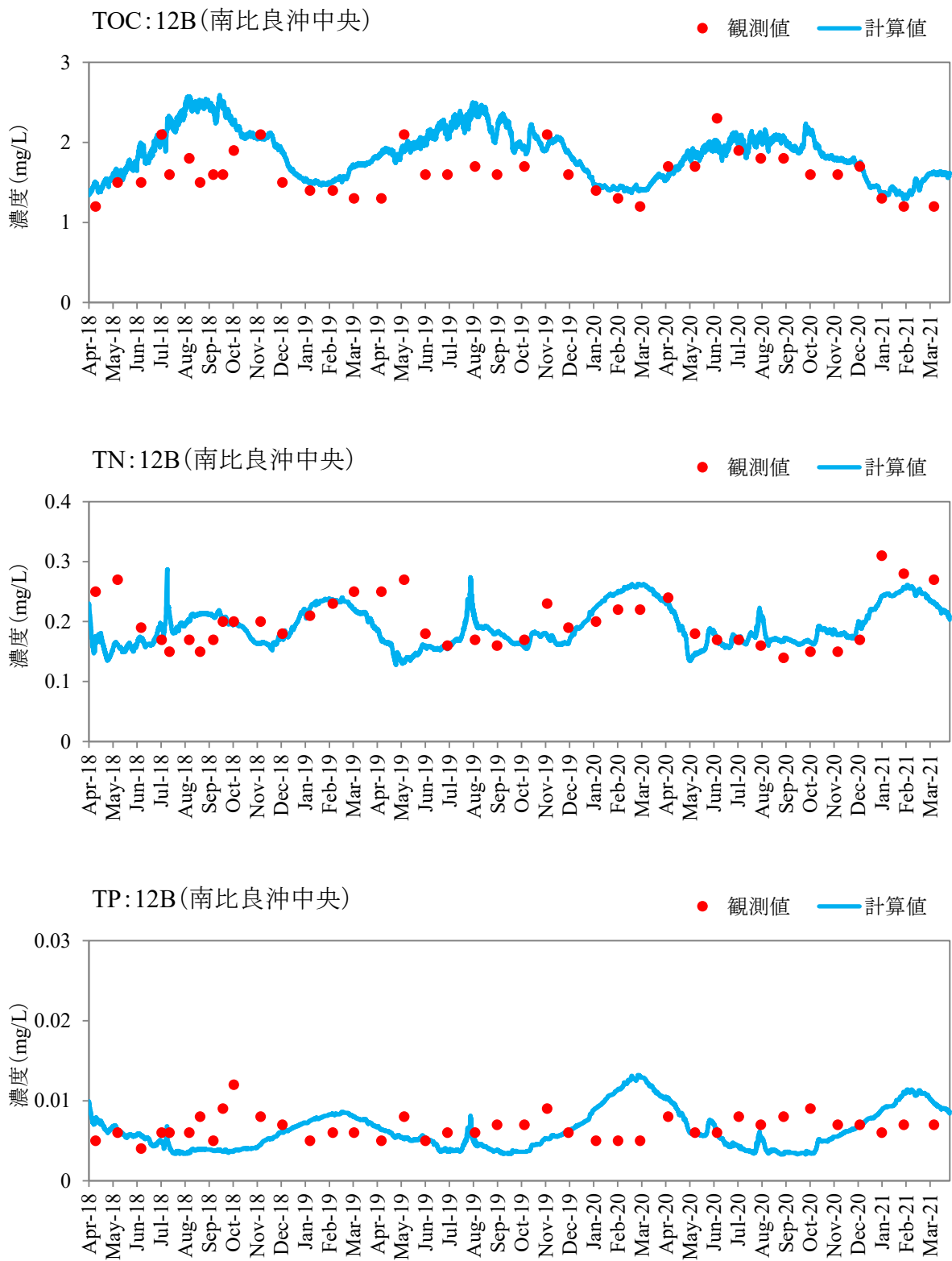


図 3-19 南比良沖中央 (12B) における水質の時系列変化の検証結果

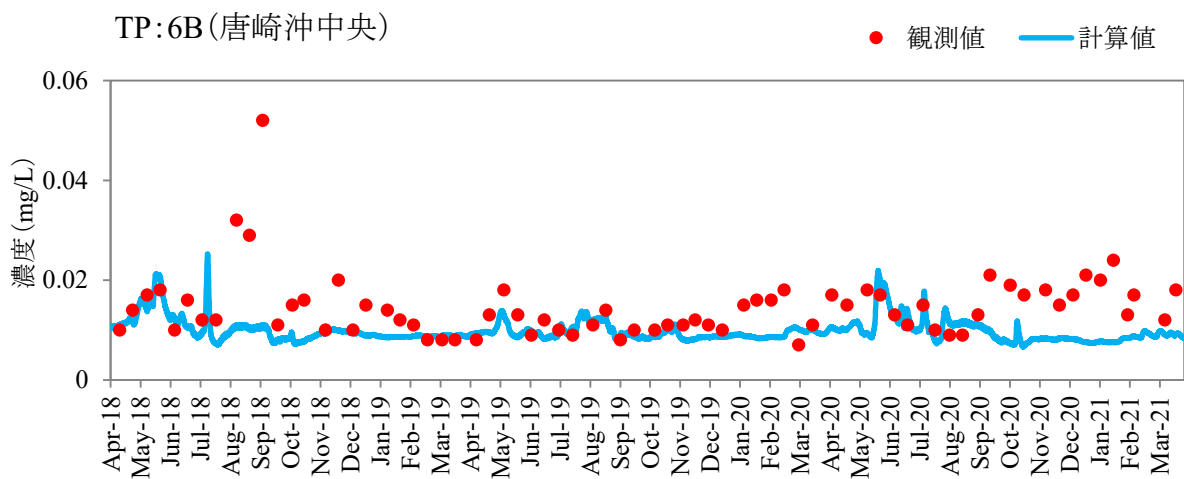
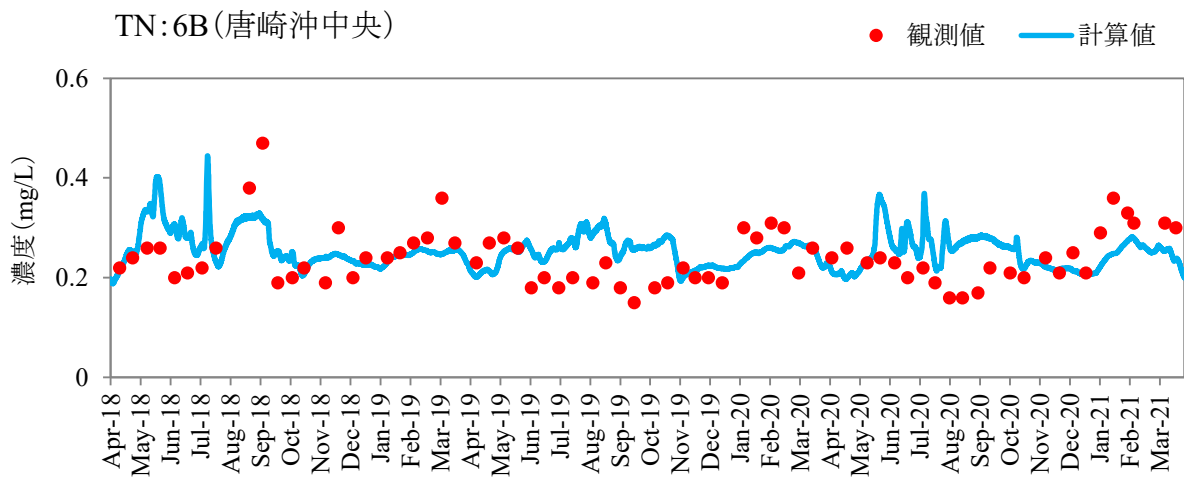
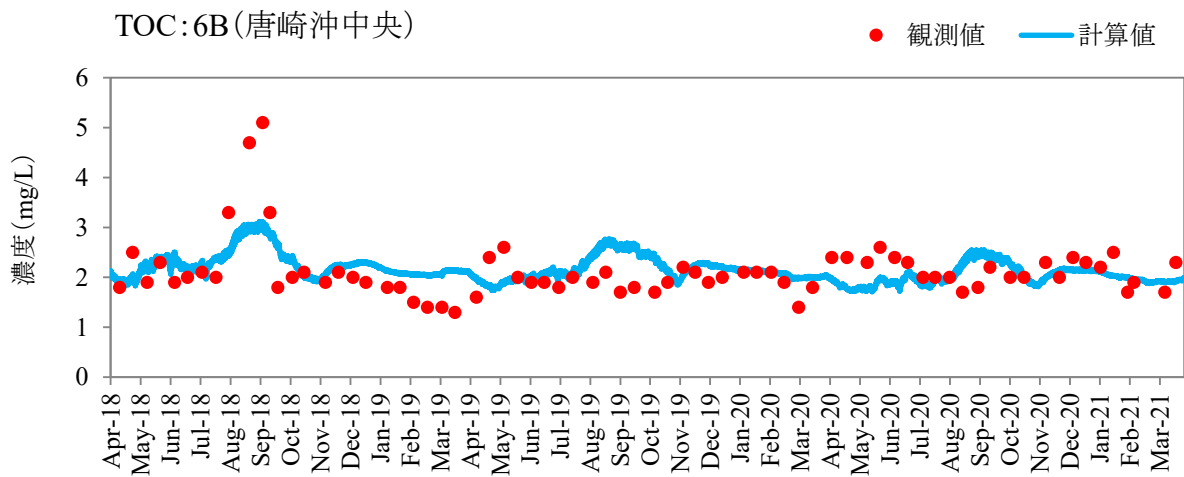


図 3-20 唐崎沖中央 (6B) における水質の時系列変化の検証結果

今津沖中央 (17B) の水深別水質の検証結果を図 3-21～図 3-26 に示す。炭素については、湖底 POC で計算値がやや過大となっているが、春季～夏季における表層 POC の上昇は植物プランクトンの現存量の増加を十分に再現できていると考えられる。窒素については春季～秋季にかけて植物プランクトンの吸収および沈降により表層から溶存態窒素の枯渇が見られるが、こうした現象が忠実に再現されている。リンについては表層と湖底付近の濃度レベルの違いを十分に再現できているが、前述したように計算値では全層循環時に表層リン濃度が上昇する傾向が見られており、深水層から回帰したものであると考えられるため、深水層のリンを過大に評価している可能性がある。

続いて水深別 DO の検証結果を図 3-27 に示す。2018 年度末は全層循環未完了により底層 DO も回復せず、2019 年度は低い濃度レベルで推移することが再現できている。一方で 2019 年度末は 2018 年度末よりも表層と湖底の水温差が小さかったため DO もほぼ回復しているが、回復後の濃度レベルが観測よりも高く、またその後の減少速度が観測よりも遅いため、底層 DO の枯渇を再現することができなかった。湖底における酸素消費速度の違いや風による攪乱の影響なども含め、今後検証が必要である。

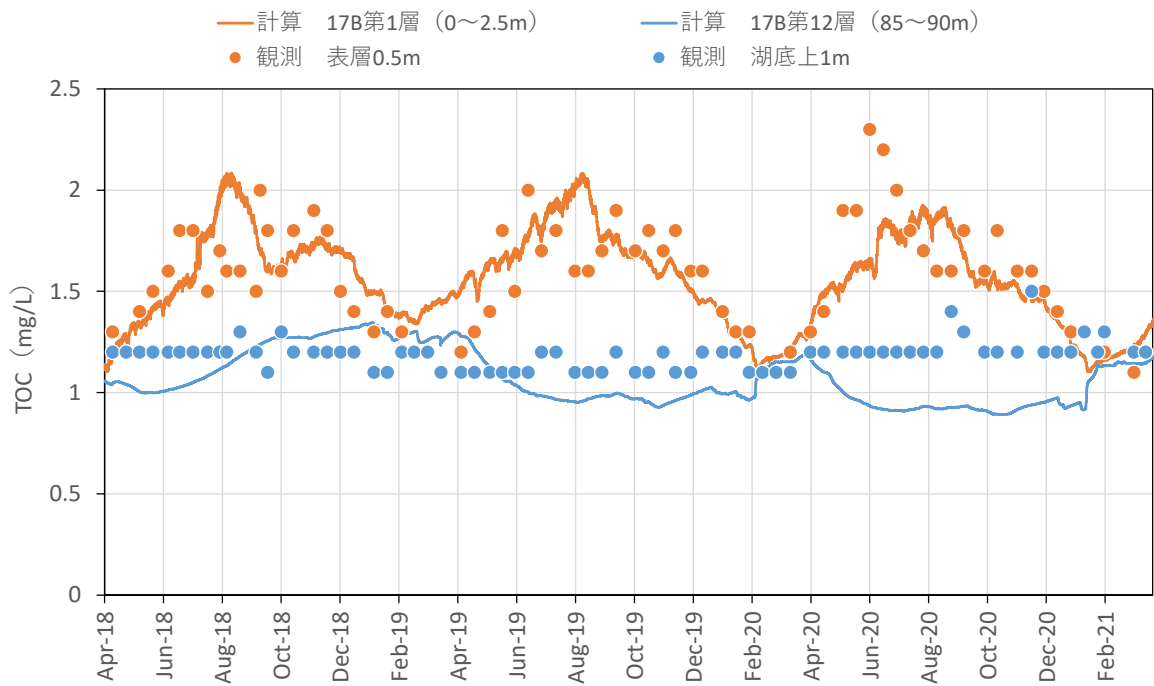


図 3-21 今津沖中央 (17B) における水深別水質の検証結果 (TOC)

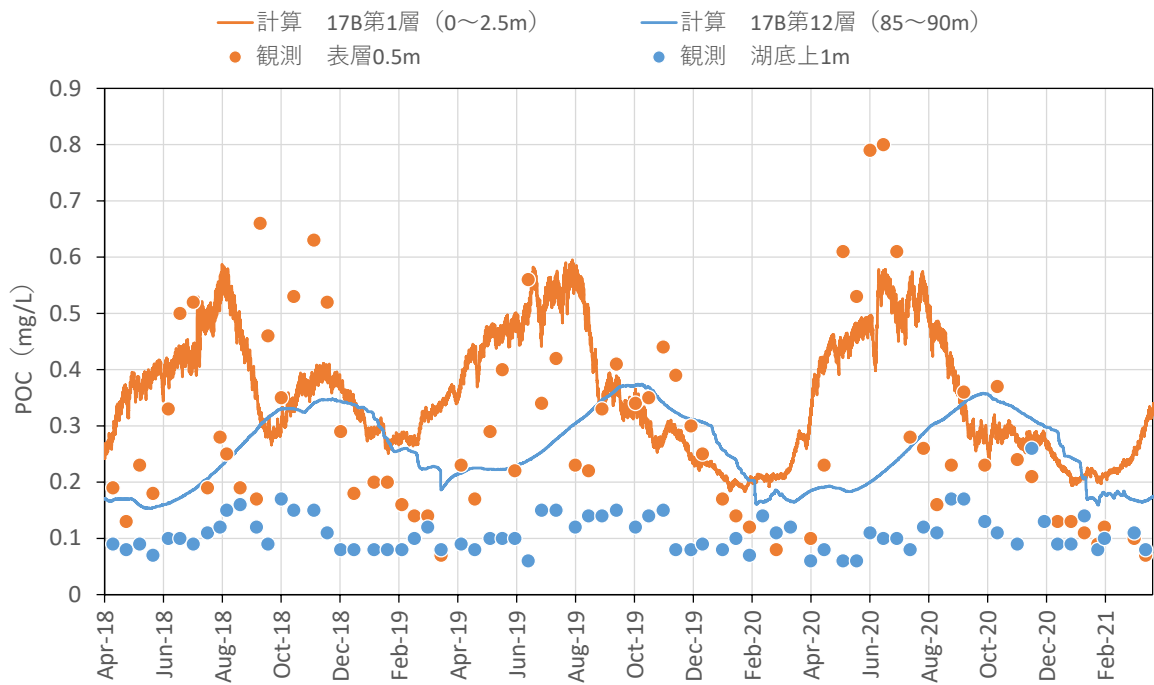


図 3-22 今津沖中央 (17B) における水深別水質の検証結果 (POC)

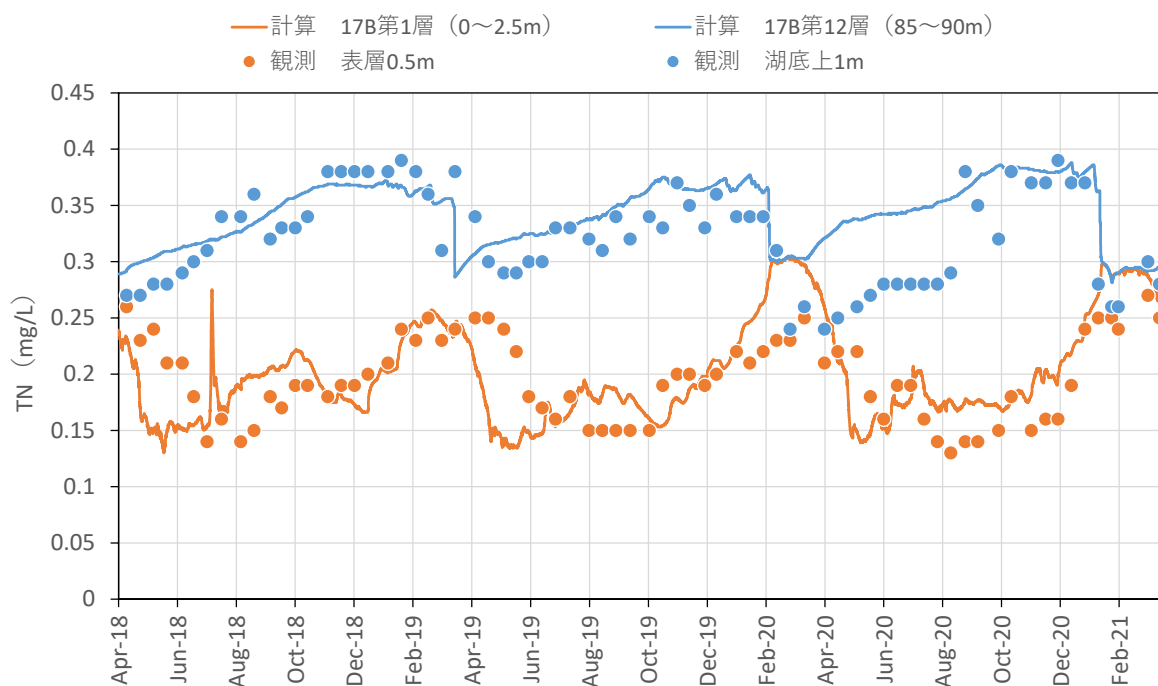


図 3-23 今津沖中央 (17B) における水深別水質の検証結果 (TN)

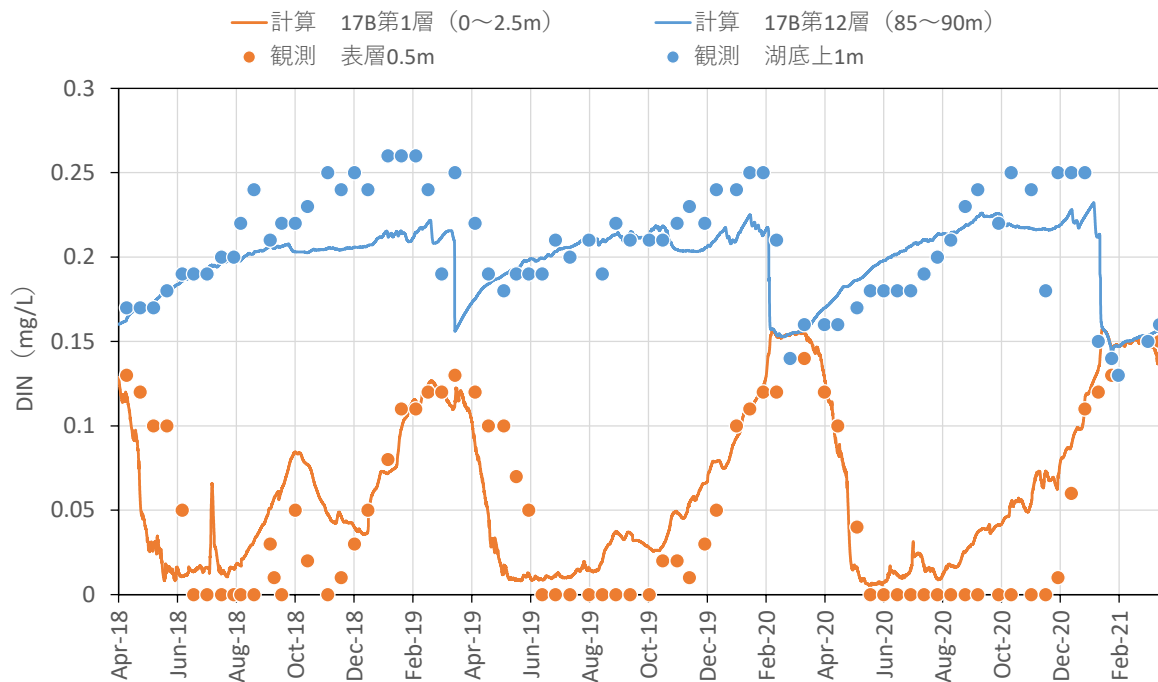


図 3-24 今津沖中央 (17B) における水深別水質の検証結果 (DIN)

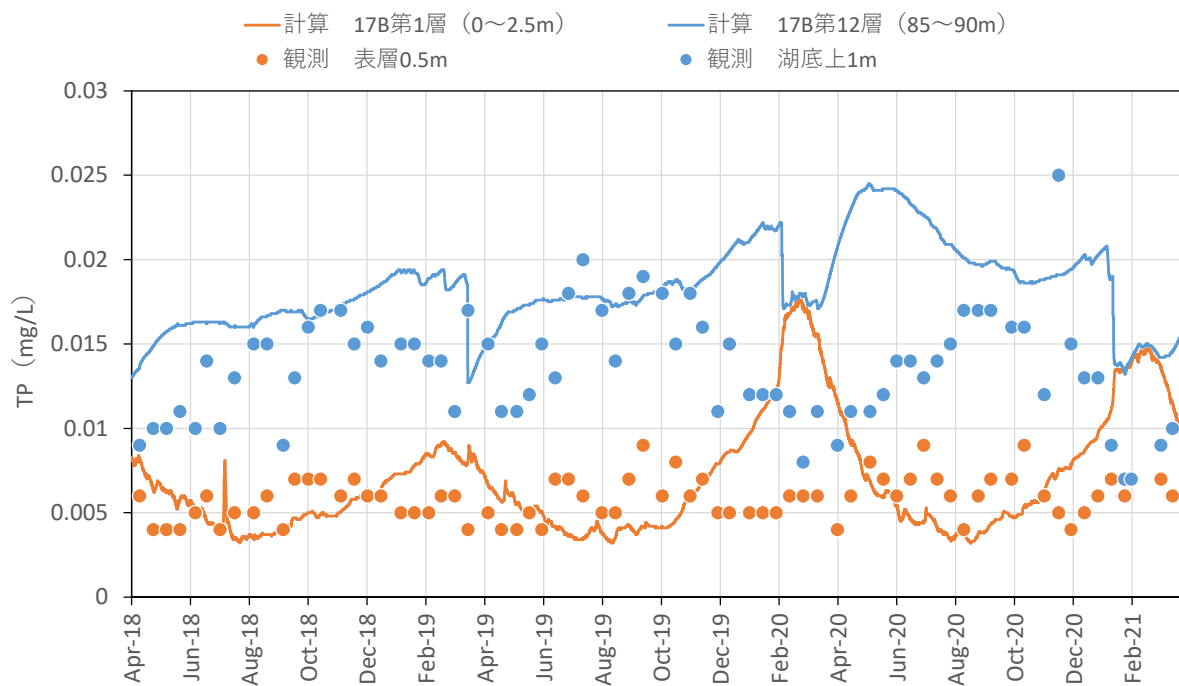


図 3-25 今津沖中央 (17B) における水深別水質の検証結果 (TP)

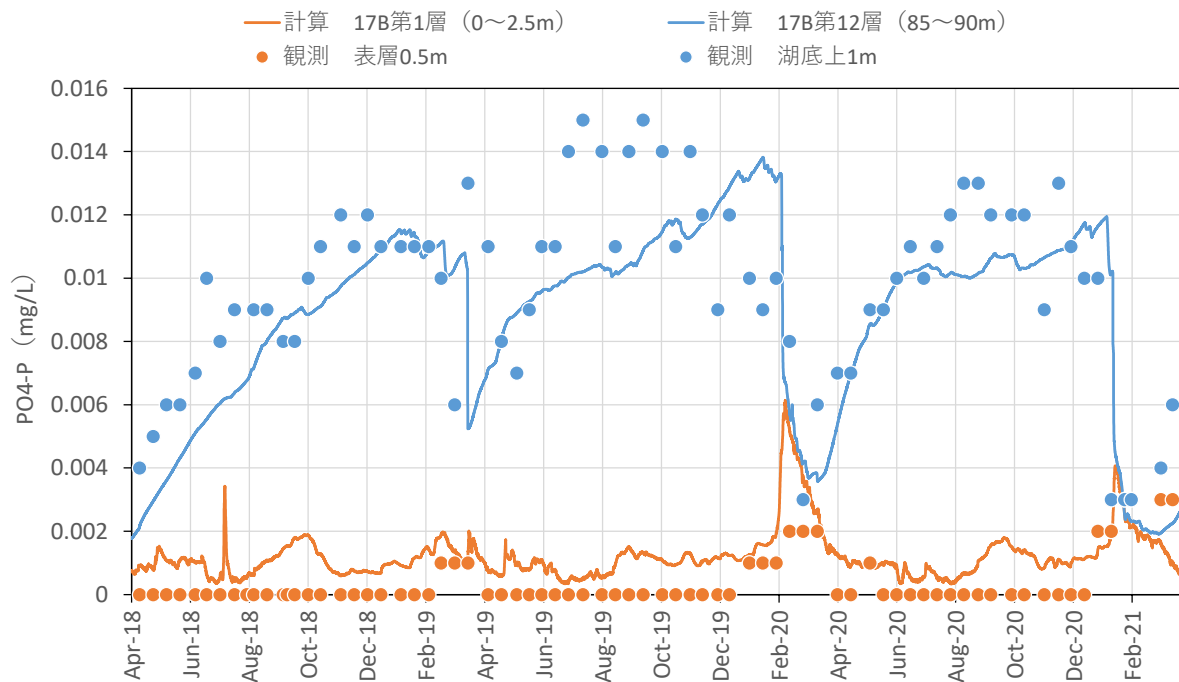


図 3-26 今津沖中央 (17B) における水深別水質の検証結果 (PO₄-P)

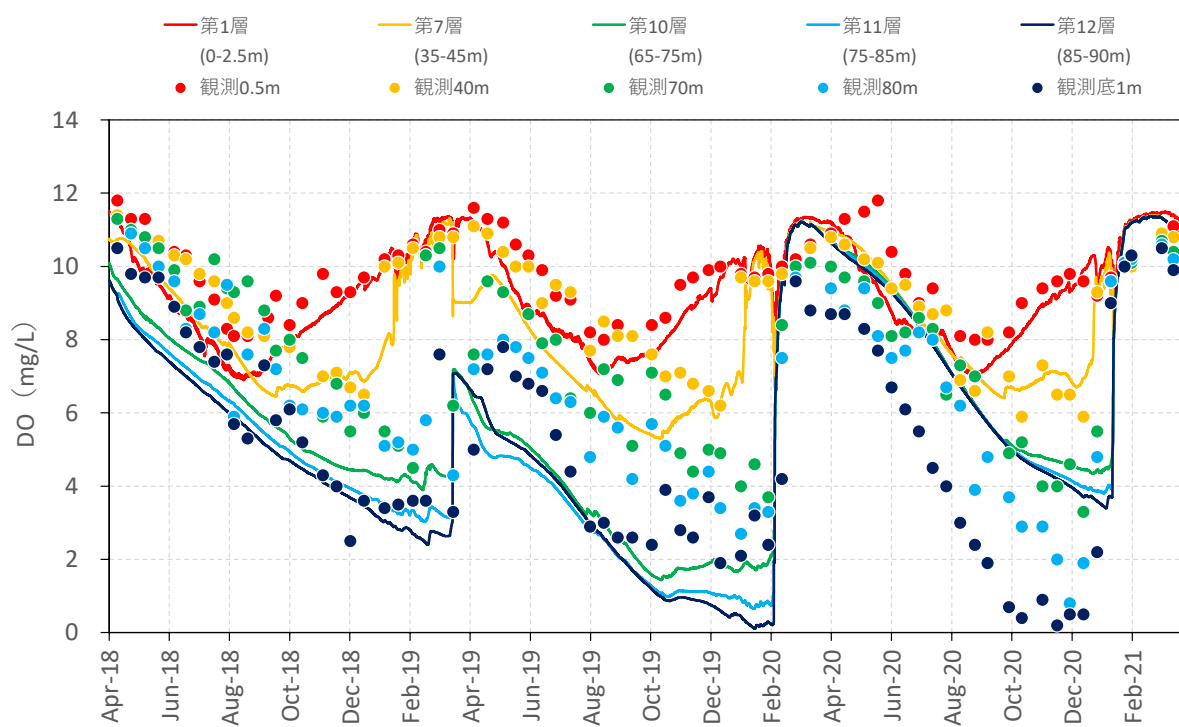
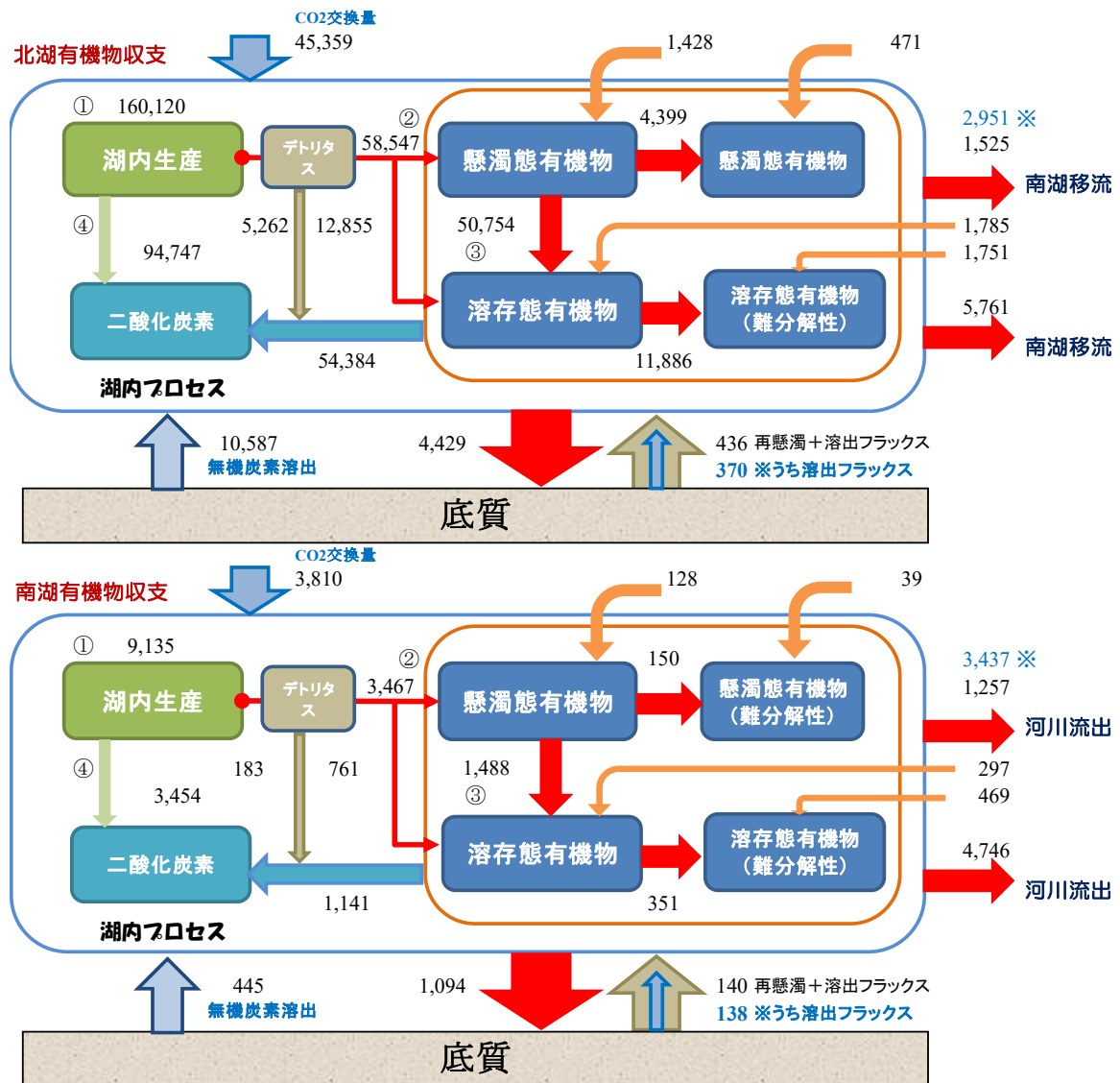


図 3-27 今津沖中央 (17B) における水深別水質の検証結果 (DO)

本モデルにより 2018～2020 年度における湖内の有機物収支の概要を描いたものが図 3-28、また食物連鎖を通じた有機物収支について描いたものが図 3-29 である（いずれも年平均値）。湖内で植物プランクトンにより一次生産される有機物（総生産量）は年間 17 万トン程度であり、陸域から流入する TOC が 5,000～6,000 トンであったことと比較すれば非常に大きな値であることが分かる。北湖の一次生産量は単位換算すると $0.71\text{gC m}^{-2}\text{日}^{-1}$ であるが、2000 年代以降の観測では $0.466\sim 1.106\text{gC m}^{-2}\text{日}^{-1}$ といった値が報告されており、再現結果はリーズナブルである。また一次生産量の 1 割程度が動物プランクトンに同化（＝生産－排泄）されており、転換効率が一般に 1 割程度とされていることとも矛盾はない。濃度のみならず移流量についても本モデルで概ね再現できていると考えられる。



単位:トン/年

※は生態系のコンパートメントで移流する量を示す。

図 3-28 湖内有機物収支の概要 (2018～2020 年度平均)

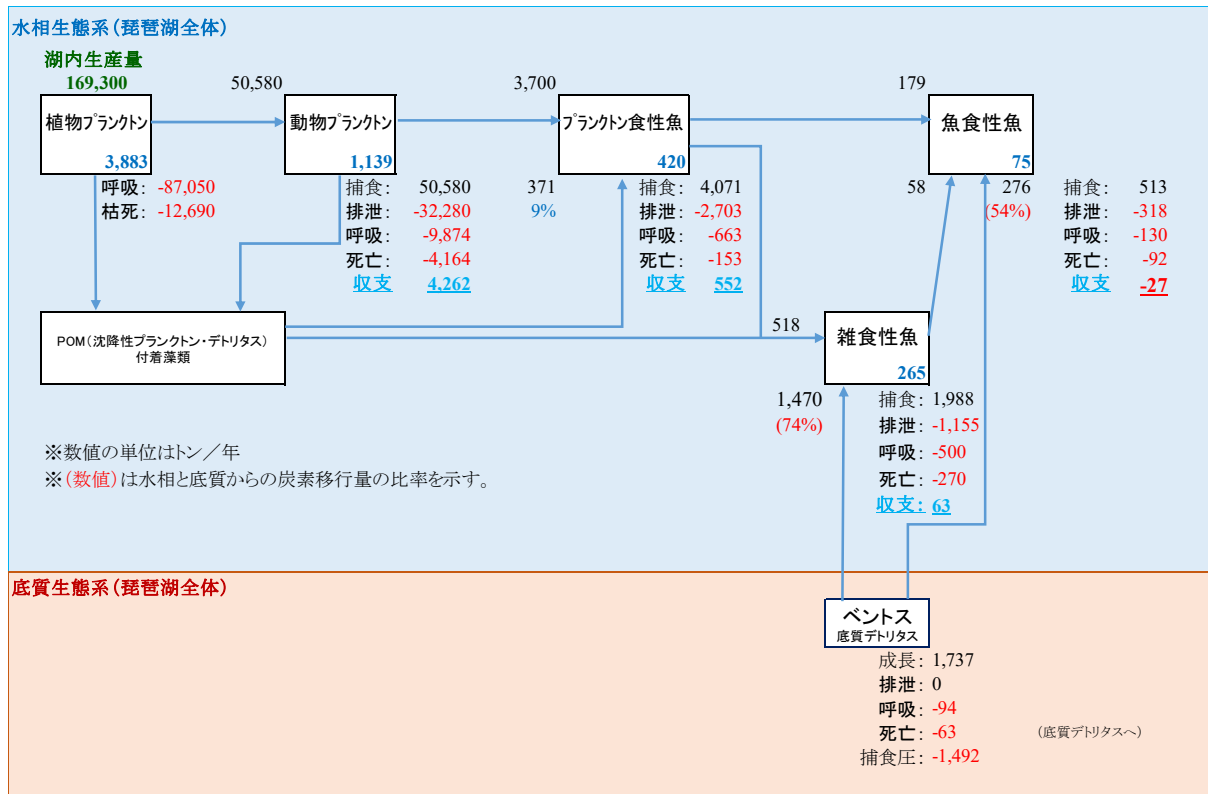


図 3-29 食物連鎖を通じた有機物収支 (2018~2020 年度平均)

4. 将来予測シミュレーション(2025 年度)

4.1 データ整備の方法

今後 2025 年度までに追加的対策を実施した場合（対策あり）、追加的対策を実施しなかった場合（対策なし）の 2 つのシナリオについて、各種フレーム値を表 4-1 のように設定した。以下、その詳細について述べる。

表 4-1 対策あり・対策なしにおけるフレーム値の設定

項目	対策あり	対策なし
処理場系	各処理場の処理区域内の処理人口変化に応じて排水量を変化させる。流域下水道については、処理施設の改善に伴う水質改善の影響を考慮する。	各処理場の処理区域内の処理人口変化に応じて排水量を変化させる。
生活系	2025年度までの整備計画から市町別処理形態別人口を設定する。下水道接続率の向上を考慮する。	集落の人口が増加する場合には人口の増加分を合併浄化槽でまかない、減少する場合には処理形態ごとの人口比率を2020年度と同等として人口を減少させる。
産業系	2020年度と同等とする。	対策ありと同様
面源系	2015～2020年度における土地利用の変化率から2025年度の土地利用を設定する。	対策ありと同様
負荷削減対策	2020年度の負荷削減対策から、2025年度までに実施される環境こだわり農業、流入河川浄化事業に伴う負荷削減量を追加する。	2020年度と同等とする。

(1) 処理場系

1) 流域下水道

【排水量】

- ① 各処理場がカバーする処理区域をメッシュごとに設定する。
- ② 2020 年度および 2025 年度（対策あり・対策なし）のメッシュ別・処理形態別人口データ（作成方法は（2）で詳述）から、2020 年度、2025 年度（対策あり・対策なし）のそれぞれについて、各処理場の処理区域内メッシュの処理人口を合計する。
- ③ 2020 年度から 2025 年度（対策あり・対策なし）にかけての処理人口の変化比率を 2020 年度の排水量にかけて、2025 年度の各処理場の排水量を算出する。

【排水水質】

2025 年度（対策あり）については、2016～2020 年度の排水水質の平均値を基本とするが、一部処理場については処理能力の向上が見込まれていることから別途算出する。2025 年度

(対策なし)については、2016～2020年度の排水水質の平均値、または2020年度の排水水質のうち、濃度の高い方を採用する。

2) 公共下水道、し尿処理場

【排水量】

- ① 各処理場がカバーする処理区域をメッシュごとに設定する。
- ② 2020年度および2025年度(対策あり・対策なし)のメッシュ別・処理形態別人口データ(作成方法は(2)で詳述)から、2020年度、2025年度(対策あり・対策なし)のそれぞれについて、各処理場の処理区域内メッシュの処理人口を合計する。
- ③ 2020年度から2025年度(対策あり・対策なし)にかけての処理人口の変化比率を2020年度の排水量にかけて、2025年度の各処理場の排水量を算出する。

【排水水質】

2020年度と同等とする。

3) 農業集落排水処理施設

【排水量】

- ① 2020年度および2025年度(対策あり・対策なし)のメッシュ別・処理形態別人口データ(作成方法は(2)で詳述)から、2020年度、2025年度(対策あり・対策なし)のそれぞれについて、市町ごとの農業集落排水処理施設人口を算出する。
- ② 2020年度の各農業集落排水処理施設の排水量に、その所在の市町における2020年度から2025年度にかけての集落排水処理施設人口の変化比率をかけて、2025年度の各処理場の排水量を算出する。

【排水水質】

2020年度と同等とする。

(2) 生活系

下水道課提供の集落別処理形態別人口データには、2025年度の計画人口が整理されている。これを参考にして、2025年度の対策あり・対策なしの両シナリオにおけるメッシュ別処理形態別人口を以下の通り設定した。

1) 対策あり

- ① 国立社会保障・人口問題研究所が2018年に推計を行った市町村別将来人口から、滋賀県の市町別2020年度と2025年度の人口を抽出し、5年間における人口比率を求める。

2020年度の市町別人口実績値にその比率をかけて、2025年度市町別総人口を算出する。

- ② 2025年度市町別総人口に、下水道課提供の2025年度市町別処理形態別比率をかける。
- ③ 下水道課提供資料より、2020年度から2025年度にかけての市町別下水道接続率の向上割合を算出し、②の下水道整備人口にかけて2025年度における下水道接続人口を求める。
- ④ 下水道整備人口と接続人口の差分は、合併浄化槽・単独浄化槽・し尿処理に2025年度の比率で割り振る（下水道以外の人口がゼロの地域は、未接続人口を全て合併浄化槽に割り振る）。
- ⑤ ④の結果、単独浄化槽人口やし尿処理人口が2020年度と比較して増加する市町については、増加分を合併浄化槽人口に割り振る。（2001年より単独浄化槽の新設は法律で禁止されている。）
- ⑥ 2020年度から2025年度にかけての市町別処理形態別人口比率を、第3章で作成した2020年度メッシュ別処理形態別人口にかける。市町別処理形態別人口が⑤に整合するように補正して、最終的な2025年度（対策あり）のメッシュ別処理形態別人口を計算する。

2) 対策なし

- ① 2025年度におけるメッシュ合計人口は、対策ありと同様に国立社会保障・人口問題研究所の推計に基づいて設定する。
- ② メッシュ合計人口が2020年度から2025年度にかけて増加する場合は、下水道・農業集落排水等処理施設・単独浄化槽・その他については2020年度と同等とし、人口の増加分を全て合併浄化槽でまかなう。減少する場合は、処理形態ごとの人口比率を2020年度と同等とする。

(3) 産業系

産業系については、以下の理由により、対策あり・対策なし共に2020年度と同等とした。

- ① 事業場の新設が明らかになっているのは概ね1年後までであり、それ以降は不明であること。
- ② 事業場の新設に関するデータは基本的に非公開であること。
- ③ 判明している新設分についても、排水量は不明であること。

(4) 面源系

以下の方法によりメッシュ別土地利用を算定した。

- ① 滋賀県で年度ごとにまとめている統計データ「国土利用計画管理運営事業に係る土地利用現況把握調査」から、2015年度から2020年度にかけての市町別・各土地利用別の面積の年間変化比率を算出する。
- ② ①の変化比率が2025年度まで続くと仮定して、2016年度のデータから2025年度のメッシュ別土地利用を求める。なお各土地利用の対応関係は以下の通りである。

【国土数値情報】	～	【統計データ】
水田・畑	～	農用地
山林	～	森林
市街地	～	宅地
道路	～	道路
荒れ地	～	原野
その他	～	その他
水面・ゴルフ場：変化なし		

- ③ 各メッシュにおける面積比率の合計が1になるように補正を行う。補正の方法は以下の通りである。補正後土地利用＝補正前土地利用×(1-水面・ゴルフ場)/(水面・ゴルフ場除く合計)

(5) 負荷削減対策

対策ありでは、環境こだわり米の作付面積割合を2020年度の44%から50%に向上させるとし、削減量を算定した。流入河川浄化事業については一部水域で2020年度からさらに対策を進めるものとした。水質保全対策事業については2020年度と同様とした(表4-2)。

対策なしでは、全ての対策について2020年度と同等の負荷削減量であるとした(表4-3)。

表 4-2 環境こだわり農業による負荷削減効果 (2020・2025年度)

項目	原単位 g/ha/日	削減率	環境こだわり農業実施面積			灌漑日 日	負荷削減量		
			2020 ha	2025 対策あり ha	2025 対策なし ha		2020 kg/日	2025 対策あり kg/日	2025 対策なし kg/日
COD	171.8	33.5%	12987	14850	12987	153	315.7	361.0	315.7
TN	31.1	40.7%	12987	14850	12987	153	70.8	80.9	70.8
TP	4.32	26.7%	12987	14850	12987	153	6.5	7.5	6.5

表 4-3 流入河川浄化事業による負荷削減効果（2020・2025年度）（kg/日）

地域	COD			TN			TP		
	2020	2025 対策あり	2025 対策なし	2020	2025 対策あり	2025 対策なし	2020	2025 対策あり	2025 対策なし
木浜内湖 南湖				16.5	17.0	16.5	1.20	1.25	1.20
平湖・柳平湖 南湖				16.5	16.5	16.5	0.95	0.95	0.95
西の湖 北湖							0.17	0.17	0.17
赤野井湾流入河川 南湖	32.2	32.2	32.2	9.9	9.9	9.9	0.93	0.94	0.93

以上をまとめたものを表 4-4 に示す。

表 4-4 負荷削減対策事業による負荷削減量の推移（2020・2025年度）（kg/日）

項目	COD			TN			TP		
	2020	2025 対策あり	2025 対策なし	2020	2025 対策あり	2025 対策なし	2020	2025 対策あり	2025 対策なし
環境こだわり農業	315.7	361.0	315.7	70.8	80.9	70.8	6.5	7.5	6.5
水質保全対策事業	366.5	366.5	366.5	94.3	94.3	94.3	11.7	11.7	11.7
流入河川浄化事業	32.2	32.2	32.2	42.9	43.4	42.9	3.2	3.3	3.2
計	714.4	759.7	714.4	208.0	218.7	208.0	21.5	22.5	21.5

4.2 計算条件

(1) 計算期間

2025 年度の水質予測を行うため、各モデルについて助走計算期間を含め下記の通り約 8 ヶ年の計算を行った。

陸域水物質循環モデル：2018 年 1 月 1 日から 2026 年 3 月 31 日まで

湖内流動モデル：2018 年 2 月 1 日から 2026 年 3 月 31 日まで

湖内生態系モデル：2018 年 3 月 1 日から 2026 年 3 月 31 日まで

(2) 将来予測に用いる気象条件

琵琶湖の水質は年々の気象により左右されるため、将来の気象条件の設定は水質予測の上で重要である。2025 年度に実際生じる可能性の高い水質を予測する観点からいえば、将来の気象条件はできるだけ平年値に近いものを選択することが望ましい。一方で将来の気象条件を現況年度（2020 年度）と違ったものにしてしまうと、2025 年度における水質の変化が、対策の進展によるものなのか、それとも気象が違うためなのかが不明確になる。

従来湖沼計画では後者の方法、すなわち現況年度と同じ気象が将来にわたり続くと仮定して将来の水質予測を行っていた。一方で第 7 期計画においては、現況年度である 2015 年度は、記録的な暖冬により全層循環が例年より遅れ、3 月中旬になって観測された。この気象条件が将来にわたり続くと仮定すると、暖冬が続くことで湖内水質の予測結果に大きな影響を与える可能性があったため、平年気象を将来予測に用いることとしていた。

第 8 期計画の現況年度である 2020 年度は、前述のように平年に比べて気温が高く、降水量が多い年であったが、異常値というほどではなく、また全層循環も完了したため、従来方法である現況年度の気象が将来にわたり続くとして予測計算を行った（図 4-1）。

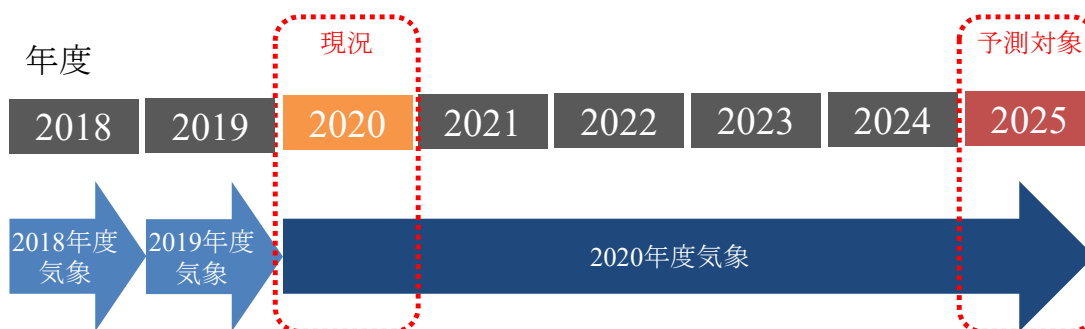


図 4-1 気象条件の考え方

(3) 経年変化の考慮

4.1 において 2025 年度のフレーム値等のデータを設定したが、2020 年度から 2025 年度を

含む 8 ヶ年間の計算を行う場合、その間の変化についても同様に考慮する必要がある。

本予測計算では、点源負荷量、土地利用、負荷削減対策の 3 つについて、2020 年度から 2025 年度までに段階的に変化するものと考え、年度ごとに異なる入力データを用いて計算することにした。なお経年変化は線形的に生じるものと仮定してデータを整備した。

4.3 計算結果

将来予測計算結果をまとめる予定。

5. シミュレーション結果を踏まえた水質目標値の設定

5.1 評価方法

第3章～4章において計算された琵琶湖水質の現況再現と将来予測シミュレーションの結果から、今後5年の間に対策を講じた場合、また講じなかった場合の水質予測結果を整理した。なお環境基準の評価にあたっては、環境基準点のうち最も濃度の高い地点において評価を行うものとし、また各水質項目の評価基準は下記の通りとなっている。

COD：75%水質値² TN・TP：年間平均値

なお TOC については、環境基準項目ではないが、COD にならい年間平均値と 75%水質値について提示した。

本計画で使用するモデルは、前述のように COD ではなく炭素量 (TOC 等) により有機物の負荷量や濃度の計算を行っている。しかし、有機物の環境基準項目は COD であるため、計算により算出された TOC を COD に換算する必要がある。そこで、北湖 COD 環境基準点 4 地点 (17A、17C、13A、13C) と、南湖 COD 環境基準点 4 地点 (9B、8C、6B、4A) を対象として (図 5-2)、2016～2020 年度における TOC と COD の相関から TOC を COD に換算した (なお南湖については極端に高い濃度が観測された 8C の 1 時期の値を削除した)。換算式は以下の通りである (図 5-1)。

北湖：COD = 1.33 × TOC + 0.36 南湖：COD = 1.17 × TOC + 0.69

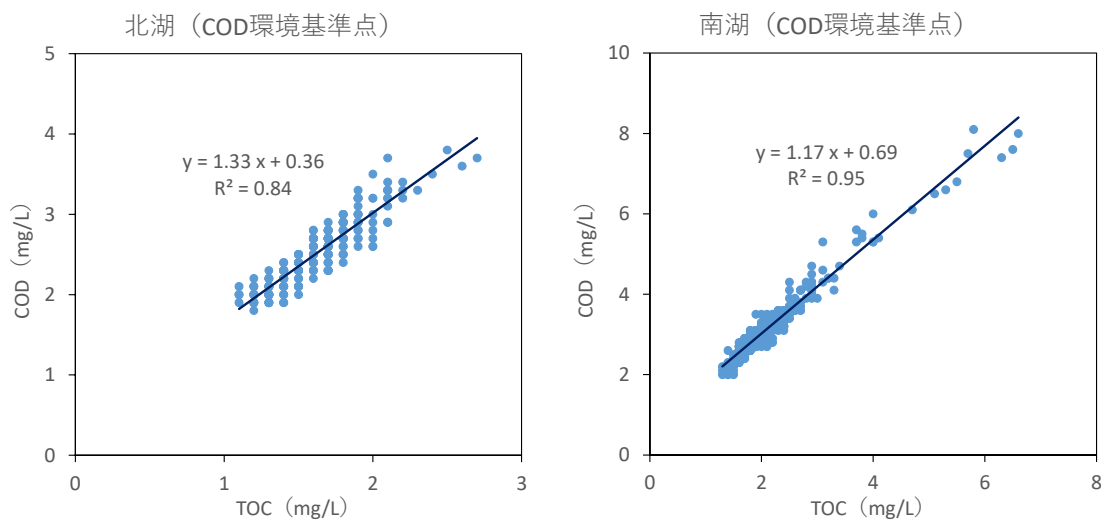


図 5-1 北湖・南湖における TOC と COD の関係

²2年間の日間平均値の全データをその値の小さいものから順に並べ、0.75×n 番目 (n は日間平均値のデータ数) のデータ値をもって 75%水質値とする

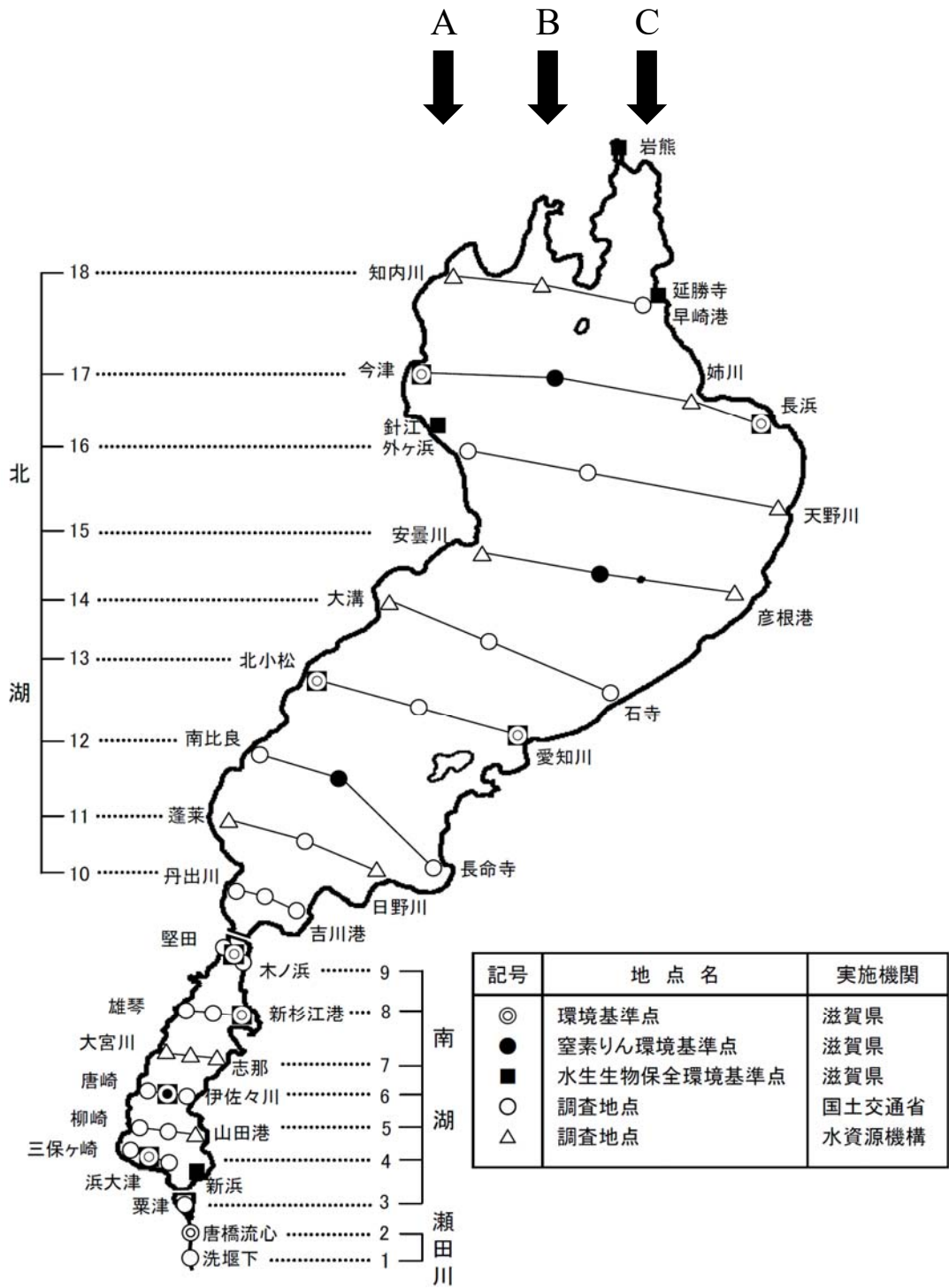


図 5-2 琵琶湖における観測地点

なお前述したように、現況気象と将来気象の違いや経年変化による影響の蓄積等により、予測値が年度ごとに大きく異なる水質項目も見られた。実際琵琶湖では、2010年度以降は推定流入負荷量がほぼ横ばいの傾向となっており、対策の進展よりも年々の気象条件等により水質が変動する状況が続いている。特定の気象条件を用いて計算した2025年度の予測値のみに依拠して目標水質を設定することは、対策の方向性をミスリードする可能性がある。したがって本計画では、将来（2021～2025年度）の水質予測値の幅を提示し、それを参考に行政施策の状況や今後の方向性に合わせて目標水質を設定することとした。

また、2020年度を対象として行った現況再現の結果は、後述のように地点間の差異を十分表現できるものであったが、必ずしも全ての地点で水質を再現できたわけではない。2020年度の計算値が観測値と異なる場合に、将来（2021～2025年度）の水質予測値をそのまま結果として採用すると、現況の実績値と比較した場合に誤った解釈を与える可能性がある。したがって、2020年度の現況再現計算結果を観測値に合わせ、将来の水質予測値を補正する必要がある。

本計算においては、2020年度の水質観測値を C_{obs} 、モデルによる2020年度の計算値を C_{cal} 、モデルによる将来の予測値を C_{pre} とし、補正後の将来水質予測値 $C_{pre-rev}$ を

$$C_{pre-rev} = C_{pre} \times C_{obs} / C_{cal}$$

として補正を行った。

5.2 結果まとめ

計算結果から目標値の設定を行う予定。

6. 原単位法による負荷量推計

6.1 負荷量の計算方法

(1) 処理場系

第3・4章により得られたメッシュ別処理場系負荷を用いて、琵琶湖流域内にあるメッシュ分だけを集計して処理場系負荷量を算出した。

(2) 生活系

第3・4章により得られたメッシュ別・処理形態別人口を用いて、琵琶湖流域内にあるメッシュ分だけを集計し、各処理形態の原単位をかけ、生活系負荷量を算出した。

(3) 産業系

第3・4章により得られたメッシュ別産業系負荷を用いて、琵琶湖流域内にあるメッシュ分だけを集計して産業系負荷量を算出した。ただし2005年度までの集計については、当時の事業場の存否が不明なため、従来通り観光客と畜産（豚のみ）については別途原単位法により計上した。

(4) 面源系

「国土利用計画管理運営事業に係る土地利用現況把握調査」による統計データ（市町村別）の値を基本として、その流域内分を集計した。ただし、農用地については水田と畑に分割する必要があること、また実際の耕作面積に合わせるため、各年度の農林業センサスデータの値を採用した。したがって、各土地利用区分の面積は以下のように計算される。

- ① 各年度の市町村別統計データを市町単位で集計する。同様に、各年度の農林業センサスの田・畑面積についても市町単位で集計する。
- ② 市町別の土地利用面積を以下の4区分で集計する。
 - (ア) 水田：農林業センサスの田の面積
 - (イ) 畑：農林業センサスの畑の面積
 - (ウ) 宅地道路：市町村別統計データのうち、宅地と道路を合計した値
 - (エ) 山林・他：市町別面積から上記3区分の合計面積を引く
- ③ 市町別の各土地利用面積に、流域内比率をかける（流域内比率は、2010年度メッシュ別土地利用比率から計算する）。山林・他については、市町別の流域内合計面積から他の3区分の流域内面積を引く。

このようにして算出した各土地利用面積に、それぞれの原単位をかけて負荷量を算出した。

(5) 湖面降水

降水負荷量（降水量×降水水質）に湖面積をかけて算出した。

(6) 負荷削減対策

表 3-5 に示した負荷削減量を、計算された各発生源からの負荷量から差し引いた。なお負荷削減対策は 2005 年度より集計し、また環境こだわり農業は農地系、その他は面源系の負荷量に比例して差し引くこととした。

6.2 原単位の計算

原単位の値は概ね第7期計画時と同様であるが、宅地道路および山林・他については見直したので、その根拠を示す。また従来のCOD・TN・TPの原単位についても合わせて示す。

(1) 処理場系

処理場系（下水処理場、し尿処理場、農業集落排水施設）の負荷は実績を積み上げること
で計算するが、COD/TOCと難分解性有機物比率（RTOC/TOC）については下記の通り設定
した。

下水処理場：流域下水道のうち3施設については2008年度に滋賀県が調査した各処理場の
結果から設定した。その他流域・公共下水道については、上記施設の平均値を採用した。

し尿処理場：3施設については2007年度に滋賀県が調査した各処理場の結果から設定した。
その他のし尿処理場については、上記3施設の平均値を採用した。

農業集落排水施設：規模やタイプの異なる県内の5施設について、2008年度に滋賀県が調
査した各処理場の結果の平均値を採用した。

設定した各処理施設の値を表6-1に示す。

表 6-1 処理場系のCOD/TOCと難分解性有機物比率

項目	No. 処理場名	COD/TOC	RTOC/TOC
下水処理場	1 湖南中部浄化センター	1.41	0.75
	2 湖西浄化センター	1.44	0.72
	3 東北部浄化センター	1.46	0.73
	4 高島浄化センター	1.46	0.69
	5 公共・大津水再生センター	1.44	0.72
	6 特環・沖島浄化センター	1.44	0.72
	7 公共・土山オー・デュ・プール	1.44	0.72
	8 特環・朽木浄化センター	1.44	0.72
	9 特環・南小松浄化センター	1.44	0.72
	10 公共・信楽水再生センター	1.44	0.72
し尿処理場	1 大津市北部衛生プラント	1.23	0.78
	2 大津市南部衛生プラント	1.23	0.78
	3 大津市志賀衛生プラント	1.23	0.78
	4 湖南広域行政組合環境衛生センター	1.23	0.78
	5 甲賀広域行政組合衛生センター第1施設	1.67	1.00
	6 八日市布引ライブ組合衛生センター	1.00	0.59
	7 近江八幡市立第1クリーンセンター	1.23	0.78
	8 彦根市衛生処理場	1.23	0.78
	9 湖北広域行政事務センター第1プラント	1.23	0.78
	10 伊香郡衛生プラント組合	1.23	0.78
	11 高島市衛生センター	1.23	0.78
	12 湖東広域衛生管理組合豊楠苑	1.02	0.74
農業集落排水処理施設		1.38	0.62

(2) 生活系

家庭排水の発生負荷量は、環境省統一原単位の値を使用した（表 6-2）。

表 6-2 家庭排水の発生負荷量原単位

		COD	TN	TP
発生負荷	g/人・日	29.3	12.0	1.17
うち、し尿分	g/人・日	10.1	9.0	0.77
うち、雑排水分	g/人・日	19.2	3.0	0.40

合併浄化槽については、1982年に実施した県内5ヶ所の調査結果から除去率を設定した。単独浄化槽については、文献値から除去率を設定した。

し尿を農地還元する家庭からの原単位については、従来雑排水分の負荷に、農地から流出するし尿分の負荷が加えられたものとして計算されてきた。しかし、農地からの負荷については、別途面源系として計上されており、ダブルカウントになっているという問題があったことから、第6期計画よりこの農地からの流出分を除いた原単位を採用することにした。

COD/TOC と難分解性有機物比率（RTOC/TOC）については下記の通りである。合併浄化槽については、2008年度、2010年度に滋賀県ならびに琵琶湖淀川水質保全機構により調査された6ヶ所の調査結果を平均して設定した。単独浄化槽については、2008年度、2010年度に滋賀県ならびに琵琶湖淀川水質保全機構により調査された3ヶ所の調査結果を平均して設定した。雑排水については、2006年度に環境省が調査した3ヶ所、6時期の計18サンプルの結果から設定した。

設定した生活系原単位の値を表 6-3 に示す。

表 6-3 生活系の原単位

		COD	TN	TP	COD/TOC	RTOC/TOC
合併浄化槽	g/人・日	7.3	6	0.7	1.25	0.67
(除去率)		(75%)	(50%)	(40%)		
単独浄化槽	g/人・日	6.1	7.2	0.69	1.40	0.75
(除去率)		(40%)	(20%)	(10%)		
(雑排水)		19.2	3	0.4	1.00	0.16
し尿処理	g/人・日	-	-	-	-	-
(雑排水)		19.2	3	0.4	1.00	0.16
農地還元	g/人・日	-	-	-	-	-
(雑排水)		19.2	3	0.4	1.00	0.16

(3) 産業系

事業場の負荷は実績を積み上げることで計算するが、COD/TOC と難分解性有機物比率（RTOC/TOC）については、2007年度に滋賀県が県内の主要な24業種（産業中分類別）（製造業44事業場、サービス業等13事業場）について調査した結果から、表 6-4 の通り設定した。

なお調査を行っていない業種については、製造業、サービス業等それぞれの平均値から設定した。

表 6-4 事業場の COD/TOC と難分解性有機物比率

業種	COD/TOC	RTOC/TOC	
製造業	(全業種平均)	1.48	0.46
	食料品製造業	1.31	0.66
	飲料・たばこ・飼料製造業	1.30	0.35
	繊維工業	1.79	0.67
	木材・木製品製造業（家具を除く）	2.02	0.28
	パルプ・紙・紙加工品製造業	1.47	0.43
	出版・印刷・同関連産業	1.26	0.53
	化学工業	1.46	0.35
	プラスチック製品製造業	1.57	0.66
	ゴム製品製造業	1.37	0.44
	窯業・土石製品製造業	1.18	0.26
	鉄鋼業	1.69	0.71
	非鉄金属製造業	1.41	0.52
	金属製品製造業	1.50	0.50
	一般機械器具製造業	1.83	0.48
	電気機械器具製造業	1.43	0.38
	輸送用機械器具製造業	1.48	0.46
	その他の製造業	1.16	0.07
サービス業等	(全業種平均)	1.38	0.53
	水道業	1.64	0.59
	その他の小売業	1.12	0.47
	洗濯・理容・浴場業	1.33	0.52
	旅館，その他の宿泊所	1.28	0.72
	自動車整備業	1.87	0.28
	医療業	1.11	0.57
	社会保険，社会福祉	1.33	0.58

観光客については、第 5 期計画では観光客数に原単位をかけて計上されていたが、観光客が訪れる施設についても一般には水質関係事業場リストに掲載されていることから、第 6 期計画以降は産業系として計上することにした。ただし 2005 年度以前の負荷量については当時の事業場データが不明であることから、第 5 期計画同様、流総指針に示されている排出負荷比により算定された負荷が合併浄化槽で処理されるとして算出された以下の原単位を用いて計算した。COD/TOC と難分解性有機物比率（RTOC/TOC）については、合併浄化槽と同等とした。

表 6-5 観光客（日帰り）の原単位（2005 年度以前のみ）

	COD	TN	TP	COD/TOC	RTOC/TOC
観光客(日帰り) g/人・日	7.3	6	0.7	1.25	0.67

畜産由来負荷について、現在滋賀県では牛・鶏の糞尿と豚の糞については全量農地還元されている。また豚の尿は、浄化装置を所有している畜産農家は放流し、浄化装置を所有していない畜産農家は 100%再利用されている。し尿農地還元と同様、農地還元分については農

地からの負荷として計上されているとの考えから、牛・鶏については負荷を計上せず、排水処理により発生する豚の負荷のみ考慮することにした。

なお 2010 年度以降は水質関係事業場リストから畜産農家の負荷量を計上するが、それ以前についてはデータが不明であることから、従来通り原単位により計算した。排水処理により発生する豚の負荷の原単位は、豚からの負荷の発生量のうち、排水処理により流出する割合（20%）と、流出率（COD・TN で 30%、TP で 50%）をかけて算出した。COD/TOC と難分解性有機物比率（RTOC/TOC）については、2006、2007 年度に環境省および滋賀県が調査した結果から設定した（表 6-6）。

表 6-6 豚の原単位

項目	排水量 L/人・日	流出率			COD g/頭・日	TN g/頭・日	TP g/頭・日	COD/TOC -	RTOC/TOC -
		COD	TN	TP					
発生量	13.5				130	40	25		
農地還元(80%)		0.1	0.1	0.013	10.4	3.2	0.26		
排水処理(20%)		0.3	0.3	0.5	7.8	2.4	2.5		
合計	13.5				18.2	5.6	2.76		
排水処理分のみ*	13.5				7.8	2.4	2.5	1.57	0.53

* 第6期計画以降の原単位

(4) 面源系

1) 水田³

琵琶湖流域の複数の水田における灌漑期・非灌漑期の調査結果から、水田の正味負荷量（地表排水と浸透排水の負荷から用水負荷を差し引いたもの）を算出し、水田における各種対策効果を考慮して原単位を算出した。

調査の実施された地域は竜王町、湖東町（3 地点）、マキノ町、今津町の 6 地域であり、時期は 1985～1995 年である。肥料には速効性肥料が用いられ、非灌漑期の土壌管理は畝立であり、一部ライシメータによる調査も含まれている。これによれば、正味負荷量は灌漑期で COD：193g/ha/day、TN：33.5g/ha/day、TP：4.82g/ha/day、非灌漑期で COD：84.9g/ha/day、TN：56.4g/ha/day、TP：1.86g/ha/day であり、灌漑期を 5 ヶ月、非灌漑期を 7 ヶ月として平均すると、全期間で COD：123g/ha/day、TN：46.8g/ha/day、TP：3.09g/ha/day となる。

この結果に対して、以下 4 つの対策による削減効果を加味し、最終的な原単位を算出した。

- ① 緩効性肥料使用による負荷削減効果を評価する（緩効性肥料施用面積率を 11%、負荷削減効果を 20%とする（TN・TP のみ））。【灌漑期原単位に適用】
- ② 灌漑期における循環灌漑および反復利用による負荷削減効果を評価する（循環灌漑・反

³ 国土庁等：琵琶湖の総合的な保全のための計画調査報告書 資料編、1999。

復利用面積率を 33.7%、負荷削減効果を COD : 27%、TN : 12%、TP : 18%とする)。

【灌漑期原単位に適用】

- ③ 非灌漑期の土壌管理として不耕起とすると、畝立よりも流出が削減されることを評価する(不耕起面積率を 48%、負荷削減効果を COD : 80%、TN : 60%、TP : 75%とする)。

【非灌漑期原単位に適用】

- ④ 営農組織を設立している対象水田において、排水路の適正な維持管理(浚渫)が行われている水田の削減効果を評価する(営農組織設立面積率を 27.1%、浚渫による削減量を TN : 1.84g/ha/day、TP : 0.51g/ha/day とする)。**【全期間原単位に適用】**

以上より、水田の原単位は COD : 118g/ha/day、TN : 39.2g/ha/day、TP : 2.68g/ha/day となる。

また COD/TOC と難分解性有機物比率 (RTOC/TOC) については、2007 年度、2008 年度に環境省および滋賀県が調査した結果(平常時・降雨時、灌漑期・非灌漑期を含む計 10 サンプル)から設定した(表 6-7)。

表 6-7 水田の原単位

	COD g/ha・日	TN g/ha・日	TP g/ha・日	COD/TOC -	RTOC/TOC -
水田(灌漑期)	171.8	31.1	4.32	1.47	0.69
(非灌漑期)	79.8	45.1	1.51	1.32	0.77
(通年)	118.0	39.2	2.68	1.38	0.74

2) 畑^{3,4}

COD と TP については、畑地における実態調査結果に流達率をかけて原単位を算出した。TN については、土壌由来・施肥由来の負荷量に流達率をかけて原単位を算出した。

まず COD と TP については、ライシメータを使って施肥の施用方法の異なる試験区を作成し、栽培作物を水稻からキャベツ、ナス、イタリアングラスに順次転作した際の負荷量を調査した結果に基づいている。調査期間は 1979~1983 年である。施用方法は有機物無施用、稲わら施用(500~700kg/10a)、牛ふん施用(2t/10a)の 3 種である。各作物を各施用方法で栽培した際の負荷量(ただし TP はナスのみ)を平均すると、COD:73g/ha/day、TP:1.12g/ha/day となる。

TN については、土壌由来の流出量を 64.7g/ha/day、年間施肥量を 591.8kg/year、肥料の流出率を 15%とすれば、負荷量は 307.9g/ha/day となる。

これらの負荷量に対し、流達率として TN:84.8%、TP:48.4%、COD:TN と同等(84.8%)

⁴ 長谷川清善ら：水田における有機物施用が水質に及ぼす影響(第 3 報)、1985。

を設定すれば、原単位は COD : 62g/ha/day、TN : 261g/ha/day、TP : 0.54g/ha/day となる。

また COD/TOC と難分解性有機物比率 (RTOC/TOC) については、2009 年度に滋賀県が調査した結果 (平常時・降雨時を含む計 3 サンプル) から設定した (表 6-8)。

表 6-8 畑の原単位

	COD g/ha・日	TN g/ha・日	TP g/ha・日	COD/TOC -	RTOC/TOC -
畑	62.0	261.0	0.54	1.33	0.72

3) 宅地道路

宅地道路の原単位については、第 7 期計画までは東京都内の道路において 1974 年に実施された散水実験の結果を元に設定されていた。しかし、調査された年代が古いこと、また滋賀県外で調査された結果であることから、琵琶湖流域に適用するには課題があった。したがって第 8 期計画より、滋賀県内で降雨時も含めて調査された以下 2 文献を元に原単位を設定する。

① 道路および宅地屋根からの負荷から算出 (和田⁵、Wada ら⁶)

Wada らは道路排水を対象としてモデル構築と降雨イベントから琵琶湖の平均的な道路からの原単位を算定した⁶が、もう一つの構成単位である宅地の汚濁負荷量について、雨天時に建物の屋根から流出する排水 (屋根排水) を建物用地 (宅地) とみなし、その汚濁負荷量から宅地の原単位を計算するとともに、道路と宅地の土地利用形態別面積割合から、琵琶湖における市街地の原単位を求めた。

屋根排水の調査としては、琵琶湖周辺の一般住宅地で 2015 年度の 2 降雨について調査した結果 (それぞれ初期フラッシュ水と全量排水を区別)、および 2012 年度に同住宅で調査した結果を元に、イベント総降水量と単位負荷量の関係を求めた。滋賀県における 2015～2020 年の 6 年間の気象データから宅地負荷量を求めると、TOC : 60.4 g/ha/day、TN : 18.1 g/ha/day、TP : 0.64 g/ha/day と試算された。

さらに、Wada らの道路負荷原単位を用いて、宅地および道路の土地面積比 (2018 年の値) を乗じて宅地道路の原単位を算出すると、TOC : 140 g/ha/day、COD : 159 g/ha/day、TN : 24.2 g/ha/day、TP : 1.1 g/ha/day が得られた (宅地からの COD 負荷については、第 7 期計画の COD/TOC 比より算出)。

⁵ 和田桂子：琵琶湖流域における都市域の汚濁負荷原単位を考える、日本水環境学会シンポジウム講演要旨、2021。

⁶ Wada, K. and Fujii, S., 2010. Estimation of pollutant loads from urban roadway runoff. Water Science & Technology, 61(2), 345-354.

② 市街地負荷の調査（大久保ら⁷⁾

JR 草津駅近くにある、商業地主体の排水路（集水域面積 49ha）、住宅地主体の排水路（集水域面積 19ha）の 2 箇所の排水路において負荷量調査を実施した。降雨時負荷量調査を商業地排水路で 11 回、住宅地排水路で 7 回実施し、自動採水器を用いて 1 時間間隔を基本として採水した。

降雨イベントごとの総降水量と総流出負荷量の関係（回帰式）を用いて 2007～2009 年の 3 年間の市街地負荷量を求めると、TN : 19.5 g/ha/day、TP : 1.84 g/ha/day となった（3 ヶ年の平均値）。ただし、本調査での流出率（降水量に対する流出水量の比率）が 0.4 と小さく、一般的な市街地における流出率の半分程度となっているため、2 倍の補正を行うと TN : 38.9 g/ha/day、TP : 3.69 g/ha/day となる。

以上、COD・TOC については調査①、TN と TP については調査①と②の原単位を平均することで、第 8 期計画における市街地道路の原単位を設定した（表 6-9）。なお COD/TOC は調査①の結果から算出し、難分解性有機物比率（RTOC/TOC）については 2007 年度、2008 年度に環境省および滋賀県が調査した結果（降雨時の計 10 サンプル）から設定した。

表 6-9 宅地道路の原単位

	COD g/ha・日	TN g/ha・日	TP g/ha・日	COD/TOC	RTOC/TOC	備考
和田(2021)	159.0	24.2	1.10	1.14		
大久保ら(2012)		38.9	3.69			流出率を0.8と仮定した場合
平均(第8期採用値)	159.0	31.6	2.39	1.14	0.56	
参考:第7期採用値	144.0	38.6	2.00	1.35	0.56	

4) 山林・他

山林・他の原単位は、従来瀬田川の比流量（瀬田川の年平均流量/琵琶湖流域の面積）を用いた比負荷量-比流量式により換算されてきた。しかしながら、元となった調査のサンプル数が 1983 年と古くまた少ないこと、瀬田川の比流量を用いる合理性がないこと、山林・他のみ降水量の増減によって負荷が増減しており他の面源と整合性がないという課題があった。したがって第 8 期計画より、県内で降水時を含め調査された文献で、降水量の多寡によらない原単位を設定する。

Kunimatsu ら⁸⁾は、滋賀県の甲賀市油日（N（23.8ha）および S（3.8ha）の 2 地点）および野洲市妙光寺（1.77ha）の 3 つの森林流域で渓流水の負荷量等調査を実施した。これらの流

⁷⁾ 大久保卓也・東善広・佐藤祐一・辻村茂男・金子有子・森田尚・大前信輔：政策課題研究 2 面源負荷とその削減対策に関する政策課題研究—面源負荷量の定量的把握と今後の面源負荷対策の方向性の検討—，滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 研究報告書，7，pp.70-86，2012.

⁸⁾ Kunimatsu T, Hamabata E, Sudo M, Hida Y. Comparison of nutrient budgets between three forested mountain watersheds on granite bedrock. Water Sci Technol. 2001;44(7):129-40.

域の岩盤は花崗岩であり、油日 N と油日 S の主な植生はヒノキ、妙光寺は落葉広葉樹とアカマツが生育する二次林である。渓流水の水質分析は、油日 N では 1987 年から 1991 年まで、油日 S では 1995 年から 1998 年まで、妙光寺では 1991 年から 1993 年まで、それぞれ週 1 回実施した。調査結果から各地点における原単位を算出した（表 6-10）。

各地点における原単位を平均することで、第 8 期計画における市街地道路の原単位を設定した（表 6-10）。なお COD/TOC と難分解性有機物比率（RTOC/TOC）については、2008 年度、2009 年度に環境省および滋賀県が調査した結果（降雨時の計 7 サンプル）から設定した。

表 6-10 山林・他の原単位

	COD g/ha・日	TN g/ha・日	TP g/ha・日	COD/TOC	RTOC/TOC	備考
油日N(甲賀市)	57.5	16.0	0.36			
油日S(甲賀市)	54.8	10.9	0.12			
妙光寺(野洲市)	197.3	22.9	0.77			
平均(第8期採用値)	103.2	16.6	0.42	1.81	0.65	
参考:第7期採用値	55.1	23.3	0.42	1.81	0.65	2011-15年度の比流量より算出

(5) 湖面降水

1987 年～1989 年に滋賀県が実施した大気由来降下物負荷調査から、3 ヶ年の平均負荷量（湿性+乾性（mg/m²/年））を同年度の降水量（今津、虎姫、北小松、彦根、八幡、大津 6 地点平均値（mm））で割り、平均濃度を算出した（表 6-11）。

なお調査を実施した場所は旧衛生環境センター屋上（大津市御殿浜）であり、湿性沈着については雨水自動採取器により一降雨ごとに測定し、乾性沈着については非降雨時の降下ばい塵を定期的に測定した。

表 6-11 湖面降水濃度の原単位

年度	COD mg/m ²	TN mg/m ²	TP mg/m ²	降水量 mm/年
1987	2490	847	35.2	1235
1988	3180	989	24.5	1727
1989	3290	1354	31.8	2070
平均	2990	1060	30.5	1677
濃度 (mg/L)	1.78	0.632	0.018	

(6) 原単位のまとめ

以上により整理した第8期計画における原単位を表6-12に示す。

表 6-12 第8期計画の原単位一覧

		原単位			TOC等への換算係数				
		COD	TN	TP	COD/TOC	RTOC/TOC	RPOC/TOC	RDOC/TOC	
処理場系	下水処理場(平均)		実績より積み上げ			1.44	0.72	0.05	0.67
	し尿処理場(平均)		実績より積み上げ			1.23	0.78	0.17	0.60
	農業集落排水処理		実績より積み上げ			1.38	0.62	0.14	0.48
生活系	合併浄化槽	g/人・日	7.3	6.0	0.70	1.25	0.67	0.20	0.47
	単独浄化槽(浄化槽分)	g/人・日	6.1	7.2	0.69	1.40	0.75	0.22	0.53
	(雑排水分)	g/人・日	19.2	3.0	0.40	1.00	0.16	0.10	0.06
	し尿処理(雑排水分)	g/人・日	19.2	3.0	0.40	1.00	0.16	0.10	0.06
	農地還元(雑排水分)	g/人・日	19.2	3.0	0.40	1.00	0.16	0.10	0.06
産業系	製造業(平均)		実績より積み上げ			1.48	0.46	0.22	0.24
	サービス業等(平均)		実績より積み上げ			1.38	0.53	0.23	0.30
	観光客*	g/人・日	1.8	2.4	0.19	1.25	0.67	0.20	0.47
	畜産(豚)*	g/頭・日	7.8	2.4	2.50	1.57	0.53	0.25	0.29
面源系	水田(灌漑期)	g/ha・日	171.8	31.1	4.32	1.47	0.69	0.39	0.30
	(非灌漑期)	g/ha・日	79.8	45.1	1.51	1.32	0.77	0.38	0.40
	(通年)	g/ha・日	118.0	39.2	2.68	1.38	0.74	0.38	0.36
	畑	g/ha・日	62.0	261.0	0.54	1.33	0.72	0.22	0.50
	宅地道路	g/ha・日	159.0	31.6	2.39	1.14	0.56	0.35	0.21
	山林・他	g/ha・日	103.2	16.6	0.42	1.81	0.65	0.21	0.43
湖面降水	mg/L	1.78	0.63	0.02	1.62	0.32	0.17	0.15	

*観光客と畜産(豚)の負荷は、2010年度より水質台帳から実績より積み上げする。

網掛けセルは第8期で修正

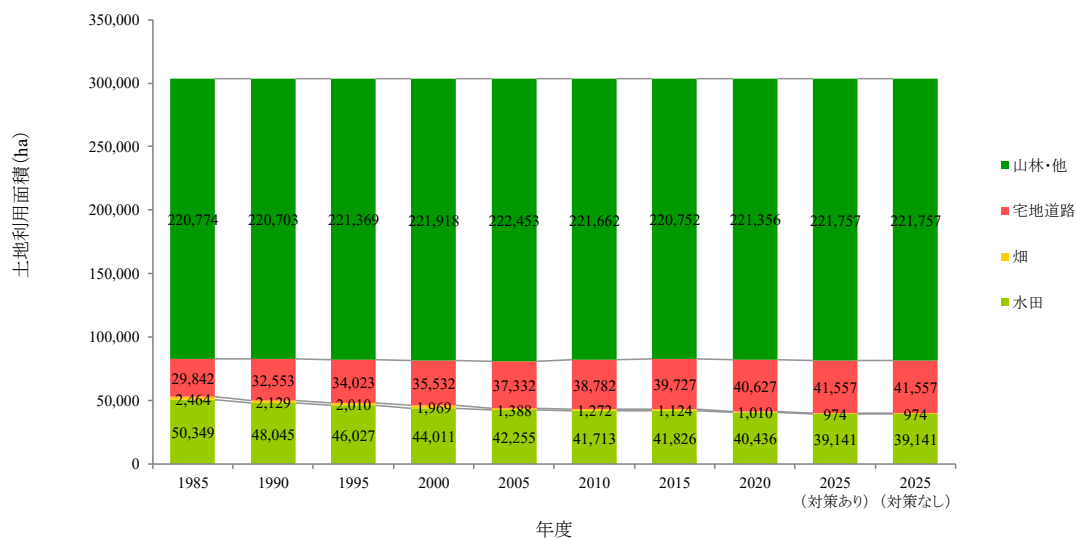
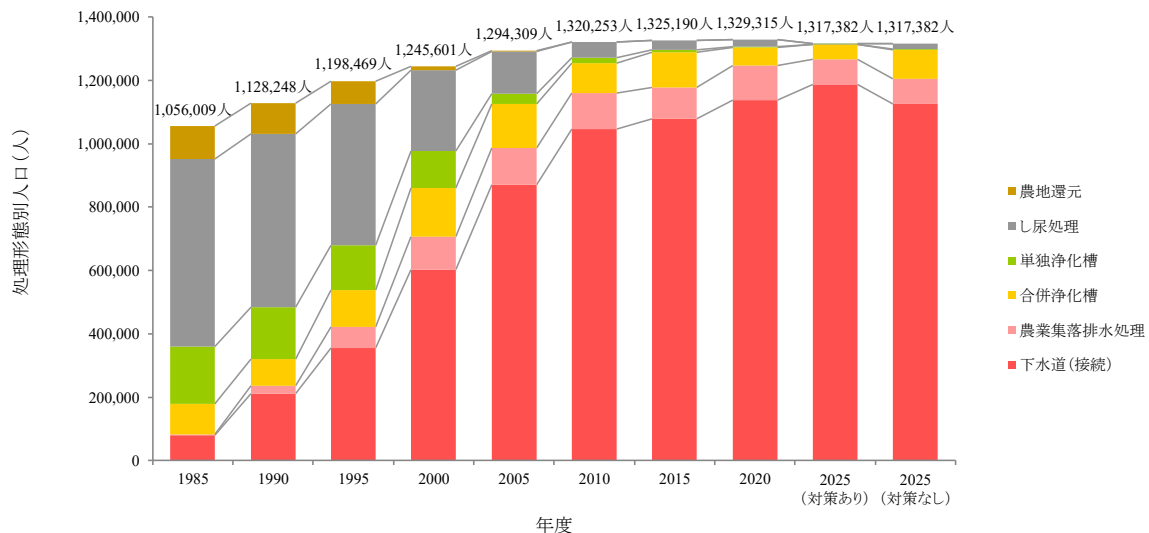
6.3 負荷量計算結果

以上により計算された琵琶湖流域のフレーム値と負荷量の経年変化を、次ページ以降に示す。

(1) フレーム値

		過年度実績値・将来予測値										
		1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025 (対策あり)	2025 (対策なし)	
処理形態別人口	下水道(接続)	(人)	80,226	210,884	356,075	603,827	870,326	1,047,366	1,078,056	1,137,632	1,186,360	1,125,300
	農業集落排水処理		2,516	24,531	65,671	102,067	115,489	111,763	100,368	108,539	79,761	79,532
	合併浄化槽		96,491	86,224	115,933	155,326	140,102	96,038	109,658	57,648	46,641	90,745
	単独浄化槽		180,554	162,828	142,169	116,885	32,208	16,353	9,186	3,155	600	3,010
	し尿処理		591,956	546,401	445,797	253,808	132,241	48,733	27,923	22,342	4,020	18,796
	農地還元		104,266	97,380	72,824	13,688	3,943	0	0	0	0	0
	合計	(人)	1,056,009	1,128,248	1,198,469	1,245,601	1,294,309	1,320,253	1,325,190	1,329,315	1,317,382	1,317,382
観光客数(日帰り)		(人)	67,786	90,844	96,114	101,672	104,213	-	-	-	-	-
家畜頭数	豚	(頭)	24,835	15,430	11,872	9,689	10,590	-	-	-	-	-
土地利用面積	水田	(ha)	50,349	48,045	46,027	44,011	42,255	41,713	41,826	40,436	39,141	39,141
	畑		2,464	2,129	2,010	1,969	1,388	1,272	1,124	1,010	974	974
	宅地道路		29,842	32,553	34,023	35,532	37,332	38,782	39,727	40,627	41,557	41,557
	山林・他		220,774	220,703	221,369	221,918	222,453	221,662	220,752	221,356	221,757	221,757
湖面降水		(m ³ /日)	3,102,890	3,208,840	3,016,723	3,147,709	3,042,296	3,186,410	3,355,773	3,412,864	3,412,864	3,412,864

- 注)
- ・下水道人口は、整備人口から市町ごとの接続率を考慮して集計したものである
 - ・下水道未接続人口はその他処理形態の比率で割り振るが、推定方法が年度により異なるため、下水道以外の人口については必ずしも経年変化を示さない
 - ・処理形態別人口は国勢調査人口ベースで計算している(元データは住民基本台帳ベースであるが、実態に合わせこれを補正)
 - ・農地還元分は把握されていないので、2010年度より0とする
 - ・牛・鶏の畜産系負荷については、糞尿ともに全量農地還元されていることから、集計に含めない
 - ・「観光客」、「畜産(豚)」については、2010年度より「サービス業等」として水質台帳から集計する

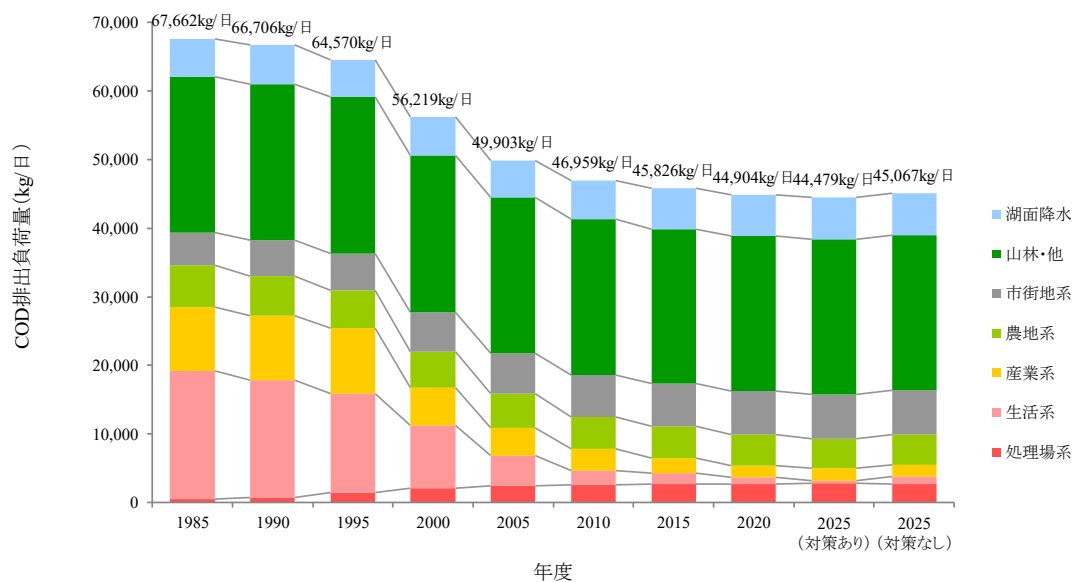


(2) COD 負荷量

		過年度実績値・将来予測値 (kg/日)									
		1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025 (対策あり)	2025 (対策なし)
処理場系	下水処理場	454	634	1,185	1,636	2,041	2,263	2,382	2,473	2,619	2,492
	し尿処理場	42	38	59	38	21	26	14	11	4	9
	農業集落排水処理	5	86	256	348	361	337	334	216	159	158
生活系	合併浄化槽	704	629	846	1,134	1,023	701	801	421	340	662
	単独浄化槽	4,568	4,120	3,597	2,957	815	414	232	80	15	76
	し尿処理	11,366	10,491	8,559	4,873	2,539	936	536	429	77	361
	農地還元	2,002	1,870	1,398	263	76	0	0	0	0	0
産業系	製造業	8,476	8,476	8,543	4,588	3,122	2,499	1,560	1,273	1,273	1,273
	サービス業等	577	607	675	648	635	672	576	498	498	498
	観光客	122	164	173	183	188	-	-	-	-	-
	畜産(豚)	194	120	93	76	83	-	-	-	-	-
面源系	水田	5,948	5,676	5,437	5,199	4,992	4,928	4,941	4,777	4,624	4,624
	畑	153	132	125	122	86	79	70	63	60	60
	宅地道路	4,745	5,176	5,410	5,650	5,936	6,166	6,317	6,460	6,608	6,608
	山林・他	22,784	22,777	22,845	22,902	22,957	22,876	22,782	22,844	22,885	22,885
湖面降水	5,523	5,712	5,370	5,603	5,415	5,672	5,973	6,075	6,075	6,075	
負荷削減対策	環境こだわり農業	-	-	-	-	101	287	318	316	361	316
	水質保全対策事業	-	-	-	-	271	290	341	367	367	367
	流入河川浄化事業	-	-	-	-	14	32	32	32	32	32
小計	処理場系	502	759	1,499	2,022	2,424	2,626	2,729	2,700	2,782	2,659
	生活系	18,640	17,110	14,401	9,227	4,452	2,050	1,569	930	433	1,099
	産業系	9,368	9,366	9,483	5,494	4,027	3,171	2,137	1,771	1,771	1,771
	農地系	6,101	5,808	5,562	5,321	4,934	4,672	4,638	4,467	4,269	4,314
	市街地系	4,745	5,176	5,410	5,650	5,886	6,108	6,247	6,384	6,530	6,530
	山林・他	22,784	22,777	22,845	22,902	22,764	22,659	22,532	22,577	22,618	22,618
	湖面降水	5,523	5,712	5,370	5,603	5,415	5,672	5,973	6,075	6,075	6,075
総計	67,662	66,706	64,570	56,219	49,903	46,959	45,826	44,904	44,479	45,067	

注)

- ・農地還元分は把握されていないので、2010年度より0とする
- ・牛・鶏の畜産系負荷については、糞尿ともに全量農地還元されていることから、集計に含めない
- ・「観光客」、「畜産(豚)」については、2010年度より「サービス業等」として水質台帳から集計する
- ・負荷削減対策は2005年度より集計し、また小計では環境こだわり農業は農地系、その他は面源系の負荷量に比例して差し引く

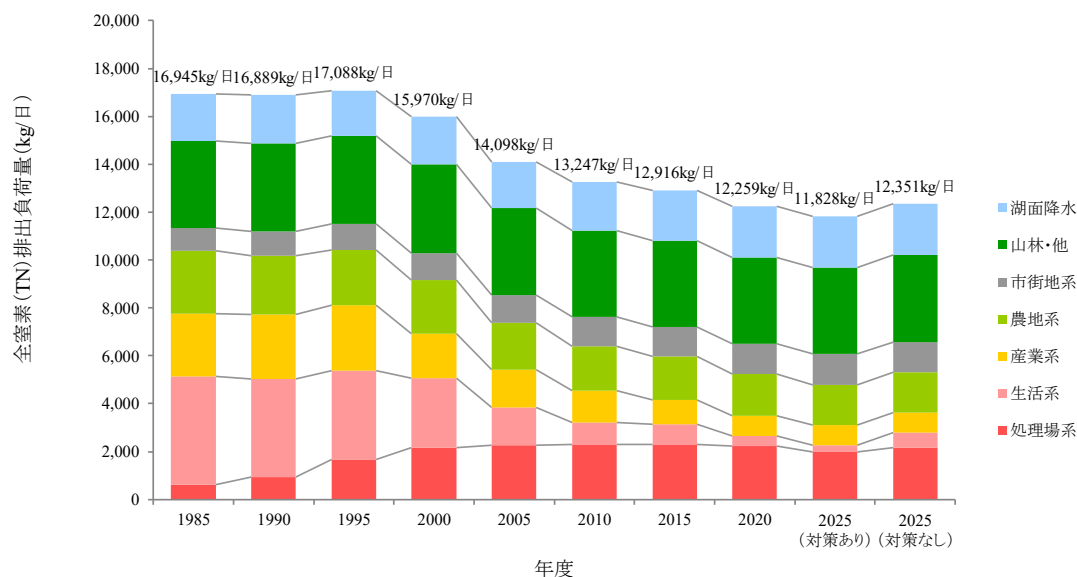


(3) 全窒素 (TN) 負荷量

		過年度実績値・将来予測値 (kg/日)									
		1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025 (対策あり)	2025 (対策なし)
処理場系	下水処理場	569	796	1,379	1,780	1,902	1,965	1,969	2,019	1,825	2,001
	し尿処理場	45	41	30	27	18	12	6	5	2	4
	農業集落排水処理	4	97	265	342	357	332	339	199	146	147
生活系	合併浄化槽	579	517	696	932	841	576	658	346	280	544
	単独浄化槽	1,842	1,661	1,450	1,192	329	167	94	32	6	31
	し尿処理	1,776	1,639	1,337	761	397	146	84	67	12	56
	農地還元	313	292	218	41	12	0	0	0	0	0
産業系	製造業	1,954	1,954	1,950	1,052	806	791	483	427	427	427
	サービス業等	454	475	517	540	470	551	512	409	409	409
	観光客	163	218	231	244	250	-	-	-	-	-
	畜産(豚)	60	37	28	23	25	-	-	-	-	-
面源系	水田	1,976	1,886	1,806	1,727	1,658	1,637	1,642	1,587	1,536	1,536
	畑	643	556	525	514	362	332	293	264	254	254
	宅地道路	942	1,028	1,074	1,122	1,178	1,224	1,254	1,282	1,312	1,312
	山林・他	3,665	3,664	3,675	3,684	3,693	3,680	3,664	3,675	3,681	3,681
湖面降水	1,961	2,028	1,907	1,989	1,923	2,014	2,121	2,157	2,157	2,157	
負荷削減対策	環境こだわり農業	-	-	-	-	23	64	71	71	81	71
	水質保全対策事業	-	-	-	-	75	80	90	94	94	94
	流入河川浄化事業	-	-	-	-	24	36	41	43	43	43
小計	処理場系	618	935	1,673	2,148	2,276	2,309	2,313	2,222	1,973	2,152
	生活系	4,509	4,110	3,702	2,927	1,578	889	835	445	298	632
	産業系	2,630	2,684	2,727	1,859	1,552	1,342	995	835	835	835
	農地系	2,619	2,441	2,331	2,241	1,969	1,872	1,827	1,743	1,673	1,683
	市街地系	942	1,028	1,074	1,122	1,161	1,204	1,230	1,257	1,285	1,285
	山林・他	3,665	3,664	3,675	3,684	3,639	3,618	3,594	3,600	3,606	3,607
	湖面降水	1,961	2,028	1,907	1,989	1,923	2,014	2,121	2,157	2,157	2,157
総計		16,945	16,889	17,088	15,970	14,098	13,247	12,916	12,259	11,828	12,351

注)

- ・農地還元分は把握されていないので、2010年度より0とする
- ・牛・鶏の畜産系負荷については、糞尿ともに全量農地還元されていることから、集計に含めない
- ・「観光客」、「畜産(豚)」については、2010年度より「サービス業等」として水質台帳から集計する
- ・負荷削減対策は2005年度より集計し、また小計では環境こだわり農業は農地系、その他は面源系の負荷量に比例して差し引く

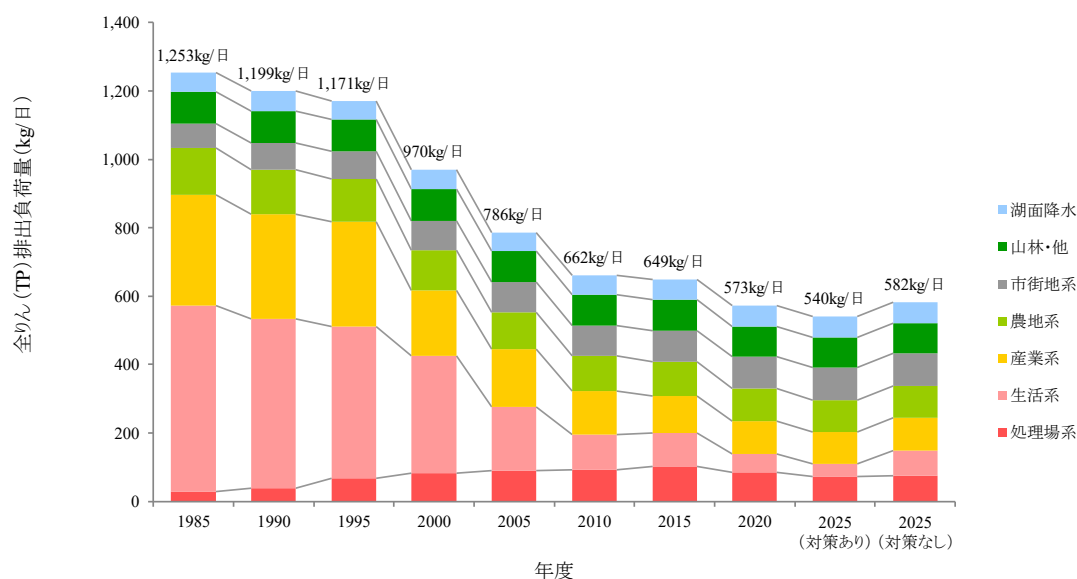


(4) 全リン (TP) 負荷量

		過年度実績値・将来予測値 (kg/日)									
		1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025 (対策あり)	2025 (対策なし)
処理場系	下水処理場	26	21	23	20	25	33	36	42	41	42
	し尿処理場	3	3	2	1	1	1	0	0	0	0
	農業集落排水処理	1	14	44	62	64	58	66	43	32	33
生活系	合併浄化槽	68	60	81	109	98	67	77	40	33	64
	単独浄化槽	197	177	155	127	35	18	10	3	1	3
	し尿処理	237	219	178	102	53	19	11	9	2	8
	農地還元	42	39	29	5	2	0	0	0	0	0
産業系	製造業	206	206	206	94	78	58	46	45	45	45
	サービス業等	44	46	51	53	46	68	63	50	50	50
	観光客	13	17	18	19	20	-	-	-	-	-
	畜産(豚)	62	39	30	24	26	-	-	-	-	-
面源系	水田	135	129	123	118	113	112	112	108	105	105
	畑	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	宅地道路	71	78	81	85	89	93	95	97	99	99
	山林・他	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
湖面降水	56	58	54	57	55	57	60	61	61	61	
負荷削減対策	環境こだわり農業	-	-	-	-	2	6	7	7	7	7
	水質保全対策事業	-	-	-	-	8	8	11	12	12	12
	流入河川浄化事業	-	-	-	-	1	2	3	3	3	3
小計	処理場系	29	38	69	83	89	92	102	86	74	75
	生活系	543	495	444	343	188	105	98	53	35	74
	産業系	325	308	306	190	169	127	109	95	95	95
	農地系	136	130	124	119	108	102	101	97	93	94
	市街地系	71	78	81	85	87	89	91	92	94	94
	山林・他	93	93	93	93	91	90	89	88	88	88
	湖面降水	56	58	54	57	55	57	60	61	61	61
総計	1,253	1,199	1,171	970	786	662	649	573	540	582	

注)

- ・農地還元分は把握されていないので、2010年度より0とする
- ・牛・鶏の畜産系負荷については、糞尿ともに全量農地還元されていることから、集計に含めない
- ・「観光客」、「畜産(豚)」については、2010年度より「サービス業等」として水質台帳から集計する
- ・負荷削減対策は2005年度より集計し、また小計では環境こだわり農業は農地系、その他は面源系の負荷量に比例して差し引く

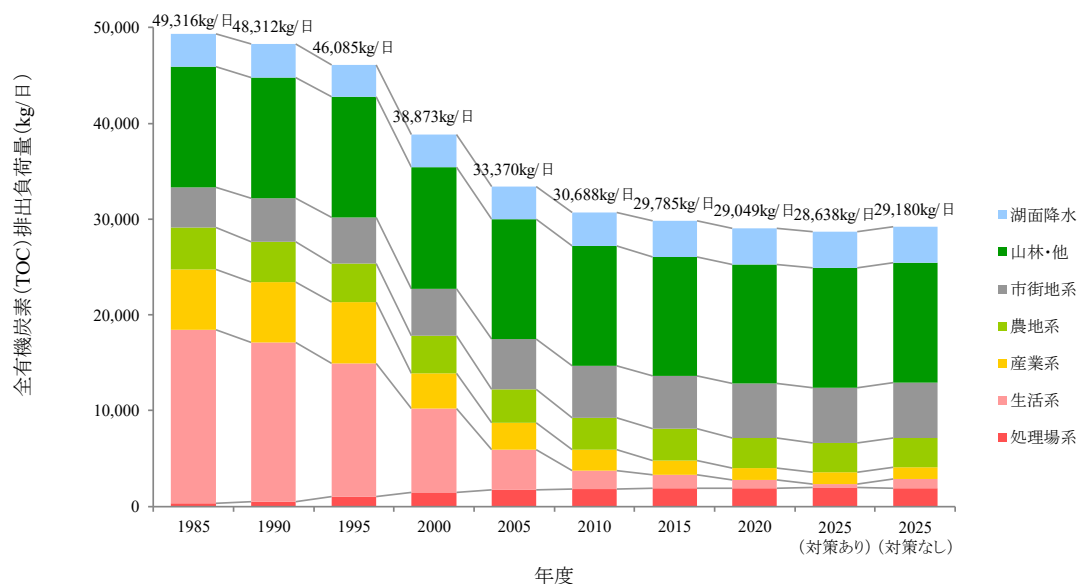


(5) 全有機炭素 (TOC) 負荷量

		過年度実績値・将来予測値 (kg/日)									
		1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025 (対策あり)	2025 (対策なし)
処理場系	下水処理場	316	443	831	1,147	1,431	1,587	1,670	1,734	1,837	1,747
	し尿処理場	37	34	48	31	19	22	12	10	3	8
	農業集落排水処理	4	63	185	252	262	244	242	157	116	114
生活系	合併浄化槽	562	502	675	904	816	559	638	336	272	528
	単独浄化槽	4,217	3,803	3,320	2,730	752	382	215	74	14	70
	し尿処理	11,314	10,443	8,520	4,851	2,528	931	534	427	77	359
	農地還元	1,993	1,861	1,392	262	75	0	0	0	0	0
産業系	製造業	5,622	5,622	5,674	3,066	2,127	1,662	1,038	848	848	848
	サービス業等	437	460	514	494	476	511	430	373	373	373
	観光客	97	130	138	146	150	-	-	-	-	-
	畜産(豚)	123	77	59	48	53	-	-	-	-	-
面源系	水田	4,304	4,107	3,934	3,762	3,612	3,566	3,575	3,456	3,346	3,346
	畑	115	99	94	92	65	59	52	47	45	45
	宅地道路	4,178	4,557	4,763	4,974	5,227	5,430	5,562	5,688	5,818	5,818
	山林・他	12,583	12,579	12,617	12,648	12,679	12,633	12,582	12,616	12,639	12,639
湖面降水	3,415	3,532	3,321	3,465	3,349	3,507	3,694	3,757	3,757	3,757	
負荷削減対策	環境こだわり農業	-	-	-	-	73	207	230	228	261	228
	水質保全対策事業	-	-	-	-	167	179	210	226	226	226
	流入河川浄化事業	-	-	-	-	9	20	20	20	20	20
小計	処理場系	357	540	1,064	1,431	1,712	1,853	1,924	1,901	1,956	1,870
	生活系	18,085	16,609	13,908	8,747	4,171	1,873	1,387	836	362	958
	産業系	6,279	6,289	6,385	3,754	2,805	2,173	1,469	1,221	1,221	1,221
	農地系	4,419	4,206	4,028	3,854	3,574	3,384	3,359	3,236	3,092	3,125
	市街地系	4,178	4,557	4,763	4,974	5,184	5,380	5,503	5,624	5,753	5,753
	山林・他	12,583	12,579	12,617	12,648	12,575	12,518	12,449	12,474	12,497	12,497
	湖面降水	3,415	3,532	3,321	3,465	3,349	3,507	3,694	3,757	3,757	3,757
総計	49,316	48,312	46,085	38,873	33,370	30,688	29,785	29,049	28,638	29,180	

注)

- ・農地還元分は把握されていないので、2010年度より0とする
- ・牛・鶏の畜産系負荷については、糞尿ともに全量農地還元されていることから、集計に含めない
- ・「観光客」、「畜産(豚)」については、2010年度より「サービス業等」として水質台帳から集計する
- ・負荷削減対策は2005年度より集計し、また小計では環境こだわり農業は農地系、その他は面源系の負荷量に比例して差し引く

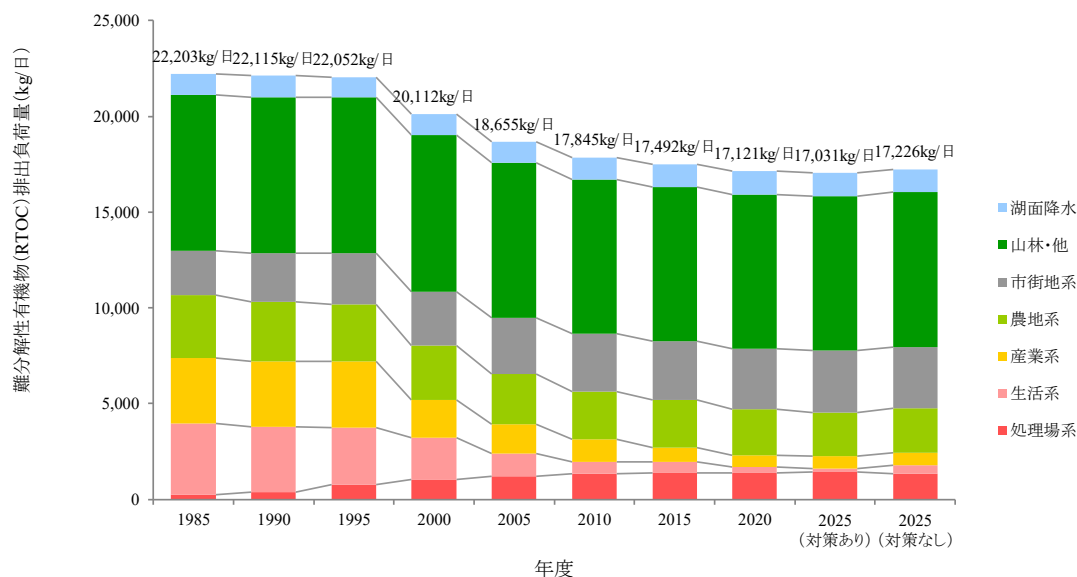


(6) 難分解性有機物 (RTOC) 負荷量

		過年度実績値・将来予測値 (kg/日)									
		1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025 (対策あり)	2025 (対策なし)
処理場系	下水処理場	230	324	611	845	1,055	1,170	1,231	1,278	1,355	1,289
	し尿処理場	26	24	37	24	13	16	9	7	2	6
	農業集落排水処理	2	39	114	156	161	150	149	97	71	70
生活系	合併浄化槽	378	338	454	609	549	376	430	226	183	356
	単独浄化槽	1,180	1,064	929	764	210	107	60	21	4	20
	し尿処理	1,836	1,695	1,383	787	410	151	87	69	12	58
	農地還元	323	302	226	42	12	0	0	0	0	0
産業系	製造業	3,021	3,021	3,022	1,571	1,117	883	510	423	423	423
	サービス業等	258	272	304	287	267	277	237	208	208	208
	観光客	65	88	93	98	101	-	-	-	-	-
	畜産(豚)	66	41	32	26	28	-	-	-	-	-
面源系	水田	3,178	3,033	2,905	2,778	2,667	2,633	2,640	2,552	2,471	2,471
	畑	83	72	68	66	47	43	38	34	33	33
	宅地道路	2,339	2,551	2,666	2,784	2,926	3,039	3,113	3,184	3,257	3,257
	山林・他	8,126	8,123	8,148	8,168	8,187	8,158	8,125	8,147	8,162	8,162
湖面降水	1,092	1,129	1,061	1,108	1,070	1,121	1,181	1,201	1,201	1,201	
負荷削減対策	環境こだわり農業	-	-	-	-	54	153	170	169	193	169
	水質保全対策事業	-	-	-	-	107	114	134	144	144	144
	流入河川浄化事業	-	-	-	-	6	13	13	13	13	13
小計	処理場系	258	386	761	1,025	1,230	1,336	1,389	1,382	1,428	1,365
	生活系	3,717	3,399	2,992	2,202	1,182	634	576	316	199	434
	産業系	3,411	3,422	3,451	1,982	1,512	1,160	747	631	631	631
	農地系	3,261	3,104	2,973	2,844	2,638	2,498	2,480	2,389	2,282	2,307
	市街地系	2,339	2,551	2,666	2,784	2,902	3,011	3,080	3,148	3,220	3,220
	山林・他	8,126	8,123	8,148	8,168	8,121	8,084	8,039	8,055	8,070	8,070
	湖面降水	1,092	1,129	1,061	1,108	1,070	1,121	1,181	1,201	1,201	1,201
総計	22,203	22,115	22,052	20,112	18,655	17,845	17,492	17,121	17,031	17,226	

注)

- ・農地還元分は把握されていないので、2010年度より0とする
- ・牛・鶏の畜産系負荷については、糞尿ともに全量農地還元されていることから、集計に含めない
- ・「観光客」、「畜産(豚)」については、2010年度より「サービス業等」として水質台帳から集計する
- ・負荷削減対策は2005年度より集計し、また小計では環境こだわり農業は農地系、その他は面源系の負荷量に比例して差し引く



(7) 全有機炭素 (RTOC・LTOC) 負荷量

		過年度実績値・将来予測値 (kg/日)									
		1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025 (対策あり)	2025 (対策なし)
小計	難分解性有機物	22,203	22,115	22,052	20,112	18,655	17,845	17,492	17,121	17,031	17,226
	易分解性有機物	27,113	26,198	24,033	18,760	14,715	12,843	12,292	11,928	11,607	11,954
総計		49,316	48,312	46,085	38,873	33,370	30,688	29,785	29,049	28,638	29,180

