

第 7 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)

平成 2 8 年 1 1 月

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

1. 将来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. 将来水質予測シミュレーションの結果まとめ.....	2-1
2.1 評価方法.....	2-1
2.2 結果まとめ.....	2-4
3. 現況再現シミュレーション(2015年度)	3-1
3.1 データ整備の方法.....	3-1
3.2 計算条件.....	3-9
3.3 計算結果.....	3-10
4. 将来予測シミュレーション(2020年度)	4-1
4.1 データ整備の方法.....	4-1
4.2 計算条件.....	4-5
4.3 計算結果.....	4-28
5. 原単位法による負荷量推計	5-1
5.1 負荷量の計算方法.....	5-1
5.2 原単位の計算.....	5-3
5.3 負荷量計算結果.....	5-11

1. 将来予測に用いたモデルの概要

1.1 はじめに

琵琶湖では有機物をはじめとする流入負荷削減対策を進めてきたが、BOD は減少傾向にある一方で COD は減少しておらず、微生物では分解されにくい有機物（難分解性有機物）の増加が疑われている。そのため滋賀県では、琵琶湖の水質汚濁メカニズムを解明するため「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、これまで第 6 期湖沼水質保全計画（以下「湖沼計画」という。）に係る水質シミュレーション等を実施してきた。

一方で近年、在来魚介類の減少や水草の大量繁茂等の新たな問題の顕在化してきており、この要因として、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。そのためモデルでも、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・評価することが求められる。

以上を踏まえ、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・予測を行うこととする。具体的には、従来の評価項目である全窒素（TN）、全リン（TP）に加え、TOC についても予測値を提示するため、2015 年度における社会や環境の状況について整理し、モデルを用いた再現計算を行うとともに、5 年後（2020 年度）までの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）。

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 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 (RDON)、易分解性有機態窒素 (LDON)、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 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 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 5 に示す。

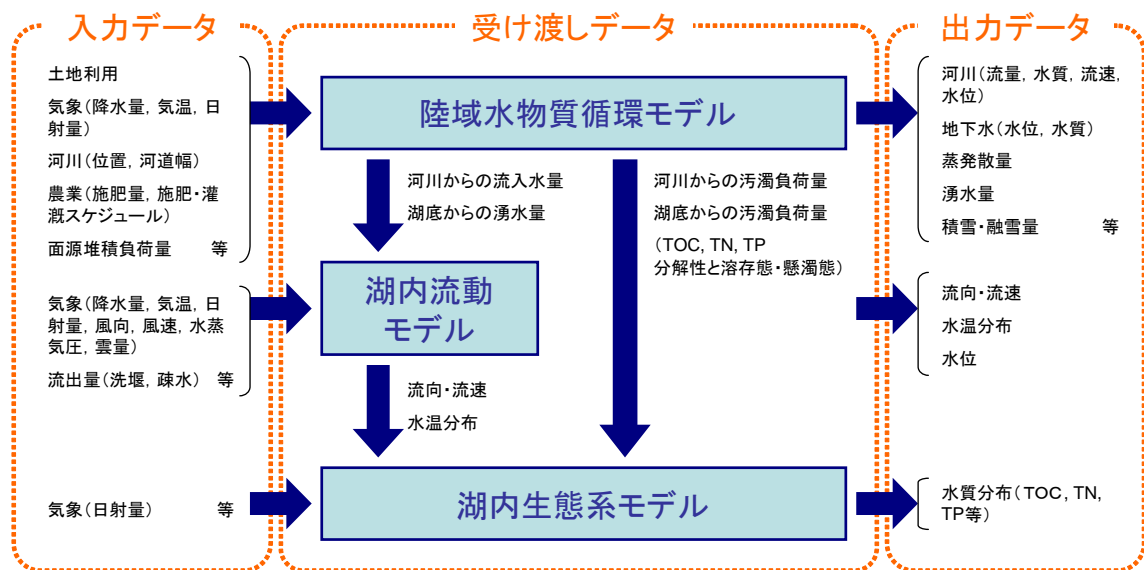


図 1 琵琶湖流域水物質循環モデルの全体像

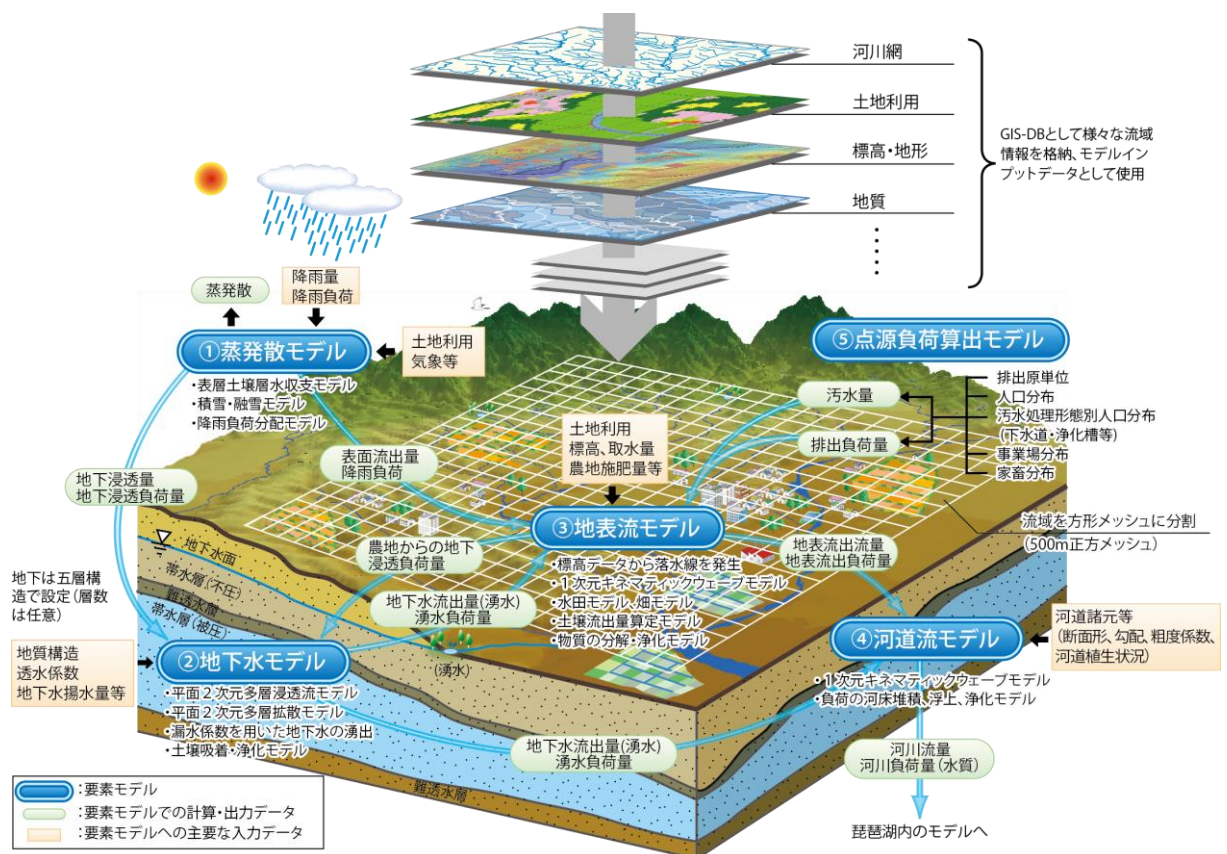


図 2 陸域水物質循環モデルの概要

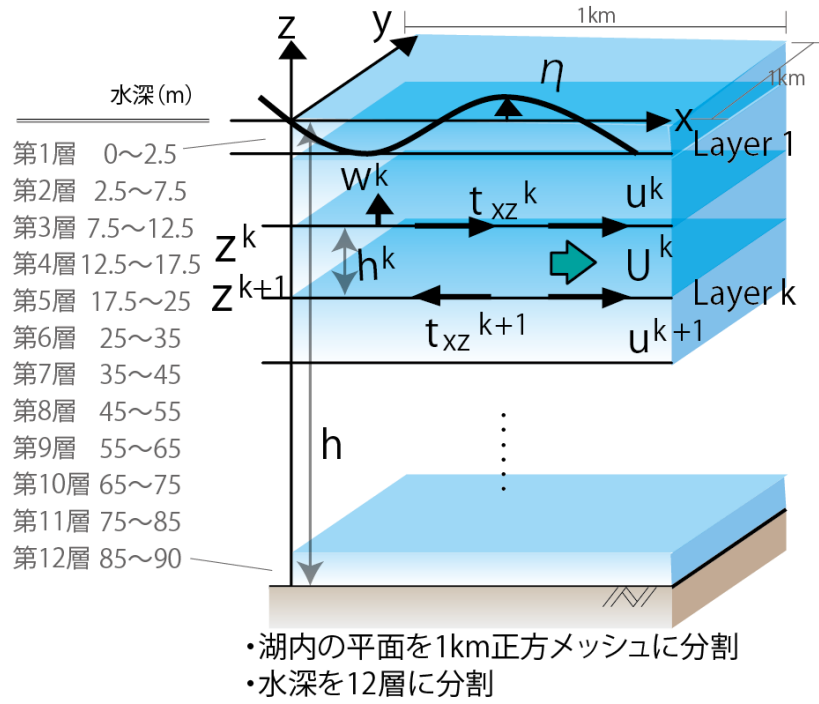


図 3 湖内流動モデルの概要

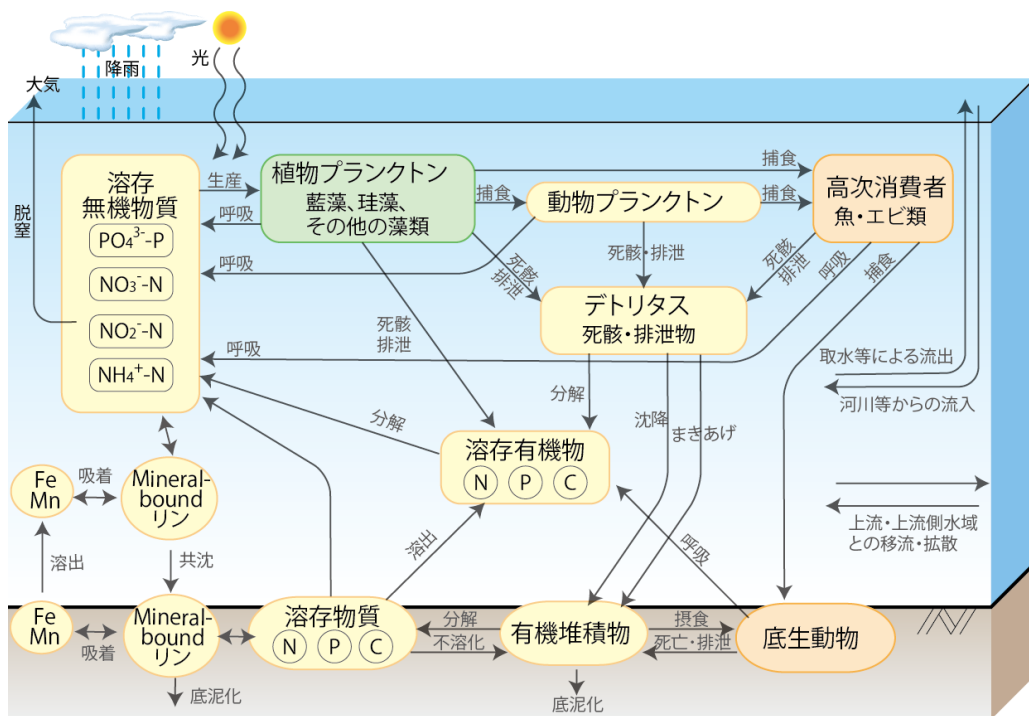


図 4 湖内生態系モデルの概要

計算領域

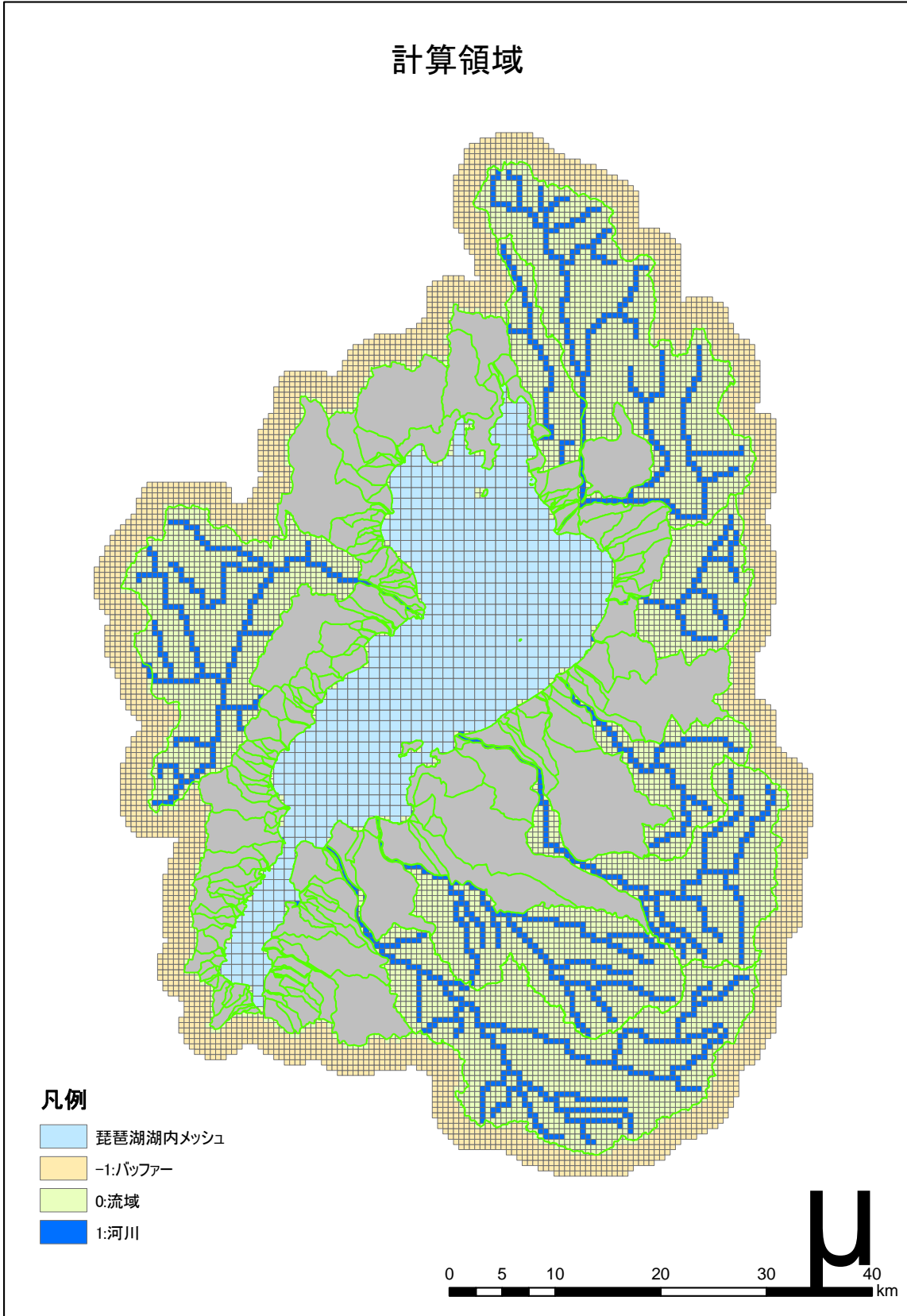


図 5 モデルにおける計算領域（陸域は 500m、湖内は 1km メッシュ）

2. 将来水質予測シミュレーションの結果まとめ

2.1 評価方法

第3章～5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¹

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、北湖環境基準点7地点（17A、17B、17C²、15B、13A、13C、12B）と、南湖環境基準点4地点（9B、8C、6B、4A）を対象として（図7）、2011～2015年度におけるTOCとCODの相関からTOCをCODに換算した。換算式は以下の通りである（図6）。

北湖：COD = 1.29 × TOC + 0.55

南湖：COD = 1.34 × TOC + 0.50

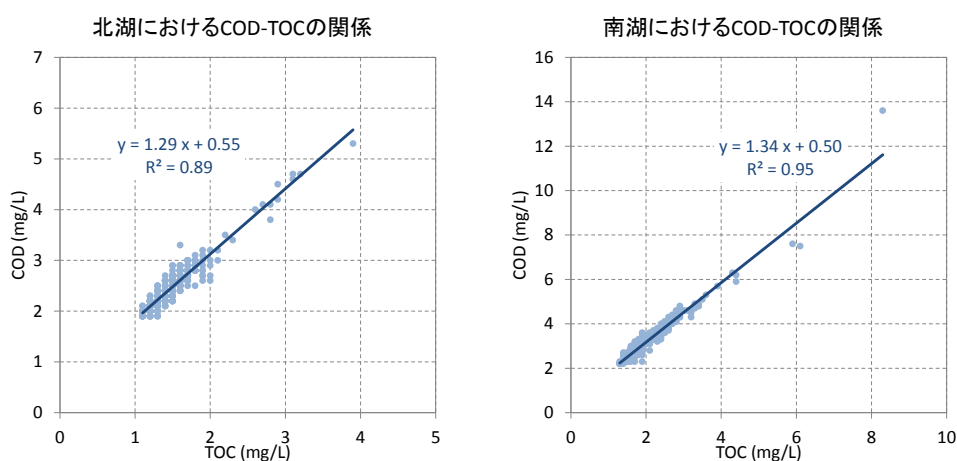


図6 北湖・南湖におけるTOCとCODの相関

¹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

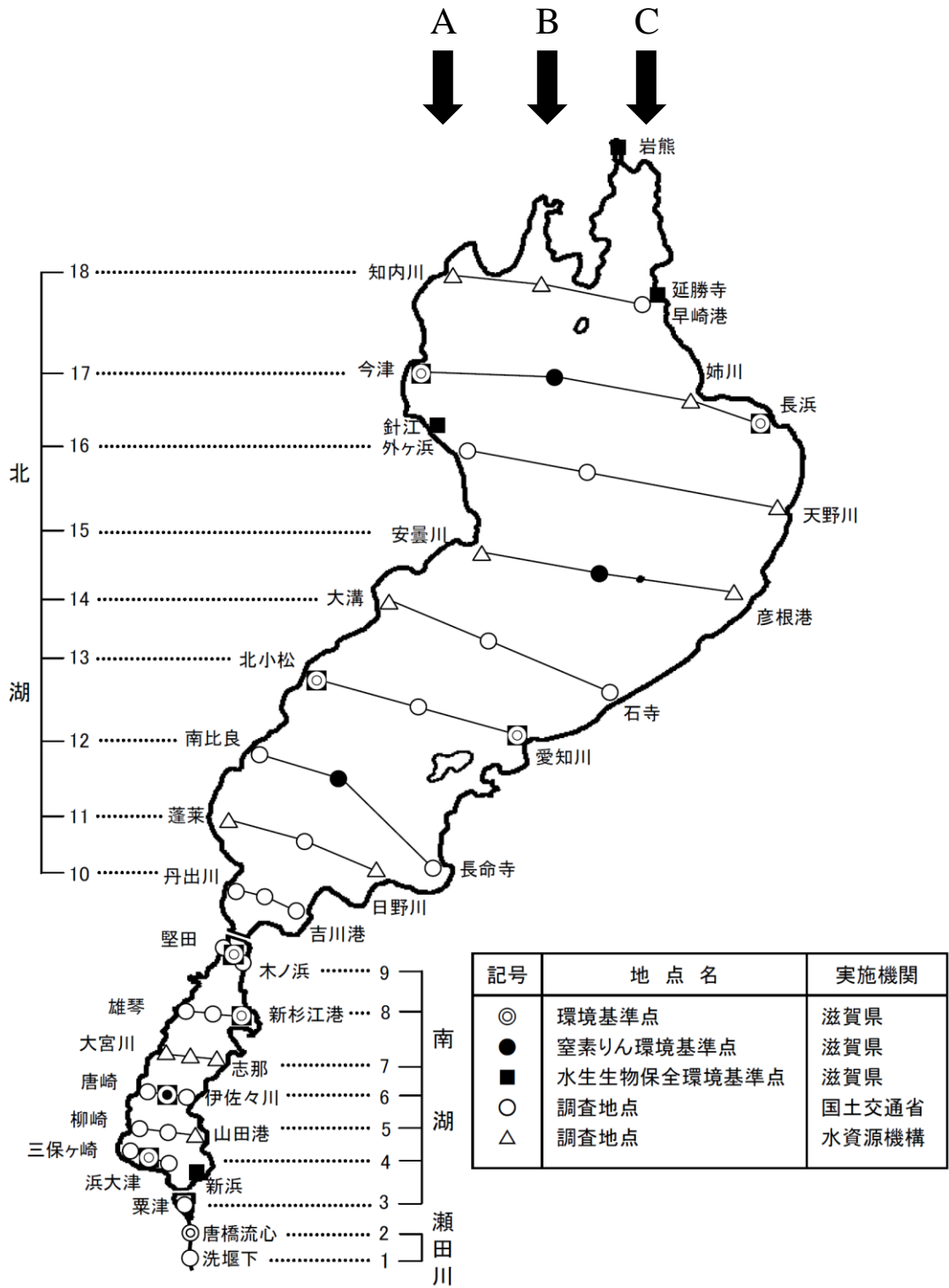


図 7 琵琶湖における観測地点

なお第 4 章で後述するように、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 2020 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（2016～2020 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、2015 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。2015 年度の計算値が観測値と異なる場合に、将来（2016～2020 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、2015 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、2015 年度の水質観測値を C_{obs} 、モデルによる 2015 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

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

として補正を行った。

2.2 結果まとめ

以上により算出された結果をまとめたものを表 1 に示す。予測水質は 2016～2020 年度平均値の幅をもって示した。また対策ありと対策なしの差分については、2020 年度を目標として対策量を設定していることから、2020 年度時点の値を示した。

表 1 将来水質予測シミュレーションの結果まとめ

単位:mg/L

汚濁項目	環境基準点		No.	2015年度実績		2016～2020年度対策あり		2016～2020年度対策なし		2020年度 対策あり・なし差分	
				年間 平均値	75% 値	年間平均値	75% 値	年間平均値	75% 値	年間 平均値	75% 値
TOC	北湖	今津沖	17A	1.4	1.5	1.3 ~ 1.5	1.5 ~ 1.7	1.3 ~ 1.6	1.5 ~ 1.8	0.0	0.0
		長浜沖	17C	1.5	1.6	1.6 ~ 1.9	2.1 ~ 2.4	1.6 ~ 1.9	2.1 ~ 2.5	0.0	0.1
		北小松沖	13A	1.4	1.5	1.3 ~ 1.5	1.4 ~ 1.7	1.3 ~ 1.6	1.4 ~ 1.7	0.0	0.0
		愛知川沖	13C	1.6	1.5	1.6 ~ 2.0	1.6 ~ 2.1	1.6 ~ 2.0	1.6 ~ 2.2	0.0	0.1
	南湖	堅田沖中央	9B	1.7	1.7	1.7 ~ 2.1	1.8 ~ 2.1	1.7 ~ 2.2	1.8 ~ 2.1	0.0	0.0
		新杉江港沖	8C	2.7	3.0	2.8 ~ 3.1	3.7 ~ 4.0	3.5 ~ 3.7	4.1 ~ 4.4	0.7	0.4
		唐崎沖中央	6B	1.7	1.7	1.8 ~ 2.1	1.9 ~ 2.3	2.0 ~ 2.3	2.0 ~ 2.4	0.2	0.2
		浜大津沖	4A	1.9	1.9	2.1 ~ 2.5	2.3 ~ 2.6	2.3 ~ 2.7	2.4 ~ 2.7	0.2	0.1
	北湖平均			1.5	1.5	1.4 ~ 1.7	1.6 ~ 2.0	1.4 ~ 1.8	1.7 ~ 2.0	0.0	0.1
	南湖平均			2.0	2.1	2.1 ~ 2.5	2.4 ~ 2.7	2.4 ~ 2.7	2.6 ~ 2.9	0.3	0.2
北湖最大値			1.6	1.6	1.6 ~ 2.0	2.1 ~ 2.4	1.6 ~ 2.0	2.1 ~ 2.5			
南湖最大値			2.7	3.0	2.8 ~ 3.1	3.7 ~ 4.0	3.5 ~ 3.7	4.1 ~ 4.4			
COD	北湖	今津沖	17A	2.4	2.6	2.3 ~ 2.6	2.6 ~ 2.9	2.3 ~ 2.6	2.6 ~ 3.0	0.0	0.0
		長浜沖	17C	2.6	2.8	2.7 ~ 3.1	3.5 ~ 4.0	2.7 ~ 3.2	3.5 ~ 4.1	0.1	0.1
		北小松沖	13A	2.4	2.7	2.2 ~ 2.6	2.5 ~ 3.0	2.2 ~ 2.6	2.6 ~ 3.0	0.0	0.1
		愛知川沖	13C	2.6	2.7	2.5 ~ 3.1	2.9 ~ 3.6	2.6 ~ 3.2	2.9 ~ 3.7	0.1	0.1
	南湖	堅田沖中央	9B	2.7	2.9	2.7 ~ 3.3	3.0 ~ 3.5	2.7 ~ 3.3	3.0 ~ 3.5	0.1	0.1
		新杉江港沖	8C	4.1	4.6	4.2 ~ 4.7	5.5 ~ 5.9	5.2 ~ 5.5	6.1 ~ 6.5	0.9	0.5
		唐崎沖中央	6B	2.8	2.9	3.0 ~ 3.4	3.1 ~ 3.7	3.2 ~ 3.6	3.4 ~ 3.9	0.3	0.3
		浜大津沖	4A	3.1	3.2	3.4 ~ 3.9	3.7 ~ 4.2	3.7 ~ 4.1	3.9 ~ 4.3	0.3	0.2
	北湖平均			2.5	2.7	2.4 ~ 2.8	2.9 ~ 3.4	2.4 ~ 2.9	2.9 ~ 3.4	0.0	0.1
	南湖平均			3.2	3.4	3.3 ~ 3.8	3.8 ~ 4.3	3.7 ~ 4.1	4.1 ~ 4.6	0.4	0.3
北湖最大値			2.6	2.8	2.7 ~ 3.1	3.5 ~ 4.0	2.7 ~ 3.2	3.5 ~ 4.1			
南湖最大値			4.1	4.6	4.2 ~ 4.7	5.5 ~ 5.9	5.2 ~ 5.5	6.1 ~ 6.5			
TN	北湖	今津沖中央	17B	0.24		0.24 ~ 0.28		0.24 ~ 0.28		0.00	
		安曇川沖中央	15B	0.24		0.23 ~ 0.28		0.23 ~ 0.28		0.00	
		南比良沖中央	12B	0.25		0.24 ~ 0.30		0.24 ~ 0.30		0.00	
	南湖	唐崎沖中央	6B	0.24		0.25 ~ 0.27		0.25 ~ 0.28		0.01	
	北湖平均			0.24		0.24 ~ 0.29		0.24 ~ 0.29		0.00	
	南湖平均			0.24		0.25 ~ 0.27		0.25 ~ 0.28		0.01	
TP	北湖	今津沖中央	17B	0.007		0.006 ~ 0.007		0.006 ~ 0.008		0.000	
		安曇川沖中央	15B	0.006		0.005 ~ 0.006		0.005 ~ 0.006		0.000	
		南比良沖中央	12B	0.008		0.007 ~ 0.007		0.007 ~ 0.008		0.000	
	南湖	唐崎沖中央	6B	0.012		0.012 ~ 0.013		0.013 ~ 0.014		0.002	
	北湖平均			0.007		0.006 ~ 0.007		0.006 ~ 0.007		0.000	
	南湖平均			0.012		0.012 ~ 0.013		0.013 ~ 0.014		0.002	

* CODの計算値は以下によりTOCから換算した

北湖: $COD = 1.29 \times TOC + 0.55$

南湖: $COD = 1.34 \times TOC + 0.50$

以上を踏まえ、将来水質の目標値を設定する考え方について示す。例えば、以下の考え方に基づくと、目標値は表 2 のとおりとなる。

- ・ 2016～2020 年度の予測幅の中で最小の値を目標値とする。
- ・ 予測幅の最小値が現状の値よりも高い場合は、現状の値を目標値とする。
- ・ 対策を講じない場合の値は、対策を講じた場合の値に、2020 年度予測値の両者の差を加えたものとする。

表 2 水質目標値の設定例

項目			現状 (平成27年 度)	平成32年度	
				対策を講じな い場合	対策を講じた 場合
COD	75%値	北湖	2.8	2.9	2.8
		南湖	4.6	4.9	4.6
	年平均値 (参考)	北湖	2.5	2.5	2.4
		南湖	3.2	3.6	3.2
全窒素	年平均値	北湖	0.25	0.24	0.24
		南湖	0.24	0.25	0.24
全りん	年平均値	南湖	0.012	0.013	0.012

(参考値)

項目			現状 (平成27年 度)	平成32年度	
				対策を講じな い場合	対策を講じた 場合
TOC	年平均値	北湖	1.5	1.5	1.4
		南湖	2.0	2.3	2.0