

4. 琵琶湖の流域管理のための分析システムの構築に関する調査研究

琵琶湖流域の水質シミュレーションモデルの構築と対策効果検討

佐藤祐一・金再奎・高田俊秀・内藤正明・
永禮英明¹⁾・小松英司²⁾・上原浩³⁾

要約

本研究で構築した琵琶湖流域の水質シミュレーションモデルは、コンピュータ上で琵琶湖流域の水物質循環の状況を再現し、各種環境保全対策の効果を予測することができるモデルであり、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つのコンポーネントモデルにより構成される。これら3つのモデルを結合することで、水や汚濁物質が陸域から湖内に流入し、様々な作用を受けるという一連の過程を再現・予測することが可能となる。

本研究では、上記モデルの概要について述べた後、2000年と2005年を対象として再現計算を行った結果について報告する。また、2010年を対象として対策効果の検討を行った結果についても報告する。

1. はじめに

琵琶湖の年々の水質はその年の気象条件に大きく左右される。例えば2002年度から2003年度にかけて環境基準点における年間平均TNは全地点で0.1mg/L程度上昇したが、これは2002年度は渇水の影響で陸域などからの汚濁負荷の供給が抑えられた一方、2003年度は大雨により陸域などからの供給が増加したためと考えられている（滋賀県、2006）。一方南湖では、多雨による湖水の滞留時間の短縮が植物プランクトンの生産抑制や透明度上昇につながることが確認されている（藤原ら、2004）。

したがって琵琶湖を取り巻く流域の水環境を把握し、対策の実施による琵琶湖の水質の変化を精度良く予測するためには、時々刻々の気象がもたらす陸域での水・物質の循環や湖内の流れ、またそれらが湖内のプランクトンや汚濁物質等に及ぼす影響を再現することが必要である。しかしながら陸域からの面源負荷量を推定する際に一般に用いられる原単位法では、降水の多少やパターンによらず一定の負荷量が与えられるため、それらが水質に及ぼす影響を湖面への直接降雨を除き考慮できないという課題があった。

そこで本研究では、琵琶湖の陸域・湖内流動・湖内生態系に関するモデルを結合し、気象や社会条件等を考慮して非定常な解析が可能な分布型水質シミュレーションモデルを構築した。昨年度はこのうち3つのモデルの概要と現況再現の途中経過について報告した（金ら、2007）が、今回は3つのモデルを結合し、キャリブレーションを行った結果について報告する。またこのモデルを使って対策効果の検討を行った結果についても報告する。

2. 琵琶湖流域水物質循環モデルの構築

琵琶湖流域水物質循環モデルの全体像を図1、図2に示す。モデルは「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。各モデルは参考文献に挙げた既存のモデルを琵琶湖流域水物質循環モデル用にカスタマイズして構築した。陸域は500mメッシュ5層、湖内は1kmメッシュ8層として計算を行い、タイムステップは1秒～1時間でモデルにより異なる。

陸域水物質循環モデル（上原ら、2006；湯浅ら、2006）は6つの要素モデルから成り、河川流量や水質、地下水位や水質等をシミュレートする（図2）。「地表流モデル」においては無降雨時の面源負荷の堆積や降雨時の負荷発生メカニズムが再現可能である。

湖内流動モデル（永禮、2001）はX、Y、Z方向の運動方程式、水温収支式、連続の式を元に、静水圧近似、Boussinesq近似を仮定し、陸域や地下からの流入水量を受けて、流向や流速、水温、水位等を差分法により計算する（図2）。

湖内生態系モデル（E.Komatsu et al., 2006）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生態系モデルである。本モデルでは図2に示すように水相は6つ、底質は3つのコンパートメントより構成され、陸域や底質からの負荷量や湖内流動の結果を受け、システム・ダイナミクスにより湖内の生態系や水質等をシミュレートする。

1) 北見工業大学工学部、 2) 千代田アドバンス・ソリューションズ（株）、 3) パシフィックコンサルタンツ（株）

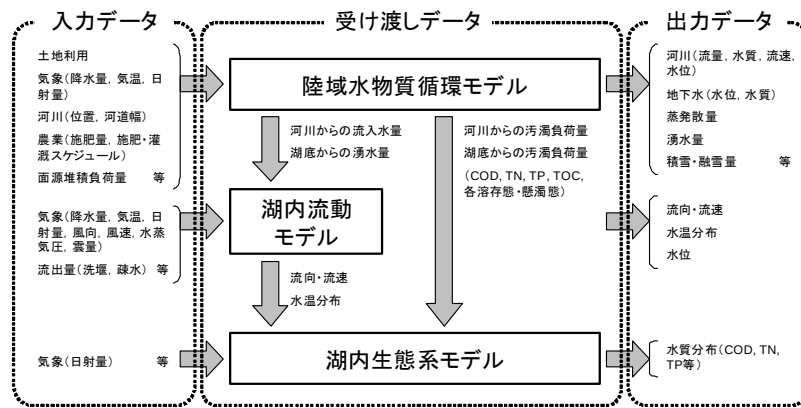


図1 水質シミュレーションモデルの全体像

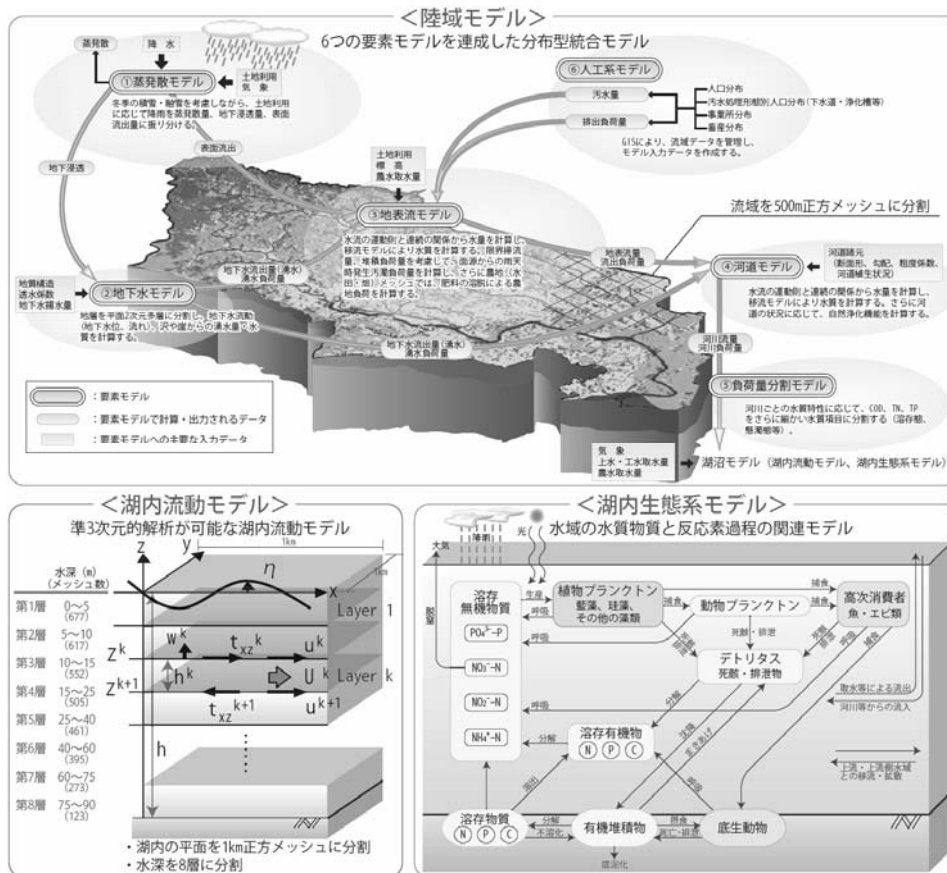


図2 水質シミュレーションモデルの概要

3. 現況再現結果

2000年と2005年を対象として再現計算を行った。気象条件や点源負荷量は該当年度の実績値、土地利用は国土数値情報のデータ（平成9年度）と県の市町別データを元に作成、施肥量や負荷堆積量等は文献値を参考に河川水質の再現性等を加味して設定した。各年における陸域全体の水循環をまとめた結果を図3に示す。2000年、2005年共に平年より降水量の少ない年であったが、降水量のうち約40%が蒸発散、約16%が表面流出し、最終的に年間

約33億tが琵琶湖に流入している。地下に浸透した降水の一部が地下水の涵養に用いられているが、地下水位の初期値が実際より低かったことも考えられる。陸域の地下水に関するデータは限られており、今後調査を行ってデータを蓄積すると共に、モデルの境界条件や初期条件に活かしていく必要がある。

また、湖内の環境基準点における2005年のCOD、TN、TP年間平均値の結果を図4に示す。琵琶湖の北湖（17A～12B）、南湖（9B～4A）共に地点ごとの濃度の差を一定再

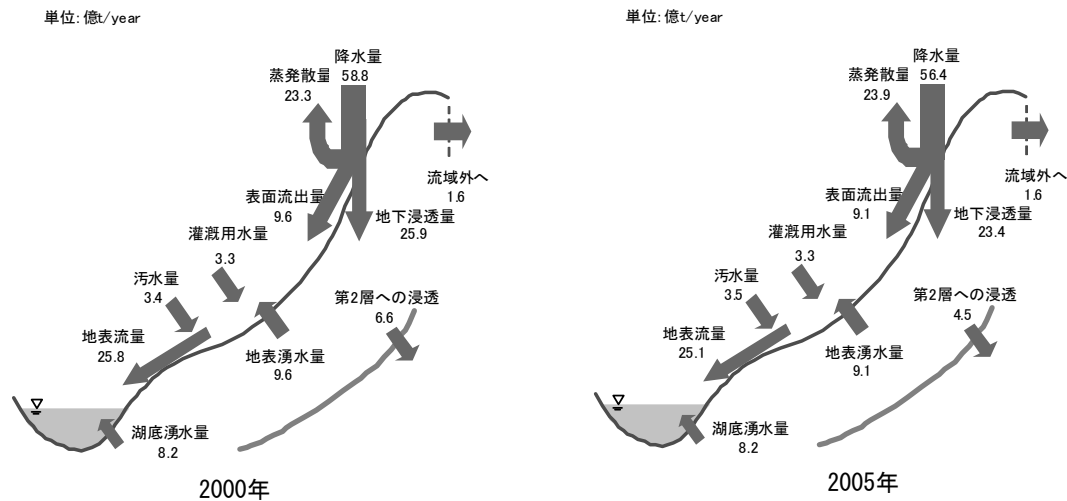


図3 陸域における水循環の結果

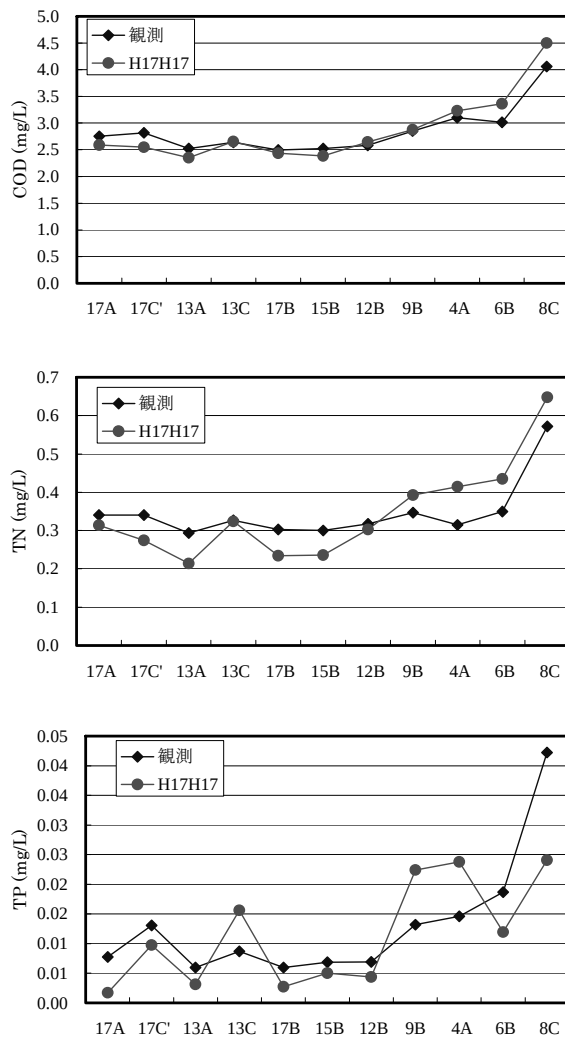


図4 2005年における湖内水質再現結果

現できており、特に8Cは汚濁の進んだ赤野井湾のすぐ沖にあたり、陸域からの負荷量が湖内水質にもたらす影響を、流動も加味して再現できていることが分かる。

しかしリンについては、マイクロスコピックな過程が物質循環に影響しており、その詳細までモデル化されていないため現象を再現できておらず、ばらついていると考えられる。今後、リンに関して陸域モデルとの関連性も含め、より詳細な検討を進める必要がある。なお湖内生態系モデルは、物質収支の取れるCarbonで回し、各コンパートメントにおけるCarbon量をCODに換算している。

4. 対策効果の検討

2010年を対象として、2005年より対策を行った場合、行わなかった場合等のケースについて上記モデルを用いて水質予測計算を行った。検討ケースの概要を表1に示す。

水質予測計算を行った結果を表2に示す。今後負荷削減対策を実施することで、現況の水質は、COD75%値で北湖2.9・南湖4.2、TNで北湖0.30・南湖0.33、TPで南湖0.018まで改善あるいは現状維持できることが分かった。

5. おわりに

本研究では、琵琶湖流域の水質シミュレーションモデルの概要について述べた後、2000年と2005年を対象として再現計算を行った結果について報告した。また、2010年を対象として対策効果の検討を行った結果についても報告した。今後、データの蓄積やモデルの改良による現況再現精度の向上に努める他、より詳細な施策とその効果予測を行っていく予定である。

表1 検討ケースの概要

ケース	生活排水対策	面源対策
①昭和60年度から対策なし	・昭和60年度時点から対策を講じない。 ・人口増加分は、昭和60年度時点の汚水処理形態比率で増加するものと仮定 ・処理レベルは昭和60年度に固定	・昭和60年度から新たな面源負荷対策を講じない。
②計画期間中に対策なし	・下水道整備は現況に固定 人口変化分は合併処理浄化槽で対応 ・下水処理場の処理レベルは現況の平成17年度に固定	・平成17年度から新たな面源負荷対策を講じない。
③対策あり	・計画に基づき下水道などの生活系排水処理対策を実施 ・下水処理場の処理レベル向上を考慮	・計画に基づき、面源負荷削減対策を実施（環境こだわり農業・水質保全対策事業・流入河川浄化事業・河川直接浄化）

表2 2010年水質予測

		単位：mg/L			
		現状 (2005年)	2010年		
			対策あり	対策なし	対策なし (S60から)
化学的酸素 要求量	75%値	北湖	3.0	3.0	3.4
		南湖	4.2	4.3	4.9
	年平均値	北湖	2.6	2.6	2.8
	(参考)	南湖	3.1	3.3	3.9
全窒素	年平均値	北湖	0.32	0.33	0.37
		南湖	0.36	0.37	0.52
全リン	年平均値	北湖	0.018	0.019	0.026
		南湖	0.018	0.019	0.026

		単位：mg/L									
汚濁項目	環境基準点	No.	2005年実績		2010年対策あり		2010年対策なし		2010年対策なし (S60から)		
			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	75%値
COD	北湖	今津沖	17A	2.7	2.8	2.70	2.82	2.70	2.80	2.80	2.95
		長浜沖	17C'	2.7	3.0	2.63	2.91	2.71	3.02	2.98	3.39
		北小松沖	13A	2.5	2.7	2.46	2.63	2.51	2.71	2.62	3.00
		愛知川沖	13C	2.6	2.8	2.53	2.68	2.61	2.81	2.98	3.30
	南湖	堅田沖中央	9B	2.8	3.0	2.68	2.82	2.82	3.03	3.46	3.98
		新杉江港沖	8C	3.8	4.2	3.76	4.17	3.96	4.34	4.81	4.93
		唐崎沖中央	6B	3.1	3.3	3.03	3.16	3.17	3.35	3.73	4.28
		浜大津沖	4A	3.1	3.5	3.03	3.41	3.16	3.57	3.74	4.62
		北湖平均		2.6	2.8	2.58	2.76	2.63	2.83	2.85	3.16
		南湖平均		3.2	3.5	3.15	3.39	3.28	3.57	3.93	4.45
		北湖最大値		2.7	3.0	2.70	2.91	2.71	3.02	2.98	3.39
		南湖最大値		3.8	4.2	3.76	4.17	3.96	4.34	4.81	4.93
T-N	北湖	今津沖中央	17B	0.29		0.279		0.290		0.323	
		安曇川沖中央	15B	0.30		0.282		0.301		0.362	
		南比良沖中央	12B	0.32		0.301		0.32666		0.374	
		唐崎沖中央	6B	0.36		0.3292		0.372		0.515	
	南湖	北湖平均		0.30		0.287		0.308		0.353	
		南湖平均		0.36		0.329		0.372		0.515	
		北湖最大値		0.32		0.301		0.32666		0.374	
		南湖最大値		0.36		0.3292		0.372		0.515	
T-P	北湖	今津沖中央	17B	0.0063		0.0063		0.0065		0.0074	
		安曇川沖中央	15B	0.0066		0.0065		0.0069		0.0084	
		南比良沖中央	12B	0.0068		0.0066		0.0072		0.0096	
		唐崎沖中央	6B	0.018		0.0184		0.0193		0.0258	
	南湖	北湖平均		0.0066		0.0065		0.0069		0.0085	
		南湖平均		0.018		0.0184		0.0193		0.0258	
		北湖最大値		0.0068		0.0066		0.0072		0.0096	
		南湖最大値		0.018		0.0184		0.0193		0.0258	

参考文献

E. Komatsu, T. Fukushima and H. Shiraishi (2006) :

Modeling of P-dynamics and algal growth stratified reservoir mechanisms of the P-cycle and interactions between water and sediment, Ecological Modelling, 197 : 331-349.

藤原直樹ら (2004) : 2003～2004年度における琵琶湖水質調査の結果から. 平成16年度試験研究報告. 滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター.

金再奎ら (2007) : 琵琶湖流域の水質シミュレーションモデルの構築. 平成17年度試験研究報告. 滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター : 39-47.

永禮英明 (2001) : 琵琶湖北湖の水質形成過程に関する研究, 京都大学学位論文.

滋賀県環境審議会水環境部会資料 (2006年12月11日) .

上原浩ら (2006) : 流域水循環モデルの構築と印旛沼流域への適用. 水文・水資源学会2006年度研究発表会要旨集:100-101.

湯浅岳士ら (2006) : 蒸発散-表面流出-面源負荷発生モデルの開発. 水文・水資源学会2006年度研究発表会要旨集 : 132-133.