

1. はじめに

近年、琵琶湖北湖の湖底近傍において栄養塩濃度の上昇と溶存酸素濃度の低下が観測されている。この原因として例年厳冬期に生じる全層混合の弱体化が考えられる。琵琶湖表層では、湖面での再曝気や植物プランクトンの光合成によって酸素が供給される。一方、湖底では夏期の酸素供給はなく、酸素は有機物の分解や呼吸によって消費されるのみである。このようにして生じる湖底での酸素不足が一年に一度、琵琶湖の水が鉛直方向に循環することによって解消されている。夏場に表層が温められると、鉛直方向に約20℃の温度差を持つ水温成層が形成される。その後冬にかけて表層が冷やされ、厳冬期には水の密度差によって鉛直方向の循環が生じる。この循環の遅れなどが近年観測され、メカニズムの解明が急務となっている。本研究では、三次元の琵琶湖モデルを構築し、その再現性について実測値と比較し、評価を行った。最後に、将来予測シナリオを仮定し、地球温暖化が湖に与える影響についての検討を行うことを目標とした。

2. 琵琶湖モデルの概要

2.1 計算条件

Fig.1 にモデルの計算領域と琵琶湖の水深を示す。水平計算領域は琵琶湖全体を含む36km×65.5kmである。水平格子は500m×500m、格子数は72×131とした。鉛直方向の格子幅は、表層から20mまでを0.5m毎、20m以深は100m毎に格子幅を大きくし、最大2.5mに設定している。これは夏場の温度躍層を詳細に表現するためであり、格子数は全87である。計算期間は、2006年7月からの半年間を助走期間とし、2007年の一年間を対象として結果を評価した。また入力条件として、

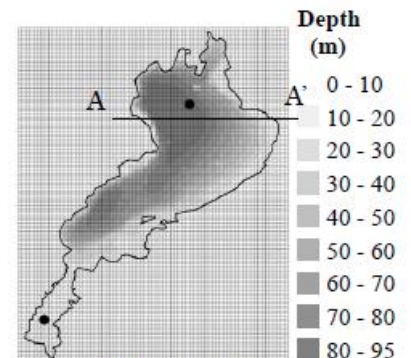


Fig.1 Lake Biwa model mesh

風速、気温、日射量などの気象条件は、気象庁客観解析データを内挿によって各メッシュに適応させ、一時間毎に更新した。さらに本研究では、淀川流域圏水系モデルによって琵琶湖に流れ込む56の河川について河川流量・水温を計算し、その結果を境界条件として与えた。

2.2 水質モデル概要

本研究では「植物プランクトン」「動物プランクトン」「無機態窒素」「有機態窒素」「無機態リン」「有機態リン」「溶存酸素」「SS性COD」「溶解性COD」の9つの生態系構成要素を取り扱うものとした。

生態系構成要素は、化学的・生物的過程による変化と、移流・拡散による影響を受ける。時間変化を以下の移流・拡散方程式によって表す。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \kappa_h \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \kappa_h \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \kappa_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + Q_c$$

C : 生態系構成要素の濃度

Q<sub>c</sub> : 化学的・生物的過程による単位時間あたりの変化量

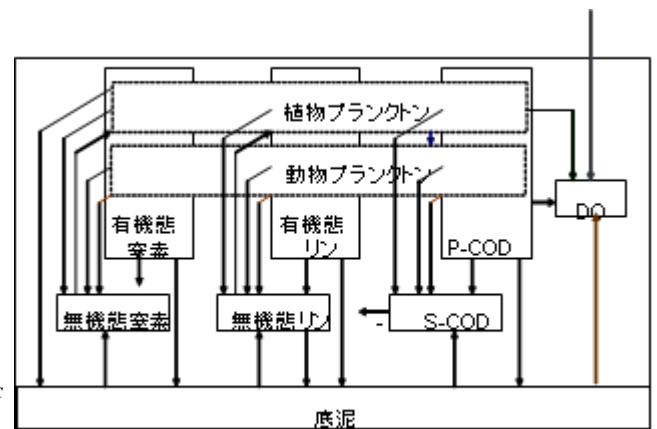


Fig.2 Conceptual diagram in water quality model

また、Fig.2に水質モデルの概念図を示す。生態系構成要素のQ<sub>c</sub>の定式化は岩佐<sup>(1)</sup>の式に従った。

### 3. 結果

#### 3.1 水質変化の再現性

田上<sup>②</sup>は、水文モデルを用いて琵琶湖内の流れ水温を再現できることを示している。この計算結果を用いて水質モデルの計算を実施した。結果を「植物プランクトン」「全窒素」「全リン」「溶存酸素」「全 COD」の各項目について滋賀県琵琶湖環境科学研究センター<sup>③</sup>の北湖観測地点今津沖中央の表層と湖底、南湖観測地点唐崎沖中央における表層での観測値と計算値の比較を行った。Fig.3 に植物プランクトン、溶存酸素の北湖表層における観測値と計算値を示す。

ここでは北湖表層における結果のみを示したが、北湖湖底、南湖においてもよく一致しており、琵琶湖の水質をよく再現できた。観測値と計算値の一致精度をより向上させるために、鉛直方向や、北湖、南湖などその特徴によって初期値やパラメーターの設定を分布型で与えることも効果的だと考えられる。

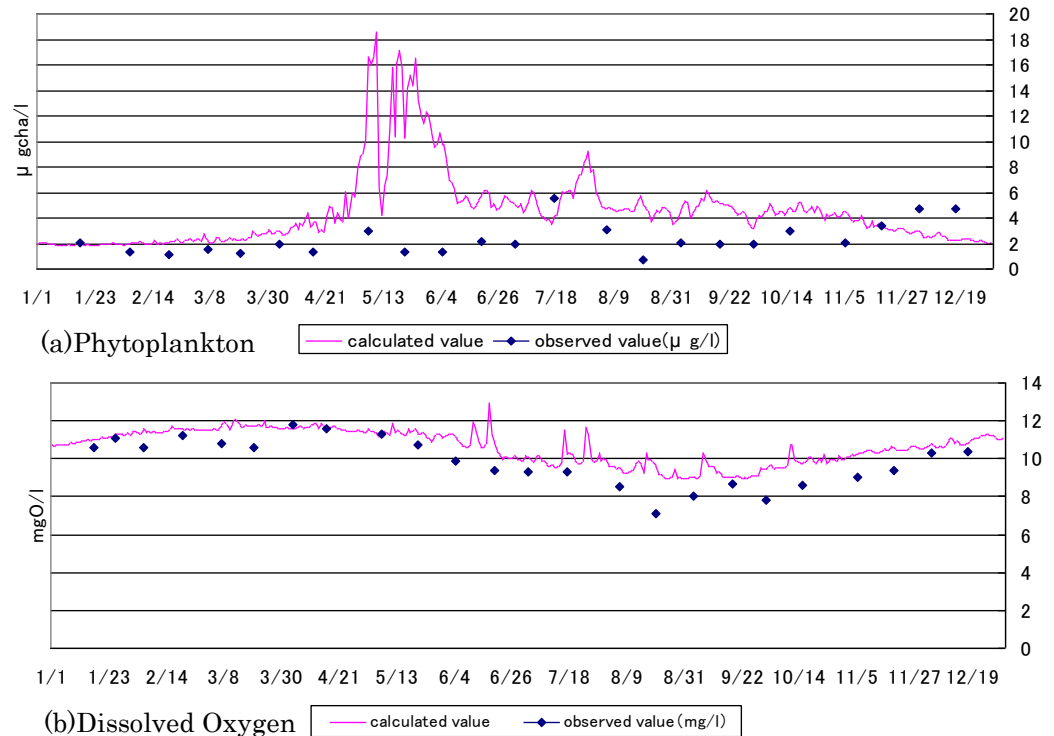


Fig.5.2.1 Time series of observed and calculated concentration at Imazu

#### 3.2 将来予測

IPCC の A1B シナリオを基に 2050 年の気象条件を与えて、気温上昇による各物質への影響を検証した。南湖や湖底付近では気温上昇により、3%程度の栄養塩（窒素・リン・COD）濃度の上昇と溶存酸素の低下が計算された。近年環境問題にあげられている湖底での溶存酸素濃度の低下と栄養塩濃度の上昇と一致し、上記の流動場モデル結果で示すように鉛直方向の湖水の循環が生じにくくなっていることを合わせると、地球温暖化によって琵琶湖の生態系が変化する可能性があることがシミュレーション結果より示された。

#### 4. おわりに

実測値との比較によって再現性を検証した。北湖表層、北湖湖底、南湖表層の各地点で「植物プランクトン」「全窒素」「全リン」「溶存酸素」「全 COD」の物質毎に検討を行った。物質によっては観測値との差が生じたものもあるが、季節変動などは概ねよく再現できた。将来予測モデルでは、北湖湖底で溶存酸素濃度が 3%減少し、栄養塩濃度もそれぞれ 3%程度増加するという結果が得られた。流動場モデルの結果と合わせて、地球温暖化が水質に与える影響をシミュレーションによって評価することができた。

#### 参考文献

①岩佐義郎：湖沼工学，株式会社山海道，1990<sup>②</sup>田上愛子，近藤明，Shrestha Kundan Lal，井上義雄：琵琶湖を対象とした流動場モデルの開発と全層混合評価，2011，水文・水資源学会<sup>③</sup>滋賀県琵琶湖環境科学研究センター，<http://www.lberi.jp/asp/bkst/Telemeter/bkstSuisituMenu.asp>

キーワード 琵琶湖，全層混合，水質モデル，気候温暖化