

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、表層が 26°C~30°C、湖底付近が 7°C~9°C と鉛直方向に約 20°C 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。酸素はこの循環によって湖底まで供給されている。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、循環を考慮した琵琶湖モデルの開発とその利用を目的とする。

2. 琵琶湖モデル概要

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、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。

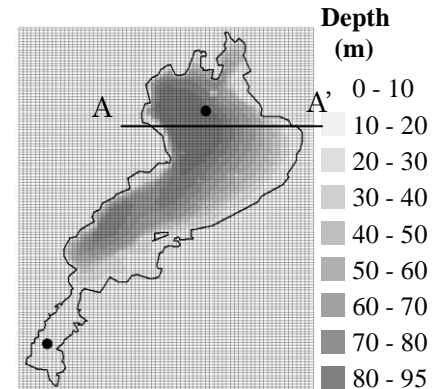


Fig.1 Lake Biwa model mesh

2.2 流動場モデル概要

以下の基礎方程式⁽¹⁾によって構成される。 u, v, w :流速の x, y, z 成分(ms^{-1})、 ρ :湖水密度(kgm^{-3})、 ρ_0 :基準湖水密度(10^3kgm^{-3})、 g :重力加速度(9.8ms^{-2})、 f :コリオリ・パラメータ($8.34 \times 10^{-5}\text{s}^{-1}$)、 $\nu_h(\nu_v)$:水平(鉛直)方向の渦粘性係数(m^2s^{-1})、 $\kappa_h(\kappa_v)$:水平(鉛直)方向の渦拡散係数(m^2s^{-1})とする。 ν_z, κ_z はリチャードソン数より決定する。

鉛直方向の静水圧近似式

$$0 = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{\rho}{\rho_0} g \quad \dots(1)$$

流体の運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_h \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \nu_h \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \nu_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{g}{\rho} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial x} dz \quad \dots(2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_h \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \nu_h \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \nu_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{g}{\rho} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial y} dz \quad \dots(3)$$

連続の式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \dots(4)$$

熱の保存式

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \kappa_h \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \kappa_h \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \kappa_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad \dots(5)$$

3. 結果

3.1 表層の流れ

琵琶湖には主に3つの還流が生じる。北から反時計回り・時計回り・反時計回りの3つである。環流は夏場にピークを迎え、その流速は10cm/s~30cm/sと観測されている。Fig.2に示すように、本モデルにおいても、8月末頃に環流が生じている様子が見受けられ、表層の流れがよく表現できた。

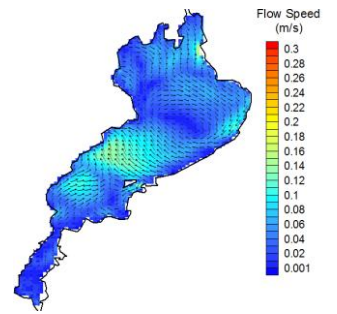


Fig.2 Flow speed on August 18th

3.2 季節変動の再現性

Fig.1のAA'における断面図をFig.3に示す。6月から8月にかけて表層の水温が上昇している。12月には、一様に低い水温となり、特に表層が冷やされている様子が確認された。この計算結果は観測結果と定性的によく一致している。

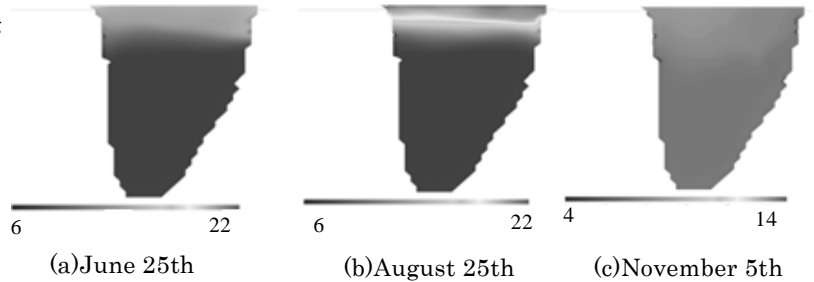


Fig.3 Seasonal change in vertical distribution of water temperature

3.3 鉛直混合の再現性

全層混合が生じる2月前半において3時間毎に断面図を作成し、アニメーションにより検証を行った。温度の低い水が徐々に湖底へと到達する様子が見られた。Fig.4に結果の一例を示す。図の中央部あたりで冷たい水が湖底まで到達している様子がわかる。このようにモデルによって鉛直方向の全層混合の様子が再現できた。

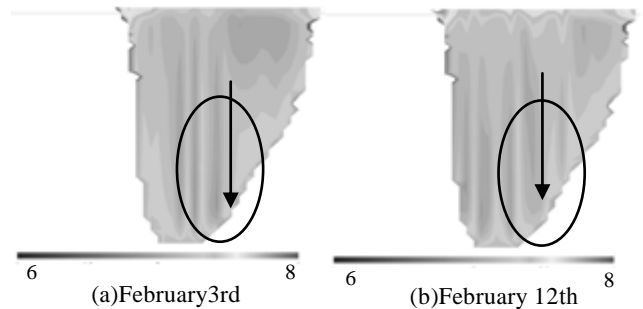


Fig.4 Vertical distribution of water temperature in February

3.4 将来予測

気候温暖化の影響を考慮するために、現在使用している気象データの気温を1.5℃上げて同様の計算を行った。変化を観測するために、水深20m地点での水平断面において、1ヶ月ごとの上向きの全流量を比較した。全流量は、冬に大きくなり、夏場は半分ほどの大きさになる。気温を1.5℃上げた場合、冬場の全流量は減少した。このことより、気温が上昇することによる全層混合の弱体化が示唆される。

4. おわりに

本研究で構築した琵琶湖の流動場モデルでは、実際の琵琶湖の様子をよく表現することが出来た。今後は、将来予測についての検証をさらに深めるために、2050年~2054年のWRFモデル(Weather Research and Forecasting Model)によって計算されたデータを利用して5年間の計算を行い、全層混合に与える影響を検証する。琵琶湖水質モデルの構築を行い、DOの年変動と全層混合の関係についての検討を行っている。

参考文献

- (1)秋友和典黒木聖夫,大久保賢治,熊谷道夫:3次元数値モデルで再現された琵琶湖の熱循環,琵琶湖研究所所報21号,2005(2)遠藤修一:滋賀大学教育学部,琵琶湖の水温・水質データ <http://www.edu.shiga-u.ac.jp/~endoh/>

キーワード 琵琶湖, 流動場モデル, 全層混合, 気候温暖化