

4. 気候変動による湖沼の水温躍層の変化

志田 孝之^{1*}・風間 聡²・山本 潤³

¹株式会社建設技術研究所（〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町3-21-1）

²東北大学大学院環境科学研究科（〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20）

³独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所（〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34）

* E-mail: t-shida@ctie.co.jp

本研究では、気候変動による閉鎖性水域への影響を定量的に把握するため、全球気候モデルMIROCの出力結果から現在気候（2001年から2005年）と将来気候（2046年から2050年）のデータを水温予測シミュレーションに利用することで、将来の閉鎖性水域の水温を予測した。夏期の水温躍層に着目し、水域内の鉛直密度勾配値を算出した。この際、仮想の閉鎖性水域を対象領域とした。

現在気候の出力値を用いた解析結果より、ユーラシア大陸内陸部のカスピ海周辺において約 $0.09\text{kg/m}^3/\text{m}$ の高い密度勾配値が算出された。同様に将来気候の出力値を用いた解析結果より、ユーラシア大陸の広域において約 $0.10\text{kg/m}^3/\text{m}$ の値が算出され、このような地域は東欧諸国やスウェーデン近辺まで拡大していた。

Key Words : closed water bodies , climate change , water temperature , thermocline , GCM

1. はじめに

近年、地球温暖化への関心が高まり、気候変動に伴う様々な影響が懸念されている¹⁾。生活環境の維持に対して重要な役割を担う水資源は地球温暖化影響予測の重点テーマとなる。そのため、気候変動に伴う気温上昇や降水量変化を考慮した河川、湖沼の影響に関する研究が取り組まれている²⁾。閉鎖性水域の場合、不安定な降水に伴う量的な問題に加えて、質的な問題が懸念されている。代表的な閉鎖性水域である湖沼では、現在も水質に対する問題を有する地域が多数存在する。そのため、水質悪化の要因を地域性かつ普遍性の両面から探り、最適な対策を講じる取り組みがなされている。

湖沼の水質に対してインパクトを持つ普遍的な要因の一つとして水温が挙げられる。水温は日射量や栄養塩濃度と同様に植物プランクトン増殖の制限要因となる。また、深い湖沼では受熱期の水温躍層の形成に伴う水質悪化の影響が知られている³⁾。日射や顕熱、潜熱などによる水面熱収支により熱が輸送されるため、高温期には湖内に熱が蓄えられる。その一方で、低温期には水面から熱が放出される。このような外気の気温変化に伴う水面の熱変化により、湖沼深部との水温差から水温躍層が形成される。形成された水温躍層は湖沼の上下の混合循環

を阻害する。日本列島の湖沼を例にすれば、低層のDO低下に伴う水質悪化の過程が認められている⁴⁾。気候帯により閉鎖性水域内の水温の変化は異なり、温帯や寒帯地域の深い湖沼では年二回、熱帯や亜熱帯地域の湖沼では年一回の混合循環が起こる。ただし、熱帯や亜熱帯地域の湖沼における循環は不完全であり、暖冬の年には循環が発生しないこと、冬期の気温が前年以下になることで全循環が発生することが報告されている⁵⁾。したがって、気候変動の影響を考慮した場合、気温上昇による水域内の循環が湖沼の水質も変化させていくことが予測される⁶⁾。

気候変動並びに地球温暖化が水資源に及ぼす湖沼の水温の影響評価として、温暖化シナリオと水文シミュレーションを組み合わせた研究⁷⁾が進められている。閉鎖性水域を含め、水域における現象の解明には数値計算シミュレーションの利用が有効であることが知られており、これらの成果により湖沼の水質、水域の変化について影響は概ね把握されている。しかしながら、閉鎖性水域への影響を定量的に示したものは少ない。ここで、近年、数値計算モデルの精度が向上したことやコンピュータの性能の上昇から、温室効果ガス排出量実験に基づく数値気候モデルを利用した研究が取り組まれている。数値気候モデルは空間的、時間的な気候の変化の予測を可能と

し、モデルのアウトプットデータを利用して水域における将来予測を行うことで、水資源への影響を定量的に把握する研究が多岐の分野で試みられている。また、このような研究は個別地域に特化されたものが多く、気候区分の異なる広範領域を対象に影響を示した研究事例は希少である⁹。

以上の背景を踏まえ、本研究では、気象条件として GCM のアウトプットデータを利用し、鉛直 2 次元の数値計算モデルである MEC モデルを用いて、閉鎖性水域に対する気候変動による水温変動の影響予測を全球規模で行った。夏期の水温躍層に着目し、水温躍層の強度の指標として、現在および将来の鉛直密度勾配値を算出した。この研究は将来の水資源の推定に有用である。

2. データセット

本研究の解析では気象条件として、IPCCに地球温暖化実験結果を提出した数値気候モデルMIROC3.2 (hires)¹⁰のアウトプットデータを用いる。

全球気候モデルMIROCは、東大気候システム研究センター (CCSR)、国立環境研究所 (NIES)、および地球環境フロンティア研究センター (FRCGC) により作成された数値気候モデルである。本研究の解析では、2001年から2100年までのMIROCの温暖化実験のシミュレーション結果から、地表面気温 (T2) と総降水量 (prcp) のデータを検証に用いる。気象データの詳細について、表1に記す。これらのデータの空間分解能は約 100km (320×160格子) であり、地表面気温などの主要データの時間間隔は3時間毎である。

本研究では現在の気候として2001年1月1日から2005年12月31日までの地表面気温と降水量のデータを利用した。同様に将来気候として、2046年1月1日から2050年12月31日までのデータを利用した。

3. 使用モデル

(1) MEC モデル

本研究では、日本造船学会により開発された海洋 MEC モデルを用いて現在と将来の気候を評価した。以下に、MEC モデルについて説明する。

a) 湖水の流動について

本研究で用いる MEC モデルは、静水圧近似を適用した静水圧モデルである¹²。これまで MEC モデルは主に閉鎖性の内湾における海水流動の解析に用いられていた。

本研究では、閉鎖性水域に用いるため、含まれていた

表 1. 気象データの詳細

気象データ	
数値気候モデル	MIROC3.2(hires)
排出シナリオ	A1B(SRES)シナリオ ¹⁰
期間 現在気候	2001 年 1 月 1 日
	- 2005 年 12 月 31 日
将来気候	2046 年 1 月 1 日
	- 2050 年 12 月 31 日
使用データ	地表面気温, 降水量

潮汐の計算を省略するなどの改良を行っている。支配方程式は静水圧近似を施し、鉛直方向のみの密度変化を考慮した Boussinesq 近似を適用し、コリオリ力を考慮した Navier-Stokes 式である。湖水の流動について、以下に基礎方程式を記す。平均湖水面を x-y 平面とし、鉛直上向きを z 方向正とする直交座標系を考える。まず、湖水流動の支配方程式である連続式を (1) に記す。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

次に、水平 x, y 方向の運動方程式を (2), (3) に記す。

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} = & -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} + f v - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} \\ & + A_M \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} = & -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - w \frac{\partial v}{\partial z} - f v - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} \\ & + A_M \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 u : x 方向の流速、 v : y 方向の流速、 w : z 方向の流速、 t : 時間、 ρ_0 : 水の密度の代表値、 ρ : 各地点の水の密度、 p : 圧力、 A_M : 水平渦動粘性係数、 K_M : 鉛直渦動粘性係数、 g : 重力加速度、 f : コリオリパラメータである。

次に、鉛直方向の計算は (4) の通りである。

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (4)$$

湖底における境界条件は (5), (6), および (7) の通りである。

$$u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} + w = 0 \quad (5)$$

$$\tau_x B = \gamma^2 \rho_0 u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (6)$$

$$\tau_y B = \gamma^2 \rho_0 v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (7)$$

ここで、 $\tau_x B$: x 方向の摩擦応力、 $\tau_y B$: y 方向の摩擦応力、 γ^2 は底面摩擦係数である。

一方、湖水面における境界条件は (8) , (9) , および (10) の通りである。

$$-\frac{\partial \zeta}{\partial t} - u \frac{\partial \zeta}{\partial x} - v \frac{\partial \zeta}{\partial y} + w = 0 \quad (8)$$

$$\tau_x B = \rho_a C_d U \sqrt{U^2 + V^2} \quad (9)$$

$$\tau_y B = \rho_a C_d V \sqrt{U^2 + V^2} \quad (10)$$

ここで、 h : 水深、 ζ : 平均水面からの水面変位、 ρ_a : 大気密度、 C_d : 抵抗係数、 U : x 方向の風速、 V : y 方向の風速である。

連続方程式 (1) を境界条件 (5) , (8) のもとで任意の深さ z まで積分し、

$$w = -\frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^z u dz - \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^z v dy \quad (11)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^z u dz - \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^z v dy \quad (12)$$

を得る。また、式 (4) を湖面から積分して、

$$P = P_0 + \int_{-h}^{\zeta} \rho g dz \quad (13)$$

を得る。ここで、 P_0 は大気圧である。

b) 湖水の水温について

MEC モデルでは水温の支配方程式として Navier-Stokes 式と同形の以下の式を用いる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} = & -u \frac{\partial T}{\partial x} - v \frac{\partial T}{\partial y} - w \frac{\partial T}{\partial z} \\ & + A_c \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_c \frac{\partial T}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (14)$$

ここで、 T : 水温、 A_c : 水平方向の拡散係数、 K_c : 鉛直方向の拡散係数、ただし、水温の拡散による効果について検証を行うため、移流項に関しては無視し、拡散項のみを解く。

水温の湖底における境界は湖底面を通過するフラックスが存在しない条件を、(15) 式で与えている。

$$K_h \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad (15)$$

また、水温の湖水面における境界条件は (16) の通りで

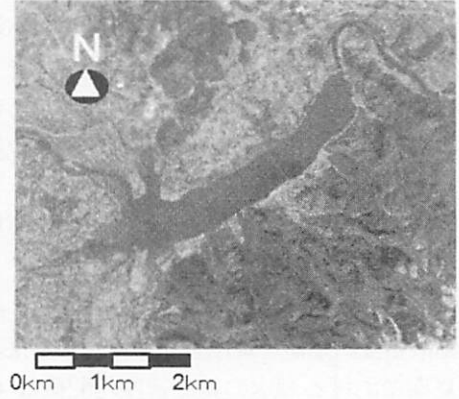


図 1. 御所湖の衛星画像
(Google Map より)

表 2. 御所湖の詳細

御所湖の諸言	
場所	岩手県盛岡市
水系名、河川名	北上川水系雫石川
流域面積	635 km ²
総貯水量	6.5 × 10 ⁷ m ³
有効貯水量	4.5 × 10 ⁷ m ³
最大水深	約 30 m

ある。 Q_{heat} は水面における熱フラックスである。

$$K_h \frac{\partial T}{\partial z} = Q_{\text{heat}} \quad (16)$$

c) 御所湖を対象とした検証

MEC モデルを御所湖に適用し、このモデルの閉鎖性水域における利用可能性について検証した。御所湖は岩手県盛岡市に存在し、北上川水系雫石川に建設された御所ダムの貯水池である。御所湖の衛星画像を図 1 に、詳細を表 2 に示す。気象データとして気象庁 AMeDAS 気象観測データより 2001 年の気温、風速、降水量を利用した。夏期に水温躍層の形成される 4 月から 9 月を計算期間とし、120 日間の再現計算を行った。計算時に用いる水温の初期値、および比較のための水温の実測値は、国土交通省水文水質データベース¹⁵⁾より御所湖の実測値を利用した。図 2、および図 3 に計算結果と実測値とを比較した図を示す。

図 2 は、2001 年 7 月 11 日における再現計算結果と実測値との比較である。同様に、図 3 は 2001 年 9 月 19 日における再現計算結果と実測値との比較である。まず、図 2 を見ると、低層の水温が約 10.0℃なのに対し、計算結果は約 8.0℃である。また図 3 を見ると、低層の水温が約 14.0℃に対し計算結果は約 15.0℃であり、低層の水温を概ね再現できている。

次に、水温躍層の形成の再現について述べる。本研究の解析では水温躍層に着目しているため、水温躍層の再現は重要であるといえる。図2の再現結果を見ると、夏期における水温躍層の形成が再現されているのが分かる。水温の実測値と比較して、水温躍層の形成位置も概ね再現できている。

ここで、本研究では解析を行う際、水温躍層の強度の指標として表層の鉛直密度勾配値を用いる。したがって、御所湖におけるモデル検証の場合も同様に、平均水深以上の鉛直密度勾配値を算出した。再現の結果より、御所湖の夏期における湖水の鉛直密度勾配値は $0.058\text{kg/m}^3/\text{m}$ となった。

以上より、MECモデルを閉鎖性水域に適用した結果、水温躍層の再現や、低層水温の再現において概ね良好な結果を得た。したがって、MECモデルの地球温暖化影響評価への利用可能性が示された。

4. 解析手法

気候変動の影響を定量化するため、空間的、時間的に詳細な気象データである全球気候モデルのアウトプットデータを利用して、将来の水温の推定を行う。

水温の変化を相対的に比較するため、対象領域は貯水池を想定して作成された仮想的閉鎖性水域を用いる。

表3にこの領域の詳細について記す。気象条件としてMIROCの地表面気温と降水量を用い、この領域の、現在と将来の気象条件下における水温変化を再現する。この解析を、数値気候モデルMIROCのシミュレーションで陸地と判定されている地点を対象に行う。解析の際、南極については閉鎖性水域の水資源としての利用がないと考え無視する。図4は、解析における計算対象地点を示した図である。全球における数値気候モデルのアウトプットデータを用いて、将来の閉鎖性水域における水温への影響を予測する。

水温の影響の定量化として、現在気候と将来気候を利用し水温躍層の形成される夏期における湖水の鉛直密度勾配の値を算出する。この際、水温成層の発達する平均水深より上方を解析の対象とした。鉛直密度勾配値は湖沼の特徴を表すリチャードソン数の算出に用いられ、閉鎖性水域における水温躍層の強さを示している。夏期の閉鎖性水域における鉛直密度勾配値を全球で算出した。北半球では閉鎖性水域内の水温躍層が最も安定する7月31日の結果を用い、南半球においても同様に盛夏の時期にあたる1月31日の結果を利用する。これらを組み合わせ、現在と将来における全球の鉛直密度勾配値を算出した。さらに、現在と将来の結果から、現在から将

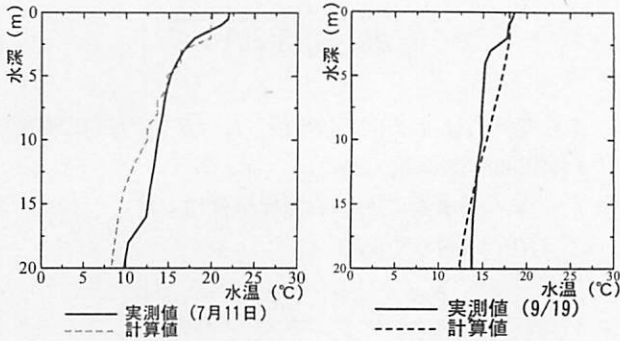


図2. 再現計算結果
(2001年7月11日)

図3. 再現計算結果
(2001年9月19日)

表3 仮想的閉鎖性水域の詳細	
仮想的閉鎖性水域	
計算領域	4000×4000 m
表面積	$2.8 \times 10^6 \text{m}^2$
最大水深	30 m(水域中央部)
形状	円錐状

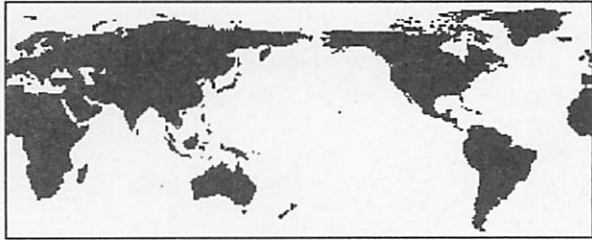


図4. 計算対象領域

来にかけての全球における鉛直密度勾配の変化を示した。

5. 解析結果と考察

解析により得た結果を以下に示す。図5は、現在の気候を用いた解析による、夏期の閉鎖性水域における鉛直密度勾配の値を全球で示した図である。同様に、図6は将来気候を用いた解析による、2050年の夏期の鉛直密度勾配値を全球で示した図である。さらに、これらの結果を利用し、現在から将来にかけて鉛直密度勾配値の変化を算出したのが図7である。

図5を見ると、現在の気候下で、北緯40度近辺に位置するユーラシア大陸内陸部のカスピ海周辺から東シナ海にかけて、夏期の水域内に最大で $0.100\text{kg/m}^3/\text{m}$ 程度の強い密度躍層が形成されることが分かる。また、北アメリカ大陸中央部の大平原地域においても $0.080\text{kg/m}^3/\text{m}$ 程度の高い密度勾配の値が示されている。これらの鉛直密度勾配の大きい地域は、概ね乾燥帯地域と重なることが分かる。

次に、図6を見ると、現在気候の解析において高い密度勾配値が示されていた乾燥帯地域では、将来にかけて水域内における密度勾配値が増大し、同時に強い密度躍層が形成される地域が拡大しているのが分かる。将来気候を用いた解析結果によると、 $0.070\text{kg/m}^3/\text{m}$ 以上の強い密度成層の予測される地域が東欧、北欧、および北アメリカ大陸中央部にまで及んでいた。このような乾燥帯地域では降水のある期間が短く高温となりやすいため、他の地域と比較して閉鎖性水域内に形成される密度躍層は強いと考えられる。また、密度勾配値の高い地域が広範囲に広がっているため、水質の低下からユーラシア大陸内陸部、および北アメリカ大陸の広い範囲で深刻な水不足が生じる可能性がある。

さらに、図7を見ると、特に北半球の高緯度地域において、気候変動による水温への影響が大きい地域が見られる。現在から将来にかけての密度勾配値の変化を見ると、スウェーデンやモスクワといった北欧地域、カナダ北東部などの地域において密度勾配の変化が著しく、その差が $0.020\text{kg/m}^3/\text{m}$ 以上となった。このような高緯度地域では地球温暖化により顕著な気温上昇が予測されていることから、閉鎖性水域の水温への影響が大きく、今後の水資源における水質への悪影響が示唆される。また、スウェーデンなどの北欧諸国やカナダには非常に多くの湖沼が存在しており、人々の生活は湖沼と密接に関係している。したがって、このような地域では気候変動による影響が直接的に人間の生活に及ぶものと考えられる。

6. 結論

本研究では、地球温暖化実験に用いられる数値気候モデル MIROC のアウトプットデータを利用し、仮想の閉鎖性水域における将来の水温を予測して地球温暖化による水温の影響を定量的に把握した。現在気候と将来気候における湖水の鉛直密度勾配の値を相対的に比較し、水温成層期における密度勾配の強度の変化を評価した。本研究より得られた結論を以下に示す。

- ・ 現在気候（2001 年から 2005 年）を用いた解析において、最も密度勾配の大きい地域は北緯 40 度付近のユーラシア大陸内陸部のカスピ海周辺、北アメリカ大陸中央部の大平原地域であった。これらの地域は共通して乾燥帯に属する地域であり、密度勾配の値はカスピ海周辺で約 $0.100\text{kg/m}^3/\text{m}$ 、北アメリカ大陸中央部で約 $0.080\text{kg/m}^3/\text{m}$ であった。
- ・ 将来気候（2046 年から 2050 年）を用いた解析結果



図5. 全球における夏期の密度勾配値（2005 年）



図6. 全球における夏期の密度勾配値（2050 年）



図7. 全球における夏期の密度勾配の変化
（2005 年から 2050 年）

によると、現在気候を用いた解析の結果で高い密度勾配値が示されたユーラシア大陸内陸部のカスピ海付近、北アメリカ大陸中央部の大平原地域において、密度勾配値の上昇が見られた。

- ・ 将来気候（2046 年から 2050 年）を用いた解析結果によると、密度勾配が $0.100\text{kg/m}^3/\text{m}$ 程度の大きい値となる地域が拡大し、ユーラシア大陸においては東欧諸国やスウェーデンの近辺まで拡大した。北アメリカ大陸中央部においても、密度勾配値が $0.100\text{kg/m}^3/\text{m}$ 程度となる地域が拡大し、カナダの南部にまで及んだ。このような乾燥帯地域では、広範囲において深刻な水不足が示唆される。
- ・ 気候変動による閉鎖性水域水温へ影響が最も大きい地域は北欧、モスクワ付近、カスピ海周辺、および北アメリカ大陸東北部であった。これらの地域では $0.020\text{kg/m}^3/\text{m}$ から $0.030\text{kg/m}^3/\text{m}$ 程度の密度勾配値の上昇が見込まれる。

7. 今後の展望

本研究では、気候変動による閉鎖性水域への影響を定量化するとともに、全球における水温への影響が大きい地域を示した。しかし、気候変動による影響を評価するには、水温の変動の予測だけでは十分とは言えない。また、本論では夏期の水温躍層の強度に着目し解析を行ったが、気候変動は主に冬期の気温の変化が大きいことが予測されており、秋期から冬期にかけての熱の放出により生じる湖水の鉛直混合循環にも影響が及ぶことが考えられる。したがって、今後は数値計算モデルを拡張し、水質基準項目などに関連する環境シミュレーションを行うことが望まれる。また、冬期の気温上昇を考慮して、湖水の混合循環についても影響を把握し、循環の変化に伴う水質などへの影響を定量化する必要がある。

謝辞：本研究は、「環境省の地球環境研究総合推進費（S-4）：温暖化の危険な水準および温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合評価に関する研究」からの援助と、日本大学学術フロンティア推進事業の研究助成によって行われた。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) IPCC,2007: Climate Change 2007 The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp.339,2007.
- 2) 風間総, 沖大幹: 温暖化による水資源への影響, 地球環境, Vol.1, No.1, pp.59-65, 2006.
- 3) 岩佐義昭: 湖沼工学, 山海堂, 1990.
- 4) 道奥康治, 小谷英之, 佐々木茂太, 西口祐輝: 水温躍層における貧酸素水の成長機構について, 水工学論文集, 第49巻, pp.1177-1182, 2005.
- 5) 荒井正: 地域分析のための熱・水収支水文学, 古今出版, 2004.
- 6) 地球温暖化と日本 第3次報告 一自然・人への影響予測一, 古今書院, 2003.
- 7) 細田尚, 細身知彦: 琵琶湖北湖の水質鉛直分布の季節変化に関する簡易モデルと温暖化の影響への適用, 河川技術論文集, 第8巻, 2002.
- 8) J.M.Malmæus, T.Blendker, H.Markensten, J.Persson: Lake phosphorus dynamics and climate warming: A mechanistic model approach, Ecological Modelling, 190, pp.1-14, 2006.
- 9) Xing Fang, Heinz G.Stefan, John G.Eaton, J.Howard McCormick, Shoeb R.Alam: Simulation of thermal/dissolved oxygen habitat for fishes in lakes under different climate scenarios Part.1 Cool-water fish in the contiguous US, Ecological Modelling, 172, pp.13-37, 2004.
- 10) IPCC, 2007: Climate Change 2007 The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp.600-601, 2007.
- 11) A Special Report of IPCC Working Group III: IPCC Special Report on Emissions Scenarios (Summary for Policymakers), Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp.9-10, 2000.
- 12) 日本造船学会海洋環境研究委員会海洋モデル検討専門委員会: MECモデルワークショップ(第一回), pp.1-107, 2000.
- 13) 山本潤, 田中仁, 高橋みつる, 佐伯信哉: 志津川湾における貧酸素水塊の発生と台風通過後の西風に伴う水質変動, 水工学論文集, 第50巻, 2006.

(2009 3.4受付)

(2009 8.19 受理)

Change of thermocline in closed water bodies by climate change

Takayuki SHIDA¹, So KAZAMA², Jun YAMAMOTO³

¹CTI Engineering Co., Ltd.

²Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

³Civil Engineering Reserch Institute For Cold Region

We calculated long-term change of water temperature in closed water bodies by using Global Climate Model(GCM). We used water density gradient in the vertical direction to evaluate the influence of water temperature change. The target domain is the virtual closed water area. The results obtained from the calculation by using present climate data of GCM, are; (1) the value of water density gradient was about 0.02kg/m³/m in a tropical area and the north polar region. (2) In temperate and cool-temperate areas like Europe or the seaside area of USA, about 0.05kg/m³/m value was calculated. (3) In arid belt regions, the value was higher than in others, the highest value was found in the Middle East, near the Caspian sea, to the East part of China, located 40 degrees north. In this area, about 0.09kg/m³/m value was calculated.