水温成層を考慮した大村湾での水温の変化予測シミュレーション

長崎大学工学部　学生会員　○松崎　信司　　長崎大学大学院　学生会員　　富永　昌伸
長崎大学工学部　正会員　　西田　渉　　長崎大学工学部　フェロー　　野口　正人

1. はじめに

閉鎖性水域では水温成層の形成による底層水の貧酸素化が問題とされている。長崎県の中央部に位置する大村湾は、夏季に水温成層がしばしば形成されることが報告されている[1)]。それによると水温成層は湾口の針尾瀬戸付近ではほとんど形成されないが、湾中央部から湾奥部にかけては形成されるようである。本研究は水温成層の形成による湾内の溶存酸素の濃度変化の予測を最終目的とするが、ここではその第一段階として、夏季における成層の発達過程を 3 次元モデルを用いて予測することとした。

2. モデルの概要

モデルに用いた基礎方程式は、連続方程式、運動方程式であり、また流体の密度は水温、塩化物イオンによって変化するものとしたことから、これらの収支を移流拡散方程式で評価している。

成層の形成に影響を及ぼす熱量の収支については水表面での熱交換として短波放射、大気および海面からの長波放射、顕熱、潜熱が取り上げられている。短波放射のよる水体への熱供給は、Beer の法則に従って水深方向に指数関数的に与えられるものとしている。以下に水温の収支式と生成項の評価式を示しておく。

$$\frac{\partial(Th)}{\partial t}+\frac{\partial(Tuh)}{\partial x}+\frac{\partial(Tvh)}{\partial y}+Tw\big|_{l-1}-Tw\big|_{l}=\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x h\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_y h\frac{\partial T}{\partial y}\right)+K_z\frac{\partial T}{\partial z}\bigg|_{l-1}-K_z\frac{\partial T}{\partial z}\bigg|_{l}+\frac{H(source)}{\rho C_p} \quad (1)$$

表層での熱交換量

$$H(source)=\beta(1-\alpha_s)J_{sn0}+\sigma(1-\alpha_L)(T_{air}+273)^4\left(A+0.031\sqrt{e_{air}}\right)$$
$$-\varepsilon\sigma(T_s+273)^4-c_1 f(U_w)(T_s-T_{air})-f(U_w)(e_s-e_{air}) \quad (2)$$

短波放射量

$$H(source)=(1-\beta)(1-\alpha_s)J_{sn0}\left(e^{-k_e z_{up}}-e^{-k_e z_{down}}\right) \quad (3)$$

ここに、T：水温、u,v,w：それぞれx,y,z軸方向の流速、h：層厚、K_x,K_y,K_z：それぞれx,y,z軸方向の拡散係数、H：熱量、ρ：水の密度、C_p：比熱、T_{air}：気温、T_s：海水面の水温、J_{sn0}：短波放射量、α_s：アルベド、β：水表面における吸収率、σ：Stefan-Boltzmann係数、α_L：長波反射率、A：係数、ε：放射体の放射率、c_1：ボーエン係数、U_W：風速、e_{air}：空気の蒸気圧、e_s：飽和水蒸気圧、k_e：短波放射の浸透率、z_{up}：水表面から各層の上層面までの深さ、z_{down}：水表面から各層の下層面までの深さ、である。

本研究の計算対象領域として大村湾と共に佐世保湾も取り上げた。本モデルの空間差分間隔は水平方向にdx=dy=250m とし、鉛直方向では表層を T.P.-2.0m 以浅とし、それ以深を dz=3.0m の層厚で分割した。計算時間間隔は dt=4.0sec である。

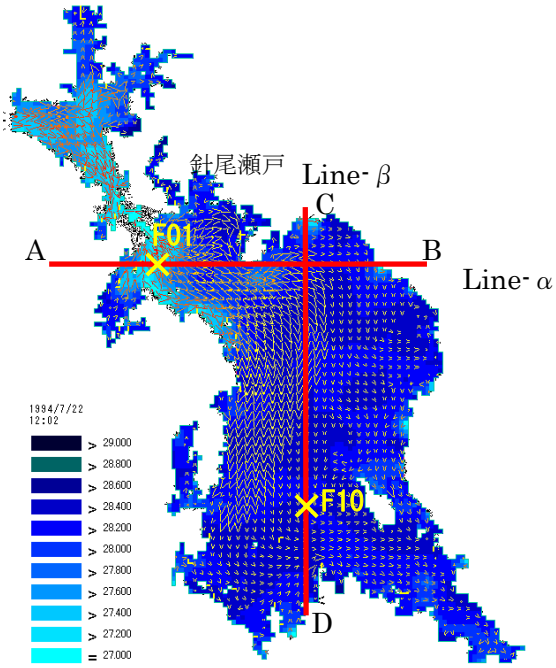
計算期間は、大村湾におけるな水温の詳細な観測がなされている 1994 年 6 月 24 日から 1994 年 7 月 22 日とし、境界条件として日射量、気温、湿度、風速、河川流入、また潮位変化として佐世保湾の湾口部に M2 潮の振幅 0.8m、周期 12 時間 24 分の正弦波が与えられている。

3. 計算結果と考察

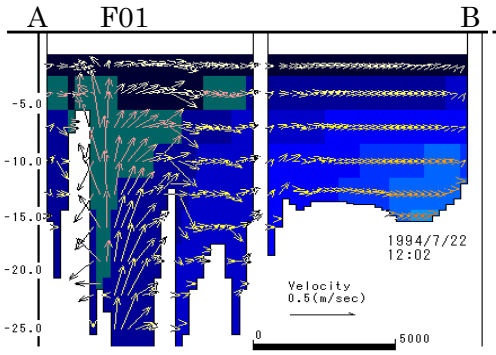
図－１には、表層での流況と水温の空間分布を示している。なお、この図は針尾瀬戸での潮汐が上げ潮最大となった時における計算結果である。また、図－２と３は、7 月 22 日における計算結果であり、図－１に示されている Line-α と Line-β に沿った鉛直断面内の流れと水温の鉛直分布が表示されている。

まず、流れの計算結果については、水平方向および鉛直方向ともに、湾口である針尾瀬戸付近において卓越した流れが現れている。湾中央部から湾奥部までは図－２，３にも示されるように、比較的穏やかな流れとなっている。これは、佐世保湾の海水が湾の狭い針尾瀬戸から急速に流入するものの、大村湾全体の潮位を大きく変化させるためには至っていないためである。こうした流れの分布は、大村湾で観察される流況と良く似た結果である。

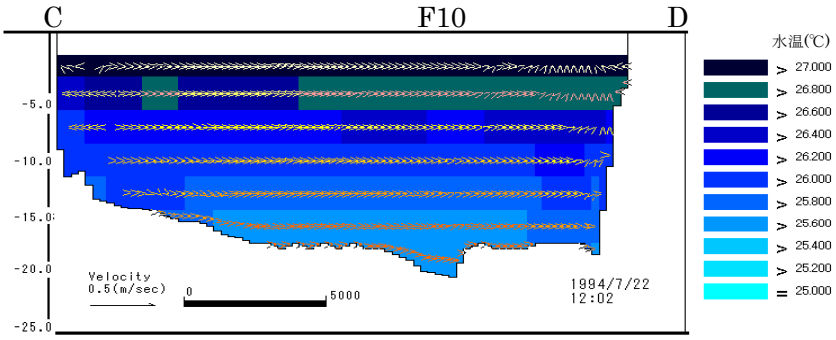
つぎに水温の計算結果について述べると、表層においては、湾奥ではほぼ一様な分布を示しているのに対して、佐世保湾と針尾瀬戸付近では熱の供給によって水温の上昇を生じるものの、湾奥よりも低い値となっている。これは、流れの鉛直分布の結果からもわかるように、鉛直方向の流速が速く、二層目以降の水との鉛直方向の混合が強くなされた結果であると考えられる。鉛直分布によると湾中央部から湾奥部では、表層と底層部の水温差が２℃以上みられた。湾口付近の F01 地点において表層と底層部での水温差が 0.4 度程度しかみられなかった。計算開始からの水温の鉛直分布の時間変化は図－４のとおりである。この結果から、時間の経過と共に表層を始めとして、各層の水温が上がり、水深２ｍから３ｍ付近で躍層が形成されてきていることがわかる。ここで、報告値の水温分布と比較すると、成層が形成される点で似ているものの、底層の水温が高くなり、また、表層と底層との水温差が少ない結果となっている。これは、境界条件や熱量に関する係数の与え方とともに、鉛直方向の混合や拡散が大きかったことが要因であると考えられる。



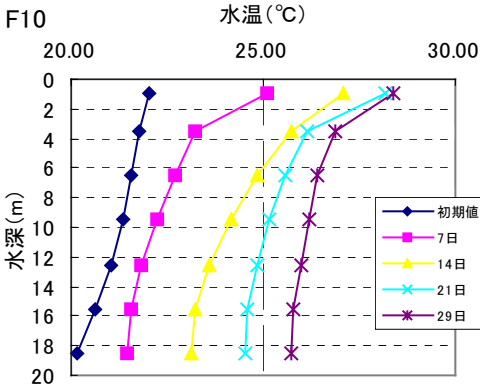
図－１　上げ潮最大時の流況と水温の空間分布(表層)



図－２　流況と水温の鉛直分布(Line-αの断面)



図－３　流況と水温の鉛直分布(Line-βの断面)



図－４　F10 地点での日別の水温変化

4. おわりに

本研究は、夏季における成層の発達過程を３次元モデルを用いて予測した。今後は、先に述べた課題等を再度検討し、大村湾の流れや成層の発達過程を再現できるように取り組んでいきたいと考えている。

【参考文献】1)福本正(1997)：大村湾における流動特性と水質予測に関する研究，長崎大学学位論文.