

江田島湾の水温構造の数値シミュレーション

大阪大学大学院 学生員 ○伊藤 渉

大阪大学大学院 学生員 尹 鍾星

大阪大学工学部 正会員 中辻啓二

大阪大学工学部 正会員 村岡浩爾

1. はじめに

近年、大阪湾や東京湾などに代表される大都市周辺の海域では、臨海地域の大規模な開発にともない、様々な水質汚染が引き起こされている。その中の一例に青潮現象がある。この青潮現象は、夏季に底層に形成された無酸素水塊が風外力の作用によって上層に湧昇してくる現象である。大阪湾では底層の溶存酸素量と水温成層の間に高い相関性があることを城氏が報告している¹⁾。そこで、本研究ではこの水温成層の形成過程を記述することが重要であると考え、その第一段階として鉛直一次元水温予測モデルを開発した。本論はそのモデルを江田島湾に適用し、実測した水温構造との比較から予測精度の検証を行ったものである。

2. 鉛直一次元水温予測モデル

基礎方程式となる鉛直一次元熱輸送方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial T(z, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ (\alpha + K_H(z, t)) \frac{\partial T(z, t)}{\partial z} \right\} + \frac{\partial q(z) / \partial z}{\rho C_P} \quad (1)$$

$$q(z) = (1 - \beta) Q_o \exp(-\eta z) \quad (Q_o = Q_s(1 - A_s)) \quad (2)$$

ここに、(1) 式中の α 、 K_H 、 ρ 、 C_P 、 $q(z)$ はそれぞれ、分子拡散係数($=1.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)、鉛直方向渦動拡散係数、海水の密度、比熱($=4.2 \times 10^3 \text{ J/m}^3/\text{K}$)、熱源関数を表している。また(2) 式中の β 、 η 、 A_s 、 Q_s はそれぞれ、短波放射の内水表面近傍で吸収される割合($=0.4$)、消散係数($=0.1$)、短波アルベド($=0.06$)、日射計から測定される日射量を表す。基礎方程式の各係数の中で最も重要な係数が鉛直方向渦動拡散係数である。この鉛直方向渦動拡散係数については伊予²⁾によって推定された式を用いる。

また、境界条件は水表面-大気間の熱収支を与える。これらの熱量の算定に際して様々な経験式が提案されているが、ここでは、Henderson-Sellers³⁾が用いた算定式を用いることにする。水表面における全熱収支量は次式で与えられる。

$$Q = Q_o + Q_{ri}(1 - A_L) - Q_{ro} - Q_e - Q_c \quad (3)$$

ここで、 Q_{ri} 、 Q_{ro} 、 Q_e 、 Q_c 、 A_L はそれぞれ水表面に入射する長波放射、水表面から放射される長波放射、海水の蒸発による潜熱輸送、水面と大気の接触面における対流や伝導による顕熱輸送、長波アルベド($=0.03$)を表す。

3. 予測結果と実測の水温分布の比較・検討

3-1 江田島湾について

江田島湾は、広島湾内にある直径5 kmの袋状の小湾であり、周囲は標高約400mの山々に囲まれている。中央部水深は18mで、外部とは幅0.5kmの津久茂瀬戸を通してのみ繋がっている。江田島湾では、湾内の流動に関する調査が行われていないため、その詳細な流況特性は明らかでないが、その地形特性からみて流入水は生活排水だけで、大規模な河川からの陸水の流入はない。また、開口部は0.5kmであり海水交換の少ない停滞性の閉鎖性内湾であると言える。加えて、湾全体の規模も小さく、潮汐の影響も小さいと考えられる。よって鉛直一次元の水温構造を考える上で、理想的な水域であると考えられる。

3-2 予測結果の検証

鉛直一次元水温予測モデルを用いて計算した1989年7月1日～8月4日にかけての水温分布の予測結果を図-1に、実測の水温分布を図-2に示す。また、風速および水表面での熱収支を図-3、図-4に示す。

Wataru Itoh, Jonson Yoon, Keiji Nakatsuji and Kohji Muraoka

予測結果の特徴として、7月4、9、28、31日に混合層が低下しているのがわかる。このときの風速はそれぞれ4.4、4.7、6.3、6.1m/sである。このうち混合層の低下の度合いが最も大きいのは7月9日である。これは水表面での全熱収支量が小さいことも原因の一つではないかと考えられる。全般的にみて予測結果の方が風の影響をやや大きく評価している傾向があるが、水温構造を概ね良く再現していると判断できる。

しかし、問題点が二つ挙げられる。一つは水深5m以深の水温分布の勾配が実測の水温分布と少し異なる点である。もう一つは、水表面近傍の水温が実測値よりもやや高い値を示していることである。

前者は風の影響を大きく評価し過ぎた結果とも考えられる。予測計算は前時間ステップで算定された水温をもとに次のステップの水温を算出する。そのため、混合層がいったん低下すると、余程の熱供給がない限り水温の上昇は期待できない。風の影響による混合層の大きな低下は実測結果と比較して過剰である。その結果、熱供給があっても計算での等温線は右上がり、実測の等温線は右下がりになったものと予想される。また、風外力によって水面勾配が大きく傾くことはよく知られている。風停止後には再び水平になり、混合層も水平方向に平滑化され浅くなる。江田島湾でもこのような現象が起こったとすれば、一次元解析を適用することは不合理となる。

後者の原因は水表面における熱収支の取扱いにある。本来、熱収支は水表面直下のConstant Flux Layer全域を対象として考える必要があるが、このモデルでは水表面 ($z = 0$ 地点)のみを対象として熱収支を考えている。このため水表面付近の水温が実測値よりも高い値を示すこととなったと考えられる。

4、結論

数値モデルによる水温構造の予測を行い、その有効性を検討した。しかし、風外力の評価および水表面における熱収支の取扱いに検討の余地が残されている。最後に、心良く実測データを提供して頂いた中工試・藤原建紀博士に謝意を表します。

参考文献

- 1) 城 久：大阪湾水産試験場研究報告、vol. 42、pp1-11、1986
- 2) 尹鍾星、中辻啓二、村岡浩爾：平成四年度 関西支部年次学術講演会講演概要、1992
- 3) B. Henderson-Sellers: Review Geophys., Vol 24, No. 3, pp. 625-649, 1986

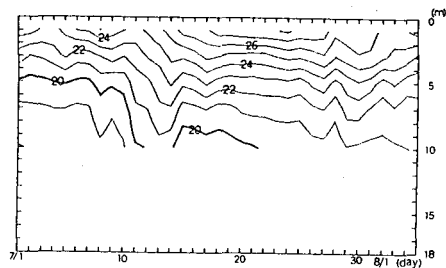


図-1 予測結果

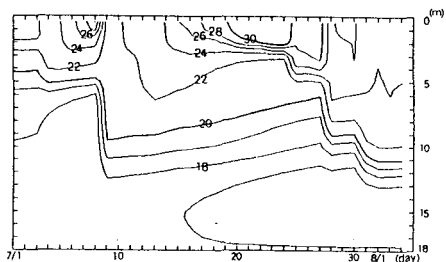


図-2 実測の水温分布

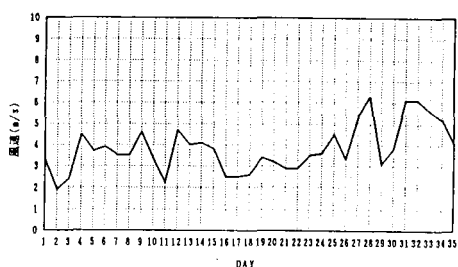


図-3 風速の日変化

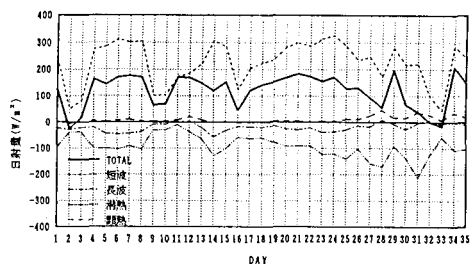


図-4 水表面での熱収支