

第II部門 播磨灘における富栄養化の鉛直一次元解析

大阪工業大学大学院 学生員○宮脇伸行 大阪工業大学大学院 学生員 柳生光彦
青木建設 大西 孝 大阪工業大学工学部 正 員 綾 史郎

1. はじめに 閉鎖性水域の汚濁現象の問題になっているものの一つとして、有機物や栄養塩類の増加により急激に進行する富栄養化がある。水温は水域の流れ場の構造を規定するばかりでなく、各種の富栄養化指標の濃度値の反応項に影響を及ぼす関数の一つとなっている。本研究はこのような見地より、流体運動を考慮した富栄養化モデルによる解析の手始めとして、播磨灘水域の温度場の解析を鉛直一次元モデルにより行い、播磨灘の富栄養化の進行、状態を解析する為の第一歩とした。

播磨灘では、図-1に示されるように兵庫県立水産試験場により浅海定線調査が行われており、各種水質指標が計測されている。図-2は播磨灘のH10地点における水深方向の水温分布の観測結果^{1),2)}を水温イソプレットとして示したものである。同図より水温は2月初旬には一様分布しているが、徐々に表面より加熱され、7月から8月には表面温度は27°Cまで上昇し、温度成層する。9月の中旬よりは再び循環期にはいり、水温は一様分布で12°C以下に低下していくことがわかる。本論文ではこのような水温変化を鉛直1次元モデルにより再現することを試み、実測水温との比較からモデルの予測精度の検証を行った。

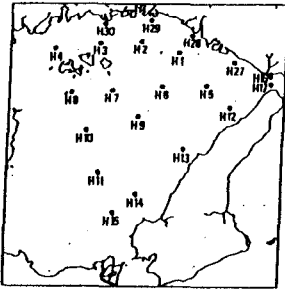


図-1 播磨灘

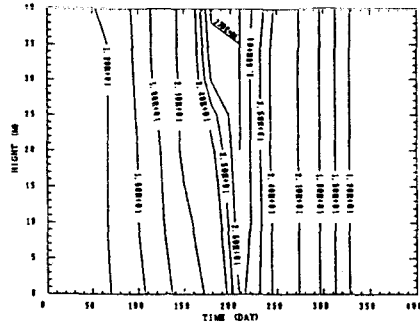


図-2 等温線

2. 鉛直一次元水温成層モデル 鉛直一次元熱輸送方程式は次のように表される。

$$\frac{\partial AT}{\partial z} + \frac{\partial AwT}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(AK_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A \frac{\phi}{\rho C_w} \right) + q_1 T_1 - q_2 T. \quad (1)$$

$$\phi = (1 - \beta) \phi_s \exp(-\eta z) \quad \phi_s = \phi_s (1 - a_r)$$

ここに、T:水温、A:鉛直方向に垂直な断面積、w:鉛直(z)方向の断面平均流速、 K_z :渦動温度拡散係数、 ϕ :熱輸送フラックス、 ρ :密度、 C_w :水の比熱、 q_1 :単位深さあたりの流入量、 T_1 :単位深さあたりに入ってくる水の温度、 q_2 :単位深さあたりの流出量、 T_2 :単位深さあたりに出ていく水の温度、 ϕ_s :日射による輻射熱、 a_r :水面反射率、 ϕ_s :水面にはいる輻射熱、 η :減衰係数、 β :水面吸収率である。また、境界条件は水表面—大気間の熱収支を考えるものとし、水面における熱損失は次式で与えられるものとする。

$$\phi_L = \phi_s + \phi_c + \phi_{r_s} \quad (2)$$

ここに、 ϕ_L :水面からの熱損失、 ϕ_s :蒸発による熱損失、 ϕ_c :伝導による熱損失、 ϕ_{r_s} :有効逆輻射であり、それぞれRohwerの式、Swinbankの式³⁾を用いた。水表面、底層では拡散型熱輸送はないものとし、次式を適用する。

$$\left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} = \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=H} = 0 \quad (3)$$

Nobuyuki MIYAWAKI, Takasi OONISHI, Mituhiko YAGYUU, Shirou AYA

さらに、問題の設定を単純化するため、次のような仮定を設けた。1) 海水面の変動はない。2) 陸域からの水の流入及びそれに伴う熱と塩分の流入はない。3) 明石海峡、鳴門海峡、備讃瀬戸を通じての外界との海水交換及びそれに伴う熱、塩分の交換はない。

以上の仮定のもとに、 $q_i = q_o = 0$, $w = 0$ が成立するので、(1)式を簡単化した熱伝導方程式をクラック・ニコルソン法により差分化して数値解を求めた。密度逆転時には瞬間的に完全混合するものとして扱った。

3. 結果とその考察 渦動拡散係数 K_z は $8.64 \text{ (m}^2/\text{day)}$ と $86.4 \text{ (m}^2/\text{day)}$ の2通りを考え、計算を行った。図-3に1990年2月1日から1991年2月4日までの数値実験で得られた表面水温の経時変化をH10測点の表面水温の実測値とともに示した。計算値は2月1日から8月2日まで観測値よりやや低めではあるが観測値と良い一致を示している。それ以降は2月4日まで $4 \sim 5^\circ\text{C}$ 程度計算値のほうが低い水温となっている。渦動拡散係数の及ぼす影響は、2/1~5/7、8/2~10/1を除いてそれほど大きいものではない。図-4、-5は6月5日と10月31日の水深方向の水温分布を実測値と比較して示したものである。6月5日の計算結果では、 $K_z = 86.4 \text{ (m}^2/\text{day)}$ とした表面水温、水温分布ともに観測値とほぼ一致を示しており、底層での水温がやや低く現れている。一方 $K_z = 8.64 \text{ (m}^2/\text{day)}$ では渦動拡散係数が小さすぎたため、表層と底層との水温差が大きすぎていた。10月31日の計算結果は対流を起こし水温分布は一様化しているが、観測値との差は大きい。

4. おわりに 富栄養化の数値解析を行うための基礎研究として水温の鉛直一次元解析を行った。温暖期においてモデルは実測水温分布をよく再現しているが、冷却期ではモデルの信頼性に問題が残った。海峡部での熱交換、放射熱量の推定法、渦動拡散係数の評価法など検討が必要である。また、富栄養化モデル⁴⁾を組み込んだ計算を現在行っており、別の機会に発表する予定である。参考文献 1) 兵庫県立水産試験場：平成元年度試験場事業報告、2) 同上、平成2年度報告、3) 土木学会編：水理公式集、1985、351、4) 柳生・津野・綾：土木学会第48回年講概要集、1993。

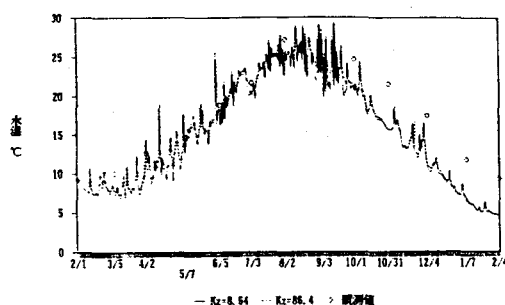


図-3 一年間の表面水温

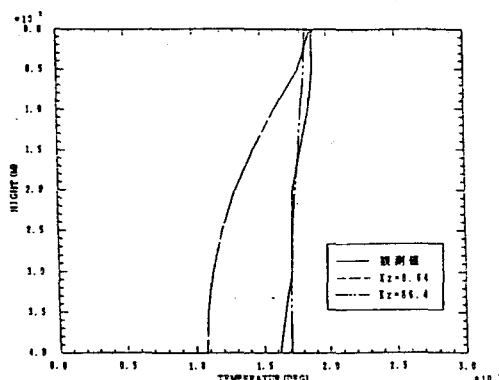


図-4 6月5日の鉛直水温分布

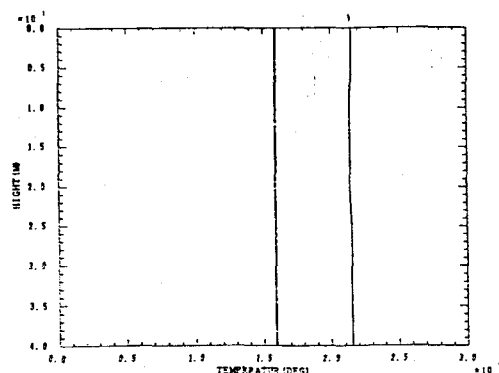


図-5 10月31日の鉛直水温分布