

# 干潟域の熱輸送モデル構築に向けた熱伝導シミュレーション

矢北 孝一

熊本大学工学部技術部

## 1. はじめに

近年、有明海を含めた各地の沿岸域において、慢性的な赤潮の発生、夏季における底層の貧酸素化、貧酸素水塊の湧昇による青潮の発生等の環境悪化が顕在化している。一方、干潟域は水質浄化能力が高いことは知られており、埋立てや沿岸域の開発等により干潟域が消失し、干潟の保全・再生・創出に対する社会的関心が高まり、水質、底質等の調査・研究によって、干潟域における浄化量の定量化が図られている。

しかし、現地観測による干潟域の水質浄化量の定量的評価は、その困難性より限定された範囲内が多く、沿岸域の広域的な評価は、数値シミュレーションを用い、物質収支モデルに生物の影響を含めた生態系モデルが使用されている。

この場合、生態系モデルを一つのモデルで表現することは不可能であり、熱輸送モデル、流体輸送モデル等のサブモデルと大気・水質・底質モデルを結合させた形で表現されることが一般的である。

サブモデルの一つである熱輸送モデルでの干潟における温度の取扱いは、冠水した場合には、直上水の水温と等しいと置き、潟土内の温度分布は、鉛直方向に一様と仮定する。また干出時に、鉛直方向の温度分布を与える場合でも正弦関数として表現され、実際の干潟域における環境特性を反映していないと考えられる。

そこで本研究では、植物プランクトンや生物活動に影響を与え、干潟域の熱輸送モデルを構築する際に必要となる潟土内部の温度鉛直分布予測について、冬季と夏季での気象と泥温等の観測を基に、干潟域の熱環境特性を考慮した鉛直方向の熱伝導について検討した。

## 2. 観測・研究方法

図-1に示すように、干潟域の熱・物質循環のメカニズム解明を目的として、熊本港北東端から北へ約160mの位置に、観測塔が設置してある。

表-1に観測塔での観測項目を示す。データは、5秒間隔値をロガー内部のプログラムで物理量に変換し、5分間の平均値を記録した。波高データは、10Hz

で記録している。干潟内部の泥温と海水温は、干潟表面を基準として、それぞれ、泥温：1,3,5,7,9,15,30,50,100,150cmと海水温：1,3,5,10,20,30,50,100,200,300cmの各位置に熱電対を設置した。また観測地点の底質は、図-2に示す粒度組成率のように、鉛直方向35cmまでがシルトと砂質で構成され、密度が約2.805 (g/cm<sup>3</sup>)、中央粒径が0.235~0.053mm、透水係数が1×10<sup>-3</sup>~6×10<sup>-4</sup>cm/secである。観測期間は、2008年2月と7月の大潮期とし、鉛直プロファイルの時系列変動、海水温と干潟での熱交換現象の検討を実施した。ここでは、泥温の観測結果より冬季における熱伝導1次元数値シミュレーション結果を中心に考察を進める。

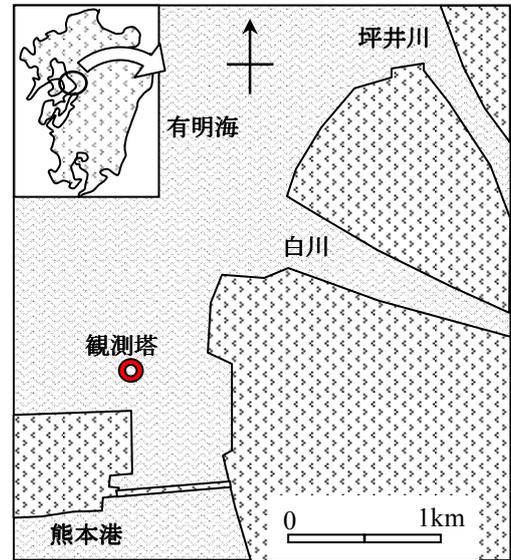


図-1 観測地点

表-1 観測項目

気象	風向・風速, 気温, 相対湿度 降水量, 気圧, 放射成分
温度	泥温と水温・気温 (7ch~20ch)
海象	波高

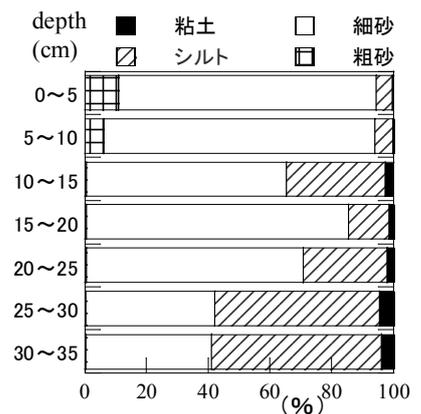


図-2 粒径組成率

### 3. 熱伝導方程式と温度拡散係数

干潟内の熱伝導シミュレーションを実施する場合、干潟は一般的にフラットな地形が形成され、鉛直勾配と比較して水平勾配が無視できると仮定し、式 (1) に示す 1 次元熱伝導方程式を差分方程式に変換した。式 (2) に示す差分方程式は、時間項を前進差分、空間項を 4 次精度の中心差分とし、陰解法の SOR 法を用いて温度変化を求める。式 (2) 中の温度拡散係数  $K$  の算出には、潟土の熱伝導率、比熱等の物性値が必要となるため、文献等を参考に一定値を与えることが多い。

そこで、 $K$  の具体的なオーダーを検査するために、式 (2) の差分方程式を逆算し、各深度での値を算出した。図-3 に  $K$  の算出例として、2 月 6 日～9 日における泥深 1cm, 5cm での時系列変化を示す。図のように、 $K$  の値は、潮汐の変化によって  $10^{-2} \sim 10^{-4}$  オーダーで時間変化を示し、鉛直方向の 1～5cm の短い区間でも  $K$  の最高、最低値の出現時間が違うこと分る。

### 4. 数値シミュレーション結果

鉛直座標は、干潟表面を基準として下向きを+とし、 $dz=0.1\text{cm}$ ,  $dt=5$  分とした。初期の泥温と  $K$  値は、観測値、算出値を線形補間して与え、境界条件は、泥深 1cm での 5 分平均値の温度を与えた。

図-4(a),(b)に、2 月 6 日から 9 日までの観測値と数値シミュレーション結果の時系列変化を示す。

図-4 (a) より干潟内の観測温度は、干出・冠水の時刻により非常に複雑な動きを示す。これは、間隙内の水分、空気の外にアサリ、ゴカイ類の底生生物の活動等が影響していると考えられる。

図-4 (b) に、数値シミュレーション結果を示す。図より、全層での周期的な温度変化は、ある程度精度よく再現することができ、上層、下層での温度差も捉えられている。しかし、深度 15～50cm で、観測値と比較して温度上昇期に過少評価し、再現性に問題点が見られた。特に、30cm の計算結果は観測値と大きく異なる結果となった。以上のことは、干潟内の温度を予測し評価する場合、潮汐等の影響を十分に考える必要性が示唆された。

### 5. まとめ

熱輸送モデルを構築する場合、干潟内の温度分布の予測には温度拡散係数の検討、潮汐の影響等を十分考慮する必要性が分った。今後は、熱輸送モデル及び生態系モデル構築に向けて、広域的な検討を実施して行く所存である。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $T$ : 深さ  $z$ , 時間  $t$  における温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $k$ : 熱伝導率 ( $\text{W}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}$ ),  $\rho$ : 密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )  
 $c$ : 比熱 ( $\text{W}\cdot\text{sec}/\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}$ ),  $K$ : 温度拡散係数 ( $\text{cm}^2/\text{sec}$ )

$$\frac{T_j^{n+1} - T_j^n}{dt} = K \frac{-T_{j-2}^{n+1} + 16T_{j-1}^{n+1} - 30T_j^{n+1} + 16T_{j+1}^{n+1} - T_{j+2}^{n+1}}{12dz^2} \dots\dots (2)$$

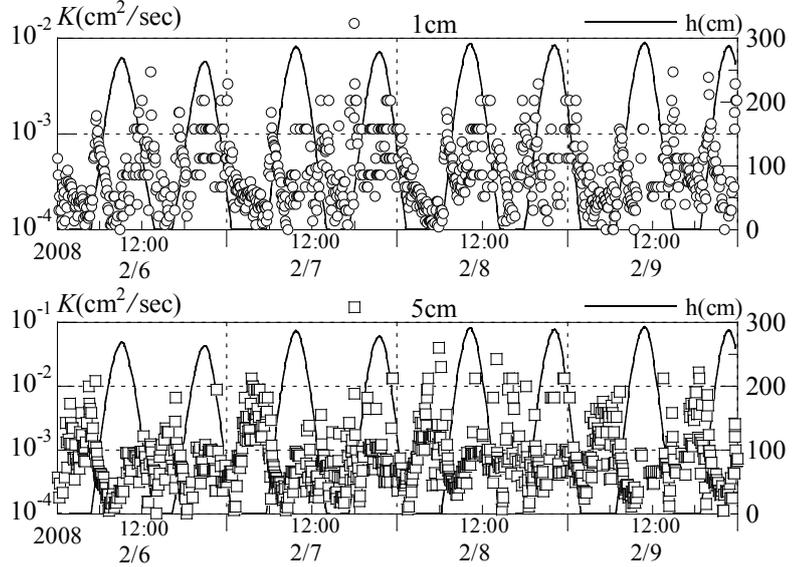


図-3 温度拡散係数の時系列変化

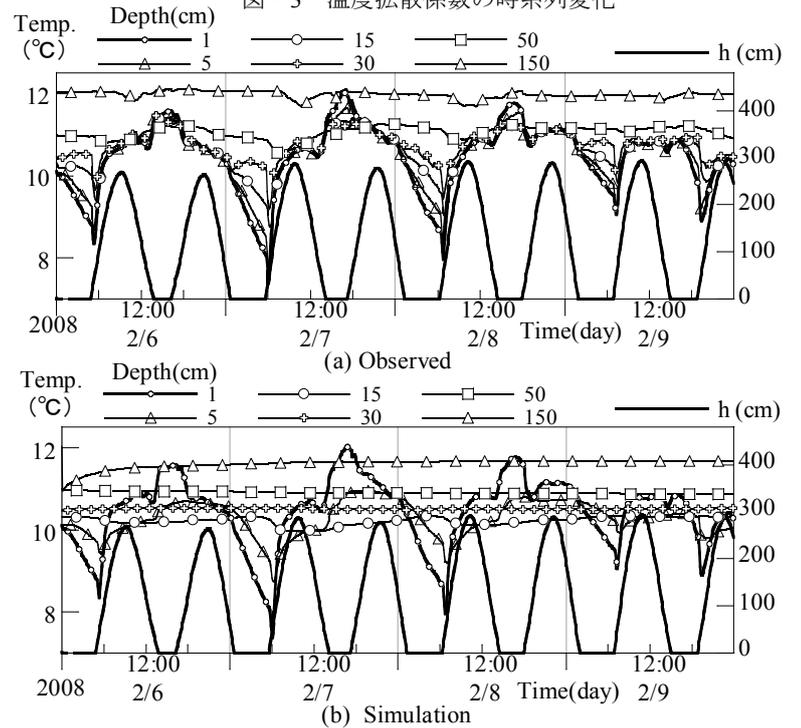


図-4 潟土温度の時系列変化