

干潟の発達する浅海域の水温変動機構と熱輸送について

水鳥 雅文*・角湯 正剛*・曾我 雅海**
加藤 正進***・和田 明****

1. はじめに

干潮時に干潟の発達するような比較的浅い海域は、海苔や貝類などの生育場所として重要な役割を果たしており、このような浅海域の環境保全の重要性については周知のところであろう。この環境問題を考える上で、その水温変動のメカニズムを把握することは重要な課題の一つであると考えられる。

一般に、このような浅海域では、沿岸海域と沖合海域との間に顕著な水温差が形成されることが知られており、これまでの研究ではこのような水温分布に注目したものが多く、水温に影響するさまざまな要因との相互関係について詳しく研究されたものは少ない。筆者らは、先に干潟域での水温変動についてその概観を報告するとともに、この水温変動を予測するための数値モデルの提案を行なった^{1),2)}。

本研究は、新たに昭和 57 年度実施した現地観測結果を基に、このような浅海域の水温変動のメカニズムを大気・海面間および大気・干潟間の相互の熱交換作用に注目して考察し、その水温変動現象の主たる要因を考察する。また、この熱交換作用と共にこの現象に大きな影響を及ぼすと考えられる移流効果について検討するため、干潟の発達する沿岸海域と沖合海域との間での潮汐による熱量輸送、および前述の数値モデルの適用性についても合わせて考察する。

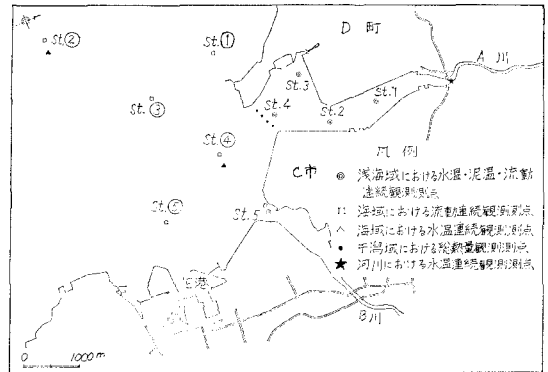
2. 現地観測結果の検討

2.1 観測内容

現地観測は、昭和 57 年 8 月、瀬戸内海西部海域（図一 1 参照）において約 2 週間にわたり実施した。本観測で行なった項目およびその測定方法は以下の通りである。

（1）干潟における観測

図一 1 に示す 5 測点に観測塔を設置し、水温・泥温お



図一 観測点位置図

よび流速を連続 3 日間計 2 回測定した。この測点周辺は干潮時に干潟となる海域である。

（2）沖合海域における観測

図一 1 に示す 5 測点においてアンデラ型流速計を、2 測点においてサーミスターチェーンを設置し、流速および水温を 15 日間連続観測した。

（3）A川河口部における熱流出入量の観測

A川河口断面を通過する熱量の推移を調べるため、その断面における流速および水塩を 30 分間隔で半日にわたり測定した。

（4）その他

赤外線写真撮影による水温水平分布の測定および気象観測などを実施した。

2.2 観測結果および考察

（1）水温変動の実態

図一 2 は、干潟となる沿岸海域と沖合海域の海表面の水温変動の状況を比較したものである。両者の日較差を比較すると、沖合海域 (st. ②) では約 1°C 、干潟域では測点により多少変動があるものの約 $3\sim 3.5^{\circ}\text{C}$ と 3 倍程度の幅を持っている。また両者の関係は、日中干潟域の水温が沖合での水温を上まわり、深夜から早朝にかけてはその逆となる。

干潟域の水温変動は、その地点の地盤高や時刻と潮時の関係で様々に変化する。その中の一例として、図一 3 および図一 4 に st. 4 と st. 5 における各層ごとの水温変

* 正会員 工修 (財)電力中央研究所土木技術研究所環境水理部海洋環境研究室

** 正会員 (財)電力中央研究所土木技術研究所環境水理部海洋環境研究室

*** 正会員 工博 (財)電力中央研究所土木技術研究所環境水理部海洋環境研究室(長)

**** 正会員 工博 (財)電力中央研究所土木技術研究所環境水理部(長)

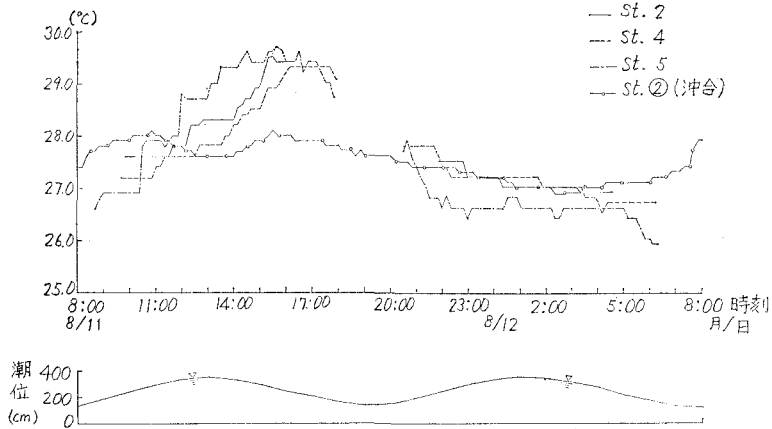


図-2 干潟域および沖合海域の表層水温の変化

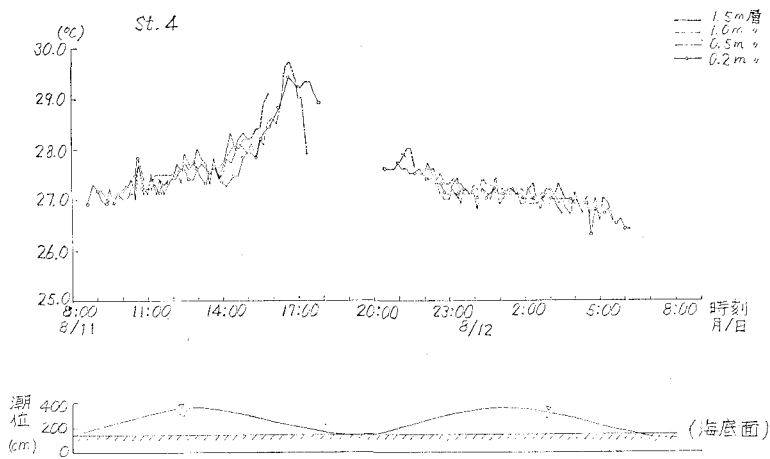


図-3 干潟域における水温変動 (st. 4)

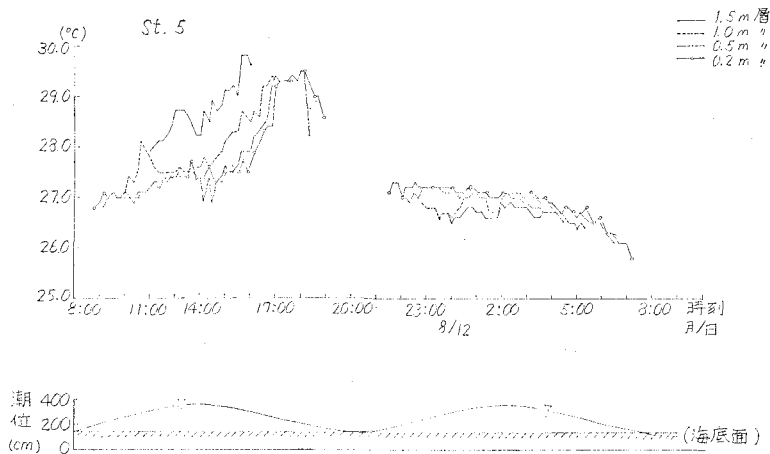


図-4 干潟域における水温変動 (st. 5)

動の様子を示す。st. 4 では、場の流れが速く、乱れも大きいため、一日中鉛直方向に水温差のないことがわかる。一方 st. 5 では、場の流れが遅く、比較的澁んだ海域であるため、日中上、下層間に幾分温度差ができる傾向がある。

(2) 浅海域における水温変動現象の要因

以上のように、干潟の広がる沿岸海域では水温変動が非常に激しく、沖合海域とは相異なる様相を呈することがわかったが、この要因について次に考察する。

一般にその要因としては、境界面 (例えば、海面や海

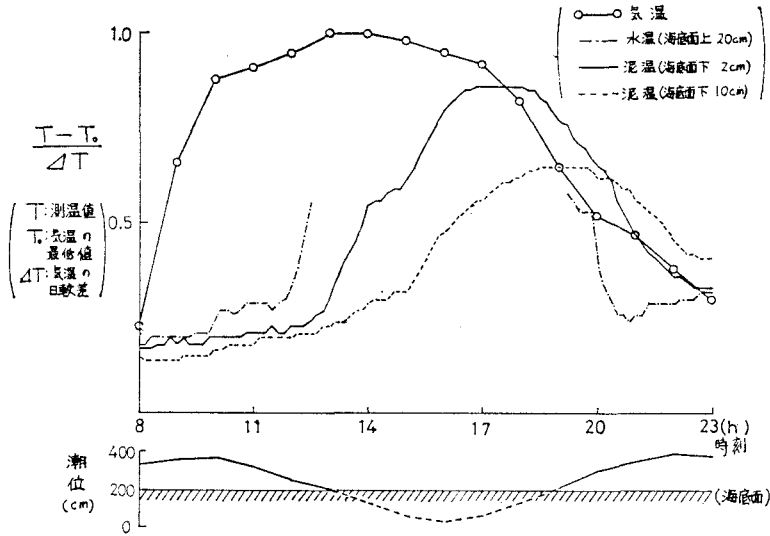


図-5 干潟域における気温・水温・泥温の経時変化

底)での熱交換作用や海域の流動による移流効果などが考えられる。

干潟域では大気・海域・海底の三者間における相互の熱交換作用が潮時により複雑に変化する。例えば、満潮時には大気・海面間および海域・海底間において熱交換作用が起こるが、干潮時には干上るために大気・干潟間で直接熱交換が行なわれる。

図-5 は、干潟となる海域の水温・泥温および気温の変動をその日の気温の日較差を基準として無次元化したものである。この図より、昇温期には気温・水温・泥温の順に温度が上昇している。このことから、昇温期には大気・海面間の熱交換作用の影響が大きく、干潮時近くでは水深が浅くなることによってその効果が大きくなることがわかる。一方、19時以降の水温変動に注目すると、気温や泥温よりも速く水温が低下していることがわかる。これは、この時刻が上げ潮時であることを考え合わせると、沖合からの移流の影響と考えらる。ただし、21 時頃の水温の微増傾向などには海底および海面での熱交換作用の影響が見られる。

一般に干潟では、日中大気から直接受熱し、かなり高温となることが知られており、次にその点について検討する。図-6 は、海底下の泥温の変動を海底下 2cm 層での最高温度と上・下層間に温度差の少ない 11 時での温度との差を基準として無次元化したものである。この図より、泥温が干上る前後から急激に上昇する点や、深さにより変動幅や時間的遅れた差異がある点が見られる。各測点での平均的な値として、変動量は 2cm 層で気温の約 60% の変動を示し、5cm 層で約 80%，10cm 層で約 60% となる。また、ピークの出現時刻は、2cm 層で 17 時半頃となり、5cm 層では約 0.7h、10

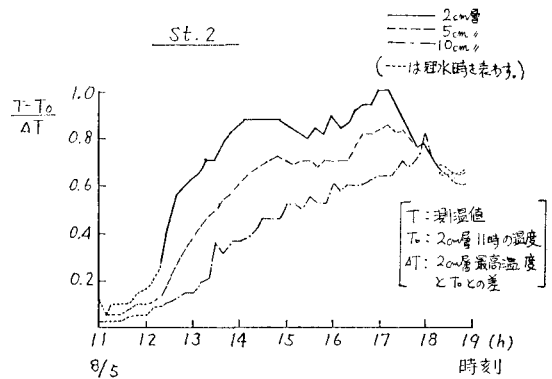


図-6 干潟での泥温変化

cm 層では約 2h、2cm 層よりも遅れる。

以上の結果より、干潟域の水温変動に対しては大気・海面間の熱交換作用と移流の影響が強く、海底面での熱交換作用は、局所的には影響が考えられるものの、その程度は小さいものと考えられる。

次に沖合海域の水温変動について検討する。図-7 は、st. ② および ④ における 15 日間の平均水温ならびにその標準偏差の鉛直分布を示したものである。両者は、ほ

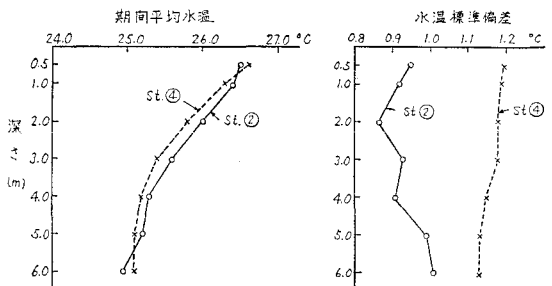


図-7 沖合海域の平均水温と標準偏差

ば同様の平均水温を示すが, st. ④の方が水温偏差が各層とも約0.3°C大きいことがわかる. 図-1よりわかるように st. ④は st. ②に比べ比較的沿岸寄りに位置するが, その水深はほぼ同一である. つまりこの原因は, 海面での熱交換によるものではなく, 沿岸の干潟域で温められた, あるいは冷された水塊からの移流による影響であると考えられる.

このように, 干潟域での水温変化は移流の効果により比較的近距離の沖合にまで影響を及ぼすことがわかる.

3. 沿岸・沖合海域間の熱輸送

本章では, 沿岸・沖合間の熱輸送過程について, 観測記録ならびに筆者らが先に提案した数理モデルを用い検討する.

3.1 数理モデルの概要

本研究で用いる数理モデルは, 干潟の発達する浅海域における平面的な水温変動シミュレートするためのモデルであり, 海域の流動および大気・海面間の熱交換作用を考慮した平面二次元モデルである^{1),2)}.

本モデルの基礎方程式は次に示す4式である.

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{h} \right) = -gh \frac{\partial S}{\partial x} + A_h F^2 M - \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{h} \right) = -gh \frac{\partial S}{\partial y} + A_h F^2 N - \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) - \frac{Q_0 - (Q_b + Q_e + Q_c)}{c \rho h} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし, 式(4)の右辺第3項は大気海面間の熱収支項であり, Q_0 : 水面から海底に到達するまでに吸収される全日射量, Q_b : 有効長波放射量, Q_e : 海表面と大気の熱伝達量, Q_c : 海水の相変化に対する潜熱量, である.

一般に潮汐による海域の流動をシミュレートする場合, 干潟域での時間的な汀線の移動を考慮することはほとんど行なわれていない. 本モデルではこの時間的な汀線の移動, それに伴う干潟の増減を再現するため, 干潟における流動計算および水温計算において次のような条件を設定した.

ある微小な水深 ε を基準値として設定し,

(i) 周囲の水位より地盤の高い格子において, 1つ前の時間ステップでの格子の水深が ε 以下であれば, その格子からの流出量は0とする.

(ii) 水深が ε 以下の格子から流出する流量フラックスが計算された場合には, この流量フラックスを0に置換する.

(iii) 計算された水深が負になった場合は0で置換する.

(iv) 水温を計算する場合, 干潟に流入する水温は, 隣接した流入してくる格子の水温の平均値を用いる.

3.2 水温計算結果の検討

本海域は, 半日周潮流の卓越した海域であり, この周潮流を対象に潮流シミュレーションを行なった.

次に, 観測期間中の2日間を対象としてその日の気象条件(日射量・気塩・湿度・風速・雲量)および前述の潮流シミュレーション結果を用い水温変動をシミュレートした.

図-8は, 観測期間中の8月18日18時頃の赤外線写真による実測結果と計算結果を比較したものである. ただし干潟の発達には, A川・B川両河口部のみで考慮している. 計算値は, A川河口の奥で若干実測値を上まわるものの, 他の海域(干潟を考慮していないD町沿岸部を除く.)ではほぼよく実測値を再現している.

3.3 河口断面部における熱輸送過程

前章でも述べたように, 海域の水温変動現象には移流作用が大きい影響を及ぼすが, 一般にその移流効果を定量的に評価することは困難である. 今回の現地観測では, A川河口断面における熱の流出入量を測定し, 潮汐によって干潟の拡がる沿岸海域と沖合海域の間の熱量交換の実態を把握した. また同時に, 前述の水温予測モデルを適用し, 観測日の水温シミュレーションを実施し, その結果から, 同様に河口断面での熱交換量を算定した.

図-9は, 前述の河口断面での熱交換量の実測結果と計算結果の比較を示したものである. 両者は, 流出入のピーク時において若干の誤差が見られるものの, おおむねよく一致していると考えられる.

この計算結果から, 日中の一潮汐間(6時から18時まで)の河口断面部での熱収支量を算定すると, 干潟域から沖合海域へ約 4.17×10^9 kcal (1.75×10^{10} kJ) の熱量が流出する結果となった. この一潮汐間に干潟域全体における海面からの総受熱量は約 5.57×10^9 kcal (2.33×10^{10} kJ) と計算され, よって, この内の約75%が沖合へ流出していったことになる. また, 同様に夜間の一潮汐間における河口断面での熱収支量は, 日中とは逆に沖合海域から干潟域へ約 2.05×10^9 kcal (8.61×10^9 kJ) の熱量が流入することが算定された.

4. 結 論

干潮時に干潟の発達する浅海域の水温変動の変動特性とその影響因子について検討した. その結果, 浅海域の水温変動に対しては, 大気・海面間の熱交換作用と移流

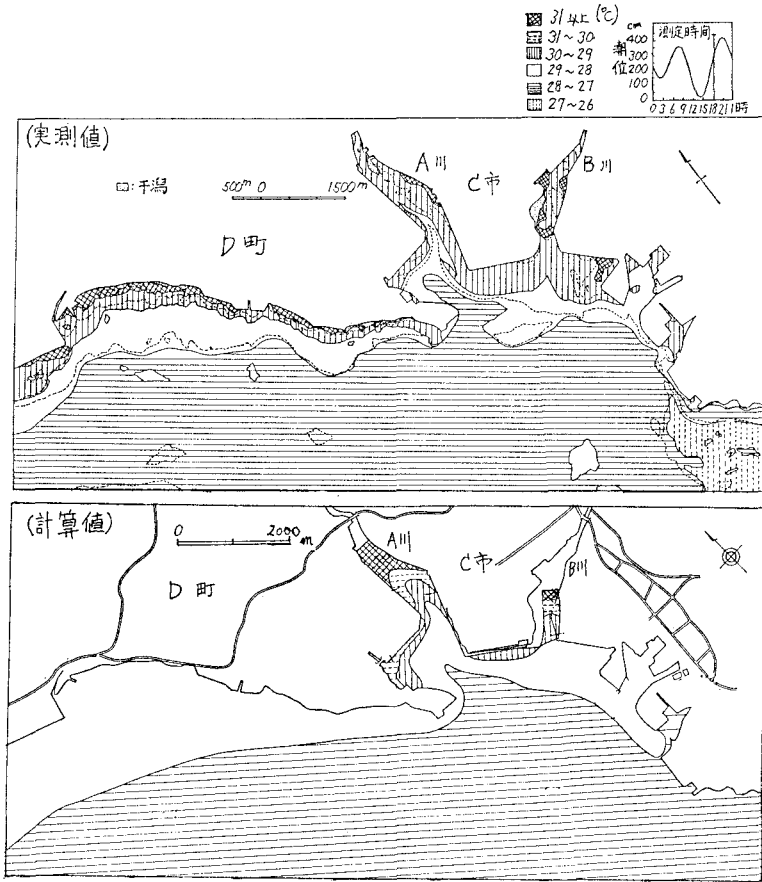


図-8 水温水平分布

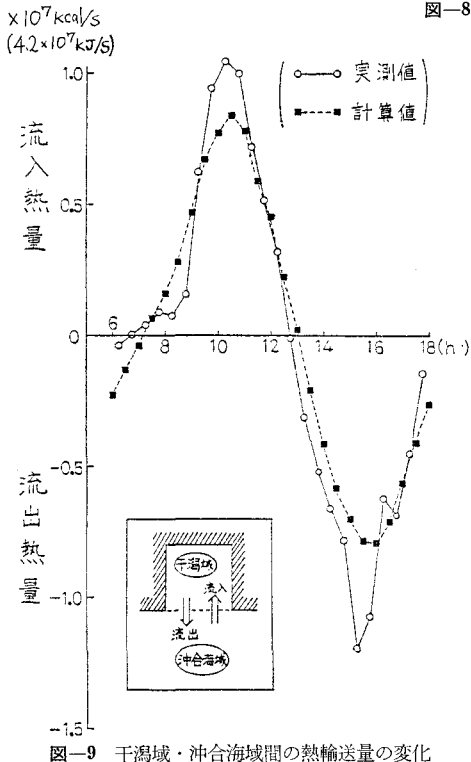


図-9 干潟域・沖合海域間の熱輸送量の変化

作用が大きい影響を及ぼしていることが明らかになった。それとともに、この2つの作用を考慮した平面二次元数値モデルによって浅海域の水温を予測することが可能であることが確認された。また、潮汐による干潟域・沖合海域間の熱輸送量の実態を把握することができた。

今後は、予測モデルの精度向上、温排水等の人工負荷が加わる場合の水温変動予測手法の開発を実施する予定である。

参考文献

- 1) 水鳥雅文・角湯正剛・加藤正進・和田 明：干潟域における水温変動に関する検討，第27回水理講演会論文集，pp. 239~244，1983。
- 2) 水鳥雅文・角湯正剛：干潟を有する海域の潮流解析法について，第36回年次学術講演会概要集，pp. 735~736，1981。
- 3) 和田 明・宮池克人：熱収支量から見た内湾の水環境変化，第24回水理講演会論文集，pp. 191~196，1980。
- 4) 片野尚明：海面からの蒸発と熱交換係数に関する検討と新しい熱交換計算表の提案，電力中央研究所報告 376008，1977。