

冬季干潟における熱環境特性と底生藻類の分布

児玉真史*・松永信博**

1. はじめに

干潟はその多様な生態系における物質循環の中で、沿岸水域の水質浄化の場として重要な役割を担っているとされている。干潟の物質循環に関する研究は多く行われているが干潟が隣接する海域に対して物質を除去しているのか、或いは物質の供給者となっているのかは海域によって異なっている(例えば佐々木, 1989)。本研究で対象とした和白天干潟が接する博多湾は福岡市に面した閉鎖性水域で海水交換の悪い場所であるが、沖合の人工島建設によりさらに水質が悪化することが懸念されている。本研究では干潟における熱環境と生態系について基礎的知見を得るため、冬季の和白天干潟において熱収支の観測を行い、その熱環境特性について検討した。また同時に一次生産者である底生藻類の現存量調査を行い熱環境との関係について検討した。

2. 観測概要

観測が行われた和白天干潟は博多湾東奥部に位置し(図-1)、南側から流れ込んだ唐原川の前方に発達した前浜干潟である。底質は一部砂泥質の部分があるものの、ほぼ全域が砂質で構成されている。その干出面積が大潮時に最大で 80 ha 程度と比較的小さな干潟であるが、日本海側に面し朝鮮半島に近いという地理的特性から渡り鳥の格好の越冬地・中継地となっている。そのため自然保護の観点からもその価値が注目されている(逸見, 1994)。観測は 1998 年 11 月から 1999 年 3 月にかけて行われた。観測地点を図-2 に示す。観測地点付近の海底勾配は約 300 分の 1 である。熱収支観測は汀線の最大遡上位置から 90 m 沖合いの地点の Sta. 1, 180 m 沖の地点 (Sta. 2) の 2 点において行った。Sta. 1 では風向、風速、気温、湿度、上向き・下向きの短波および長波放射量、水温、地中温度(干潟表面から 0 cm, -4 cm, -10 cm, -20 cm, -40 cm)および水位の連続計測を行った。Sta. 2 では水温、地中温度および水位の連続計測を行った。両観測地点とも潮汐により冠水・干出を繰り返す位置に選

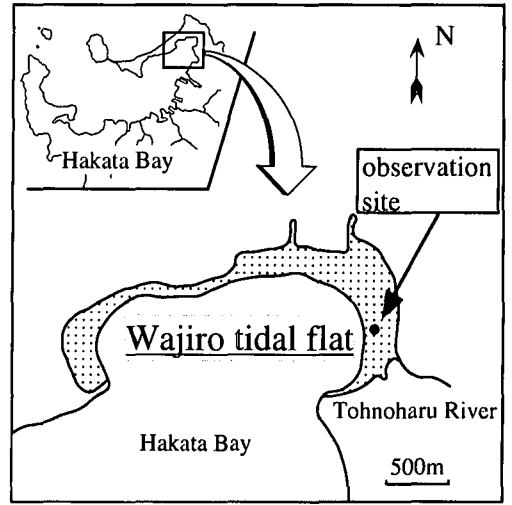


図-1 和白天干潟

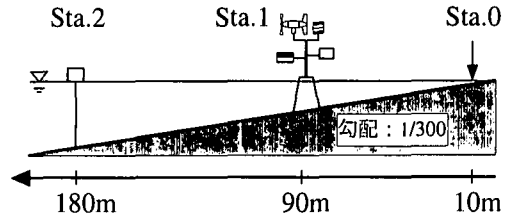


図-2 観測地点

ばれた。干潟底質のサンプルは Sta. 0, Sta. 1, Sta. 2 の合計 3 点で採取し、クロロフィル *a* 量を調べた。底生藻類の調査は観測期間中 9 回行った。

3. 気象概要

図-3(a) に Sta. 1 の高度 3.0 m における風速ベクトルを、(b) に福岡管区気象台における 1 時間毎の日射量および降水量を示す。観測期間を通じて北西の季節風が卓越していることがわかる。また観測期間中に降水量はほとんど無く全般に天候は安定しており、日中の日射量は 400~600 W/m² に達している。図-4(a), (b) に Sta. 1, Sta. 2 における干潟地中温度および水位の時系列変化を示す。この図から干潟表面温度の変動に冠水・干出の

* 学生会員 工修 九州大学大学院 総合理工学研究科博士後期課程
** 正会員 工博 九州大学助教授 大学院総合理工学研究科

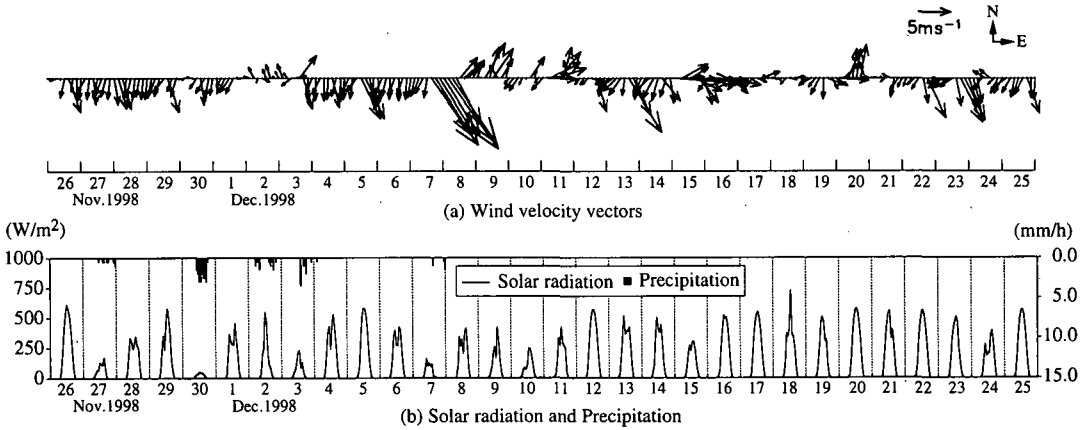


図-3 (a) Sta.1における風速ベクトル, (b) 全天日射量および降水量

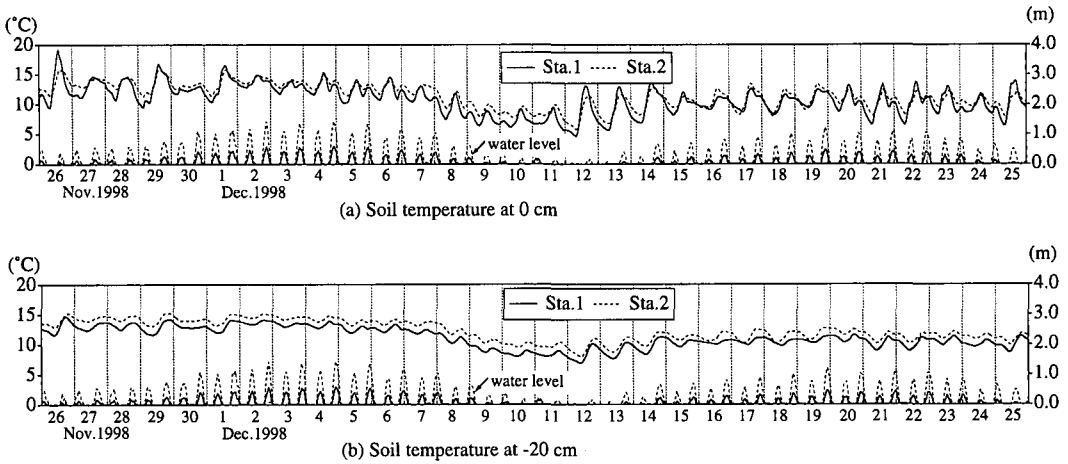


図-4 (a) 0 cm, (b) -20 cm における干潟地中温度および水位の時系列変化

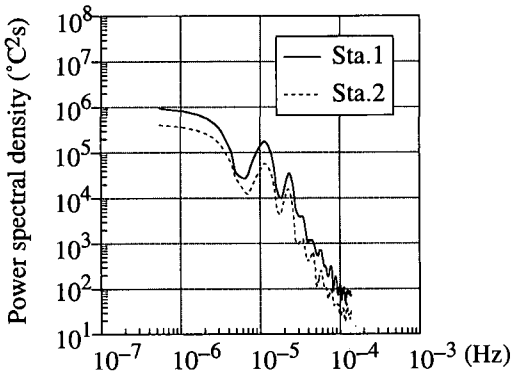


図-5 地表面温度のパワースペクトル

間の冷却の影響をより強く受け、日周変動では大きな振幅を示している。このことは図-5の干潟表面温度のスペクトル解析の結果からも明らかである。日周期および半日周期に明瞭なピークがみられ、そのパワーもSta.1の方が大きくなっている。半日周期の潮汐による地中温度変動への影響は深くなるにつれて小さくなり、-20 cmより下層においてはほとんど見られない。しかしながら、スペクトル解析の結果から-40 cmにおいても日周期に小さいながらもピークをもち、日射の影響はこの深さまで及んでいることがわかる。

4. 干潟の熱環境特性

図-6に干潟表面での熱収支の概念図を示す。干潟表面での熱収支は以下の式で表すことができる。

$$R_{net} = H + IE + G \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 R_{net} は正味放射量、 H は顕熱輸送量、 IE は潜熱輸送量である。また G は冠水時には水中へ入射する熱量

サイクルが大きく影響していることがわかる。すなわち日中の冠水は日射による加熱を抑え、夜間の冠水は大気による放射冷却の効果を弱めている。Sta.1はSta.2よりも水位、冠水時間がともに小さいため日中の加熱、夜

を、干出時には地中への貯熱量 G_{soil} を表す。図-7(a)に Sta. 1 における正味放射量 R_{net} 、顕熱輸送量 H 、潜熱輸送量 IE および貯熱量 G の時系列変化を示す。図-7(a) (b) に Sta. 1, Sta. 2 における地中への熱フラックス G_{soil} の時系列変化を示す。顕熱輸送量 H および潜熱輸送量 IE は以下の式を用いてバルク法 (近藤, 1994) により算定し、貯熱量 G は正味放射量から顕熱、潜熱輸送量を差し引いた残差として計算した。

$$H = -C_H C_{\rho\rho} (T - T_0) U \dots\dots\dots (2)$$

$$IE = -C_E l \beta (q - q_0) U \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 C_H, C_E はそれぞれ顕熱、蒸発に対するバルク輸送係数であり、実測値から安定度を考慮して算定した。また $C_{\rho\rho}$ は大気熱容量 ($=1.25 \times 10^3 \text{JK}^{-1}\text{m}^{-3}$)、 T は高度 3.0 m における気温、 T_0 は干潟表面温度、 U は高度 3.0 m における風速、 l は蒸発の潜熱 ($=2.50 \times 10^9 \text{Jkg}^{-1}$)、 β は蒸発効率 ($=1.0$)、 q は高度 3.0 m における比湿、 q_0 は干潟表面における比湿である。 G の符号は水中 (または地中) へ向かうものを負としている。地中への熱フラックス G_{soil} は地中温度の鉛直分布の時間変化から以下の式を用いて算定した。

$$G_{soil} = C_{\theta\rho\theta} \int_0^D \frac{\partial T_{\theta}}{\partial t} dz \dots\dots\dots (4)$$

ただし、熱フラックスが 0 となる深さ D および土の熱容量 $C_{\theta\rho\theta}$ の値は、松永ら (1998) と同様とし、 $D = -40 \text{cm}$ 、 $C_{\theta\rho\theta} = 2.54 \text{JK}^{-1}\text{cm}^{-3}$ とした。正味放射量 R_{net} は全日射量、干潟表面からの反射日射量、大気からの長波放射量および干潟表面からの長波放射量の和として以下の式により表される。

$$R_{net} = S_d + S_u + L_d + L_u \dots\dots\dots (5)$$

松永ら (1998) は大気からの長波放射と干潟表面からの長波放射は季節、昼夜、冠水・干出に関わらずバランスしていることを示している。このため正味放射量は日射のみのバランスで決定されるが、今回の長期観測においても同様の結果が得られている (図-3(b)、図-7(a))。潜熱輸送量 IE は日中干潟表面が干出している場合、あるいは夜間に沖合いから暖水塊が移流してくる場合にやや増加 (100W/m^2 程度) するものの顕熱輸送量 H 、潜熱輸送量 IE は日中・夜間を通じて非常に小さく数 10W/m^2 程度オーダーである。このため日中の冠水時には正味放射量の多くが貯熱量 G として水中に入射している。地中への貯熱量 G_{soil} についてみると、小潮時あるいは日中干潟表面が干出している場合には日射の影響をより強く受ける岸側の Sta. 1 で大きな値をとるが、沖側の Sta. 2 では岸側に比べ熱交換量が小さくなっている。このことから冠水時の干潟域では、日射の多くが熱容量の大きい水体に吸収されているものと思われる。そこで次に、冠水時の水温変動に及ぼす鉛直熱フラックス F_v 、水

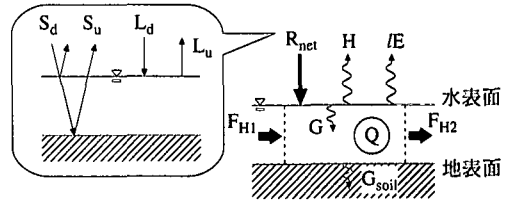


図-6 干潟が冠水している場合の熱収支概念図

平移熱フラックス F_H について検討する。冠水時の水体の水温変動を示す熱量 Q には以下の式で示すように、水中へ入射する熱量 G から地中へ抜ける熱フラックス G_{soil} を差し引いた鉛直熱フラックス F_v に加え、水平移流熱フラックス F_H ($\equiv F_{H1} - F_{H2}$) が寄与していると考えられる。

$$Q = F_v + F_H \dots\dots\dots (6)$$

ただし、

$$Q = C_w \rho_w \frac{\partial}{\partial t} \int_0^h T_w dz \dots\dots\dots (7)$$

$$F_v = G - G_{soil} \dots\dots\dots (8)$$

であり、ここに h は水深、 $C_w \rho_w$ は海水の熱容量 ($=4.00 \text{JK}^{-1}\text{cm}^{-3}$) である。実測値を用いて算出した、 Q と F_v および (6) 式から Q と F_v の残差として見積もった水平移流熱フラックス F_H の時系列変化のうち特徴的なケースを図-8(a), (b) に示す。まず図-8(a) は日中に冠水する場合である。この場合、日射のピークと水位のピークが重なっているために、ピーク付近の鉛直熱フラックス F_v は時間的にほぼ一様である。上げ潮時に Q の絶対値は小さく、 F_H は負の値をとっている。これは上げ潮時に水体は鉛直フラックスによって加熱されるものの、沖合いからの冷水塊の移流のために加熱の効果が相殺されるためであると考えられる。一方下げ潮時には Q は大きく正の値をとる。これは鉛直熱フラックスに加え、水深の浅い岸側で加熱された水塊が移流して来るためであると考えられる。その結果、日中に冠水する場合には一潮汐間の平均で見ると、徐々に上昇して行く水温変動に対して、鉛直熱フラックス F_v と水平移流熱フラックス F_H が同程度のオーダーで寄与している。図-8(b) は逆に夜間に冠水している場合である。この場合、鉛直熱フラックスの寄与は一潮汐間を通じて非常に小さなものとなっている。一方、 Q, F_H は上げ潮時にいずれも正の値をとる。これは沖合いからの暖水塊の移流の効果であると考えられる。逆に下げ潮時には大きく負となっている。これは日中とは逆に岸側の浅海域で冷却された水塊が移流して来るためであると考えられる。その結果、夜間に冠水する場合には一潮汐間の平均で見ると、(a) の場合とは逆に徐々に降下して行く水温変動に対して水平移流熱フラックス F_H が支配的となっている。図-9 は (6) 式の

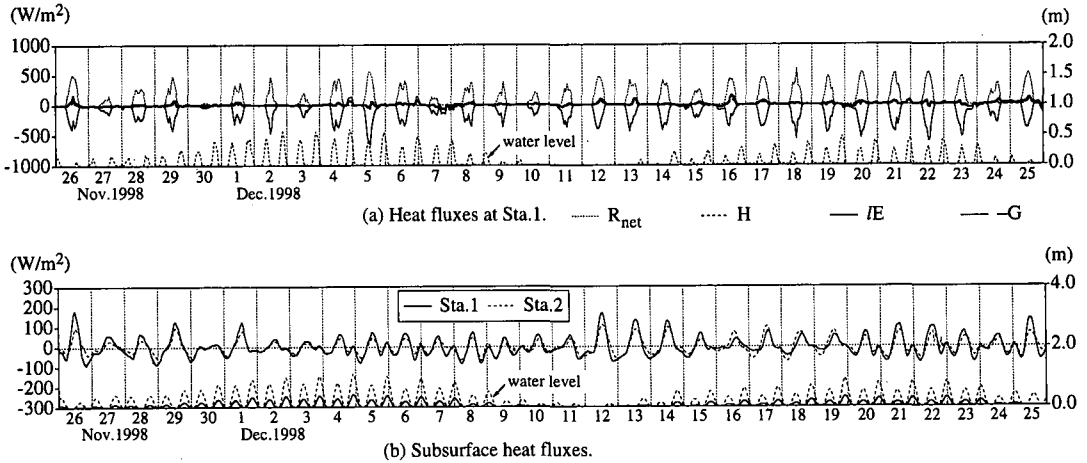


図-7 (a) Sta.1 における各熱フラックスの時系列変化, (b) Sta.1, Sta.2 における地中への熱フラックス G_{soil} の時系列変化

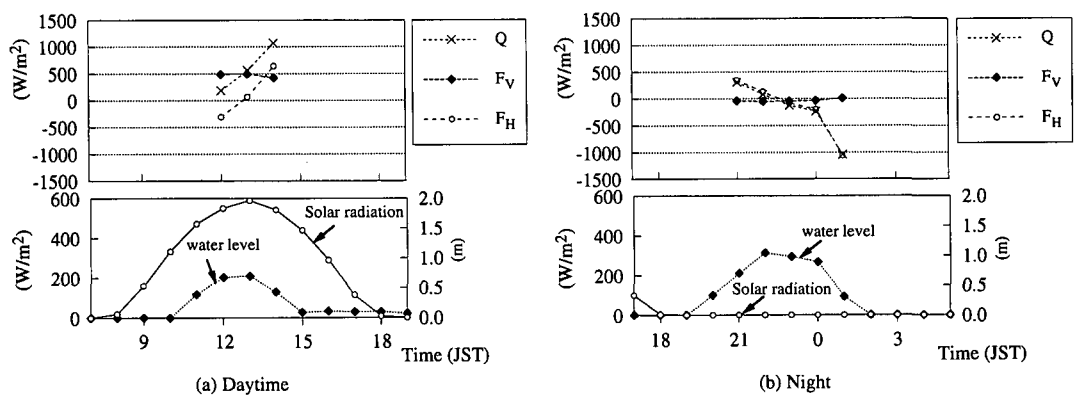


図-8 水温変動におよぼす各熱フラックス成分の時系列変化

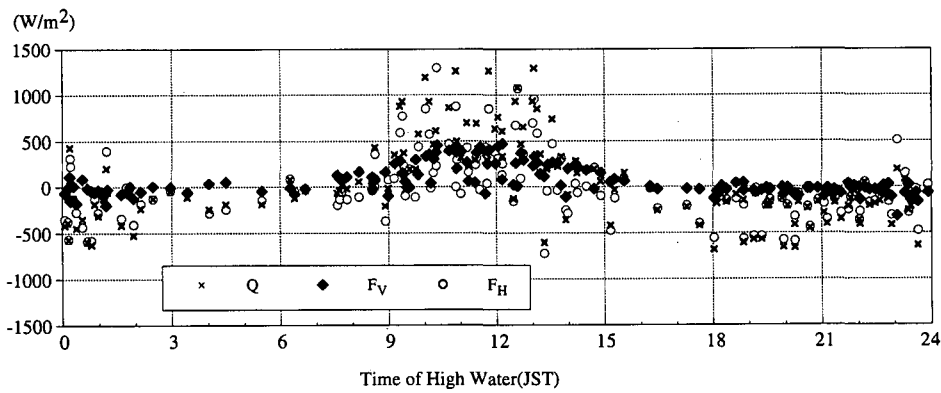


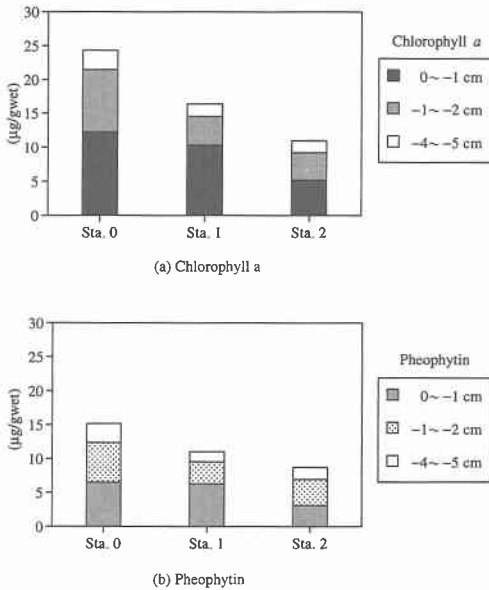
図-9 一潮汐間で平均された水温変動に対する各熱フラックス成分の寄与

各成分の一潮汐間での平均値を満潮時刻に対してプロットしたものである。この図からも日中冠水する場合には水温変動に対して鉛直熱フラックス F_V と水平移流熱フラックス F_H が同程度のオーダーで寄与しており、夜間冠水する場合には水温変動に対して水平移流熱フラック

ス F_H が支配的であることがわかる。

5. 底生藻類の分布

底生藻類の現存量調査は岸沖方向測線上にある3点 (Sta. 0, Sta. 1, Sta. 2, それぞれ岸から 10 m, 90 m, 180



図—10 各測点における底質分析結果

mの地点)で行った。底生藻類の現存量は干潟底質中のクロロフィルa量を調べることによって評価した。干潟底質は内径2cmのポリカーボネイト製パイプを用いて深さ5cmまで採取した。試料は90%アセトンでクロロフィルaを抽出して、遠心分離した後、上澄をLorenzenの方法によって分光光度計を用いて定量した。図—10(a), (b)は干潟底質中のクロロフィルa量およびその分解物であるフェオフィチンの質量当たりの現存量(µg/gwet)の9回の調査における平均値を示したものである。クロロフィルa量は岸沖方向で比較すると岸から沖へ行くにしたがって現存量が減少することがわかる。岸側は沖に比べ冠水時間が短く、また冠水時の水深も浅くなっている。このため岸側の方が日射の到達量が多いことがその要因であると思われる。またBlanchardら(1997)は底生藻類の光合成温度は約25°Cあることを示している。冬季においては干潟表層の温度は常にこの温度よりも低く、図—4(a)に示すように日中は岸側の方が表層の温度は高くなっている。このため温度環境の面か

らも藻類の光合成に有利な条件にあると言える。またフェオフィチンの占める割合が少なく冬季においても干潟底質中で有機物の生産・分解といった生物活動が活発に行われていることがわかる。鉛直方向で見ると0~1cm層と1~2cm層では同程度の値を示し、4~5cm層では大きく減少している。1~2cm層では光合成が行われるとは考えにくいことから、表層に堆積した藻類は巻き上げ、堆積の課程、あるいはベントスによる攪拌等によって1~2cm層まで輸送されているものと考えられる。

6. おわりに

冬季の干潟において熱環境の現地観測を行った結果、干潟域の水温変動には日中には鉛直熱フラックスと水平移流熱フラックスが同程度のオーダーで寄与しているが、夜間には水平移流熱フラックスが支配的であることがわかった。また底生藻類の現存量調査を行った結果、熱環境特性の岸沖方向の違いが底生藻類の分布を決定する要因の一つになっていることが示唆された。今後は四季を通じた計測を行い、干潟の生態系と熱環境の関係を明らかにして行く予定である。

謝辞：本研究の遂行に際しては九州大学助教授中村由行先生(当時)から有益なご助言をいただきました。また底質の分析に際しては九州大学環境流体工学研究室の方々にご協力を頂きました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 近藤純正(1994): 水環境の気象学, 朝倉書店, pp. 99-111.
- 佐々木克之(1989): 干潟の物質循環, 沿岸海洋研究ノート, 第26巻, 第2号, pp. 172-190.
- 逸見泰久(1994): 和白干潟の生き物たち, 海鳥社, 195 p.
- 松永信博・児玉真史・福田和代・杉原裕司(1998): 干潟における熱収支の観測, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 1056-1060.
- Blanchard G. F. and Guarini J. M. (1997): Seasonal effect on the relationship between the photosynthetic capacity of intertidal microphytobenthos and temperature, *J. Phycology*, 33, pp. 723-728.