

和白干潟における熱収支の観測

松永, 信博
九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

杉原, 裕司
九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

児玉, 真史
九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

本地, 弘之
九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

<https://doi.org/10.15017/17453>

出版情報 : 九州大学大学院総合理工学報告. 19 (4), pp.355-360, 1998-03-01. 九州大学大学院総合理工学研究科
バージョン :
権利関係 :

和白干潟における熱収支の観測

松永信博*・杉原裕司*
児玉真史**・本地弘之*

(平成9年11月28日 受理)

A Field Observation of Heat Budget on Wajiro Tidal Flat

Nobuhiro MATSUNAGA, Yuji SUGIHARA, Masashi KODAMA
and Hiroyuki HONJI

A tidal flat has a high water purification function because of vigorous activities of soil microorganisms and benthos. The heat budget on the ground surface is one of the most important factors in the biological processes. Wajiro tidal flat is located at the east side of Hakata Bay in Kyushu Island, Japan and its importance begins to be recognized from the viewpoint of preservation of the biological environments. In order to investigate the thermal environments in Wajiro tidal flat, the measurements of wind velocity, air temperature, air humidity, radiation fluxes and soil temperature were performed at one station in August 1997. Diurnal variations of heat fluxes were evaluated by using the bulk transfer method. The one dimensional thermal conductive equation was used to simulate the vertical profiles of soil temperature. A good agreement is seen between the numerical solutions and the data.

1. 緒 論

干潟は、沿岸水域における水質浄化の場として重要な役割を担っている¹⁾。干潟では、河川より流れ込んで堆積した有機物が底泥中の様々な微生物によって分解される。また、貝類、甲殻類およびゴカイ類といった底生生物の中には堆積した有機物を餌としているものも多く、微生物同様に有機物の分解に寄与している。これらの底生生物は同時にそれ自身の活動により底泥を攪拌し、地中の微生物活性を高め、物質の輸送・拡散を促進する役割も担っている。このような微生物や底生生物の活動には環境の温度が大きく影響する。従って、干潟の水質浄化機能を定量化する上でその熱環境特性を明らかにすることは重要である。

本研究の目的は、干潟における熱収支の現地観測に基づいてその熱環境特性を明らかにすることである。観測対象として博多湾奥部に位置する和白干潟を選び、夏期の和白干潟における、風向・風速、水位、気温、比湿、各放射量および地中温度の連続計測を行い、干潟上での熱収支を検討した。さらに、一次元熱伝導方程式に基づいて干潟の地中温度分布のシミュレーションを行った。

2. 観 測 概 要

観測が行われた和白干潟は博多湾最奥部に位置する

*大気海洋環境システム学専攻

**大気海洋環境システム学専攻修士課程

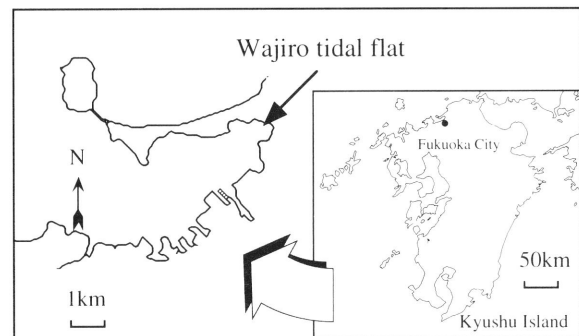


Fig. 1 Location of Wajiro tidal flat.

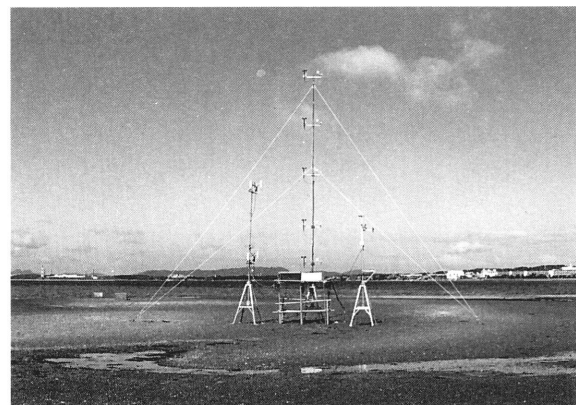


Fig. 2 View of measuring system.

(Fig. 1). 干出面積が大潮時に80ha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・中継地となつて

Table. 1 Subjects of measurement

Mesuring Subjects	Measuring Instruments	Measuring Elevations	Measuring Time Intervals
Wind direction, Wind velocity	Propeller anemometer	2.5, 5.0m	5s
Wind velocity	Cup anemometer	2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0m	5s
Air temperature	Platinum resistance thermometer	2.5, 5.0m	5s
Air temperature	Thermistor thermometer	2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0m	5s
Relative humidity	Capacitance hygrometer	2.5, 5.0m	5s
Global solar radiation	Pyranometer	2.0m	10min
Reflected solar radiation	Pyranometer	2.0m	10min
Downward long-wave radiation	Pyrgeometer	2.2m	10min
Upward long-wave radiation	Pyrgeometer	2.2m	10min
Soil temperature	Thermistor thermometer	0, -2, -4, -10, -20, -40cm	10min
Water temperature	Thermistor thermometer	2, 4, 20, 40, 60cm	10min
Water surface temperature	Thermistor thermometer	—	10min
Water level	Water gauge	—	5min

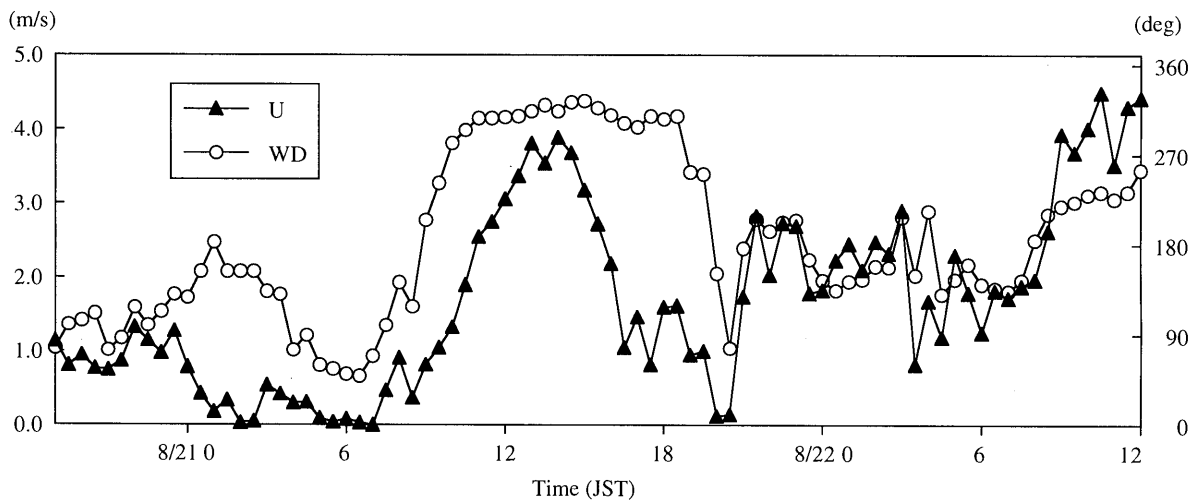


Fig. 3 Diurnal variations of wind velocity U and wind direction WD.

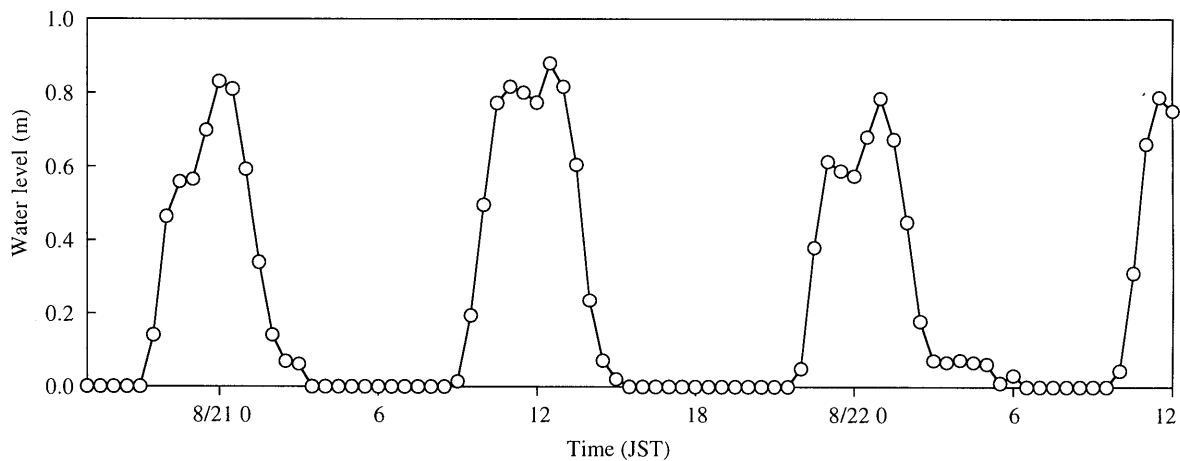


Fig. 4 Diurnal variations of water level.

おり、自然保護の観点からもその価値が注目されている²⁾。

Fig. 2 に観測システムの概観を示す。観測は1997年8月20日19時から同22日12時にかけて行われ、風向・

風速、水位、気温、比湿、上向き・下向きの短波および長波放射量および地中温度が同時に連続測定された。観測地点は、潮汐の干満により観測期間中に冠水と干出を繰り返した。測定項目、測定機器、測定高さ、測

定時間間隔の一覧を **Table 1** に示す。観測データとしては各測定値の30分平均値が用いられた。

3. 観測結果

観測当日は、太平洋高気圧に覆われ晴天夏日であった。**Fig. 3** に、高度2.5mにおける風向 WD および水平風速 U の日変化を示す。深夜から明け方にかけては南東からの風（陸風）が吹き、日中は北西からの風（海風）へと変化する海陸風に支配された風系となっている。風速は日中に大きくなり午後3時頃には4.0m/s に達した。夜間の風速は比較的小さく概ね2.0m/s 以下であった。

Fig. 4 に観測地点における水位の日変化を示す。満潮の時刻は0時30分および12時30分であった。観測地点は約5時間冠水し、そこでの水位は90cm に達した。干出時間は、午前、午後ともに約7時間であった。

Fig. 5 に、高度2.5m における気温 T_a 、比湿 q_a お

よび表面温度 T_s の日変化を示す。表面温度は、干潟が干出している場合には地表面温度を、冠水している場合には水表面温度を表す。夜間の一部を除いて常に表面温度の方が気温よりも高く、干潟上の大気が不安定であったことがわかる。比湿は水位変化の影響を受け、水位の上昇と共に増加し、干潟が干出した午後3時には大きく減少している。

Fig. 6 に干潟の地中温度の日変化を示す。地表面温度は、干潟が冠水した影響を受けて上昇が鈍るものの、日中は気温よりも大きな変化を示している。地中温度は深くなるほどその日変化は小さくなり、地中40cm では表面の温度変化の影響を受けず一日を通じてほぼ一定となっている。

干潟上では以下の熱収支式が成り立つものと考えられる。

$$R_{net} = H + \lambda E + G \tag{1}$$

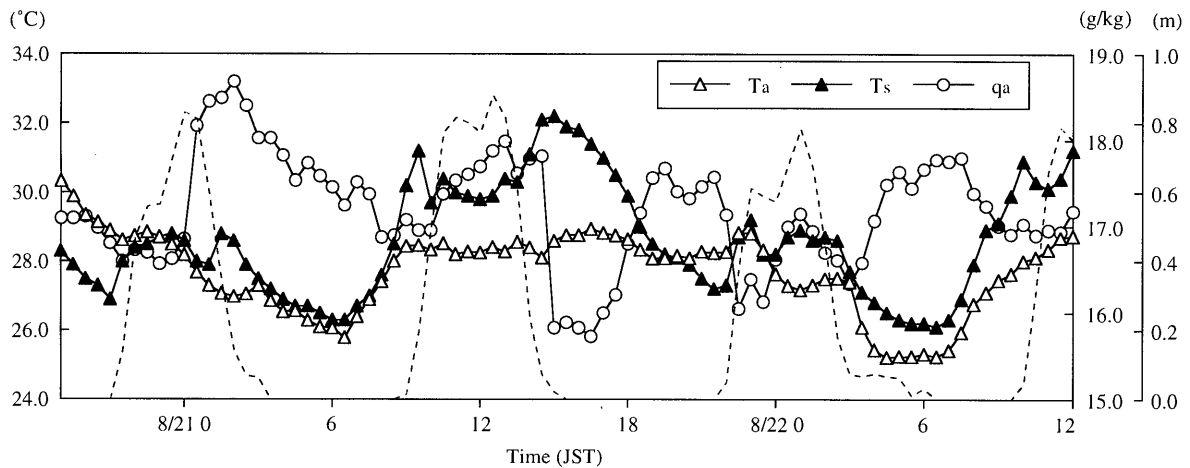


Fig. 5 Diurnal variations of air temperature T_a , specific humidity q_a and surface temperature T_s . Dashed lines indicate the water level.

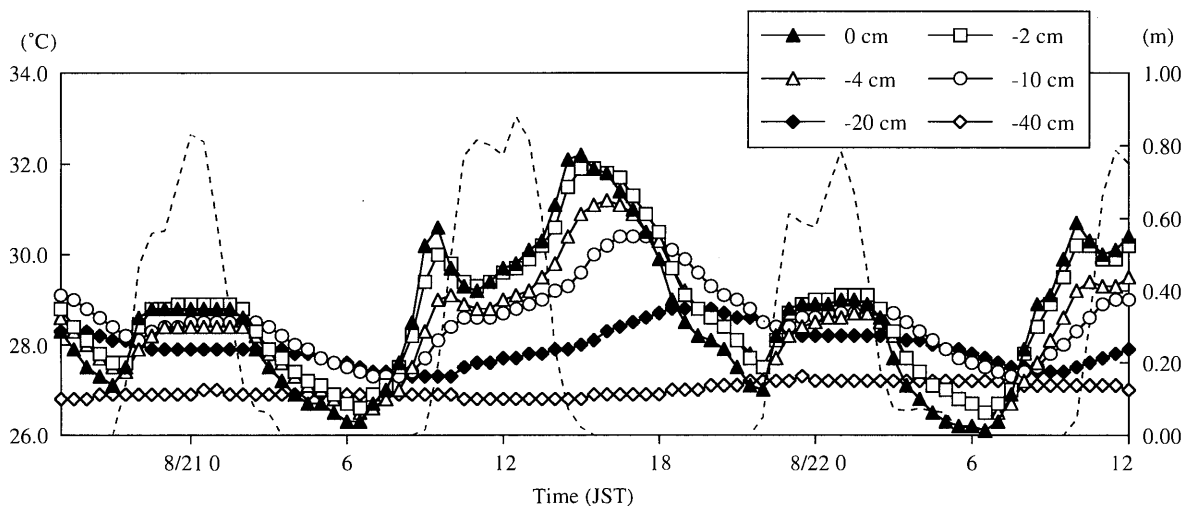


Fig. 6 Diurnal variations of soil temperature at several depths. Dashed lines indicate the water level.

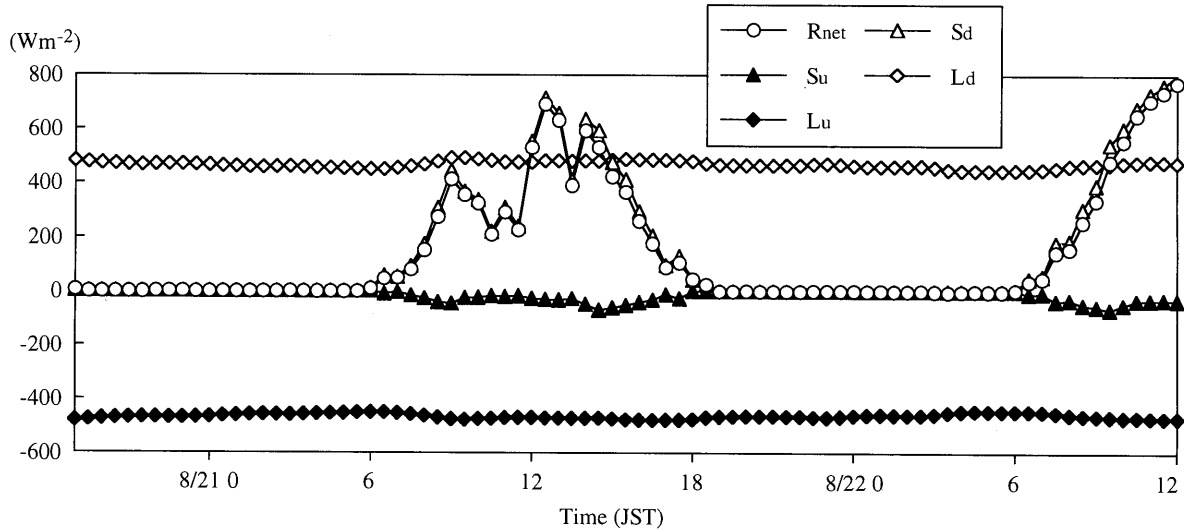


Fig. 7 Diurnal variations of radiation fluxes.

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, G は水中または地中への貯熱量であり, I は蒸発の潜熱を示す.

干潟上で吸収される正味放射量 R_{net} は次式で表すことができる.

$$R_{net} = S_d + S_u + L_d + L_u \quad (2)$$

ここで, S_d は全天日射量, S_u は表面からの反射日射量, L_d は大気からの長波放射量, L_u は上向きの長波放射量を表す.

各放射量の日変化を Fig. 7 に示す. 全天日射量 S_d は, 日中600から700W/m² に達している. アルベドは干出時には約0.15, 冠水時には約0.07であった. 上向きの長波放射は, 地(水)表面の熱容量が大きく表面温度の変化が比較的小さいためにほぼ一定値を取り, 大気からの長波放射と日中・夜間を通じてほぼバランスしている. このため, 正味放射量 R_{net} は概ね日射とバランスして日中700W/m² に達し, 夜間はほぼ0となっている.

接地境界層における顕熱輸送量 H , 潜熱輸送量 IE は以下の式で与えられる.

$$H = -C_p \rho u_* T_* \quad (3)$$

$$IE = -l u_* q_* \quad (4)$$

ここで, u_* , T_* , q_* はそれぞれ摩擦速度, 摩擦温度, 摩擦比湿である. 本研究では, 以下の風速 U , 気温 T および比湿 q の鉛直分布と無次元普遍関数 ϕ_m , ϕ_h との関係式を用いて, 傾度法^{3,4)}, からこれらの量を算定した.

$$\frac{\kappa \zeta}{u_*} \frac{\partial U}{\partial \zeta} = \phi_m(\zeta) \quad (5)$$

$$\frac{\kappa \zeta}{T_*} \frac{\partial T}{\partial \zeta} = \phi_h(\zeta) \quad (6)$$

$$\frac{\kappa \zeta}{q_*} \frac{\partial q}{\partial \zeta} = \phi_h(\zeta) \quad (7)$$

$$\phi_m(\zeta) = \begin{cases} (1 - 16\zeta)^{-1/4}, & \zeta < 0 \\ 1 + \frac{7\zeta + 70\zeta^3}{1 + 3\zeta + 10\zeta^3}, & \zeta > 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\phi_h(\zeta) = \begin{cases} (1 - 16\zeta)^{-1/2}, & \zeta < 0 \\ 1 + \frac{7\zeta + 4\zeta^2}{1 + 0.0175\zeta + 0.005\zeta^2}, & \zeta > 0 \end{cases} \quad (9)$$

ただし, ζ は次式で定義される.

$$\zeta = \frac{z}{L}, \quad L = -\frac{T_0 u_*^3}{\kappa g (-u_* T_*)} \quad (10)$$

ここで, z は地表面から鉛直上向きに取られた座標, L はモーニン・オブコフ長さ, κ ($=0.4$) はカルマン定数, T_0 は場の平均気温, g は重力加速度である. 地表面と高度2.5m の観測値を上式に当てはめ, 収束計算により u_* , T_* , q_* を求めた.

算定された H , IE を R_{net} から差し引くことにより求めた G の日変化を Fig. 8 に示す. 顕熱輸送量は, 日中・夜間を通じて非常に小さく, 日中冠水時には正味放射量 R_{net} の大部分が潜熱 IE および貯熱量 G に変換されている. また, 夜間冠水時には水に貯えられていた熱の多くが水表面から潜熱として大気に放出されている. ポーエン比は日中の R_{net} の増加に伴い大

きくなるが、顕熱輸送量が小さいため最大でも0.1程度である。また冠水時にはほぼ一定値となっている。

また、地中貯熱量 G_g は、熱フラックスが0となる深さを D 、土の比熱および密度をそれぞれ C_s 、 ρ_s (鉛直方向に一定) とすると以下の式で表される⁹⁾。

$$G_g = C_s \rho_s \int_D^0 \frac{\partial T}{\partial t} dz \quad (11)$$

ただし、実測により $D = -40\text{cm}$ 、土の熱容量 $C_s \rho_s = 2.54\text{J/K/cm}^3$ とした。

Fig. 9 に G および G_g の日変化を示す。日中冠水時における G の地中貯熱量 G_g への寄与は非常に小さく、その大部分が水中に吸収されていることがわかる。

4. 干潟における地中温度分布のシミュレーション

干潟の地中温度の日変化は、次式の一次元熱伝導方

程式によって表すことができる⁶⁾。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (12)$$

ただし、 K は地中における熱拡散係数である。この一次元熱伝導方程式を用いて地中温度の解析を行い、観測結果との適合性を検討した。 K は、地中貯熱量 G_g と表層での温度勾配から求め $7.28 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ とした。また、その値は鉛直方向に一定と仮定した。初期条件は鉛直方向の計測結果を与えた。境界条件は、表層では各時刻における地表面温度の実測値を与え、底層では $z = -80\text{cm}$ で温度勾配を0とした。また、計算格子間隔は2.0cm、時間ステップは150s とした。

Fig. 10 に、 $z = -2, -10, -40\text{cm}$ における解析結果と観測値との比較を示す。解析結果と観測値の間には若干の差異は見られるが、両者は比較的良く一致しており、地表面温度を境界条件として与えれば干潟の地中温度分布を精度良く予測できることがわかる。

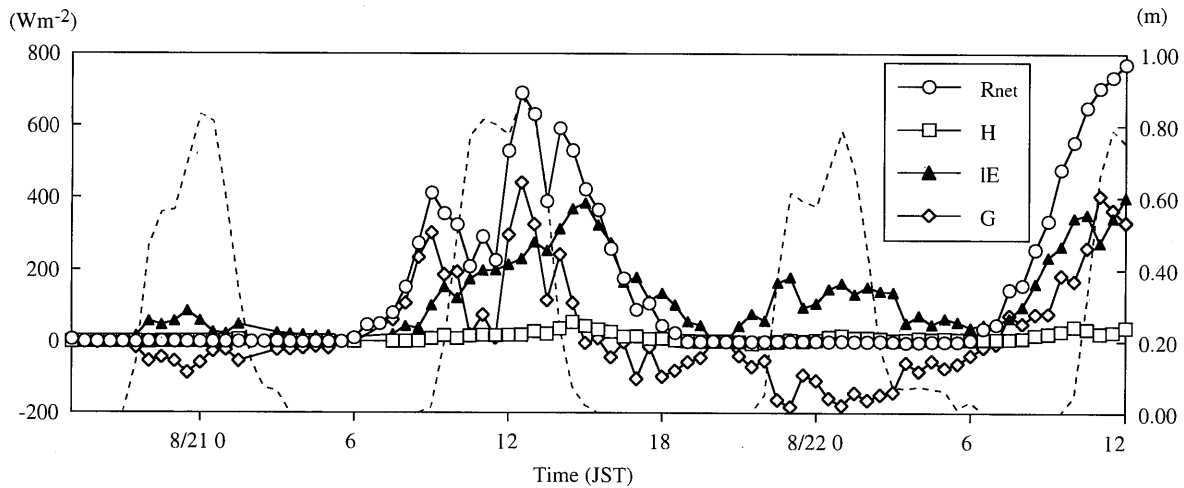


Fig. 8 Diurnal variations of heat fluxes. Dashed lines indicate the water level.

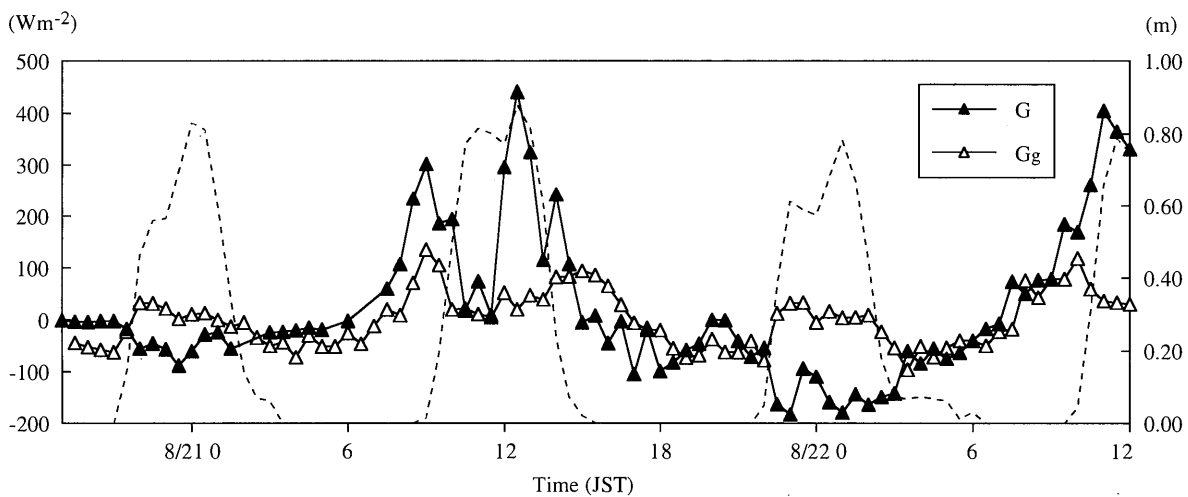


Fig. 9 Diurnal variations of subsurface fluxes. Dashed lines indicate the water level.

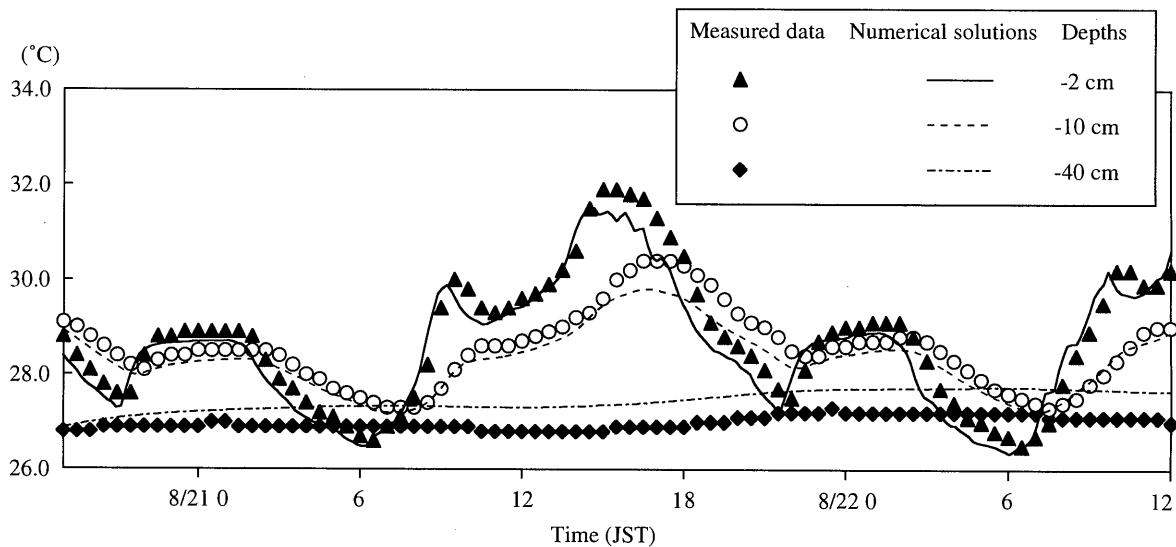


Fig. 10 Comparison between measured data and numerical solutions of soil temperature.

5. 結 論

夏期の和白干潟において熱収支観測を行い、その熱環境特性について検討した。結果を要約すると以下のようになる。

- 1) 大気からの長波放射と上向きの長波放射が一日を通じてほぼ釣り合っていることから、干潟が獲得する正味放射量は概ね日射とバランスする。
- 2) 干潟上では日中・夜間を通じて正味放射量の顕熱への寄与は小さく、日中ではその大部分が潜熱および貯熱量に変換されている。
- 3) 夜間の冠水時には水に貯えられていた熱の多くが水表面から潜熱として放出されている。
- 4) 冠水時における貯熱量の大部分は水中に貯えられており、地中貯熱量への寄与は小さい。
- 5) 一次元熱伝導方程式を用いた地中温度の解析は、

地表面温度を境界条件として与えた場合には干潟の地中温度分布を精度良く予測できる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、平成9年度総理工奨励研究費の援助をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 栗原康：河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー，東海大学出版会，1988
- 2) 逸見泰久：和白干潟の生き物たち，海鳥社，1994
- 3) 近藤純正：水環境の気象学，朝倉書店，101-111，1994
- 4) 武若聡他：都市河川による大気冷却効果，土木学会論文集，479，II-25，11-20，1993
- 5) 竹内清秀，近藤純正：大気科学講座1，東京大学出版会，101-102，1992
- 6) 林 文慶他：干潟の熱環境特性に関する現地計測，日本流体力学会年会講演論文集，443-444，1996