

比較観測による地表面熱収支評価手法の検討

1963201 金島 政之 1963258 杉林 隆  
指導教員 成田 健一

**1. 研究目的** 地表面や都市域等の熱収支の評価法には、様々な測定・解析法が用いられる。しかし、いずれの方法も一長一短があるために現在でも改良が進められている。そこでそれらの特徴や精度について均一な場所でほぼ熱収支、水収支の全項を網羅し、かつ長期間ルーチン的に観測している圃場において同時に比較観測を行い検討した。

**2. 測定内容**

(1) **測定点** 測定は筑波大学水理実験センター内の圃場にて行った(図-1)。圃場内の草地は、様々な植物が混生しており、測定期間中においては、チガヤやススキ等の植物が多い状況であった。また、測定期間中の群落高さは平均すると1.5m程度であった。

(2) **測定方法と測定項目** 測定は1999年7月23日から31日まで連続で行った。顕熱流束は超音波風速温度計の測定値から求める渦相関法(式-2)、三杯風速計の二高度の風速、気温、から求める傾度法(式-6)、シンチロメータの測定値から求めるシンチレーション法から算出し、潜熱流束は傾度法(式-7)、渦相関法(式-3)、ライシメータの蒸発散量より算出した(式-4、式-5)。ライシメータとは容器に土を詰め、それを地下室にセットした後、その表面を自然状態に還元して、蒸発散による水分減少量を重量変化として直接測定する装置である。また、熱収支(式-1)は筑波大学水理実験センターでの連続測定データを用いて解析を行った。測定項目と使用測器については、表-1に示す。

**3. 測定結果と考察** 図-2は各算出法による顕熱流束の時間変化を示す。各算出法で求めた顕熱流束を比較したとき、どの算出法で求めた顕熱流束の変化の仕方もほぼ同じといえる。その中でも渦相関法(ルーチン)の顕熱流束と渦相関法(日工大)の変化の仕方がよく一致している。夜間に顕熱流束の値が負になったとき、最大で約50(W/m<sup>2</sup>)の差が出てくるが日中ではそんなに極端な差は無いといえる。しかし、シンチロメータの顕熱流束の変化が数ヶ所ずれているところがある。これは土壌面や葉群層に貯えられた熱の影響によるものと、シンチロメータの計測はパス(光路)間の乱れを平均的に測定しているのに対して渦相関法(超音波風速温度計)、傾度法(三杯式風速計)では一点での計測であるために局地的な乱れに反応しやすいことによるために変化の仕方に差が出てくると推測される。



図-1 測定状況

表-1 測定項目と使用測器

測定項目	測定高さ	測器	測定間隔	測定期間
圃場内の測定				
風速	2.0m、 3.0m、4.0m	光電式三杯風向風速計 (牧野応用測器)	1min	7/23~7/31
温湿度	1.5m、 2.1m、3.0m	静電容量型温度計	1min	7/23~7/31
	2.0m	赤外線吸収方式	10Hz	7/23~7/31
顕熱流束	2.0m	超音波風速温度計 (KAIJO DA603-TV)	10Hz	7/23~7/31
	2.4m	シンチロメータ (英弘精機 SLS20)	6sec	7/24~7/31
熱収支・水収支観測システム(ルーチンデータ)				
正味放射量		正味放射計	1min	7/23~7/31
地中熱流量	0.02m	地中熱流板	1min	
顕熱流束	2.1m	超音波風速温度計	10Hz	
潜熱流束		ライシメータ	1hour	

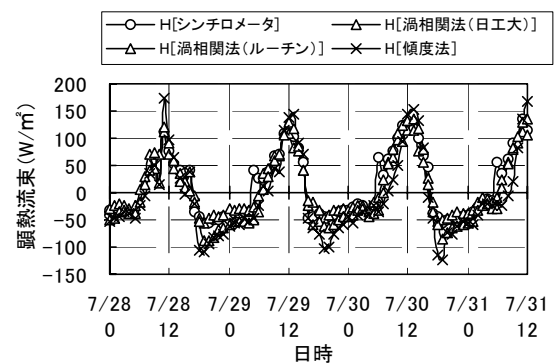


図-2 各算出法による顕熱流束の時間変化

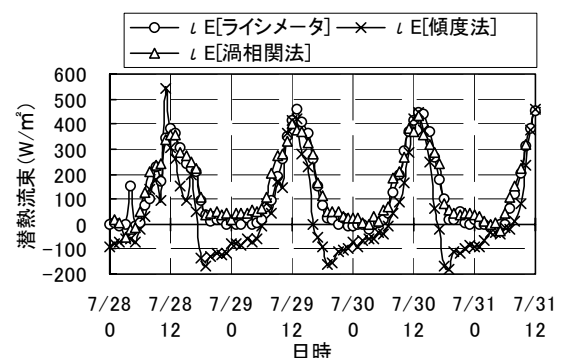


図-3 各算出法による潜熱流束の時間変化

1963201 金島 政之 1963258 杉林 隆

図-3は各算出法による潜熱流束の時間変化を示す。傾度法、ライシメータ、渦相関法の潜熱流束を比較したとき変化の仕方はほぼ同じといえる。しかし、夜間になるとライシメータはほぼ0に近い値を示すのに対して傾度法は負の値が大きくなる。潜熱流束が負の値になるということは大気中の水蒸気が凝結して地面や葉に露が生じていることを意味している。また、ライシメータが水分減少量から直接算出しているのに対して、傾度法は2高度のわずかな湿度差と安定度を考慮した乱流拡散係数から求めているため、誤差が大きくなったと思われる。さらに、渦相関法は応答性が速い赤外線湿度計の湿度変動量を使用しているため、器差や安定度の影響を受けず、安定した値が求められた。

図-4はルーチンデータから得られた熱収支の時間変化を示す。7月23日は前日まで降水があった日で、31日は23日以降晴天が続いた状態の日である。日射の条件がやや異なるものの、31日の午後の顕熱が大きくなっていることが確認できる。これは降水によって土壌の含水率が高い23日の方が、蒸発散に伴う潜熱が大きいいため、顕熱が抑えられたと思われる。

図-5は熱収支の残差項 (Rn-H- $\epsilon$ E) と地中への伝導熱流の時間変化を示す。残差と伝導熱流Gは同じ変化をしているが最大で約250 (W/m<sup>2</sup>) も残差の方が大きいことがわかる。通常、残差と伝導熱流はほぼ同じ値になるはずなのだが、本観測ではかなりその差に開きがある。この一因は葉群層の貯熱が考えられ、今後検討が必要である。

**4. まとめ** 本研究は熱収支の中でも大きな比重を占めている顕熱流束、潜熱流束について比較観測を行ったが、日中においては変化の仕方自体はほぼ同じなのだが、夜間になると顕熱流束、潜熱流束とも誤差が大きくなる傾向がみられた。夜間においては湿度が高くなるためその影響が測定に誤差をもたらすのではないかと推測される。また、この熱収支各項の和はとれておらず、葉群層の貯熱がどれほどなのかを草を刈った状態で観測を行い、比較することが今後の課題である。

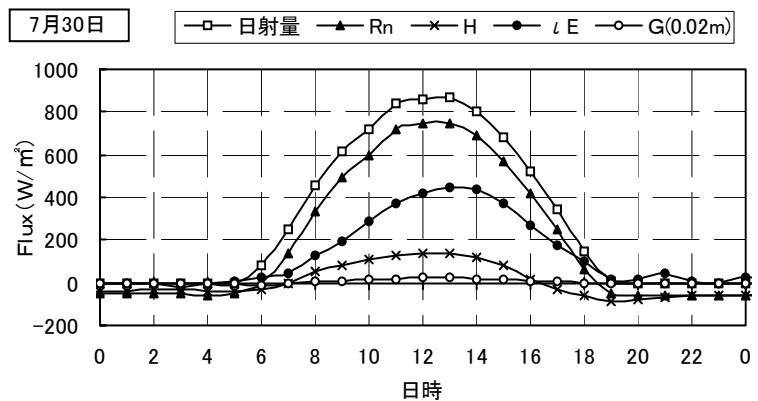
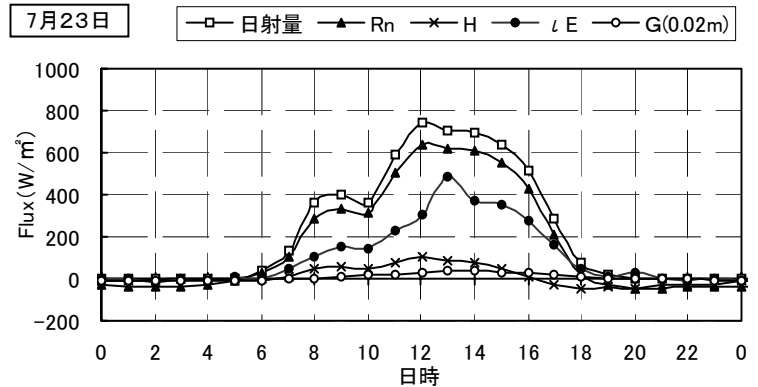


図-4 ルーチンデータから得られた熱収支の時間変化

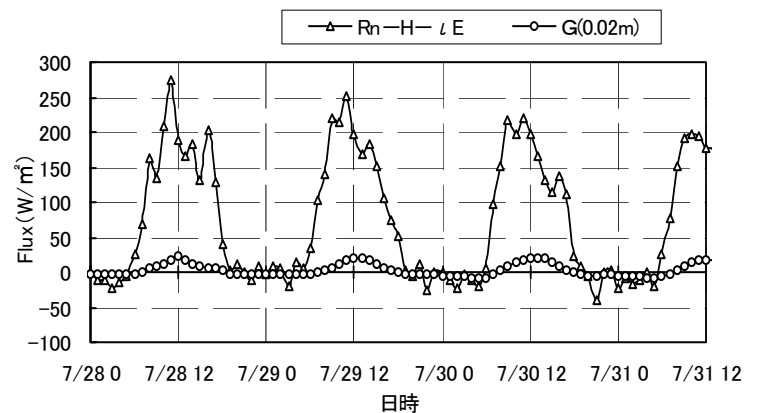


図-5 熱収支の残差項と地中伝導熱流の時間変化

$Rn = H + LE + G$ (式-1)	$H = C_p \rho_w \bar{w}'$ (式-2)
$\epsilon E = \epsilon \rho_w \bar{q}'$ (式-3)	$\epsilon E = ET \rho_w \frac{L}{\Delta t} \times 10^{-3}$ (式-4)
$\epsilon = (2500.8 - 2.4Ta)$ (式-5)	
Rn: 正味放射量 [W/m <sup>2</sup> ]	H: 顕熱流束 [W/m <sup>2</sup> ]
$\epsilon E$ : 潜熱流束 [W/m <sup>2</sup> ]	G: 地中のへの伝導熱流 [W/m <sup>2</sup> ]
ET: ライシメータからの蒸発散量 [mm/h]	$\rho_w$ : 水の密度 [=1000 kg/m <sup>3</sup> ]
$\epsilon$ : 気温 $T_a$ (°C) における蒸発の潜熱 [J/kg]	
$\Delta t$ : ETを測定した時間 [s] 《本解析では $\Delta t = 3600$ 》	$C_p$ : 空気比熱 [J/kg·K]
$\rho$ : 空気密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	$w'$ : 鉛直風の変動成分 [m/s]
$t'$ : 温度の変動成分 [°C]	$q'$ : 比湿の変動成分 [kg/kg]
$H = -K_h C_p \rho \frac{T_1 - T_s}{z_1 - z_{Ts}}$ (式-6)	$\epsilon E = -K_q \rho_w \epsilon \frac{q_1 - q_{Ts}}{z_1 - z_{Ts}}$ (式-7)
$K_h$ : 熱の乱流拡散係数 [m <sup>2</sup> /s]	$K_q$ : 水蒸気の乱流拡散係数 [m <sup>2</sup> /s]
$T_s$ : 群落表面温度 [°C]	$T_1$ : 群落上のある高さの平均気温 [°C]
$q_1$ : 群落上のある高さの比湿 [kg/kg]	$z_1$ : 群落上のある高さ [m]
$q_{Ts}$ : 群落表面温度の測定高度の比湿 [kg/kg]	$z_{Ts}$ : 群落表面温度の測定高度 [m]