

緑化による屋外熱環境の緩和に関する研究

—その1— 植物群落における熱収支特性の実測評価

正会員 ○三坂 育正*1
正会員 成田 健一*2

熱収支 緑化 蒸発散

1. はじめに

地表面の改変や産業の集中に伴う都市の高温化は、建物の空調負荷増大と併せてエネルギーの大量消費を招き、CO₂ 排出量の増加による地球温暖化への影響も顕在化している。一方で、東京都では屋上の 20%以上に緑化義務付けなど、環境共生手法として緑の重要性が高まり、都市内に緑地を配置する提案がされている。緑化による都市の大気環境への影響として、大気汚染の改善や高温化の緩和といった環境改善効果が期待されるが、その効果をより確実なものとするためには、緑地の配置や量・質などに関して効果的な手法を選択する必要がある。

本研究は、緑化による都市熱環境の緩和に関する効果的な手法について検討を行うことを目的とする。本報では、緑地の熱環境緩和の効果を評価するにあたり、草地を対象として行った、熱収支の比較測定から得られた特性についての報告する。

2. 観測概要

草地の熱収支を評価するために、顕熱・潜熱フラックスに関しては、複数の測定・解析手法を適用し、比較を試みた。測定に用いた手法や機器については表-1 に示す。

測定は筑波大学水理実験センター（現：陸域環境研究センター）内の圃場にて、1999年7月23日より31日まで行った。測定期間における天候は、前半においては一部降雨がみられたが、後半は概ね快晴であった。なお、圃場内の草地は測定期間中においてはC4植物（チガヤやススキ）が多く、群落高さは平均すると1.5m程度であった。測定

点の概要については図-1 に示す。

得られた測定データより、図-2 に示す解析・算出手法により各熱収支項を算出した。シンチレーション法による顕熱フラックスは、シンチロメータによる測定値¹⁾を用いた。解析は、快晴の続いた7月28~31日を対象とした。なお、この期間の卓越風向は南方向であった。

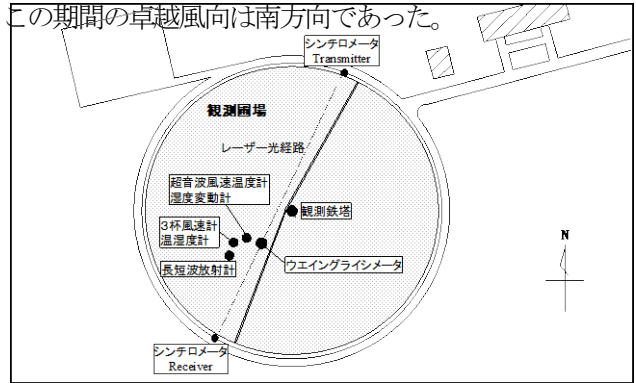


図-1 測定点及び測定項目

熱収支式 $Rn = H + IE + G$ (1)
 Rn : 正味放射量(W/m²) H : 顕熱フラックス(W/m²)
 IE : 潜熱フラックス(W/m²) G : 地中への伝導熱量(W/m²)

渦相関法 $H = Cpp \cdot w' T'$ (2) $IE = \rho \cdot w' q'$ (3)
 w', T', q' : 鉛直風(m/s), 温度(K), 比湿(kg/kg)の変動成分

傾度法²⁾ $H = -Kh \cdot Cpp \cdot \frac{T_1 - T_2}{z_1 - z_2}$ (4) $IE = -Kq \cdot \rho \cdot \frac{q_1 - q_2}{z_1 - z_2}$ (5)
 K_h, K_q : 熱, 水蒸気の乱流拡散係数 (m²/s)
 T_1, z_1, q_1 : 群落表面温度(°C), その測定高度(m), 及び比湿(kg/kg)

ライシメータ法 $IE = ET \cdot \rho_w \cdot \frac{l}{\Delta t} \times 10^3$ (6)
 $ET, \Delta t$: ライシメータからの蒸発散量(mm/h), その測定時間(s)

 $H = \alpha_c \cdot (T_s - T_a)$ (7) $IE = \beta \cdot K_x \cdot (q_s - q_a)$ (8) $\alpha_c / Cp = 0.83 \times k_x$ (9)
 Cp, ρ : 空気の比熱(J/kg·K), 密度(kg/m³), l, ρ_w : 水の蒸発潜熱(J/kg), 密度(kg/m³)
 w', T', q' : 鉛直風(m/s), 温度(K), 比湿(kg/kg)の変動成分
 K_h, K_q : 熱, 水蒸気の乱流拡散係数 (m²/s)
 T_s, z_s, q_s : 群落表面温度(°C), その測定高度(m), 及び比湿(kg/kg)
 T_a, z_a, q_a : 群落上のある高さ(m), その気温(°C), 及び比湿(kg/kg)

図-2 熱収支解析・算出方法

表-1 熱収支項目と測定・解析手法

熱収支項目	測定・解析手法	測定項目・測定方法	測定機器	測定高さ	サンプリング時間
正味放射量 (日射量・長波放射量)	直接測定	長波・短波放射量	長短波放射計 (英弘精機MR-40)	2.0m	1min
地中熱流量	直接測定	熱流量	熱流計(英弘精機CN-81)	地下0.2m	*
顕熱フラックス	渦相関法	風速・温度変動	3次元超音波風速温度計(KAIJO DA600)		
			①(30cm ² ロープ)	2.0m	*
	②(5cm ² ロープ)	2.0m	10Hz		
	傾度法	風速・温度傾度	温湿度センサ(江藤電気 MODEL2119A) 白金抵抗温度計, 静電容量湿度計	0.5m, 1.5m	1min
	シンチレーション法	レーザー光変動	シンチロメータ(Scintec SLS20)	2.4m	6sec
潜熱フラックス	渦相関法	風速・温度変動	3次元超音波風速温度計(KAIJO DA600) 赤外吸収式湿度変動計(KAIJO AH300)	2.0m	10Hz
	傾度法	風速・温度傾度	温湿度センサ(江藤電気 MODEL2119A) 白金抵抗温度計, 静電容量湿度計	0.5m, 1.5m	1min
ライシメータ法(秤量法): 筑波大学水理実験センター熱収支連続測定システム ³⁾ のデータを利用					

Study on Cooling Effects of Vegetation on Thermal Environment in a Built-up Area
 No.1, Observation of Heat Balance at Grassland

MISAKA Ikusei and NARITA Ken-ichi

3-1. 顕熱・潜熱フラックスの測定結果

顕熱・潜熱フラックスの測定結果をそれぞれ図-3, 4に示す。各算出法で得られた顕熱フラックスの経時変化はよく類似しており、日中は最大でも150 (W/m²)程度で、夜間では負のフラックスとなっている。また、各測定法による潜熱フラックスは、日中においてはほぼ似た傾向を示しており、いずれの測定法においても、日中における潜熱による消費量は大きく、群落からの蒸発が盛んに行われていることが確認できる。

ここで、夜間における傾度法の算出結果は、顕熱・潜熱フラックスとも他の測定法に比べ、大きく異なっているが、これは、傾度法では2高度のわずかな温度・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に、誤差が大きくなったものと考えられる。

顕熱フラックスの測定結果から(7)式により算出した、対流熱伝達率と風速の関係を図-5に示す。測定法によるばらつきはあるが、概ね風速との相関が確認できる。さらに、(8), (9)式を用いて草地の蒸発比を算出したところ、蒸発散が盛んな日中における草地の蒸発比は、0.3~0.6の範囲であった。

3-2. 熱収支解析に関する考察

熱収支各項の経時変化を図-6に示す。ここで、顕熱・潜熱フラックスは渦相関法による結果を用いている。

測定期間を通して、草地における蒸発散による潜熱消費が多く、それに伴い顕熱フラックスが小さい傾向がみられる。草地では、日射の多くを植物の蒸発散で消費することにより、気温の上昇が抑えられているといえる。観測時期が梅雨明け直後であり、土壌水分も多く蒸発散が盛んであったため、この現象が顕著であったものと推察される。また、正味放射量より顕熱・潜熱フラックスを引いた残差を地中熱流量の測定値と比較すると(図-8)、日中の残差項は最高で250 (W/m²)に達しており、非常に大きい。これは、群落高さが1.5mと高く、その葉群層に熱が貯熱されている可能性が示唆され、この場合、植物の成長に伴い熱収支バランスが異なってくることが予想される。この点に関しては、植物の成長に合わせた長期観測により明らかにする必要がある。

4. まとめ

草地を対象とした熱収支の実測評価を行い、草地の蒸発散による多量の潜熱消費により、気温の上昇が抑えられていることが確認された。また、熱収支式の残差が大きく、葉群層への貯熱の可能性があり、植物の成長と熱収支バランスとの関係について、継続して解析を行い、明らかにする必要がある。

【謝辞】 測定に当たり、筑波大学環境研究センター新村典子助手には大変お世話になりました。ここに感謝の意を記します。

【参考文献】 1) 神田ら：銀座ファシビル街における熱収支特性、水文・水資源学会誌 Vol.10, No.4 (1997)

2) 宮下ら：4群落表面温度を用いた傾度法による乱流輸送量の推定、岡山大学資源生物研究所報 No.6, 1~11 (1999)

3) 杉田ら：水理実験センター気象日報処理装置のネットワーク化、筑波大学水理実験センター報告 No.23, 95~101 (1998)

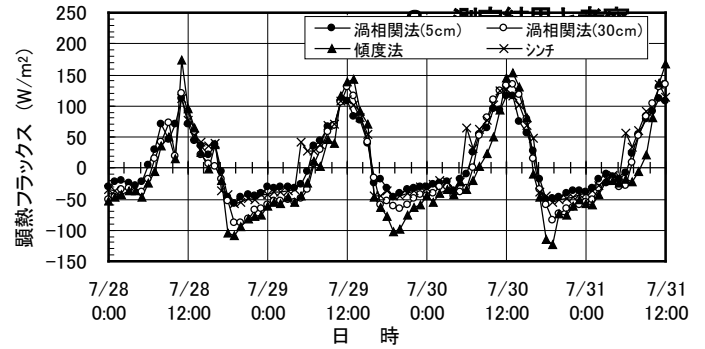


図-3 顕熱フラックスの測定結果

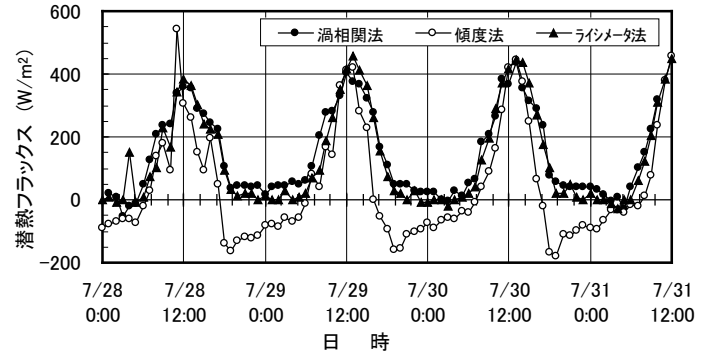


図-4 潜熱フラックスの測定結果

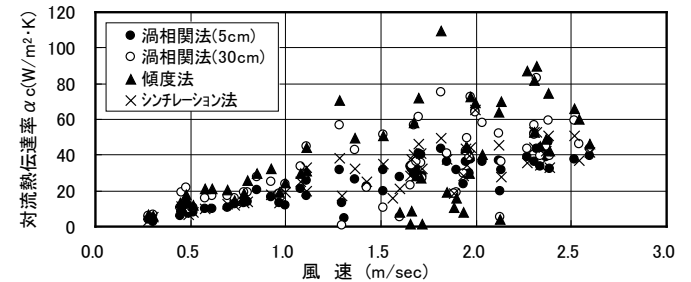


図-5 風速と対流熱伝達率の関係

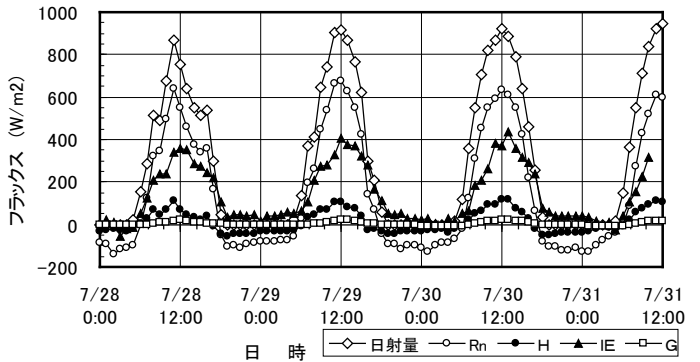


図-6 各熱収支項の経時変化

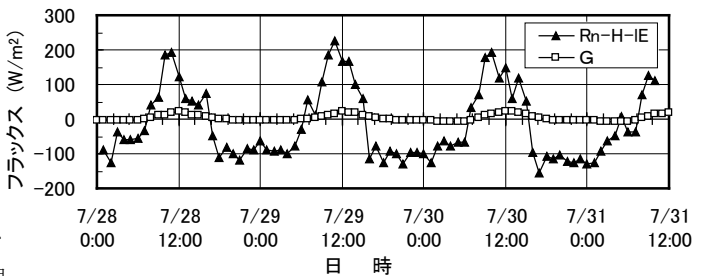


図-7 熱収支項の残差と地中熱流量の経時変化

* 1 竹中工務店技術研究所

* 2 日本工業大学 教授 工博