

緑化基盤改良材として木炭を用いた熱環境緩和に関する研究

日大生産工（院）○鈴木紀裕 日大生産工 高橋岩仁

1. はじめに

都市化の進行に伴い、コンクリートやアスファルトなど無機質系構造物が地表面に占める割合が高くなり、太陽電磁波の到達地点における有機質系地表面が減少している。無機質系構造物に到達した太陽電磁波は、反射される電磁波と、表面を発熱させる電磁波とに分けられる。前者は、表面のアルベドに左右され、このアルベドの値が高いほど、光は反射され、表面温度の上昇は抑えられる。後者は、表面を熱しながら内部へ浸透（蓄熱）する。熱せられた表面は、大気との接触により、対流熱伝達を起こし、気温を上昇させる。さらに、蓄熱されたエネルギーは夜間など外気温の低下とともに放出され、ヒートアイランド現象などの要因となる。これら無機質系構造物に対し、土壌表面は、水分を多く含んでいることが多く、さらに植生が存在すると、植物の持つ蒸散作用などにより熱が奪われ、大気への熱の伝達が抑えられる。また、光合成の働きによって、近年、世界的に問題視されている温室効果ガス（二酸化炭素など）が吸収される。この対策として、緑化が注目されており、特にわが国の都市部のように緑化可能面積が少ない地域では無機質系構造物との共存が可能である屋上緑化は有効な手段といえる。

本研究は、緑化による熱環境緩和効果を実験的手法により定量的に評価することを目的とした。評価方法は、異なる表面状態の表面温度、長波・短波放射量などを測定し、その結果から

緑化の有無における相違を比較検討した。なお、緑化に用いた基盤材は、廃棄物の有効利用を観点におき、既往の報告で良好な植生が確認されている、上水汚泥（以後、上水と記す）・コンポスト化した下水汚泥（以後、コンポストと記す）、さらに基盤改良材として木炭を用いた。

2. 実験方法および条件

2.1 緑化方法の概要

今回用いた緑化基盤材は、既往の報告で良好な植生が確認されている上水・コンポストを主原料とし、これに基盤改良材として木炭を混入させた。配合は体積比で上水：コンポスト：木炭＝4：4：2とした。なお、飛散防止、雨滴衝撃による浸食防止、さらに基盤材相互の粘着力を高めることを目的とし、トビ粉を植物性粘着材として 1m³当たり 15kg 混入した。使用植物はコウライシバ(*Zoysia tenuifolia*) とメキシコマンネングサ(*Sedum mexicanum*)の2種類とし、植物の相違による検討も行った。緑化方法は2010年6月2日に9mm厚の木枠に100mm厚の上記基盤材を入れ、コウライシバはソットを貼り、メキシコマンネングサについては苗を植えた。なお、木枠の底部に排水孔(φ10mm)を72個/m²開け、さらに水はけの効率を上げるためにアスファルト面と木枠設置部分に10mm厚のヤシ殻マットを敷いた。

2.2 実験方法および測定項目

「アスファルト面」、「基盤改良材のみ(以後、カラと記す：写真1)」、「コウライシバ＋基盤

Examination on Effect to Mitigate the Heat Environment
with charcoal as Basic Material for Planting
Suzuki TOSHIYASU and Iwahito TAKAHASI

改良材（写真 2）」、「メキシコマンネングサ＋基盤改良材（以後、マンネングサと記す：写真 3）」の 4 種類を比較対象物として用い、熱環境への影響を検討した。測定は実験場所における外気温・風速・各サンプルの表面温度・長波および短波放射量の 5 項目を 1 時間間隔で 30 時間行った。なお、表面温度はコニカミノルタ製のデジタル放射温度計を、長波および短波放射量は英弘精機製の長短波放射計(図 1)を用いた。長短波放射計とは天空と地表から発せられるエネルギー量を $0.3\sim 3\mu\text{m}$ 域の短波放射量（日射量）と $5\sim 50\mu\text{m}$ 域の長波放射量（赤外放射量）に分けて、同時に独立して測定可能な機器である。なお、視野角は 150° 、測定半径は 17.5cm であり、対象物から 15cm 離し水平に設置した。

2.3 測定日基本条件

測定は 8 月 4 日 6 時～8 月 5 日 11 時の時間に行った。図 2 に測定日の日射量と外気温の経時変化を示す。なお、ここでの日射量は長短波放射計から得られた下向短波量とする。

日射量・外気温ともに正午 12 時～14 時で非常に高い値を示し、最大日射量 $950\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、外気温 40°C 付近となった。天候は晴れ、風向・風速は微量のため無風状態として検討した。

3 実験結果および検討

3.1 表面温度測定結果

図 3 に表面温度の経時変化を示す。

まず、緑化の有無で比較すると、表面温度に大きな差が生じた。特に、日中の温度差は大きく、13 時で最大 20°C 以上となった。これは、緑化有りの場合、植物の蒸散作用により、表面温度が低下したためといえる。

3.2 対流熱伝達量計算結果

図 4 に単位面積あたりの対流熱伝達量の経時変化を示す。対流熱伝達量を求める方法はいくつかあるが、それぞれの値にほとんど差が見られなかったため、本研究では以下の実験式を



写真 1 コウライシバ

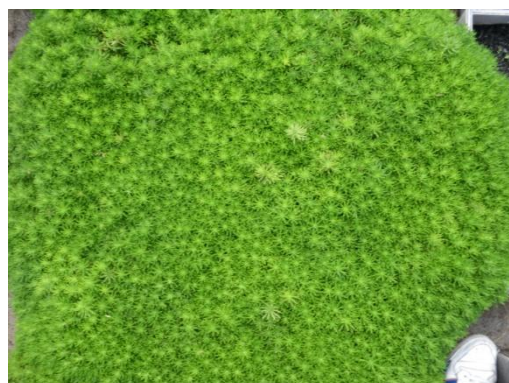


写真 2 メキシコマンネングサ



写真 3 緑化基盤材のみ

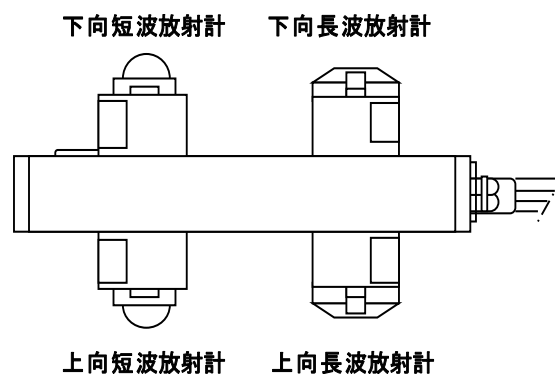


図 1 長短波放射計

用いた。(式 (1) ~ (5)) なお、測定期間中の風速は微風だったため自然対流として扱った。また、緑化の効果を比較するため単位面積当たりの対流熱伝達量により検討した。

$$Gr = \frac{1^3 g(\theta_w - \theta)}{\nu^2 T} \quad \dots (1)$$

$$Pr = \frac{C_p \rho \nu}{\lambda} \quad \dots (2)$$

$$Nu = 0.54(Gr \cdot Pr)^{1/4} \quad (10^5 < Gr \cdot Pr < 2 \times 10^7) \quad (3)$$

$$Nu = 0.14(Gr \cdot Pr)^{1/3} \quad (2 \times 10^7 < Gr \cdot Pr < 3 \times 10^{10}) \quad \dots (4)$$

$$Q = \frac{\lambda Nu}{1} (\theta_w - \theta) A \quad \dots (5)$$

この式において

Gr : グラフホフ数 1 : 単位長さ
g : 重力加速度 θ_w : 表面温度
 θ : 気温 ν : 動粘性係数
T : 絶対温度 Pr : プラントル数
Cp : 定圧比熱 ρ : 密度
 λ : 熱伝導率 Nu : ヌセルト数
Q : 単位面積あたりの対流熱伝達量
A : 面積

ここで、(5)式の成立する範囲は、気温より表面温度が高い場合のみである。つまり、(1)式において気温の方が高い場合、Gr はマイナスの値となり、また Pr は常にプラスであることから、(3)・(4)式の Nu の計算範囲から外れる。したがって、この時の対流熱伝達量は 0 とした。さらに、Nu は $Gr \cdot Pr$ の計算範囲からほぼ(4)式によって求められたが、表面温度と気温の差が小さい場合のみ(3)式により求めた。

まず、緑化の有りの結果を見ると、コウライシバ、マンネングサともにほぼ対流熱は 0 となった。これは、図 3 から分かる通り、表面温度と外気温にほとんど差が無かったことに起因している。特に、コウライシバは外気温より低い温度で推移した。これに対し、緑化無しは日中对流熱が大きく現れ、特にアスファルトは最大 $80 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上となった。これより、

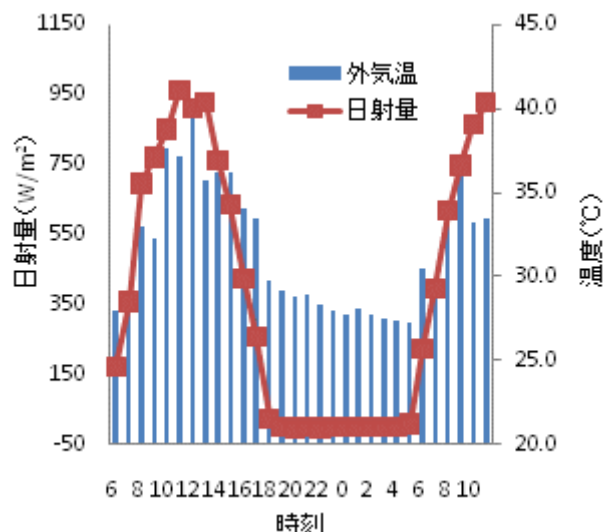


図 2 日射量・外気温の経時変化

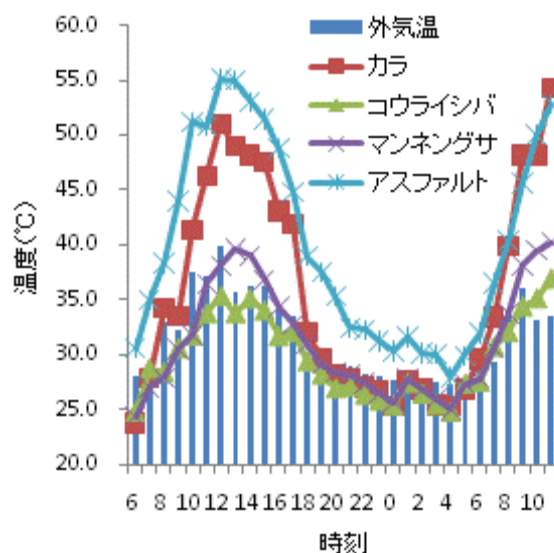


図 3 表面温度の経時変化

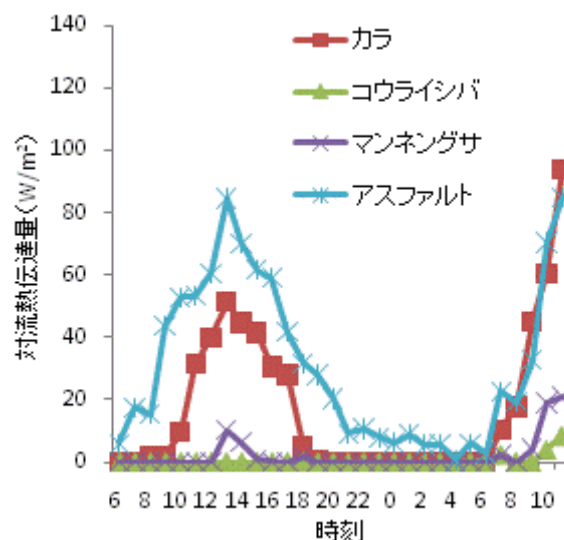


図 4 対流熱伝達量の経時変化

緑化により外気温へ与える対流熱の緩和効果が図れたといえる。

3.3 短波放射収支量

図5に短波放射収支量（以後、短波収支量と記す）の経時変化を示す。なお、短波収支量とは下向短波量から上向短波量を引いた値であり、値が大きくなるほど下向短波量が高いことを示している。

短波収支量は、緑化の有無に関係なく日中に大きな値を示し、最大で約 $750 \sim 950 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 付近であった。これは、全表面ともアルベド（反射能）が低いことに起因しており、短波エネルギーを吸収しているといえる。

3.4 長波放射収支量

図6に長波放射収支量（以後、長波収支量と記す）の経時変化を示す。なお長波収支量とは下向長波量から上向長波量を引いた値であり、値が大きくなるほど下向長波量が高いことを示している。

長波収支量は、全てのサンプルにおいてマイナスの値を示しており、大気への放出が確認された。緑化の有無で比較すると、日中から夜間にかけて最大で約 $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ の差が見られた。これは、比熱が低く熱伝導率の高いアスファルト面である緑化無しに対し、有りでは植物の蒸散作用により熱が分散されたためといえる。

4. おわりに

本研究は基盤改良材を用いて、緑化の有無によって熱環境緩和効果に関して研究を行い、以下の知見を得た。

- 1) 対流熱伝達量の結果から、アスファルト面と基盤改良材のみの緑化無しでは $40 \sim 80 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ の結果に対し、緑化有りの熱伝達量はほぼ見られなかった。
- 2) 短波収支量は、緑化の有無に関係なく日中に大きな値を示した。これは、全表面ともアルベドが低いことに起因しており、短波

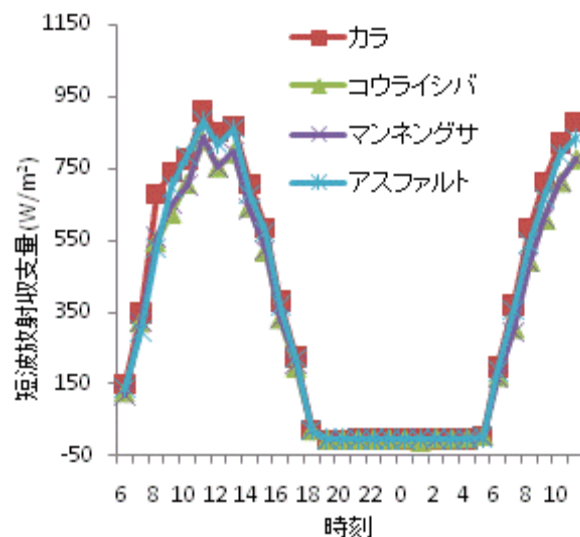


図5 短波放射収支量の経時変化

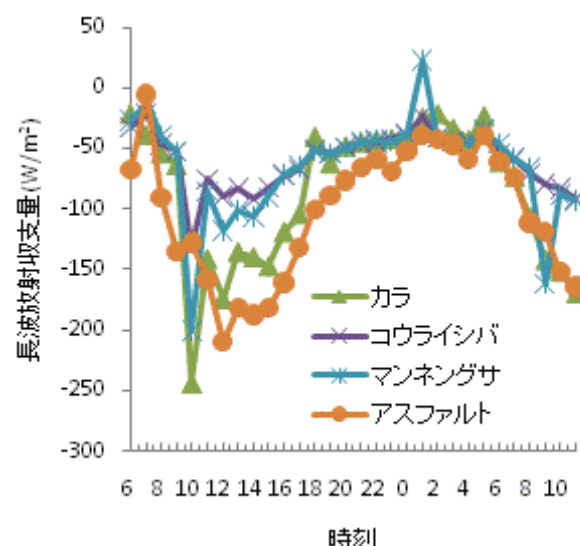


図6 長波放射収支量の経時変化

エネルギーを吸収しているといえる。

- 3) 長波収支量の結果から、緑化の有無によって差異が生じ、日中から夜間にかけて最大で約 $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ の差が見られた。これは、比熱が低く熱伝導率の高いアスファルト面である緑化無しに対し、有りでは植物の蒸散作用により熱が使用されたためといえる。以上のことより、廃棄物を基盤材に用いた緑化による熱環境緩和効果が定量的に評価できた。

〔参考文献〕

- 1) 高橋岩仁, 大木宜章, 坪松学, 保坂成司, 高橋里佳 (2006) 実験的手法による屋上緑化の熱環境緩和効果に関する研究. 環境情報科学論文集20, pp. 189~192