

環境に配慮した屋上緑化の熱交換に関する検討

日大生産工（ポスト・ドクター）○高橋 岩仁
日大生産工 大木 宜章 川岸 梅和

1. 序文

近年，世界規模で地球温暖化現象が問題となっており，京都議定書の発行など様々な対策が講じられている。この温暖化現象は二酸化炭素などの温室効果ガスや都市排熱，地表面の熱容量変化などが原因といわれており，この対策として緑化が注目されている。特に，我が国の都市部のように緑化可能面積が少ない地域では，屋上緑化は有効な手段といえる。なお，緑化は単なる熱環境緩和だけではなく，葉緑素の持つ炭素同化作用や酸素の供給，空気浄化さらには景観的要素にも関係し，その効果は多方面に及ぶ。しかし，高緯度にある我が国では建物壁面への日射エネルギーも大きく，屋上緑化による熱環境抑制効果を求めるには壁面の熱収支も重要な要因となる。

本研究はモデルボックスを用い，実験的手法によりこれらの観点から屋上緑化の熱環境への影響に関する基礎的な関係を検討した。また実験例の少ない冬期の保温効果など，季節変化に伴う熱収支から屋上緑化の有意性を検討した。

2. 実験条件および方法

写真-1にモデルボックス設置状況を示す。このボックスの外寸は横幅900mm，高さ1500mm，奥行き1800mmであり，屋上部分はコンクリート（熱伝導率： $1.6\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ，比熱： $840\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ）を主体とし，厚さは最大で140mmである。壁面は断熱効果に優れたALCパネル（熱伝導率： $0.17\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ，比熱： $1047\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ，厚さ：50mm）を用いた。なお，骨組みには鋼材を使用し，屋上表面は1.5mmのFRP塗布防水加工を施した。

緑化方法は12mm厚の木枠に100mm厚の用土を入



写真-1 モデルボックス設置状況



写真-2 高麗芝



写真-3 デジタル放射温度計

Environmental Study upon Heat-Exchange of Rooftop Planting

Iwahito TAKAHASHI , Takaaki OHOKI and Umekazu KAWAGISHI

れ、その上に高麗芝を芝付けし（写真-2），屋上面に設置した。なお，木枠の底部に水はけ用の孔（ $\phi 100\text{mm}$ ）を72個/㎡開け，さらに水はけの効率を上げるため，屋上面と木枠設置部分にヤシ殻マツトを敷いた。

実験は日本大学生産工学部校内（ $35^{\circ} 53' \text{N}$, $139^{\circ} 36' \text{E}$ ）にモデルボックスを2体設置し，緑化の有無による熱環境への影響を検討した。測定は外気温・風量・風向・室内温度・建物屋上面および各壁面の表面温度・日射量・屋上面における熱流量の7項目を行った。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（写真-3）を，日射量，熱流量は英弘精機製の日射計（写真-4）および熱流計（なお，データーロガーはHIOKI製）（写真-5）を用いた。

3. 実験結果

3. 1 測定日基本条件

使用したデータは最高気温が 35.4°C あった9月13～14日（夏期）と 11.2°C あった12月8～9日（冬期）で行った。

図-1, 2に夏期および冬期における測定日の日射量と外気温を示す。なお，以後の図において外気温は棒グラフで表示する。

日射量は朝方に東面，日中に屋上及び南面，夕方に西面が高い値を示した。特に，冬期は太陽高度が低いため，日中における南面の日射量が高かった。実験日の気象条件は，いずれも天候は晴れ，風向・風量は微量のため無風として計算した。

3. 2 熱流量

図-3, 4に夏期および冬期における屋上面の熱流量を示す。なお，熱流量の値はプラスが室内から外気方向へ，マイナスはその逆の流れである。

結果より，緑化の有無および季節変化における相違が顕著に確認された。

夏期の緑化有無で比較すると，緑化無しの場合，熱は日中室内に流入しているのに対し，緑化有りは外気方向に流れた。この緑化有りの熱流が外気方向に流れた要因として，壁面からの熱の流入が多いと推測され，その熱の逃げ道として屋上面から放出されたと考えられる。さらに，夕方から夜間にかけ，緑化無しではヒートアイランド現象の



写真-4 日射計

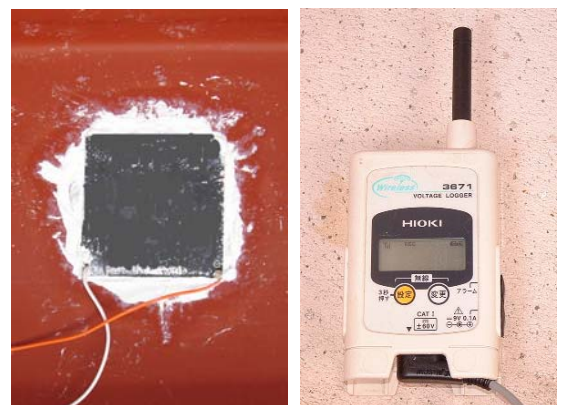


写真-5 熱流計（左）データーロガー（右）

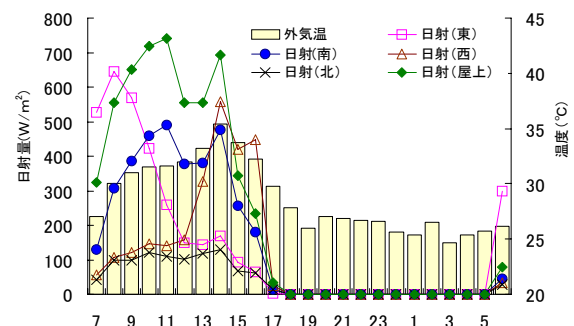


図-1 日射量・外気温(夏期)

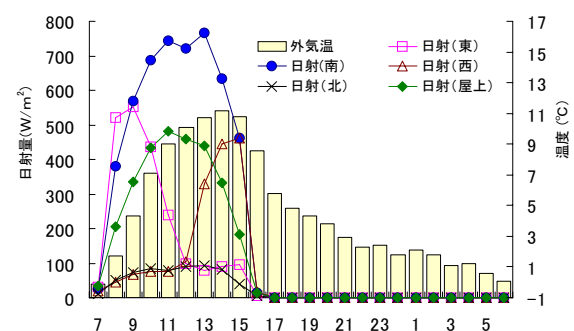


図-2 日射量・外気温(冬期)

要因となる熱の放出が見られたが緑化有りでは確認されず、ヒートアイランド現象の抑制が行われたといえる。

冬期の熱流は夏期とほぼ同様の傾向を示したが、熱流量は緑化有りでは起伏が大きく、緑化無しでは緩慢であった。これは太陽高度の低い冬期では、壁面からの影響が夏期に比べ大きいことが要因と考えられる。したがって、今後はこの壁面の熱流量の測定が必要であるといえる。

3. 3 室内温度

図-5, 6に夏期および冬期の室内温度の経時変化を示す。

まず、緑化の有無で比較すると、両実験とも、日中は緑化有りより緑化無しの室温が高く、夜間から朝方にかけて逆転した。つまり緑化有りの室内温度の変化量は緑化無しに比べ小さい。これは緑化により日中は室内に熱が伝わりにくく、また夜間においても、熱の放出が少ないためと考えられる。特に、夏期の日中の緑化有りとなしの温度差は最大で約5℃、冬期の夜間では約2℃であった。これより、日中の高温時は断熱効果、低温時には夜間の保温効果が得られたといえる。単純に考え、1m³当たりの空気を±1℃変動させるには約1.2kJ/m³の熱量が必要であり、冷暖房機器使用時の電力消費量の効果は大きい。なお、室内温度は外気温に比べ1～2時間遅れて最高値に達した。この時間差は太陽光が熱伝導により内部壁面の温度を上昇させ、対流熱により室内温度を上昇させることによる。

3. 4 壁面および屋上面温度

図-7, 8に夏期の外部壁面および屋上面の表面温度の経時変化を示す。

まず、壁面の温度変化を比較すると、緑化の有無による温度差はほとんど見られなかった。しかし、各壁面で比較すると、日射量の傾向と同様で、朝方に東面、日中に南面、夕方に西面が高い値を示した。これに対し、屋上面の表面温度は大きく差が生じた。特に、日中における緑化有無の温度差は大きく、最大で11℃以上あった。これは緑化有りの場合、植物の蒸散作用により表面温度を低下させるためといえる。なお、紙面の都合上、こ

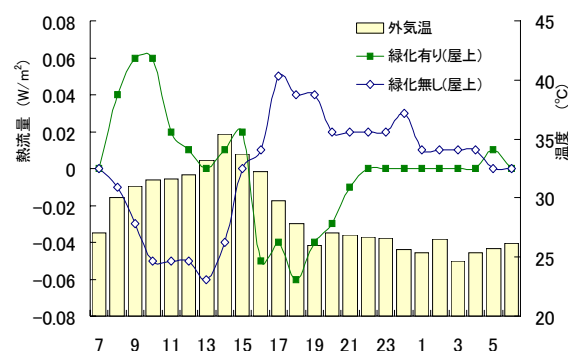


図-3 屋上面熱流量・外気温(夏期)

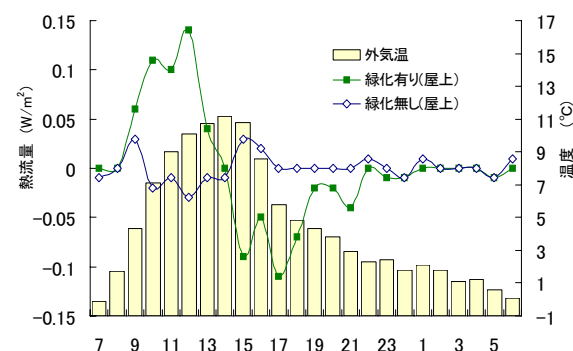


図-4 屋上面熱流量・外気温(冬期)

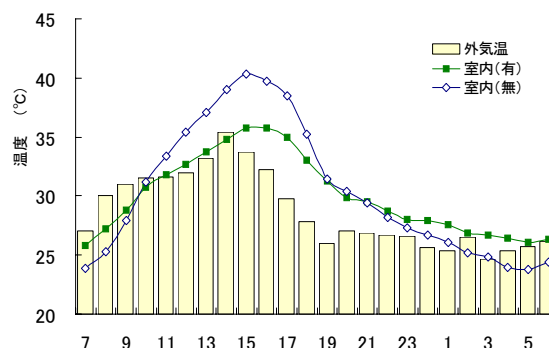


図-5 室内温度・外気温(夏期)

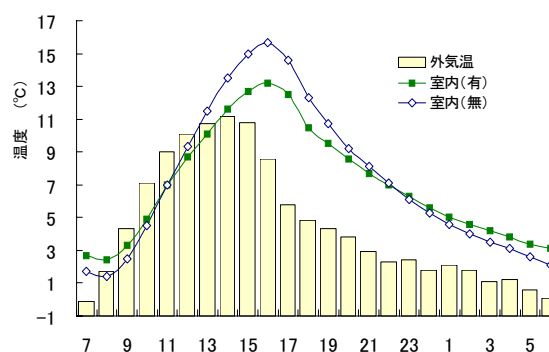


図-6 室内温度・外気温(冬期)

こには示していないが、内部壁面の表面温度は室内温度の影響を受け、日中は緑化無し、夜間は有りの温度が多少高かった。また内部屋上面は外部屋上面と同様に、緑化有無により大きく異なった。

3. 5 対流熱伝達量

図-9, 10に夏期における屋上面および壁面からの単位面積あたりの対流熱伝達量を示す。なお、対流熱伝達量は下記の実験式を用いて求めた。

$$Gr = \frac{l^3 g (\theta_w - \theta)}{v^2 T}$$

$$Pr = \frac{C_p \rho v}{\lambda}$$

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

$$Nu = 0.14 (Gr \cdot Pr)^{\frac{1}{3}} \quad (2 \times 10^5 < Gr \cdot Pr < 2 \times 10^7)$$

$$Q = \frac{\lambda Nu}{l} (\theta_w - \theta) A$$

この式において、

Gr : グラスホフ数	l : 単位長さ
g : 重力加速度	θ_w : 表面温度
θ : 気温	v : 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 : 熱伝達量	A : 面積

対流熱伝達量は表面温度と気温の差に近似的に比例する。そのため、各壁面からの対流熱伝達量は緑化有無による壁面温度の相違が小さいことからほぼ同様であったが、屋上面からの対流熱伝達量は緑化有りに比べ、緑化無しでは約9倍であった。しかし、壁面からの対流熱伝達量を加えた値では相対的に2倍弱まで低下し、壁面の影響を大きく受けていることが分かる。従って、今後は壁面の影響を押さえる緑化システムの確立を行う必要があるといえる。

4. まとめ

本研究は季節変化に伴う屋上緑化による建物熱環境への影響を検討した。この結果、屋上緑化により夏期には断熱効果、冬期には保温効果が図られた。さらに外気への対流熱伝達量も減少された。しかし、壁面からの熱の影響が大きく、今後はこの影響も検討する予定である。

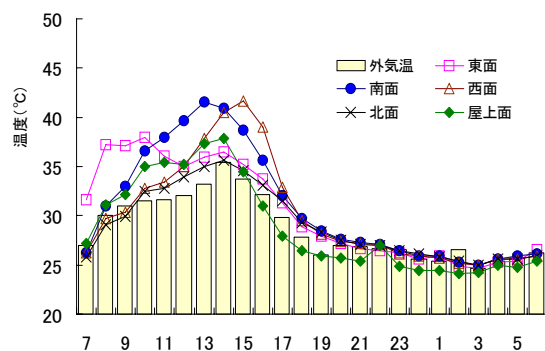


図-7 表面温度・外気温(夏季・緑化有り)

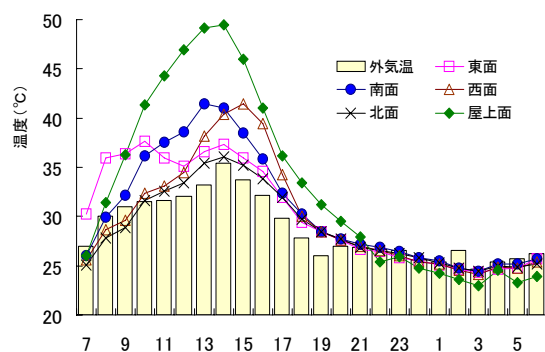


図-8 表面温度・外気温(夏季・緑化無し)

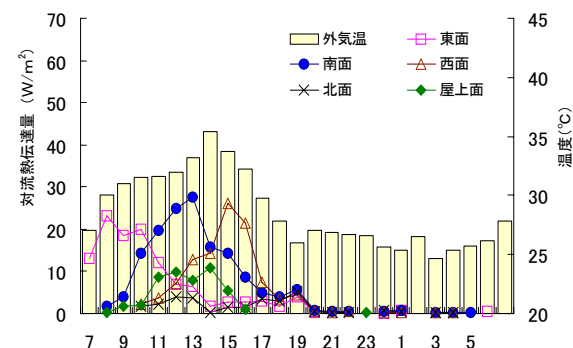


図-9 対流熱伝達量・外気温(夏季・緑化有り)

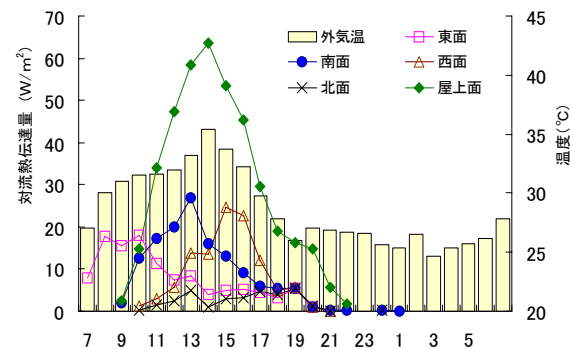


図-10 対流熱伝達量・外気温(夏季・緑化無し)