

屋上緑化による建物熱収支に関する研究

—モデルボックスを用いた実験—

日大生産工（院）○三橋 正宏
日大生産工 坪松 学

日大生産工 大木 宜章
日大生産工 高橋 岩仁

1. 序文

近年、環境問題の中でも特に、地球温暖化現象が問題となっており、京都議定書の発効などさまざま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、この対策の一つとして緑化が注目されている。特に、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。植生された地表面は蒸散作用などの効果により温度上昇が抑えられ、また葉の熱容量も小さく、ヒートアイランド現象の要因である蓄熱も問題とはならない。

本研究はこれらの観点から、一般的な実建物を想定したモデルボックスを用い、実験的手法により屋上緑化による建物熱収支に関する基礎的な研究を行った。

2. 実験条件及び測定方法

2. 1 モデルボックスの概要

実験に使用したモデルボックスを写真1に示す。このモデルボックスの材質は一般的な実建物と同様とし、寸法は外寸で横幅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： $840\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ，最大厚：140mm）を主体とし、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：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。

2. 2 緑化方法

緑化に用いた高麗芝を写真2に示す。緑化方法は、平成17年8月3日に12mm厚の木枠に100mm厚の用土を入れ、その上に高麗芝を芝付



写真1 モデルボックス
（左：緑化有り 右：緑化無し）



写真2 高麗芝

けし、芝が根付き安定状態となるほぼ3週間に渡り毎日散水した後、屋上面に設置した。その後は降雨のみの灌水とし、平成18年11月1日現在も継続中である。なお、木枠の底部に水はけ用の孔（ $\phi 10\text{mm}$ ）を72個/ m^2 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ットを敷いた。なお、用土は一般に市販されているものを用いた。

Study on the Effect of Rooftop Planting to the Heat Balance

— Experiment Using Model Box —

Masahiro MITUHASHI, Takaaki OHKI, Manabu TUBOMATU and Iwahito TAKAHASHI

2. 3 実験方法及び測定項目

実験は日本大学生産工学部校内 (35°53'N, 139°36'E) に 2 体のモデルボックスを他の構造物の影響を受けないように考慮して設置し、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・熱流量・赤外線熱画像の 8 項目を行った。

2. 4 測定日基本条件

図 1 に測定日の日射量と外気温の経時変化を示す。なお、測定は年間を通して行ったが、ここで使用したデータは日照時間の関係から緑化有無による差が顕著に現われた平成 18 年 8 月 3 日 7 時～4 日 6 時(24 時間)を用いた。

これより、日射量は、朝方に東面、日中に屋上および南面、夕方に西面が高い値を示した。外気温は 12 時で最大 39.1℃、夜間の最低気温も 24℃であった。なお、天候は晴れ、風向・風量は微量のため無風状態として検討した。

3. 実験結果

3. 1 熱流量の経時変化

図 2 に緑化有無による屋上面及び壁面からの熱流量経時変化を示す。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。

これより、屋上面の熱流量を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は、用土内部の温度が蒸散作用により低く、また用土の熱容量が大きいことも考えられる。さらに、夕方から夜間にかけて、緑化無しではヒートアイランド現象の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、逆に用土内部に保蓄された熱が室内に流入した。なお、壁面からの熱流量を見ると、断熱構造に優れた ALC パネルを用いているためか、若干の振幅差は見られたものの、傾向としてはほぼ同様であった。したがって、屋上面の熱流量が室内温度へ大きく影響を与えていると考えられる。

3. 2 室内温度の経時変化

図 3 に室内温度の経時変化を示す。

これより、緑化有無で比較すると、日中は緑化有りより緑化無しの室温が高く、夜間はほぼ同値を示した。つまり緑化有りの室内温度の変

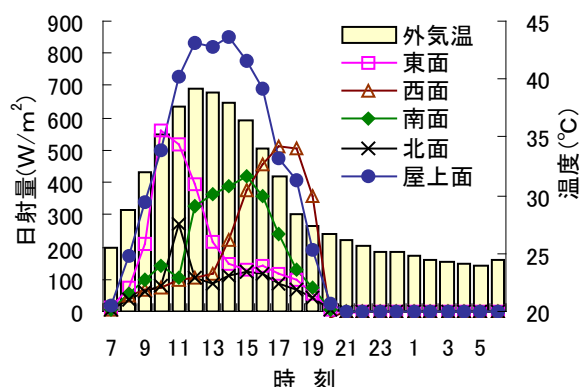


図 1 測定日基本条件
(2006 年 8 月 3 日～4 日)

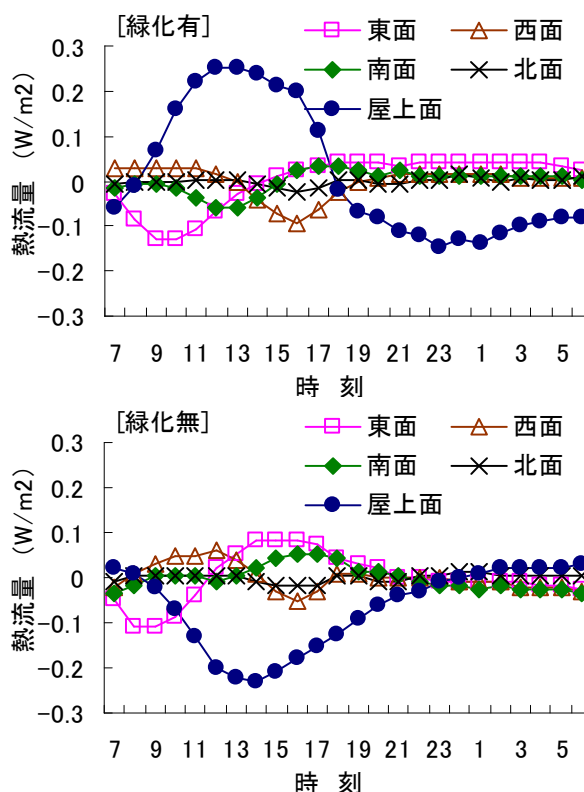


図 2 熱流量
(2006 年 8 月 3 日～4 日)

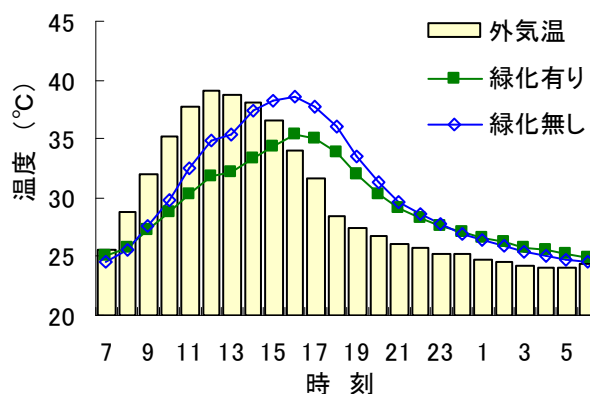


図 3 室内温度
(2006 年 8 月 3 日～4 日)

化量は緑化無しに比べ小さい。特に、日中の緑化有りと無しの温度差は最大で約 5℃であった。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に対する効果は大きい。なお、この温度差は前述の通り、屋上面および壁面からの熱流によるものであり、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。

3. 3 内側表面温度の経時変化

図 4 に緑化有無の内壁面および屋上内面の表面温度の経時変化を示す。

これより、緑化有無で比較すると大きく差が見られ、特に、屋上面では、最大約 16℃の差を生じた。壁面においても、熱流量ではほぼ差は見られなかったが、ここでは顕著に現われた。これは、室内温度の影響を受けたためといえる。

3. 4 外側表面温度の経時変化

図 5 に緑化有無外壁面および屋上外面の表面温度の経時変化を示す。

これより、まず壁面をみると、断熱材を用いているため室内温度の影響は少なく、緑化有無の差はあまりみられなかった。これに対し、屋上面の表面温度は差が大きく、平均で約 3℃以上高かった。これは比熱の低いコンクリートに覆われている緑化無しの屋上面に対し、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. 5 対流熱伝達量の計算

図 6 に屋上面および壁面からの単位面積当たりの対流熱伝達量の経時変化を示す。ここで、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用いた。なお、一般的な建物の形状は複雑であり、緑化の効果を比較するため、ここでは単位面積当たりの対流熱伝達量により検討した。

以下に実験式を示す。

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

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

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

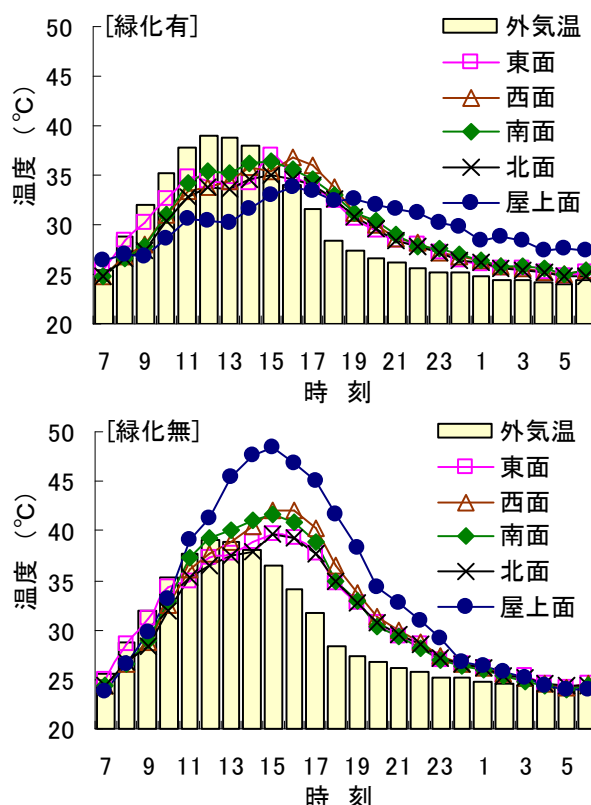


図 4 内側表面温度
(2006 年 8 月 3 日～4 日)

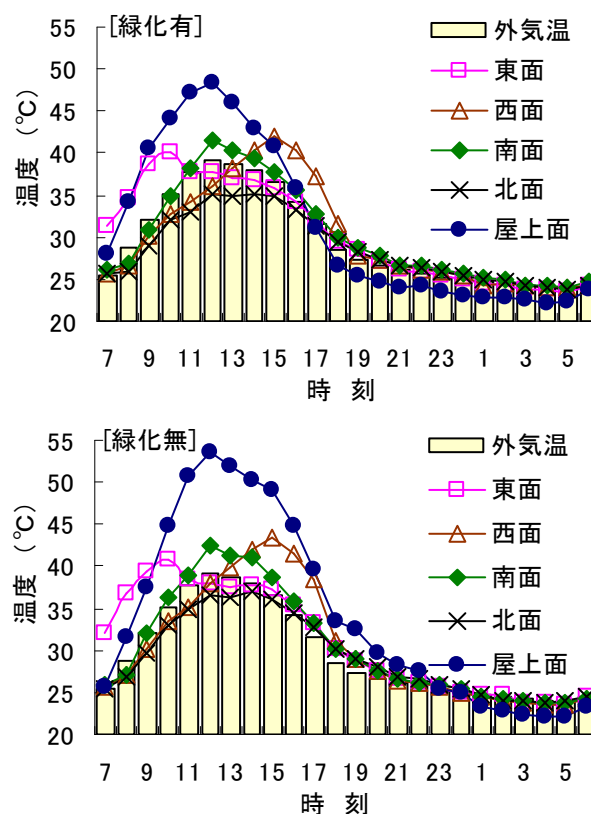


図 5 外側表面温度
(2006 年 8 月 3 日～4 日)

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

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

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 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 : 対流熱伝達量 A : 面積

これより、先ず、屋上面での対流熱伝達量を比較すると、緑化有りに比べ緑化無しは約2倍の差が生じた。壁面では朝方に東面、夕方に西面が高かったが、屋上面の値に対して相対的に小さく、さらに南面の対流熱伝達量は僅な値であった。したがって、建物全体からの対流熱伝達量の総和で比較しても緑化有無の差が顕著に見られた。これは太陽高度の高い8月では、壁面に比べ屋上面への日射量が多いためといえる。

3. 6 赤外線熱画像結果

図7に太陽高度が最も高い12時の赤外線熱画像結果を示す。なお、ここではモノクロのため確認が困難であるが、この図は白いところほど高い温度を示している。

これより、緑化有無で壁面の色にさほど相違は見られないのに対し、屋上面は緑化無しが緑化有りに比べ白く、高温であることが視的観測された。なお、この時の表面温度は緑化有りりで約46℃、緑化無しでは約54℃とその差は8℃であった。また、緑化有りの屋上面において中央部分に横線が見えるが、これは木柵部分である。

4. まとめ

本研究は実建物を想定したモデルボックスを用い、実験的手法により屋上緑化の建物熱収支に関して研究を行い、以下の知見を得た。

- 1) 屋上緑化は屋上面からの熱流に大きく影響を与え、日中の高気温時における室内温度が減少した。また、熱容量増加により夜間の熱流にも影響を与える。
- 2) 緑化の有無により室温に差が生じたことから内側壁面の表面温度に大きく差が生じたが、壁面に断熱材を用いているため、外側壁面は僅かな差しか見られなかった。

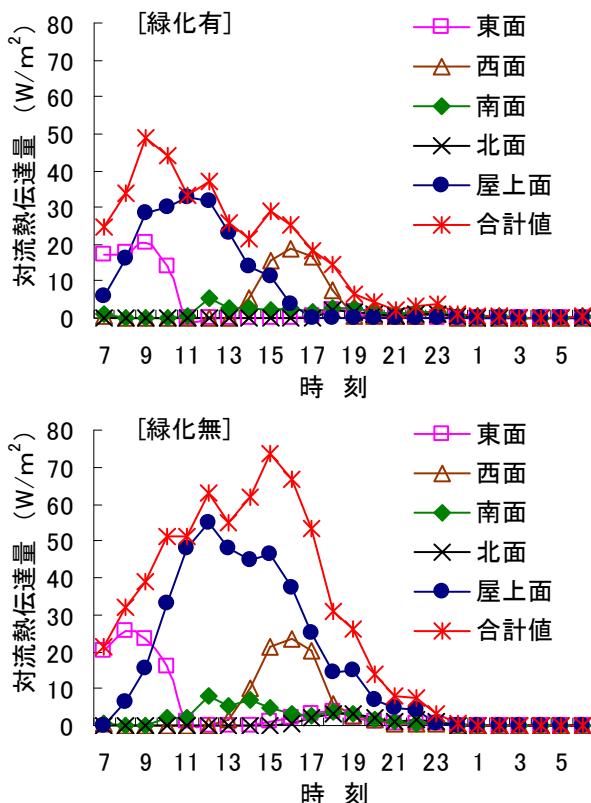


図6 対流熱伝達量
(2006年8月3日～4日)

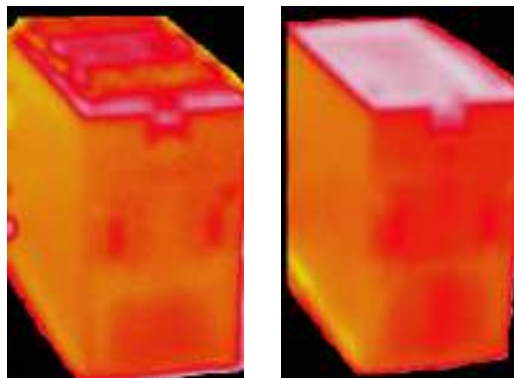


図7 赤外線熱画像結果
(左：緑化有り 右：緑化無し)
(2006年8月3日12時)

- 3) 建物全体からの対流熱伝達量は緑化有無の差が顕著に見られ、緑化による大気への熱伝達量の減少が確認された。
- 4) 赤外線熱画像により、屋上緑化の建物熱環境への効果が視的観測された。

以上のことから、断熱性に優れたパネルを壁面に用いたため、緑化の有無による壁面温度の相違はほとんど見られず、室内温度および対流熱伝達量において屋上緑化の影響が顕著に見られた。