モデルボックスを用いた屋上緑化の放射収支特性に関する基礎研究

日大生産工	(院) 〇三橋 正宏	日大生産工	大木	宜章
日大生産工	(非常勤講師) 坪松 学	日大生産工	高橋	岩仁
		日大生産工(院)	高梨	裕次

<u>1. 序文</u>

近年、アスファルトやコンクリートの増加によ る熱の吸収や蓄熱、植生の減少による潜熱フラッ クスの低下など、地表面の熱特性変化によるヒー トアイランド現象が問題視されている。一般的に、 太陽から入射し、アスファルトやコンクリート表 面に到達した短波放射は、反射波と吸収波に分か れた後、長波放射となり放出される。吸収波は、 地表面内部へ浸透する熱と大気との接触により外 気温を上昇させる熱、さらに水蒸気として蒸発す る熱となる。これに対し、植生が存在すると、保 水性に富み、蒸散作用などにより熱が奪われ、大 気へのエネルギー放出削減が図れる。また、光合 成の働きによる二酸化炭素の吸収など、その効果 は多様性を帯びる。このような背景の中、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、 屋上緑化は有効な手段といえ、都市環境の改善に 向け、現在注目されている技術の一つである。

本研究はこれらの観点から、モデルボックスを 用いて、実験的手法により屋上緑化の熱環境緩和 効果に関して基礎的な研究を行った。特に今回は、 屋上面の状態を変化させたことによる、短波放射、 長波放射の収支特性に関して、屋上面における効 果に着目し、比較検討を行った。

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:1.6W・m⁻¹・K⁻¹,比熱:840J・kg⁻¹・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: 0.17W・m⁻¹・K⁻¹,比熱:1047J・kg⁻¹・k⁻¹,厚:50mm)を用いた。また、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。なお、モデルボックスは、生産工学部校内 に他の構造物の影響を受けないよう考慮して2体 設置した。

2.2 緑化方法

緑化方法は、12mm 厚の木枠に 100mm 厚の用 土を入れ、その上に高麗芝を芝付けし、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、その後は降雨のみの灌水と した。なお、木枠の底部に水はけ用の孔 (φ10mm) を 72 個/m²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 10mm 厚のヤシ殻マ ットを敷いた。また、用土は一般に市販されてい るものを用いた。



写真1 モデルボックス (左:緑化有り 右:緑化無し)

表1 各 case の比較条件

/	比較条件		
case1	100mmの用土+植生	緑化無し	
(06.8.3~4)	(緑化有り)	(緑化無し)	
case2	100mmの用土+植生	100mm用土のみ	
(07.8.8 ~ 9)	(緑化有り)	(土のみ)	
case3	100mmの用土+植生	50mmの用土+植生	
(07.8.26~27)	(緑化有り)	(緑化有り1/2)	

Study on Radiation Balance Characteristics of Rooftop Planting Using Model Box

Masahiro MITUHASHI, Takaaki OHKI, Manabu TUBOMATU Iwahito TAKAHASHI and Yuuji TAKANASHI

2.3 実験方法及び測定項目

実験は 3case に分けて行い、100mm 厚の用土 を用い緑化したものを基準(以後、緑化有り)と し、①緑化無しの状態(以後、緑化無し)②木枠 と100mm 厚の用土のみの状態(以後、土のみ) ③緑化方法は同様で用土を 50mm 厚とした状態

(以後、緑化有り 1/2) とそれぞれ比較検討した (表1)。なお、器具などの関係上、測定は同日に は行えず、case 毎に行った。

ここで、地表面における熱収支は、放射収支と 熱収支の2種類に分けられる。この、2種はバラ ンスしており建物表面においても同様に成り立つ。 地表面における熱収支式を以下に示す。

放射収支式

 $Rn_1 = S \downarrow + S \uparrow + L \downarrow + L \uparrow \quad \cdot \quad (1)$

熱収支式

 $Rn_2 = G + H + Le \quad \cdot \quad \cdot \quad (2)$

この式において、

Rn1:正味の放射量

S: 短波放射成分 L: 長波放射成分 Rn₂: 正味の熱量

G:地中熱流量 H:顕熱量 Le:潜熱量

上記を踏まえた上で、測定項目は、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・熱流量・長波および短波放射量とした。 なお、長短波放射量の測定には、英弘精機製の長 短波放射計を用いた。本実験で用いた長短波放射 計は、0.3~3µm域の短波放射と5~50µm域の 長波放射が上向き放射と下向き放射に分けて、同 時に独立して測定可能な測器である。なお、デー タは小型データロガーで出力電圧を採取し、以下 の計算式より短波放射量と長波放射量を求めた。

Rsw=Vsw/C ・・・ (3) Rlw=Vlw/C+ σ T⁴C ・・・ (4) この式において、 Rsw:短波放射 (W・m⁻²) Vsw:出力電圧 (μ V) C:計器の検定計数 (μ V・W⁻¹・m²) Rlw:長波放射 (W・m⁻²) σ :Stefan Boltzman 定数 (=5.67×10⁻⁸W・m²・K⁴) T:絶対温度

3. 実験結果

3.1 測定日基本条件

表2に各測定日の基本条件を示す。 これより、各測定日とも平均気温で 30℃前後、

表2 測定日基本条件

測定日	平均気温(℃)	最高気温(℃)	最低気温(℃)
06.8.3	29.5	38.8	24.0
07.8.8	30.4	37.0	26.5
07.8.26	30.6	38.6	26.9











外気温および室内温度

図1 緑化の有無による熱環境

(case1:2006 年 8 月 3 日~8 月 4 日)

最高・最低気温も同様の結果を示し、ほぼ同条件 下で測定が行えたといえ、日射量においても全 caseで同様の結果が得られた。なお、天候は全日 とも晴れ、風量は微量であったため無風状態とし て検討した。また、モデルボックスは、他の構造 物の影響を受けないよう設置したため、両モデル ボックスともに、壁面への放射収支に関する影響 は同様であるといえる。

3. 2 case1

図1に case1 における短波放射収支量(以後、 短波収支量)、長波放射収支量(以後、長波収支量)、 外気温および室内温度の経時変化を示す。なお、 放射収支量とは下向放射から上向放射を引いた値 であり、特に長波収支量は、マイナスの値が大き いほど、上向放射が高く、大気へ熱を放射してい ることを表している。

先ず、短波収支量は、緑化の有無ともに、11時 で最大約760W・m²と高い値で推移し、差は見 られなかった。なお、短波収支量は、対象物のア ルベド(反射能)に左右されるため、アルベド値 が高いほど光は反射され、収支量は低くなる。本 実験に用いたモデルボックス屋上面は、防水加工 を施し、グレー色をしているため、緑化有りとほ ぼ同様のアルベド値となり、差を生じなかったと いえる。

長波収支量は、緑化有りに対し、緑化無しが低 く、13時で熱量として最大65W・m⁻²の差が生じ た。これは、緑化有りでの土中水分の蒸発作用お よび、植物の蒸散作用による熱の消費が大きいた めである。なお、エネルギー換算すると1日当た り約1.9×10³kJ・m⁻²/日の差が生じた。

また、室内温度では、15時で最大約4℃の差が 生じた。これは、短波放射により吸収された熱が 建物内部に浸透する際、長波放射同様、蒸発、蒸 散による熱の消費が大きく、さらに、断熱効果が 図られたためであるといえる。

3.2 case2

図2に case2 における短波収支量、長波収支量、 外気温および室内温度の経時変化を示す。

先ず、短波収支量は、case1 同様、高い値で推移し、差は見られなかった。また、アルベド値においても変化は見られなかったため、1 日での、吸収された短波量は同じであるといえる。

長波収支量でも、case1 同様に、緑化有りでは 土のみに比し、緩やかに推移し、最大差は、12時 での55W・m²であった。なお、エネルギー換算



図2 植生の有無による熱環境 (case2:2007 年 8 月 8 日~8 月 9 日)

すると1日当たり約1.8×10³kJ・m²/日の差が生 じた。また、室内温度では、緑化有りの方がやや 低い値を示したものの、その差は小さかった。し たがって、土のみでは熱容量が大きくなった分、 室内への断熱効果が図られたが、土中熱は土壌中 の水分蒸発にしか使われないため、大気への熱の 放射抑制はほとんど図れなかったといえる。

3. 3 case3

図3に case3 における短波収支量、長波収支量、 外気温および室内温度の経時変化を示す。

これより、短波収支量、長波収支量、室内温度 ともに、緑化有り 1/2 では緑化有りとほぼ同様の 結果が得られ、土壌厚を変化させたことによる差 は見られず、植物の蒸散作用による効果が大きい といえる。

3. 4 全放射収支量

ここでは、短波収支量と長波収支量の合計値、 つまり全放射収支量について検討した。入射した 太陽電磁波は反射波と吸収波とに分かれ、最終的 に放射されると考えれば、短波収支量と長波収支 量は最終的にバランスがとれる。本実験では、放 射収支以外の要因を入れていないため、大気への 放射が大きい傾向を示したが、壁面および屋上面 からの全放射収支量を計算すると、緑化有りで約 61 kJ・m² の下向放射、緑化無しで約 1.3× 10³kJ・m² の上向放射であり、大気への放射は 約 1.4×10³kJ・m² の差が生じた。この差が屋上 緑化の効果であり、大気への熱環境緩和効果が確 認されたといえる。

<u>4. まとめ</u>

本研究は、モデルボックスを用い、屋上面の状 態を変化させたことによる、短波放射、長波放射 の収支特性に関して、特に屋上面において着目し、 比較検討を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) 短波収支量の結果から、全 case において、屋 上面におけるアルベド値に変化は見られなか った。このことから、吸収された短波量は、 全 case とも同様であるといえる。
- 2)長波収支量では、case1で1日当たり約1.9 ×10³kJ・m²/日、case2で1日当たり約1.8 ×10³kJ・m²/日の放射エネルギー削減効果が 図られ、case3では差が生じなかった。これ は、緑化の蒸散作用による気化熱の消費が大 きく、屋上緑化による効果が確認された。
- 3) case1 では緑化有りの室内温度の変化量は緑 化無しに比べ小さく、特に高気温時における 温度減少が顕著にみられたのに対し、case2、 3 では緑化有りとほぼ同様の効果が得られた。
- 4)全放射収支量の結果から、緑化有りで約 61 kJ・m⁻²の下向放射、緑化無しで約 1.3× 10³kJ・m⁻²の上向放射であり、約 1.4× 10³kJ・m⁻²の大気への放射抑制が図られた。



図3 土壌厚の相違による熱環境 (case3:2007 年8月26日~8月27日)

以上のことから、短皮放射の影響で日中、建物に蓄熱 されたエネルギーは、長波放射として大気へ放出される が、緑化有り、緑化有り1/2では、土中水分の蒸発、植 物の蒸散作用による気化熱の消費が大きく、潜熱量が増 えたことにより、長波放射量の減少、さらには室内温度 の低下が図られ、屋上緑化による効果が確認された。

謝 辞

本研究は文部科学省学術フロンティア推進事業(平成17~平成21年度)による私学助成を得て行われた。