

放射収支特性による屋上緑化の熱環境緩和効果の検討

日大生産工 ○高橋 岩仁 大木 宜章 川岸 梅和

1. 序文

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、植生などの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、表面に吸収させる電磁波とに分けられる。反射波は、表面のアルベドに左右され、このアルベド値が高いほど、光は反射されやすい。吸収波は、表面を熱しながら内部へ浸透（蓄熱）し、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押さえられる。また、光合成の働きによって、近年、世界的に問題となっている温室効果ガス（二酸化炭素など）が吸収される。このような背景の中、屋上緑化は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有効な手段であり、無機質系構造物との共存が可能である。さらに、屋上緑化を施すことにより、高温時の室内温度が低下し、エアコンなどのエネルギー使用量の削減にもつながる。

本研究は、屋上緑化した建物の熱収支を実験的手法により定量的に評価することを目的としている。今回は、特に屋上面の状態を変化させ、放射収支量などから熱環境へ与える影響を比較検討した。

2. 実験条件および方法

写真-1に実験に使用したモデルボックスを示す。このモデルボックスの寸法は外寸で横幅900mm、高さ1500mm、奥行き1800mmであり、屋上部分はコンクリートを主体とし、壁面は断熱効果に優れたALCパネルを用いた。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に考



写真-1 モデルボックス

表-1 各caseの比較条件

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

Examination of the Effect of Rooftop Planting to Mitigate Heat Environment by Radiation Balance Characteristics

Iwahito TAKAHASHI , Takaaki OHOKI and Umekazu KAWAGISHI

慮して2体設置した。

緑化方法は、12mm厚の木枠に100mm厚の用土を入れ、その上にコウライシバを芝付けし、屋上面に設置した。なお、木枠の底部には水はけ用の孔を開け、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使用した。

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）（2006年8月3日～4日；case1）②木枠と100mm厚の用土のみの状態（以後、土のみ）（2007年8月8日～9日；case2）③緑化方法は同様に用土を50mm厚とした状態（以後、緑化有り1/2）（2007年8月26日～27日；case3）と比較検討した（表-1）。

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、長波および短波放射量の測定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、0.3～3μm域の短波放射量と5～50μm域の長波放射量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。

$$R_{sw} = V_{sw} / C \quad \dots (1)$$

$$R_{lw} = V_{lw} / C + \sigma T^4 \quad \dots (2)$$

この式において、

R_{sw} ：短波放射（ $W \cdot m^{-2}$ ）

V_{sw} ：出力電圧（ μV ）

C ：計器の検定件数（ $\mu V \cdot W^{-1} \cdot m^2$ ）

R_{lw} ：長波放射（ $W \cdot m^{-2}$ ）

σ ：Stefan Boltzman定数（ $=5.67 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ ）

T ：絶対温度

3. 実験結果および検討

3.1 短波放射量

表-2に各測定日の基本条件を示す。

これより、平均気温30℃前後、最高気温、最低気温もほぼ同様であり、いずれも酷暑であつ

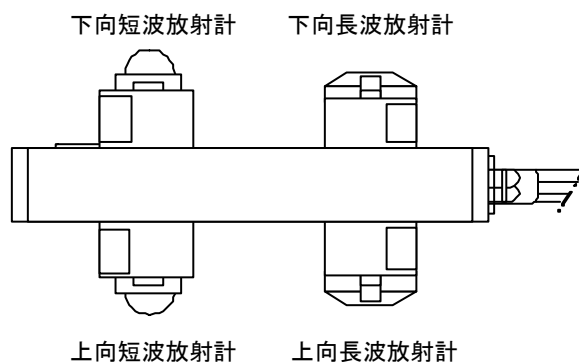


図-1 長短波放射計

表-2 測定日基本条件

測定日	平均気温(°C)	最高気温(°C)	最低気温(°C)
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

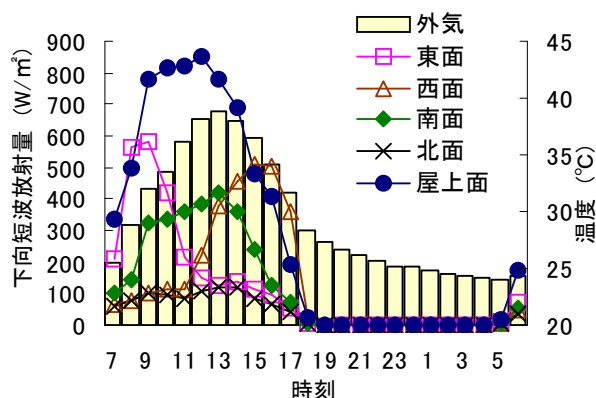


図-2 外気温および下向短波放射量（日射量）
（2006年8月3日～8月4日）

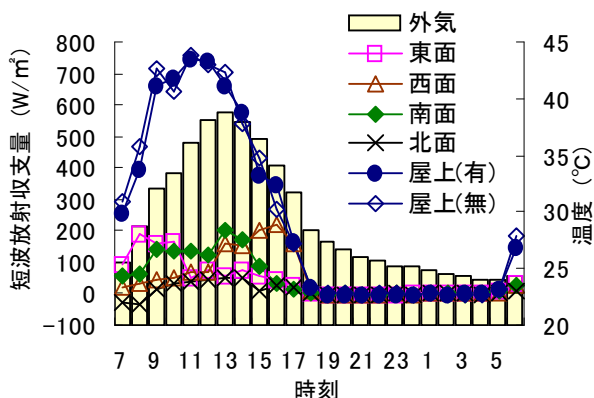


図-3 外気温および短波放射収支量
（2006年8月3日～8月4日）

た。なお、各測定日の天候は晴れ、風量は各測定日とも微量であったため無風状態と考え、測定日にタイムラグはあるものの、ほぼ同条件下で実験が行えたといえる。

図-2にcase1の外気温および下向短波放射量（日射量），図-3に同caseの外気温および短波放射収支量の経時変化を示す。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る。

まず、下向短波放射量を見ると、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。特に、屋上面の値が高く、12時で最大 $850 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上であった。

次に、短波放射収支量を見ると、屋上面は緑化有無とも高いが、各壁面では低い値で推移した。なお、短波放射収支量は、対象物のアルベド（反射能）に左右され、このアルベドの値が高いほど、光は反射され、この収支量は低くなる。したがって、壁面のアルベドは高く、短波を反射したのに対し、屋上面では緑化有無ともアルベドが低く、そのため短波を吸収し、内部に熱を蓄熱したといえる。なお、他のcaseにおいても、屋上面のアルベドに変化はなく、短波収支量はほぼ同様の値であった。

3. 2 室内温度

図-4, 5, 6にcase1, 2, 3の外気温および室内温度の経時変化を示す。

まず、緑化有りと緑化無しで比較すると、日中は緑化無しより緑化有りの方が低く、最大で約5℃の差が生じた。この差をエネルギー換算すると、気温が高い時期では1日当たり $6.0 \times 10^4 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}/\text{日}$ のエネルギー量の削減効果がある。これに対し、case2, 3では共に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、室内温度の結果からは、土のみおよび緑化有り1/2とも緑化有りとほぼ同様の効果が得られたといえる。

3. 3 長波放射量

図-7, 8, 9にcase1, 2, 3の外気温および長波放射収支量の経時変化を示す。なお、長波放射収支量は、短波放射収支量と同様に下向放射から上向放射を引いた値であり、マイナスの値ほど、上

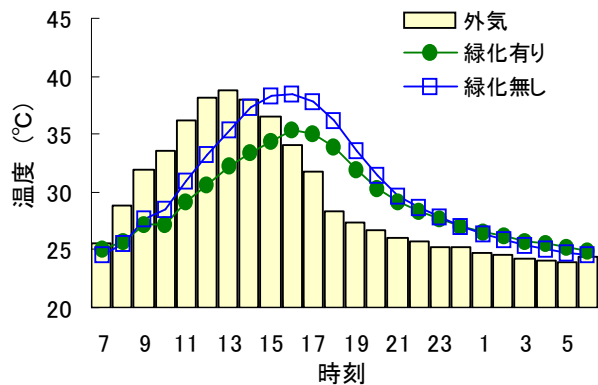


図-4 外気温および室内温度
(2006年8月3日～8月4日)

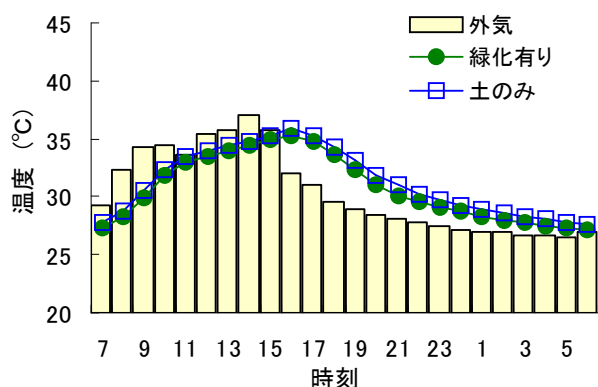


図-5 外気温および室内温度
(2007年8月8日～8月9日)

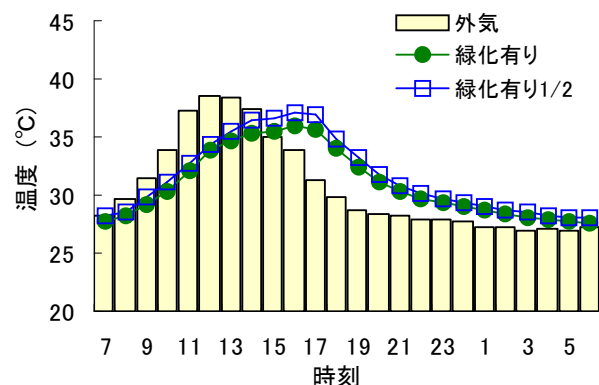


図-6 外気温および室内温度
(2007年8月26日～8月27日)

向放射が高く、大気へ熱を放射していることを現している。また、長波放射収支量では、各caseで壁面の差はほとんど無く、さらに屋上面の差を見やすくするため、ここでは屋上面のみのデータを表示した。

これより、長波放射収支量は全caseとも常にマイナスの値を示しており、大気への熱の放出が確

認された。また、上向長波放射量は対象となる表面温度の上昇とともに高くなるため、長波放射収支量はマイナスの値ではあるが、傾向としては外気温と同様であった。なお、この時の下向長波量は、全caseとも $400 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 付近で変動も少なく推移した。

各caseで比較すると、case1では、緑化有りに対し、緑化無しが低く、最大で $72 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ の差が生じた。これは、比熱が低く、熱伝導率の高いコンクリー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。なお、エネルギー換算すると1日当たり $1.3 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ /日の差が生じた。case2でも同様に、土のみの値が低く、最大で $55 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ の差が生じた。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、熱が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あまり図れなかったといえる。それに対し、case3では、差がほとんど見られず、1日あたりでもほぼ同値を示した。

以上の結果から、緑化の蒸散作用による気化熱の消費が大きく、大気への熱環境緩和効果が確認されたといえる。

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 $61 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ の下向放射、緑化無しで約 $1.3 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ の上向放射であり、大気への放射は約 $1.4 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ の差が生じた。この差が屋上緑化の効果であり、以上のことから、熱環境緩和効果を定量的に評価できたといえる。

4. おわりに

本研究は、実験的手法により放射収支量から緑化による熱環境緩和効果を検討した。その結果、

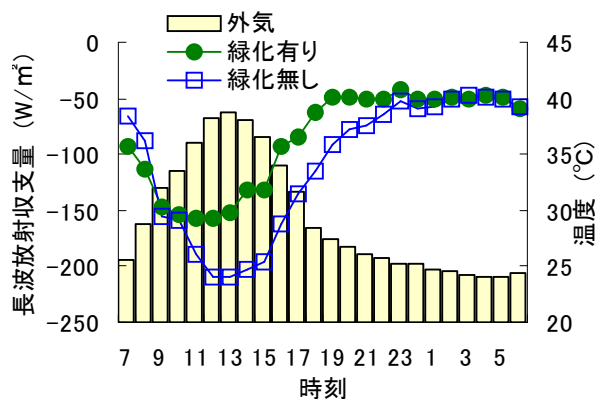


図-7 外気温および長波放射収支量
(2006年8月3日～8月4日)

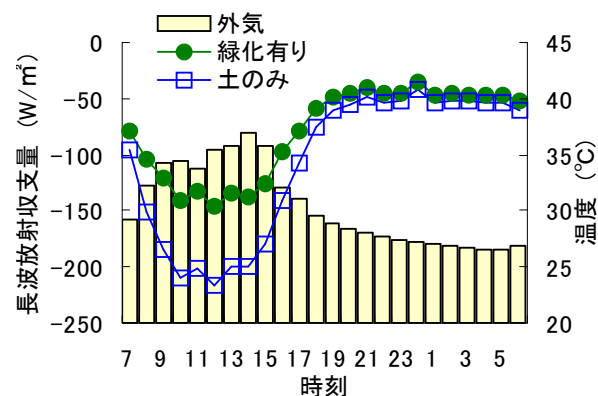


図-8 外気温および長波放射収支量
(2007年8月8日～8月9日)

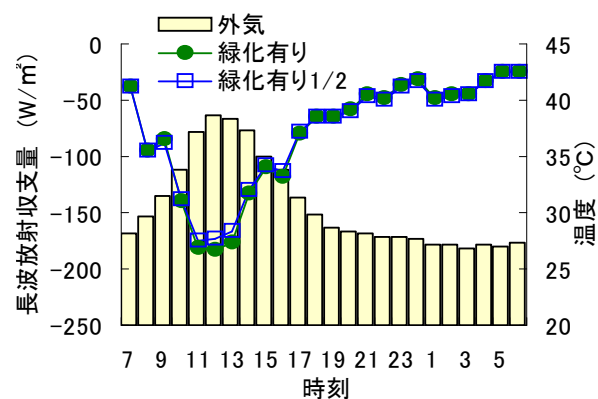


図-9 外気温および長波放射収支量
(2007年8月26日～8月27日)

緑化の蒸散作用による気化熱の消費が大きく、大気への熱環境緩和効果が確認された。その差は、全放射収支量で見ると、約 $61 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ の下向放射、緑化無しで約 $1.3 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ の上向放射であり、大気への放射は約 $1.4 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ の差であった。

以上のことより、定量的な緑化の効果が計測され、この評価が検討できた。