

# 屋上緑化植栽基盤における熱収支比較

藤井 勇気<sup>1</sup>・山田 宏之<sup>2</sup>

<sup>1</sup>非会員 和歌山大学大学院 システム工学研究科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930番地)  
E-mail:s104048@center.wakayama-u.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 和歌山大学 システム工学部 (〒640-8510 和歌山市栄谷930番地)  
E-mail:hyamada@sys.wakayama-u.ac.jp

現在実用化されている屋上緑化用植栽基盤である、シバ、セダム、コケの3基盤を用い熱収支比較を行った。熱収支解析の結果より、ヒートアイランド化の抑制効果を比較し、ボーエン比法の解析から、地上部の緑地における冷却効果と屋上緑化の冷却効果について比較を行い、ヒートアイランド対策として効果的な屋上緑化用植栽基盤を明らかにすることを目的とした。測定は2009年7月1日から9月30日までの晴天日に行った。解析の結果、顕熱量は、セダム、シバ、コケの順に、伝導熱量は、シバ、コケ、セダムの順に、蒸発潜熱量は、コケ、シバ、セダムの順に大きくなった。乾燥状態のコケ基盤はコンクリート面よりも顕熱量が大きい値を示した。ボーエン比の解析結果は、コケ基盤のみ地上部の緑地と同等の値を示した。

**Key Words :** heat island, roof greening, heat budget, bowen ratio

## 1. はじめに

緑地によるヒートアイランド化の抑制効果に関しては、古くから様々な方法で研究が行われ、一定の気温低減効果に関しては広く認められるものとなっている。屋上緑化についても、緑地の一種という視点からは同等の評価を行うことが出来ると考えられるが、もともと屋上緑化をすることを想定していない既存の建築物においては、荷重制限等により緑化を行うことが困難である。例えば、建築基準法施工令第 85 条に示される住宅の屋上広場等の地震力荷重は  $600\text{N/m}^2$  と定められている<sup>1)</sup>。このような条件の下では、例えば、湿潤時の比重が 1.0 の軽量土壌を用いたとしても植栽基盤厚が最大でも 6 cm 程度しか確保出来ない<sup>2)</sup>などの、荷重制限等から生じる植栽基盤厚の制限などにより、地上部の緑地と同等の冷却効果を期待するのが難しい面もある。

ヒートアイランド化抑制に関して、屋上緑化には、表面温度の上昇を抑えることにより、屋上面に接する外気の昇温を抑制するという直接的な効果と、建物内部への断熱性を高めることにより冷房負荷を軽減し、それによって空調排気による外気への熱の放出を抑制するという間接的な効果の二つが考えられる<sup>3)</sup>。

本研究では、この二つの効果に関し熱収支法による解析を行った。屋上緑化用の植栽基盤において乾燥に強い植物を用いることがあることから、熱収支による解析を

灌水状態と乾燥状態とで別けて行い、現在実用化されている屋上緑化用植栽基盤におけるヒートアイランド化の抑制効果を比較した。

また、ヒートアイランド現象の原因の一つとして、地表面被覆の変化が挙げられ、その変化に対して、地表面を平面的に見た場合における緑地面積の増大手法としても、屋上緑化は看做されている。しかし、屋上緑化の植栽基盤における冷却効果と地上部の緑地における冷却効果とを比較した研究が少ないため、本研究では、ボーエン比法を用い冷却効果の簡易的な比較を行う。

これらより、ヒートアイランド対策として効果的な屋上緑化用植栽基盤を明らかにすることを目的とする。

## 2. 研究方法

### (1) 調査地および調査期間

実験装置は、和歌山大学システム工学部 B棟屋上 (N  $34^{\circ}16'$  E  $135^{\circ}16'$  標高100m) に設置し、調査期間は2009年7月1日から9月30日までの晴天日である。

### (2) 実験装置

測定用に、写真-1 に示すような実験装置 (室) を 3 基用いた。1000×700 mm、厚さ 100 mm のコンクリート床板を木組みの上部に置き、その上部に緑化基盤を設置した。

対照区は、都市基盤整備公団の住宅外断熱仕様に準じ<sup>4)</sup>、上記のコンクリート床板を厚さ 40 mmのポリスチレンボードと 20 mm厚のコンクリート板で覆う形で作成した<sup>3)</sup>。植栽基盤は、上記のコンクリート床板の上部に設置した。

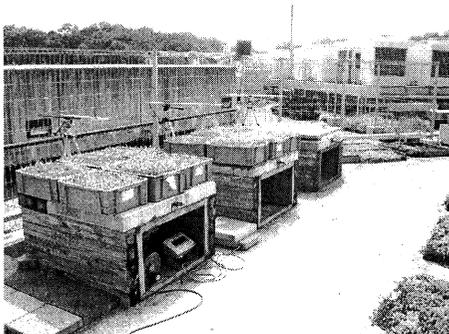


写真-1 熱収支測定の様子

### (3) 対象基盤

調査対象である各緑化基盤の概要と植物種を表-1 に示す。緑化基盤は、市販の赤玉土（小粒）に、コウライシバ (*Zoyia matrella*)、オヒシバ (*Eleusine indica*) の混合種を植栽したシバ基盤（以下シバ）と、溶岩礫にツルマンネングサ (*Sedum sarmentosum*) を植栽したセダム基盤（以下セダム）、ハイウレタンにエソスナゴケ (*Racomitrium japonicum*) を植栽したコケ基盤（以下コケ）の3種類を用いた。乾燥状態での熱収支測定には、乾燥に強いことが特徴であるコケ基盤を用い、灌水状態と同じようにコンクリート床板の上部に設置し測定を行った。

表-1 調査対象とした緑化基盤の概要

	基盤名	植物種	積載荷重 (kg/m <sup>2</sup> )	基盤構成材料	厚さ (mm)
緑化区	シバ	コウライシバ、オヒシバ	約150*	赤玉（小粒）	150
	セダム	ツルマンネングサ	約52*	溶岩礫	50
	コケ	エソスナゴケ	約18*	ハイウレタン	30
対照区	コンクリート				20

\*最大保水時

### (4) 熱収支解析の方法

熱収支とは、地面上の熱のやりとりの指標であり、本研究での蒸発潜熱量はヒートアイランド化における温度抑制効果を示す指標としてみている。

上記実験日に各種測定機器を用いて、日射量、純放射量:  $R_n(\text{MJ/m}^2)$ 、伝導熱量:  $G(\text{MJ/m}^2)$ を測定した。蒸発潜熱量:  $IE(\text{MJ/m}^2)$ は、蒸発散量:  $E(\text{kg/m}^2)$ から以下のように算出した。

$$IE = hw \times E / 10^6$$

$$hw = 2.5 \times 10^6 - 2.4 \times 10^3 T$$

$hw$  は水の蒸発潜熱(J/kg)、 $T$  は温度(°C)である。以上の測定値から、顕熱量:  $H(\text{MJ/m}^2)$ を次式により求めた。

$$H = R_n - (IE + G)$$

顕熱量は、ある物体の温度変化に用いられるエネルギー量であり、ここで求めた顕熱量は気温変化に大きく関係している値である<sup>9)</sup>。

熱収支解析には、ヒートアイランド化の温度抑制効果を調べるため、日中の最も暑い時間帯である 10 時から 14 時における測定結果を用いた。解析に用いたデータの測定日は、各日ともに最高気温が 30°C を超す真夏日であった。

灌水状態での熱収支測定日数は、シバ、セダムは 3 日分、コケは 4 日分のデータを用いた。灌水は調査前日の 18 時に水分飽和状態になるまで行った。

乾燥状態での熱収支測定は、乾燥に強く、メンテナンスフリーが特徴であるコケのみを用い、8 月 18 日、19 日、20 日に行った。これについては測定日の 5 日前から水分を与えていない状態のコケを用いて測定を行った。

### (5) ボーエン比 (Bowen Ratio)

ボーエン比:  $B$  とは地表面の湿潤度を表す指数であり、本研究では、顕熱量と蒸発潜熱量の比として次式により求めた。

$$B = H / IE$$

この指数が 1 以下になると温度抑制効果が高いとされている<sup>9)</sup>。

ボーエン比の比較の解析には、熱収支解析と同様に、10 時から 14 時における各基盤の灌水状態での結果を用い、計算した全ボーエン比の値における最高値と最低値を示した。

## 3. 結果及び考察

### (1) 熱収支の比較について

熱収支は日射量と相関関係があるといわれている<sup>7)</sup>。各測定日における10時から14時までの積算日射量を図-1に示す。この日射量が各基盤の熱収支の違いに影響していると考えられるために参考として記載した。

熱収支測定結果は、気象条件の違いにより、測定日ごとの値に大きな差が見られる。このことより、図-2 のように全基盤における純放射量を 100%とした割合のグラフを用いて相対的に比較した。図-2 より、コケがシバやセダムに比べ蒸発潜熱量の占める割合が大きいことから、ヒートアイランド化の温度抑制に効果的であると考えられる。

(2) 蒸発潜熱量及び顕熱量について

蒸発潜熱量をヒートアイランド化における抑制効果として評価すると、各基盤の蒸発潜熱量の値は、図-3 における測定日の平均値より、コケは  $8.98 \text{ MJ/m}^2/4\text{hr}$ 、シバは  $5.97 \text{ MJ/m}^2/4\text{hr}$ 、セダムは  $4.23 \text{ MJ/m}^2/4\text{hr}$  であった。このことから、コケはセダムと比較すると約2倍以上もの蒸発潜熱量が得られることが判った。顕熱量は、蒸発潜熱量とは逆に、セダム、シバ、コケの順に大きい値を示した。

(3) 伝導熱量について

伝導熱量は、シバ、コケ、セダムの順に大きくなった。シバのみマイナスになり、3日間の平均で  $-0.39 \text{ MJ/m}^2/4\text{hr}$  を示した。これは、シバ基盤下部の熱をシバ基盤自身が吸熱したことを示している。そのため、シバには外気の昇温の抑制に加え、建物から熱を奪う効果が期待できると考えられる。

(4) 乾燥状態での熱収支

乾燥状態と灌水状態での熱収支解析の結果を比較すると、図-4 より、灌水状態である図の右側では、蒸発潜熱量の発生により、コケの顕熱量はコンクリートよりも小さい。しかし、乾燥状態ではコケの顕熱量はコンクリートよりも大きい。上記における簡易熱収支式からも明らかのように、夏期における緑化基盤は、灌水を行わず蒸発潜熱量が無い、または、少量しか水分を保持していない場合、コンクリートよりも顕熱量が大きくなってしまふことがわかった。

図-5 にコケの顕熱量からコンクリートの顕熱量を引いた値の図を示した。図-5 より、乾燥状態のコケは最大でコンクリート面よりも顕熱量が  $5.21 \text{ MJ/m}^2/4\text{hr}$  大きい値を示した。乾燥状態と灌水状態でのコケとコンクリートにおける顕熱量の差の平均は、乾燥状態では  $3.99 \text{ MJ/m}^2/4\text{hr}$  であり、灌水状態では  $-4.12 \text{ MJ/m}^2/4\text{hr}$  であった。このことから、乾燥に強い植物を用いた場合でも顕熱量をコンクリートよりも低く保つためには、灌水の維持が必要であると考えられる。

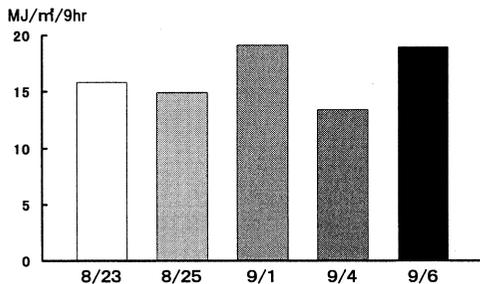


図-1 各測定日における日射量の積算値

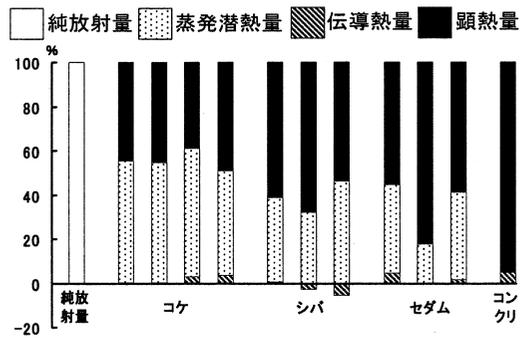


図-2 各基盤における熱量の割合

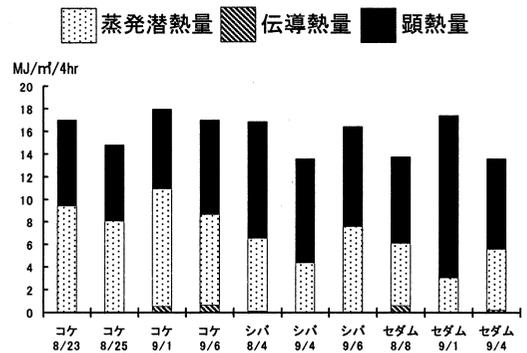


図-3 各基盤における熱収支

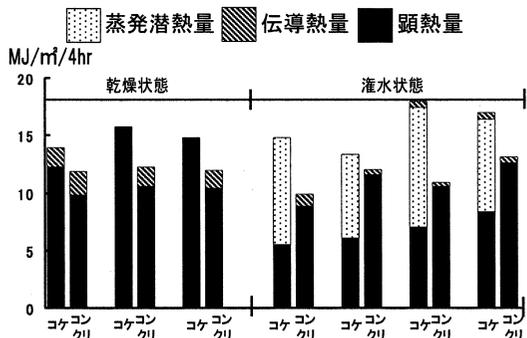


図-4 乾燥状態と灌水状態における熱収支

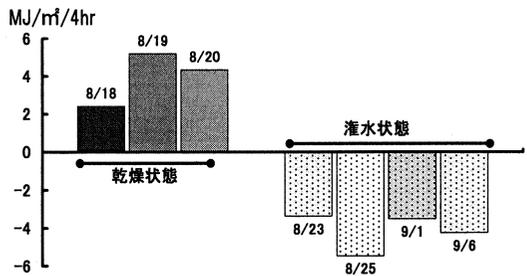


図-5 各測定日におけるコケとコンクリートの顕熱量の差

#### (5) ボーエン比について

ボーエン比の解析には、熱収支の解析と同様に、10時から14時における測定結果を用い、シバ、セダムは3日分、コケは4日分のデータを用いた。

ボーエン比は、式が示す通り、値が大きいとより乾燥している状態を示す。本実験結果におけるボーエン比の最高値は大きい方からセダム、シバ、コケの順となった。つまり、コケは日中において、最も湿潤状態が高いということがわかった。各基盤に最大値と最小値は、セダムは-0.33~6.05、シバは-0.09~4.17、コケは-0.56~1.71であった。夏季日中のボーエン比の値の範囲は、市街地で0.5~4かそれ以上、郊外（住宅地）で0.25~2.5、田園（緑地）は0.1~1.5であるとされている<sup>9)</sup>。このデータと実験結果である各基盤のボーエン比の最低値と最高値を表-2に示した。

このことから、湿潤状態のコケにおいてのみ緑地と同等の値が得られたものと言える。本実験結果では、屋上での緑地形成においてはシバやセダムよりもコケの方が地上面の緑地に近い温度抑制効果を有するといえる。

表-2 土地利用別のボーエン比と各基盤のボーエン比の比較

	市街地	住宅地	緑地
最低値	0.50	0.25	0.10
最高値	4.0以上	2.50	1.50

	セダム	シバ	コケ
最低値	-0.33	-0.09	-0.56
最高値	6.05	4.17	1.71

#### 4. まとめ

今回の実験では、ヒートアイランド対策として効果的な屋上緑化用植栽基盤を明らかにすることを目的としたため、日中の最も暑い時間帯である10時から14時における熱収支を比較した。その結果、コケ基盤がシバ基盤やセダム基盤に比べ蒸発潜熱量の占める割合が大きいことが判った。コケ基盤の蒸発潜熱量は、シバ基盤やセダム基盤よりも2倍近い値が得られた。伝導熱量においては、シバ基盤のみが建物から熱を奪う効果が期待できた。

また、ボーエン比の比較の結果より、コケ基盤が最も地上部の緑地における冷却効果に近い値を示した。以上より、コケ基盤は湿潤状態を保てれば、ヒートアイランド化の温度抑制に効果的であると判った。

しかし、コケのような乾燥に強い植物を用いた場合、メンテナンスフリーという特徴はあるが、乾燥状態にな

ると顕熱量がコンクリート面よりも増大し、ヒートアイランド化の促進を引き起こす可能性があることも判った。そのため、乾燥に強い植物を屋上緑化用として植栽を行う場合は、顕熱量をコンクリートよりも低く保つために、灌水の維持が必要であるといえる。

今回は、現在実用化されている緑化基盤全体としての調査であったため、各基盤における熱収支の違いが、植物種、基盤構成材料、土壤水分量のいずれが原因になっていたのかが不明であるため、今後の検討課題としたい。

#### 参考文献

- 1) 電子政府利用支援センター：建築基準法施工令：<http://law.e-gov.go.jp/htmlldata/S25/S25SE338.html>, 2009/09/20
- 2) 山田宏之, 養父志乃夫, 中島敦司, 中尾史郎：薄層基盤上に植栽した Sedum 属植物の相互被圧関係について：日本緑化工学会誌 第27巻 第1号 pp. 370-372 2001.
- 3) 山田宏之, 養父志乃夫, 中島敦司, 中尾史郎：屋上緑化による熱遮蔽効果の解析：日本造園学会全国大会研究発表論文集 (22), pp. 453-456, 2004.
- 4) 田中順一：都市公園における薄層土壌による屋上緑化技術：造園技術報告集1, pp. 70-73, 2001.
- 5) 大竹雄平：軽量屋上緑化工法における Ipomoea 属植物, シバ類, セダム類の熱収支に関する研究：和歌山大学修士論文, 2009.
- 6) 井上君夫, 中園江, 川方俊和：温熱環境に及ぼす植生の緩和効果に関する数値実験：中央農研研究報告第5号, pp. 1-21, 2004.
- 7) 馬蓉蓉, 加治屋亮一, 橋田祥子, 酒井孝司(2008)：屋上緑化システムの蒸発散作用に関する研究—コケ植栽と芝植栽の比較—：日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1023-1024, 2008.
- 8) 小宮英孝, 岡建雄, 下川泰三：都市の内外における熱流の測定：日本建築学会計画系論文報告集 (453), pp. 37-44, 1993.

## COMPARISON FOR THE HEAT BUDGET OF ROOF GREENING SYSTEMS

Yuki FUJII, Hiroyuki YAMADA

The purpose of this study is proving of effective roof greening system for heat island. Comparison for the Heat Budget of roof greening systems put to practical use. Turf, sedum and moss greening systems was used for analysis. Heat budget was used to compare the chilling effect of the heat island. Bowen ratio was used to compare the chilling effect of roof greening and land green. The results are follows, Sensible heat flux became it in order of sedum, turf, and moss. Conduction heat flux became it in order of turf, moss, and sedum. Evaporation latent heat flux became it in order of moss, turf, and sedum. Sensible heat flux of dry moss greening system became bigger than concrete. The result of Bowen ratio was only moss greening system showed land green and an equal value.