

屋上緑化における 底面灌水型緑化基盤の適性と熱収支解析

大竹 雄平¹・山田 宏之²

¹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:s084067@sys.wakayama-u.ac.jp

²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

屋上環境下における底面灌水型緑化基盤の適性と、その熱収支について調査解析を行った。

基盤の適性に関しては、基盤重量が 60kg/m^2 以下であること、植物被覆率が100%に達すること、この2点を満たすか否かで判断を行った。その結果、最大基盤重量はテラスライム(*Ipomoea batatas* cv. Terrace Lime)基盤の 57.8kg/m^2 であり、また植物被覆率は全ての植物基盤が植栽後20日程度で100%に達したため、底面灌水型緑化基盤は屋上緑化基盤としての適性があると判断できた。熱収支解析は対象植物種のうち、平均日積算蒸発散量が最も大きかったテラスライム基盤を対象に行った。その顕熱量は13~14時に最小の $-3.1\text{MJ/m}^2/\text{hr}$ を示し、また24時間を通して常にマイナスの値を示した。

Key Words : rooftop greening, bottom irrigation type planting base, base weight, latent heat, sensible heat

1. はじめに

近年頻繁に発生している集中豪雨は、ゲリラ豪雨とも呼ばれ、都市部において、その原因はヒートアイランド現象にあるとも言われている。ヒートアイランド現象が原因となる影響は他に、大気汚染やエネルギーの過大消費、熱中症などの人体被害、生態系の被害などがある¹⁾。

ヒートアイランド現象の原因は、主に都市部における地表被覆の変化と人工排熱の増加にあるとされている²⁾。都市の地表面は、土壌や植物、水など、自然を感じるものが減り、アスファルトやコンクリートの蓄熱しやすく透水性のない人工的な地表面が増加し、都市表面からは常に熱が放出されている。また、工場排熱をはじめとし、自動車やエアコンの利用などからの排熱は増加の一途をたどっている。都市そのものが都市を暖める熱源と化している。

昨今ヒートアイランド現象の対策として、各自治体などが主体となり、一斉打ち水などのイベントも行われるようになった。またそれらがテレビや新聞などのマスコミで報じられることが増えたように感じる。その他、ヒートアイランド現象の原因や影響、対策法についても同様に報道されるようになった。その一つである緑のカーテンは、手軽に行える上に、花や野菜を楽しむことがで

きるためか、実践している家庭は多く見かけるようになった。一方で屋上緑化も対策法の一つではあるが、その効果が感じられにくく、施工が困難であるために普及のスピードは遅い。

屋上緑化は、ヒートアイランド対策の他、景観の向上などの効果も期待され、一時は注目を集めたが、既存の建築物の屋上に長期間載せられる積載可能荷重が定められており、その施工は事実上困難である。その積載可能荷重は地震力荷重に屋上面積をかけたものであり、一般住宅の地震力は 600N/m^2 と建築基準法施行令第八十五条に定められている³⁾。そのため既存の建築物では、シバやセダム類を用いた薄層、軽量基盤以外は難しい。

軽量の緑化基盤の一つに底面灌水(給水)型の基盤がある。底面灌水型基盤の利点は土壌を用いないため、清潔、軽量で、余分な水の蒸発がないことであることなどである。このことから、屋内緑化用として用いられることがある。このような基盤は一般的な屋上緑化基盤に比べ、施工、移動が容易で利便性にも優れている。

筆者はこれまで、この底面灌水型緑化基盤の表面温度と蒸発散特性についても研究しており、シバやセダムと同等、もしくはそれ以上の冷却効果が期待できることを明らかにしている³⁾。その中でもテラスライム(*Ipomoea batatas* cv. Terrace Lime)基盤の潜熱量が特に大

きな値を示した。

本論文では、この底面灌水型緑化基盤を用いて屋上緑化を行い、底面灌水型緑化基盤が屋上緑化基盤としての適性を持っているか否かを明らかにすることを目的とする。また、サツマイモ (*Ipomoea batatas*) の底面灌水型緑化基盤、及び薄層、軽量基盤として用いられることが多い、コウライシバ (*Zoia matrella*)、ツルマンネングサ (*Sedum sarmentosum*) の緑化基盤の潜熱量、顕熱量等の熱収支を解析し、テラスライム基盤と比較することも目的とした。

2. 調査方法

(1) 調査地及び調査期間

調査地は和歌山市栄谷の和歌山大学システム工学部B棟の屋上、調査期間は2006年6月～10月、2007年8月である。この期間、特に天候条件が良い日に測定を行った。

(2) 実験用基盤及び植物の概要

a) 底面灌水型緑化基盤

底面灌水型緑化基盤（以下、実験用基盤）は、色及び内部構造の異なるA（図-1）、B（図-2）2つのタイプの基盤を用いた。基盤Aは白い基盤で、基盤Bは緑色の基盤である。基盤はそれぞれポリプロピレン製で、上部の植栽部と、下部の貯水部にわかれている。サイズは基盤Aが約490mm×490mm×100mm、基盤Bが約510mm×510mm×130mm、重量は約4.5kgと約3.5kgである。貯水量は基盤Aが約1.5ℓ、基盤Bが約4.5ℓである。

b) 調査対象植物種

以下の植物を実験用基盤の植栽植物とした。

①テラスライム 学名：*Ipomoea batatas* cv. Terrace Lime

②サフィニア 学名：*Petunia*×*hybrida*

③タピアン 学名：*Verben*×*hybrida*

なお、この3種の植物種、「テラスライム」「サフィニア」「タピアン」はサントリーフラワーズの登録商標であり正式和名ではない。

植物は土ではなく、特殊なスポンジ状のポットに植えられ基盤に固定した。実験用基盤は土壌を一切用いないため、清潔であるうえに非常に軽量という利点を持つ。

また2007年の調査では、この他にサツマイモ (*Ipomoea batatas*) の実験用基盤B、コウライシバ (*Zoia matrella*)、ツルマンネングサ (*Sedum sarmentosum*) の土耕基盤も調査比較対象とした。なおツルマンネングサは乾燥状態の基盤と、湿润状態の基盤の2種類を用いた。

c) 植物管理

実験用基盤の管理については、施肥として植栽時に一般の固形肥料を適量与え、その後は液体肥料を適宜与

えた。また月に1回程度、枯れ葉や花殻の取り除きを行った。灌水は、1日に1回から2回行った。本研究においてその他の管理は一切行っていない。ツルマンネングサの乾燥基盤には灌水を含め一切の管理を行わなかった。

(3) 測定方法

a) 実用基盤重量

調査期間である2006年6月～10月に4日毎に、各実験用基盤の上部重量を測定した。下部（貯水部）を除いた上部（基盤上部+スポンジ+植物+水）のみの重量を測定することで植物が生育した重量をより正確に測定した。

b) 植物被覆率

調査期間である2006年6月～10月に4日毎に、デジタルカメラにより各実験用基盤を撮影し、植物被覆率を解析する。写真は、画像解析ソフトによりコンピュータ上で解析し、植物面と基盤面の割合を求めた。

c) 蒸発潜熱

24時間降水が全く見られなかった夏期の晴天の日に測定を行い、植物種及び基盤別に比較した。重量計を用いて水分減少量を測定し、これを蒸発散量とした。各基盤の蒸発潜熱： IE (MJ/m^2) はこの蒸発散量： E (kg/m^2) より、それぞれ次の式(1)、式(2)により算出した。

$$IE = I \times E / 10^6 \quad (1)$$

$$I = 2.5 \times 10^6 - 2.4 \times 10^3 \times T \quad (2)$$

ここで、 I ：水の蒸発潜熱 (J/kg)、 T ：平均気温 ($^{\circ}\text{C}$) である。

d) 純放射量

純放射計により、対象基盤の純放射量を10分毎に測定した。

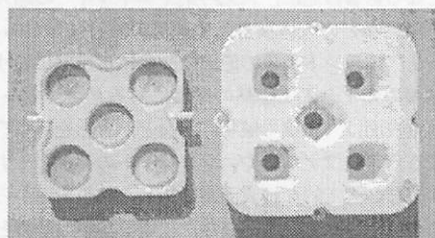


図-1 基盤Aの下部(左)と上部(右)

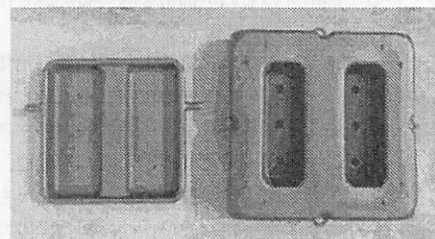


図-2 基盤Bの下部(左)と上部(右)

e) 熱伝導量

熱流板を緑化基盤の底面に設置し、10 分毎に熱流量を測定した。本研究における熱伝導量は、緑化基盤裏面から屋上のコンクリート表面への熱伝導量である。

f) 顕熱量

純放射量と、熱伝導量、蒸発潜熱から顕熱を算出する。顕熱量： V (MJ/m^2) は、純放射： R_n (MJ/m^2)、蒸発潜熱： IE (MJ/m^2) 及び伝導熱： A (MJ/m^2) より次式から求めた。

$$V = R_n - (IE + A) \quad (3)$$

3. 結果及び考察

(1) 基盤重量

基盤重量は植栽直後の時点で、その貯水量の差から基盤 A と B において大きな差が出た (図-3)。それぞれの最大基盤重量は、テラスライム基盤 A: $45.3\text{kg}/\text{m}^2$ 、テラスライム基盤 B: $57.8\text{kg}/\text{m}^2$ 、サフィニア基盤 A: $44.0\text{kg}/\text{m}^2$ 、サフィニア基盤 B: $54.4\text{kg}/\text{m}^2$ 、タビアン基盤 A: $43.5\text{kg}/\text{m}^2$ でテラスライム基盤 B が最も大きな値となった。また、基盤 B の方が A よりも成長速度も早く、日を追うごとに同じ植物種でも重量差が開いている。このことから、基盤 B の方が屋上環境において植物が生育する上で適していることがわかる。植物種による重量差も多少あるが、それ以上に基盤自体の違いが重量に大きく影響していた。

ある荷重設計例では草花・ハーブ類を用いた薄型軽量土壌工法でもその荷重は $82\text{kg}/\text{m}^2$ となることから⁹⁾、これら実験用基盤は比較的軽量な緑化基盤であるということがいえる。

(2) 植物被覆率

図-4 より、すべての基盤において 6 月 1 日の植栽後、約 1 ヶ月で被覆率が 90% から 100% に達していることがわかる。その後 9 月半ば頃まで、約 2 ヶ月半 80% 以上を維持することが出来た。しかし 9 月半ばになると、どの植物種も葉色が悪くなるなど、決して良いとは言えない見栄えになりはじめた。2007 年も 6 月に植栽し、被覆率が 90% 以上に達するまで 1 ヶ月程度かかった。

以上のことから、健全な状態で夏期を送るためには 6 月下旬から 7 月上旬に植栽することが適切ではないかと考えられる。長期間生育させたい場合は、適切な施肥や管理を行うことで植物を良い状態で維持できると考えられるが、このことに関しては別途検討する必要がある。

またテラスライムについては、つるを横方向に伸ばし、基盤を完全に覆い、実質上 100% 以上の被覆率となる。このため適切な植栽株数も、検討する必要がある。

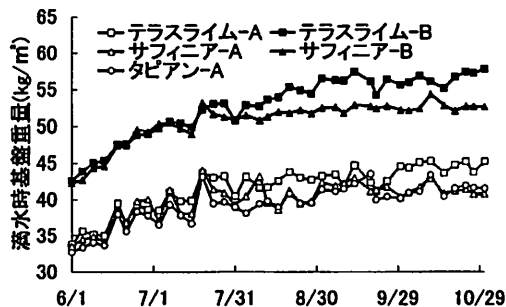


図-3 2006年6月1日～10月31日における満水時(最大)基盤重量の変化

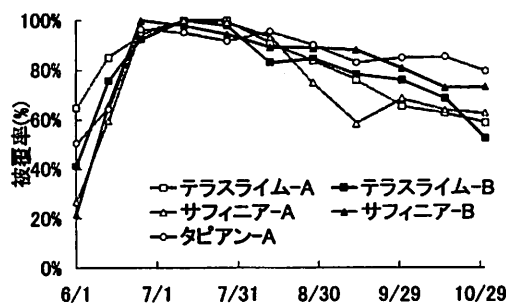


図-4 2006年6月1日～10月31日における植物被覆率の変化

(3) 蒸発散量

図-5 図-6 は、コウライシバ、及びテラスライム基盤 B の 1 時間あたりの蒸発散量のグラフである。測定日の前日にあらかじめ十分な灌水を行った上に調査を実施した。また、測定日は別であるが、両日とも晴天であり、真夏日であったためにほぼ同条件下であったとして比較することにした。両日の日積算日射量は 2007 年 8 月 11 日が $21.95\text{MJ}/\text{m}^2$ 、2006 年 9 月 2 日は $21.59\text{MJ}/\text{m}^2$ であった。

コウライシバの蒸発散量が最大を示したのは 12～13 時で、 $600\text{ml}/\text{m}^2$ 蒸発散した。日没を迎えるとその量は大幅に下がり、最小値であった 3～4 時の $20\text{ml}/\text{m}^2$ まで緩やかな減少傾向となった。

テラスライムの最大蒸発散量は $208\text{ml}/\text{m}^2$ であり、日中はほとんどの時間帯で $10\text{ml}/\text{m}^2$ 以上の蒸発散量が確認できた。最も低い値でマイナスを示した時間帯があるが、これは夜露による結露の影響であると考えられる。

今回の比較ではコウライシバとテラスライムで時間あたりの蒸発散量は最大で 4 倍近い差が出た。コウライシバの日積算蒸発散量は $5.52\text{l}/\text{m}^2$ 、テラスライムは $14.46\text{l}/\text{m}^2$ であった。コウライシバは、日中日射が大きくなっても蒸散量に大きな変化がなかったことから、 $500\text{ml}/\text{m}^2\text{hr}$ 前後がコウライシバの蒸散量の上限であったことが予想される。

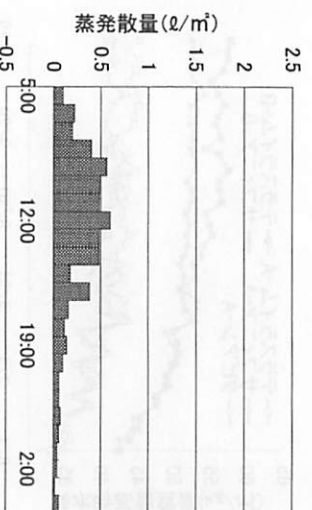


図5 コウライシソバの2007年8月11日5:00～12日5:00における蒸
発散量の時系列変化

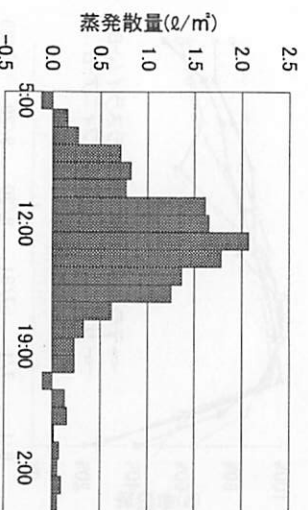


図6 テラスライム基盤Bの2006年9月2日5:00～3日5:00における
蒸発散量の時系列変化

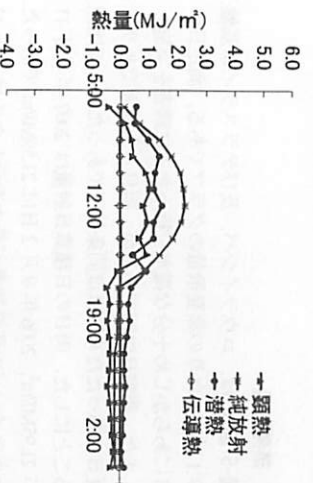


図7 コウライシソバの2007年8月11日5:00～12日5:00における各
熱量の時系列変化

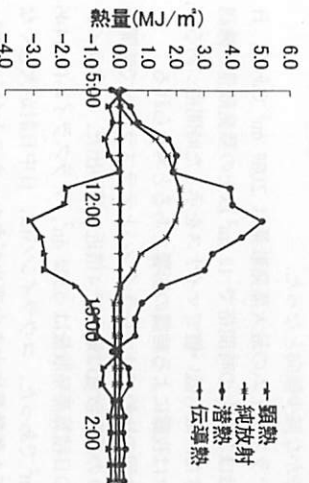


図8 テラスライム基盤Bの2006年9月2日5:00～3日5:00における
各熱量の時系列変化

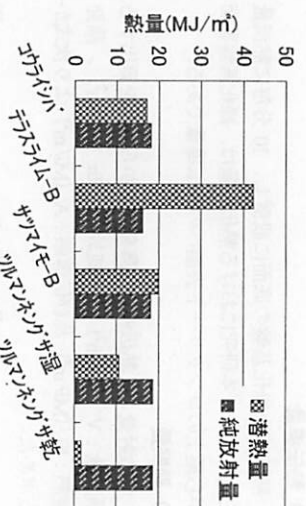


図9 2007年9月26日6:00～18:00の各緑化基盤の純放射量
と蒸発潜熱

(4) 熱収支

蒸発散量から潜熱量を算出し、その熱収支を計算したコウライシソバのグラフを図-7、テラスライムのグラフを図-8に示す。2007年8月11日と同様に快晴日で気候が安定していた2006年9月2日のテラスライムの熱収支を、コウライシソバの熱収支と比較した。夜間はコウライシソバ、テラスライム共に似た値をとっているが、日中は大きく異なっていた。

コウライシソバは、6時を過ぎて日が当たり始めると、顕熱量はプラスとなり、その後マイナスとなったのは日が傾き始めた16時であった。顕熱量の最大値は11時の1.1MJ/m²、最小値は17時の-0.4MJ/m²であった。日中に潜熱量が純放射量を上回ることではなく、大きな冷却効果は期待できなかった。夜間の顕熱量は、潜熱量の減少に伴い徐々に増加した。伝導熱量は1日を通して0に近く、顕熱量は大きかたには潜熱量によって決まることがわかる。テラスライムの顕熱量は1日を通してほとんどマイナスの値を示した。これは純放射量を潜熱量が大きく上回った結果である。今回の調査では、顕熱は主に11時～20時に大きなマイナスの値となり、日中の気温が高くなる時間帯に大きな冷却効果を発揮する傾向となった。顕熱量は最も潜熱量の大きかった14時に最小の-3.1MJ/m²を示した。よって、日中にテラスライム基盤Bを用いた緑化面は規模によっては、大きなクールスポットとなることが期待できる。

図-9は、コウライシソバとテラスライム、サツマイモ、ソルベンネグサの6時から18時の積算潜熱量を比較したグラフである。純放射量よりも潜熱量が大きいテラスライムとサツマイモは日中でも冷却効果をもたらすことが可能であることを示している。テラスライムの潜熱量の大きさは、表面温度の低さからも特に優れていることがわかる。ソルベンネグサはCAM型の植物であるにも関わらず、灌水を施した状態であれば、日中でもコウライシソバの約62%の蒸発散量を示した。

4. 総合考察

(1) 屋上環境下における底面灌水型緑化基盤の適性

本研究の結果、各植物基盤重量、被覆率の変化などの生育状況から、屋上環境において十分な適性があると判断する。ただし、2 種の実験用基盤においては基盤 Bの方が A に比べ植物の生育状況がより良好であった。基盤 A はその構造から、B に比べてスポンジに給水されにくいという、貯水量の少ないためにその差が出るのではないかと考えられる。なおテラスライムが大量の水を必要とすることがわかったが、和歌山市の 2006 年 8 月の積算降水量は約 90mm であった⁹⁾ことから、雨水による灌水はテラスライム基盤 B で約 490mm も足りない計算になる。このことから、実用化に向けてには水資源の確保について十分に検討する必要がある。

(2) 各緑化基盤の熱収支解析

今回の調査では、緑化植物として、蒸散量が非常に大きな特性を持ったテラスライムと、一般的な植物種であるコウライシバ、ツルマンネングサの潜熱量を比較し、その差を明らかにすることが出来た。しかし、テラスライムの潜熱量の大きさが何によるものなのか明らかにすることはできなかった。また、今回の調査は比較対象基盤

の種が少ないこと、サツマイモの生育状況に問題があったことなど、多くの改善すべき点があるため、今後さらに緻密な計画の上、継続していく必要がある。

謝辞：本研究は、サントリー(株)およびサントリーフラワーズ(株)より基盤及び植栽植物等の提供を受けて実施した。

また、本研究は財団法人都市緑化機構の研究助成を受けて実施している。

参考文献

- 1) 環境省：ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査報告書、(<http://www.env.go.jp/air/report/h15-01/index.html>), 2003.
- 2) e-Gov: 建築基準法施行令、(<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S25/S25SE338.html>), 2008.
- 3) 大竹雄平, 山田宏之: 屋上緑化用の底面灌水型緑化基盤の表面温度比較と蒸発散特性, 第35回環境システム研究論文発表会講演集, pp.93-97, 2007.
- 4) 財団法人都市緑化技術開発機構 特殊緑化共同研究会 編: 知っておきたい屋上緑化のQ&A, pp. 74-75, 鹿島出版会, 2003.
- 5) 増田芳雄 著: 植物生理学, pp. 199-201, 培風館, 1992.
- 6) 気象庁: 電子閲覧室 和歌山市, (<http://www.data.kishou.go.jp>), 2006.

THE APTITUDE EXAMINATION OF ROOFTOP GREENING AND THE ANALYSIS OF A HEAT BALANCE USING A BOTTOM IRRIGATION TYPE PLANTING BASE

Yuhei OHTAKE and Hiroyuki YAMADA

The purpose of this paper is to investigate the aptitude of the bottom irrigation type planting base for rooftop greening, and conducting heat balance analysis of that greening system.

It was judged that there was sufficient aptitude in the greening system from the plants growth situation and weight changes.

As a result of comparing the experimental planting base using some kinds of plants, the amount of evapotranspiration of the planting base using a *Ipomoea batatas* cv. *Terrace Lime* was the largest.

The amount of sensible heat from the planting base of *Terrace Lime* showed -3.1 MJ/ m²/hr of the minimum value from 12:00 to 13:00.