

壁面緑化植物の蒸散作用による温熱環境改善効果

The study of cooling effects for thermal environment by transpiration of wall greening plants

三坂育正*・鈴木弘孝**・藤崎健一郎***・成田健一****・田代順孝*****
Ikusei MISAKA*, Hirotaka SUZUKI**, Ken-ichirou FUJISAKI***,
Ken-ichi NARITA**** and Yoshitaka TASHIRO*****

要旨: 壁面緑化植物の蒸散作用による建物周辺の温熱環境改善効果を定量的に明らかにしていくことを目的として、実験を行った。実験には、壁面緑化に一般的に使用されているつる植物のヘデラカナリエンスをプランターに植栽したものをを用い、重量法によって蒸散量を推定した。測定の結果、土壌蒸発量を差し引いたヘデラカナリエンスの重量法から推定される日蒸散量は、緑化部分の垂直面積あたり 0.6mm 程度であった。また、日中における蒸散による潜熱フラックスは、正味放射量の約 25% 程度であり、この分が顕熱や伝導熱の低減に寄与し、周辺暑熱環境緩和に貢献できるものと期待できる。

キーワード: 壁面緑化, 蒸散量, 潜熱フラックス

Abstract: This study aimed to quantitatively evaluate the effects of thermal environment improvement by transpiration of wall-greening. *Hedera canariensis*, which are commonly used for greening walls, were planted in planters, and their transpiration rates were monitored by weight measurements. As result s of experiments, amounts of transpiration value a day is about 0.6mm and the rate of latent heat flux by transpiration to net radiation is about 25%. These results show the latent heat consumption of transpiration at greening system to prevent increase sensible heat and cooling load.

Key words: wall-greening, transpiration rate, latent heat flux

はじめに (INTRODUCTION)

近年、都市のヒートアイランド現象の顕在化に対して、地表面被覆の改善策として、都市内の緑地面積を増やす必要性が高まっている。しかしながら、建物が高密度に集中した都市では、まとまった緑地を地上部で面的に確保することは困難であり、建物の屋上や壁面等の建物緑化が都市緑化推進の主要な施策として位置づけられる。

屋上緑化に関しては、すでに民間部門においても、技術開発や普及が進んでいる段階にあり、そのヒートアイランド緩和効果に関しても、三坂ら (2005) や萩島ら (2004) 等のように、実験・実測に基づくデータや資料が整備されつつある。

一方で、壁面緑化に関しては、技術面においてもいまだ開発途上にあり、今後さらなる技術開発と普及を促進するためには、そのヒートアイランド緩和効果について、定量的に評価できる基礎的データの蓄積が必要であると

考えられる。

壁面緑化による温熱環境改善効果に関しては、梅干野ら (1985) や沖中ら (1994) が日射遮蔽や建物への貫流熱低減効果について示しているが、これらは建物熱負荷低減の効果として評価されるものである。また、ヒートアイランド緩和や周辺温熱環境改善の効果としては、鈴木ら (2005) が放射環境改善効果を示しているが、建物緑化の効果として、植物の蒸散に伴う潜熱消費による顕熱の抑制効果が挙げられ、今後適切に評価を行うことが重要であると考えられる。

壁面緑化植物を対象とした蒸散効果の評価は、野島ら (1998) の蒸散速度の計測による蒸散量推定の試みや、高尾ら (2004) の行った S A T 計を用いた実験による蒸散量推定等が挙げられる。これらの実験では、壁面緑化における蒸散量の推定が提案されているが、データの蓄積や検証が十分であるとはいえない。

そこで、本研究では、壁面緑化に一般的に使用されて

* ㈱竹中工務店技術研究所 先端研究開発部

*** 日本大学生物資源科学部

***** 千葉大学園芸学部

** 独立行政法人建築技術研究所

**** 日本工業大学工学部建築学科

いるつる植物を対象とした重量法による蒸散量の測定を行い、壁面緑化による蒸散効果やそれに伴う温熱環境改善効果を、定量的に評価するための基礎的データを得ることを試みた。

1. 研究の方法 (METHODS)

1. 1 実験装置

実験は、茨城県つくば市にある研究施設建物の1階屋上部の南に面した壁に、試験体であるプランター植の植物を並置して行った。各プランターには金属製の支持材を立てて、植物を幅0.5m、高さ1mの範囲で完全被覆させた上、プランターは壁面から約600mm離して設置した。プランターの規格は、タテ400mm、ヨコ700mm、深さ200mmであり、培土として保水性の良い黒土を使用した。試験に用いる植物は、ヘデラカナリエンス (*Hedera Canariensis*) とし、プランターは3基設置した。また、土壤蒸発量を単独で測定するために、同じプランターにヘデラカナリエンスと類似した形状のプラスチック製の模造植物を植栽したもの(以下、ダミープランター)を設置した。植物試験体の概要について図-1に示す。

1. 2 測定機器と計測方法

測定項目と測定機器について表-1に示す。緑化試験体ならびに計測機器の設置状況に関して図-2に示す。

温度・湿度・風向・風速・日射量といった一般気象状況については、試験体から約3mの地点に、計測機器を設置し自動計測を行った。また、壁面緑化試験体の表面からの距離500mm、屋上面からの高さ500mmの地点に長短波放射計を鉛直に設置し、植栽に入射あるいは反射・放出される放射量を計測した。

蒸発散量は、日の出直後の5時から日没後の19時まで、試験体のうち、植物1体とダミー1体について毎時重量計測を行った。また、1体の重量測定に時間を要することから、他の2体については、5時と19時に測定を行い、1日間の重量変化を測定した。

なお、植栽の葉面積については、計測終了後、植物試験体の0.25m四方よりすべての葉を採取し、スキャナーで葉の面積を読み取ることで、葉面積指数を算出した。

1. 3 実験スケジュールと散水条件

プランターの設置は2004年7月20日に行い、計測日前日まで毎朝6時の定時灌水で養生を行った後、7月28日より連続計測を開始した。重量や蒸散速度の測定については、降雨の影響のないことを確認した上で、2004年7月28日、8月2日、6日の3日間を対象に行った。

なお、各プランターへの散水は重量測定実施日の前日の日没後に行い、測定開始時の土壤含水条件を均一にす

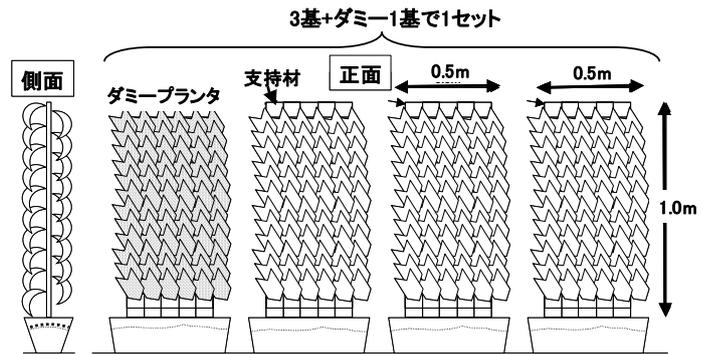


図-1 植栽試験体の概要

表-1 測定項目と測定機器

区分	計測項目	計測機材	測定機器	点数
気象条件	日射量	日射計	ブリード PCR-02	1
	風向・風速	風向・風速計	英弘精機 MA-130	1
	気温・湿度	温湿度計	VAISALA HMP35D	1
蒸散量	プランタ重量	電子天秤(台秤)	新光電子 CG-60K	1
放射量	長短波放射量	長短波放射計	英弘精機 MR-50	3
葉面状態	葉面積指数	デジタルカメラ	-	-

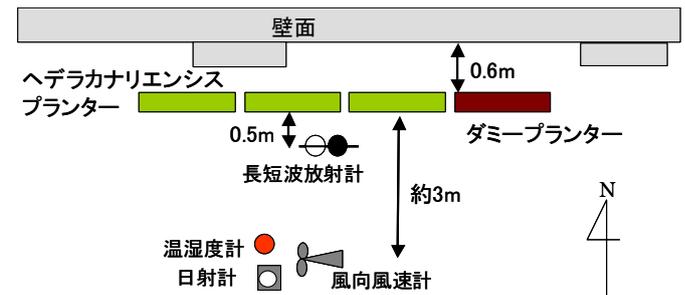


図-2 緑化試験体および計測機器設置状況

るため、プランター底部から水が漏れるまで十分な量を与え、実験開始までに十分な排水を行った。

2. 計測結果 (RESULTS)

2. 1 気象概況および葉面積密度

蒸散実験計測日を含む7月28日から8月7日までの10日間の日射量と風速、気温と相対湿度の推移について図-3に示す。この期間中における天候は、いずれの日も時折雲がかかったが、7月29日を除くと日中の日射量は800W/m²を超えており、最高気温は30℃を越す真夏日であった。風速に関しては、測定期間中を通して、夜間は弱く日中にやや強くなる傾向が見られた。計測日の7月28日と8月2日、6日の天候を比較すると、8月2日の日中の風速がやや大きくなっていた点を除けば、日射量、気温、相対湿度は、ほぼ同等であったと言える。

また、重量計測終了後に測定したヘデラカナリエンスの葉面積指数LAI (m²/m²) は、3.43 (m²/m²) であった。

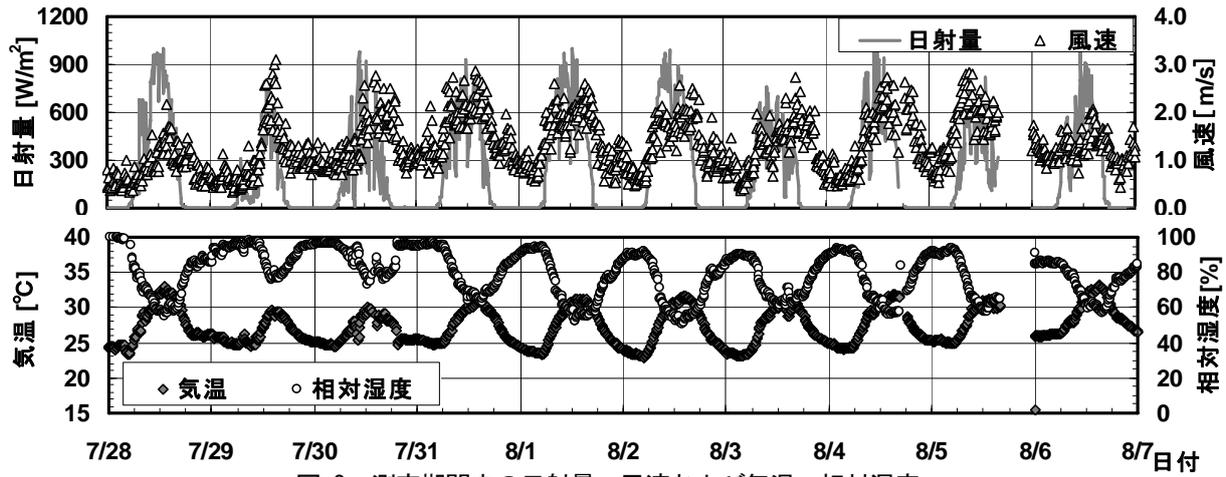


図-3 測定期間中の日射量, 風速および気温, 相対湿度

2.3 重量法による蒸散量の計測結果

重量変化より算出した蒸発散量の計測結果を図-4に示す。壁面緑化植物の葉面からの蒸散量は、植栽したプランターの重量変化からダミープランターの重量変化を差し引くことによって算出した。蒸発散量および蒸散量は、壁面緑化の単位面積当たりとした。7月28日の結果を見ると、ダミープランターの蒸発量の変動が大きく、一部の時間帯では植栽したプランターの蒸発散量よりも多くなり、植物からの蒸散量がマイナスと表示されている。この要因として、ダミープランターの土壌付近における模造植物による被覆面積が小さく、植栽したプランターの被覆を十分に再現されず、土壌面での蒸発面積の条件が異なっていたことが考えられる。そこで、7月29日以降においては、ダミープランターの土壌部分の植被割合が、他の植栽したプランターとほぼ同等になるように、模造植栽で被覆を行った。8月2日および6日における結果は、模造植栽の修正した後の結果である。

すべてのプランターの重量法で得られた日蒸散量を、表-2に示す。平均値については、模造植栽の修正を行った後の8月2日、6日の平均とした。蒸発散量と蒸発量の変化を見ると、蒸発量の比率が大きく、ダミープランターからの蒸発量が蒸発散量の70%程度と高くなっている。また、壁面緑化植物における葉面からの日蒸散量は、緑化部分の垂直面積あたり0.6mm程度であった。

3. 考察 (DISCUSSION)

壁面緑化による周辺温熱環境への影響に関して、熱収支評価を試みた。図-5には、8月2日および6日における長短波放射計で計測した、壁面への入射・反射日射量と正味放射量(長波・短波放射の収支量)の経時変化を示す。両日とも、南向きの壁面に試験体を設置して実験を行っているために入射日射が小さく、入射日射は最大で

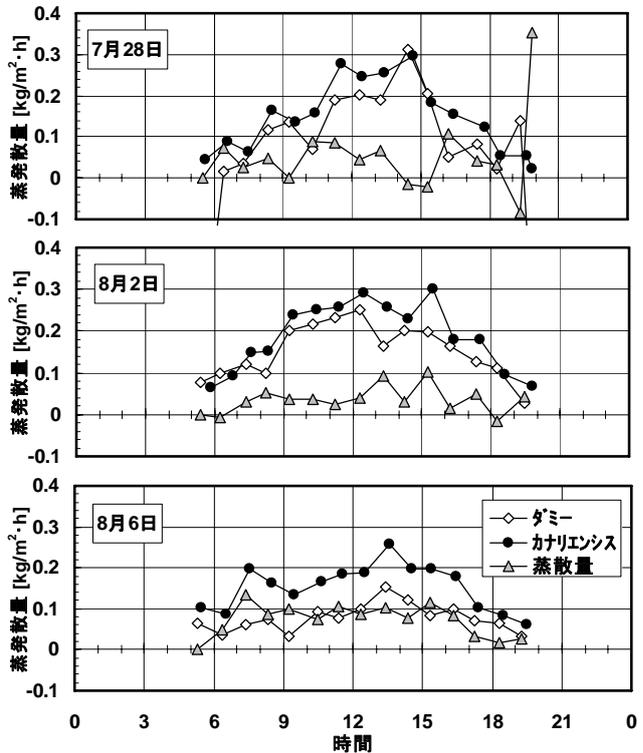


図-4 重量法による蒸発散量の経時変化

表-2 重量法による日蒸散量(蒸発量)

単位 (kg/m ² /day)	ヘデラカナリエンシス			
	7月28日	8月2日	8月6日	平均(8月2,6日)
プランタ①	2.322	2.804	2.192	2.498
プランタ②	1.636	2.034	1.450	1.742
プランタ③	2.146	2.706	2.318	2.512
平均値	2.035	2.515	1.987	2.251
ダミー	1.764	2.121	1.098	1.610
日蒸散量	0.271	0.394	0.889	0.641

300W/m²程度、正味放射量は最大で200W/m²程度であった。

重量法によって得られた蒸散量E(kg/m²·h)から潜熱フラックスを算出した。算出に用いた式は以下に示す。

$$LE = L \times E$$

$$L = 2.5 \times 10^6 - 2400 \times \theta a$$

LE: 潜熱輸送量 [W/m²], L: 気化の潜熱 [J/kg]

E: 蒸発速度 [kg/m²·h], θa: 表面、外気温度 [°C]

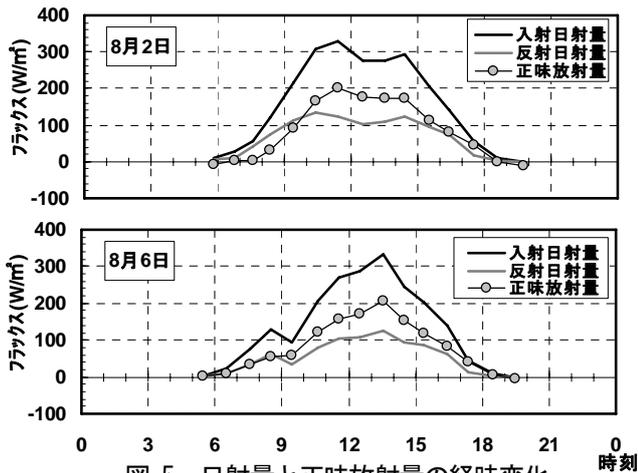


図-5 日射量と正味放射量の経時変化

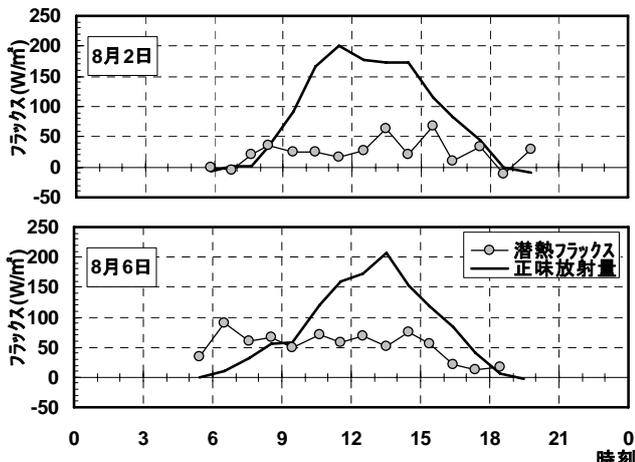


図-6 正味放射量と潜熱フラックスの経時変化

潜熱フラックスの経時変化を正味放射量の測定値と併せて、図-6に示す。経時変化では、日中における潜熱フラックスは最大で80W/m²程度に達している。

また、正味放射量と潜熱フラックスの関係を図-7に示す。正味放射量と潜熱フラックスの関係は、ばらつきは見られるものの、図の傾向から、ヘデラカナリエンスでは正味放射量の約25%が蒸散による潜熱で消費されていることになる。日蒸散量は0.6mm程度であり、その割合に比べると、正味放射量に対する潜熱フラックスの割合が大きいことが特徴的であるといえる。

以上の結果より、壁面緑化を行うことによって、正味放射の約25%を蒸散に伴う潜熱で消費し、その分壁面からの顕熱フラックスや建物内への貫流熱を低減する効果が期待される。夏季日中では、顕熱フラックス低減による周辺暑熱環境の緩和や、貫流熱低減に伴う空調負荷低減といった効果が期待できるものと考えられる。

おわりに (CONCLUSIONS)

壁面緑化で使用されているヘデラカナリエンスを用いた実験を行い、蒸散効果に関する評価を試みた。実験

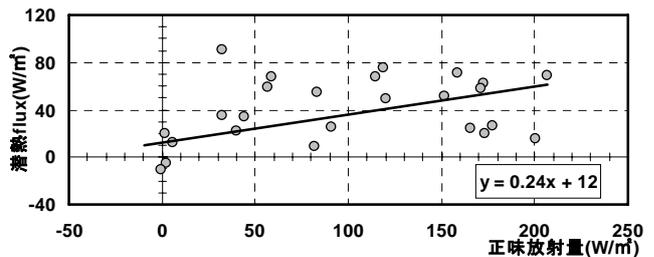


図-7 正味放射量と潜熱フラックスの関係

で得られた主な結果は以下のとおりである。

- ① 重量法による計測結果から推計した、つる植物による壁面緑化の日蒸散量は、垂直緑化面積あたり0.6mm程度であった。
- ② 壁面緑化の表面における、蒸散に伴う潜熱フラックスは正味放射の約25%であった。蒸散による潜熱消費の分、壁面からの顕熱や建物への伝導熱フラックスの低減効果が期待され、夏季日中の周辺暑熱環境の緩和や空調熱負荷を低減する効果が期待できる。

今回の実験で得られた結果は、実験計測期間やデータ数も限定されている等の理由から、さらにデータの蓄積を図ることが必要と考えられる。特に、蒸散量の推定法に関しては、他の評価手法（例えば熱収支項の潜熱以外のフラックスを高精度に測定し、蒸散量を残差としての算出など）の検討が必要と考えられる。壁面緑化の蒸散による効果を明らかにすることで、都市の温熱環境改善の定量的な効果計測と評価技術の確立に寄与するものと考えられる。

謝辞 (ACKNOWLEDGEMENTS)

本研究の実施に際して、九州大学総合理工学研究科萩島理助教授より、測定機器の貸与とご助言を頂いた。また、測定にあたり、日本工業大学工学部学部生（当時）の箭内孝氏に協力を頂いた。さらに、本稿とりまとめに当たり、筑波大学大学院生命環境科学研究科福田講師よりご助言を頂いた。ここに記して、感謝の意を表します。

引用文献 (REFERENCES)

- 萩島理・成田健一・谷本潤・三坂育正・松嶋篤・尾之上真弓(2004) 大規模な階段状緑化屋根を有する建築物周辺の微気象に関する実測調査。日本建築学会環境系論文集, 577, 47-54
- 梅干野晃・茶谷正洋・八木幸二(1985) ツタの西日遮へい効果に関する実験研究。日本建築学会計画系論文集, 351, 11-17
- 三坂育正・石井康一郎・横山仁・山口隆子・成田健一(2005) 軽量・薄層型屋上緑化技術のヒートアイランド緩和効果の定量評価に関する研究。日本建築学会技術報告集, 21
- 野島義照(1998) 都市における植生からの蒸散による夏季の温熱環境改善力に関する研究。京都大学学位論文, 89-133
- 沖中建・野島義照・小林達明・瀬戸裕直(1994) ツル植物の被覆がコンクリート建物の壁面温度に及ぼす効果。千葉大学園芸学部学術報告, No. 48, 125-134
- 鈴木弘孝・三坂育正・村野直康・田代順孝(2005) 壁面緑化による建物外部の温熱環境改善効果に関する研究。ランドスケープ研究, 68(5), 503-508
- 高尾京子・谷本潤・萩島理(2004) 壁面緑化システムの熱収支構造に関する長期屋外観測。日本建築学会学術講演梗概集, 711-712