

貯水型屋上緑化システムの ヒートアイランド緩和効果に関する研究

横山 仁 三坂 育正* 三輪 隆* 石渡健太郎**
佐々木啓行 青木 正敏** 石井康一郎
(* (株)竹中工務店 **東京農工大学)

要 旨

貯水型屋上緑化システムのヒートアイランド緩和効果を明らかにするために、従来の軽量薄層型屋上緑化システムとの比較実験を行った。その結果、貯水型屋上緑化システムは従来型屋上緑化システムに比べ、表面温度が平均で約 2℃、最大で約 5℃低かった。潜熱は約 1.4 倍であったのに対し、顕熱は約 1/3 であった。また、貯水型屋上緑化システムは降雨直後だけでなく、その後無降雨状態が継続しても従来型システムを上回る蒸発散が認められた。両システムの蒸発散量の差は、強日射（正味放射）条件ほど大きかった。

キーワード：ヒートアイランド、雨水利用、屋上緑化、熱収支、蒸発散

Study of Mitigating Urban Heat Islands by Rooftop Greenery System with Container Tank of Rain Water

YOKOYAMA Hitoshi, MISAKI Ikusei*, MIWA Takashi*, ISHIWATA Kentaro**
SASAKI Hiroyuki, AOKI Masatoshi**, ISHII Koichiro
(* Takenaka Corporation R&D Institute, ** Tokyo University of Agriculture and Technology)

Summary

In order to carried out for mitigating the urban heat island effect by the rooftop greenery system with container tank of rain water(Tank system), we examined with the conventionally light and thin rooftop greening system(Conventionally system). As a result, surface temperature on the Tank system was lower 2°C On an average and 5°C At the maximum than the Conventionally system. As follows likewise, latent heat flux and sensible heat flux of the Tank system was 1.4 and 1/3 times larger than the Conventionally system. The Tank system continued evapotranspiration to exceed the Conventionally system at no rain condition. The difference between evapotranspiration of these systems was larger so that sunlight was stronger (net radiation was larger).

Key Words: Evapotranspiration, Heat balance, Rain Water Use, Rooftop Greening, Urban Heat Islands

1. はじめに

ヒートアイランド現象は、都市の中心部の気温を等温線で表すと郊外に比べて島のように高くなることから命名された都市部の熱汚染現象である。その原因として、都市化により緑地や水面、農地等が減少し、アスファルトやコンクリート等の人工構造物が増え、熱が吸収・蓄熱されやすくなったことや、エアコンや自動車からの人工排熱が増加していることなどがあげられている^{1,2)}。

ヒートアイランド対策としては、人工排熱の削減や地表面被覆の改善等が考えられるが、後者の一環として市街地の緑化面積を増やすことが進められている。

東京都では、平成 12 年に「東京における自然の保護と回復に関する条例」通称自然保護条例を全面的に見直し、市街地等の緑化を一層推進することとした³⁾。その一環として、地上だけではなく、新たに緑を増やせる緑化スペースとして建築物の屋上等の緑化の指導を平成 12 年 4 月から開始した。自然保護条例では、一定規模以上の建物の新增改築時における屋上緑化を義務付けているが、既存の建物には特に規定はなく、既存建物の屋上緑化の普及は十分に進んでいない。

近年、既存建物に対応した屋上緑化システムとして、軽量薄層の基盤を持つシステムが普及してきている。しかし、屋上における薄い土壌に根付いた植物は常に高温乾燥の過酷な環境条件にさらされている。このことから、屋上緑化植物は水ストレス・熱ストレスを受けやすく、常に枯死の危険性にさらされている。加えて、土壌水分が少ない状態や植物の被覆度の低い状態では、十分にヒートアイランド緩和効果が発揮されないものと考えられることから、植物の健全な生育が不可欠である。健全な生育のためには、定期的な灌水が必要とされるが、それは夏季における上水道の使用量を増加させるなど、潜在的な環境負荷を増大させるという懸念がある。

したがって、植物への十分な給水量を確保しながらも、上水の使用量を抑制し、なおかつ集中豪雨等による洪水を抑制できるような貯水性能の高い屋上緑化システムが望まれる。

本研究は、雨水を貯留することで節水とともに雨水流出遅延効果をもたせた貯水型屋上緑化システム⁵⁾のヒートアイランド緩和効果を明らかにするために、従来の軽量薄層型屋上緑化システムと熱環境を比較した。

2. 試験体の概要

(1)従来型屋上緑化システム

アルミニウム製の枠で固定した塩ビ製トレー (500mm×500mm×80mm H) に、人工軽量土壌 (有機質、湿潤比重 0.8 程度：東邦レオ社製ビバソイル) を充填し、植物 (コウライシバ) を植栽したものを従来型屋上緑化システム (以下、従来型システム) とした。詳細は、横山 (2004)⁴⁾を参照されたい。

(2)貯水型屋上緑化システム

貯水型屋上緑化システム (以下、貯水型システム) は、FRP 製容器 (500mm×500mm×250mmH) 内に、植栽部を支持するための高さ 200mm の樹脂製支持部材を設置し、緩効性高度化成肥料やゼオライトを低融点ポリエステルで熱融着した廃ポリエステル繊維製マット (480mm×480mm×20mmH) を乗せ、その上に植物 (ノシバ) を植栽したものである。貯水型システムの模式図を図 1 に示す。貯水型システムは、容器の下部 100mm (長期貯留層) に雨水を貯留し、樹脂製支持部材により容器の最上部に設置された植栽部へ給水用不織布の毛管現象により給水を行うものである。一方、容器の上部 100mm (短期貯留層) は排水用不織布により常時は貯水の空き容量として確保しつつ、大雨時には短期的に雨水を貯留した後、排水用不織布の毛管現象により徐々に排水を行うものである。貯水型システムは、三輪(2006)⁵⁾に基本性能が記されている。

なお、従来型システムではコウライシバを用いていたが、貯水型では、常に湿潤状態にある植栽環境を考慮し、より耐湿性・耐病性の高いノシバを用いた。しかし、両者はともに耐乾性・暑熱性に優れたシバで、生理・生化学的特性にほとんど相違がないことから^{6,7)}、本研究では同一条件での比較は問題ないものと判断した。

3. 実験方法

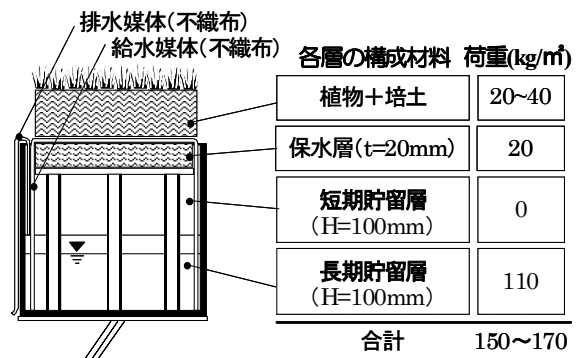


図 1. 貯水型屋上緑化システムの概要

実験は、2006年8月21日～12月18日に、東京都環境科学研究所自動車排出ガス実験棟屋上にて行った。上記のうち、9月15～28日は表面温度等の集中観測を行った。

従来型および貯水型それぞれの試験体の高さ約30cmの位置に、正味放射計および赤外線熱電対を設置し、放射収支ならびに表面温度を測定した。また、土壌中の温度を測るために表面から下部1cmに熱電対を設置するとともに、貯水型システムでは水温を計るため、水中に熱電対を設置した。表面から土壌への熱流量を測るため、表面から下部1cmに熱流計を設置した。蒸発散量は電子天秤により、その重量変化から測定した。以上の測定項目のほか外界条件として、全天日射量、大気放射量、風向・風速、温度・湿度を計測した。屋上の中央付近に設置された高さ3mの観測用ポールの最上部に風向・風速計を、屋上面から2mの位置に日射計、大気放射計を、屋上面から1.5mの高さには通風式温湿度計を設置しそれぞれ測定を行った。各計測データは、1分間の平均値をデータロガーに収集した。なお、集中観測時には、表面温度と蒸発散量を30分おきに9:00～17:00まで測定した。実験の状況を図2に、測定項目を表1に示す。なお、貯水型システムは実験期間中、漏水することはなく、常に長期貯留槽から植栽部に水が供給される状態にあった。



従来型システム

貯水型システム

図2. 従来型（左図）および貯水型（右図）システムの実験状況

表1. 測定項目および測定機器

表3-2 測定項目と測定点、測定機器				
測定種類	測定項目	測定機器	測定点数	備考
従来型屋上緑化システム	正味放射量	放射収支計 CPR-G7	1	集中観測時
	表面温度	赤外線熱電対 IR-L/c.SV-T-90F	1	
		サーモカメラ TVS-610	1	
	地中温度	T型熱電対 T-TGC	2	
	伝導熱流量	熱流計 CPR-PHF-01	1	
	重量	電子天秤 SB32000	2	システムが重量制限オーバーのため、2台で測定
貯水型屋上緑化システム	正味放射量	放射収支計 CPR-G7	1	集中観測時
	表面温度	赤外線熱電対 IR-L/c.SV-T-90F	1	
		サーモカメラ TVS-610	1	
	地中温度	T型熱電対 T-TGC	2	
	伝導熱流量	熱流計 CPR-PHF-01	1	
	重量	電子天秤 LDS-60H	1	
外界条件	気温・湿度	温湿度計 CVS-HMP-45D	1	測定タワーを設置して計測
	風向・風速	風車型風速計 CVG-5103	1	
	日射計(全天日射量)	MS-402	1	
	大気放射(長波放射)	精密赤外線放射計 MS-402	1	
	データ収録	データロガー マイクロロガー C-CR10X	1	

4. 結果と考察

(1)表面温度

晴天となった9月21日の正午における熱画像を図3に、観測期間中(9月19～21日)の時系列データを図4に示す。観測期間中は、平均して貯水型が従来型に比べ約2℃低くなっていた。日中強い日射にさらされた20日と21日についてはシステム間の差異が大きく、特に21日については10時半から13時までで4.5℃、最大で5℃程度の表面温度差が見られた。

図3. 従来型（左図）および貯水型（右図）システムの熱画像
(2006年9月21日、11:30)

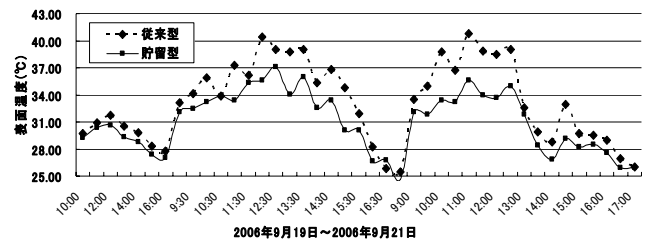


図4. 従来型および貯水型システムの表面温度の推移
(2006年9月19～21日)

(2)熱収支

本研究では表面の薄い層の熱収支を考え、熱容量は無視し、層に入るエネルギーと出るエネルギーはいつも等しいとした⁷⁾。熱収支式は以下の式で表される。

$$R_n = H + IE + G \quad (1)$$

R_n : 正味放射 (W/m^2)、 H : 顕熱 (W/m^2)、 IE : 潜熱 (W/m^2)、 G : 伝導熱 (W/m^2)

潜熱 IE は、試験体の重量変化から蒸発散量 E ($g/h \cdot m^2$) を測定し、水の蒸発潜熱 (J/kg) と表面温度 T_s ($^{\circ}C$) を用いて求めた。求められた潜熱と実測により求めた正味放射量と伝導熱から、(1)式より顕熱を算出した。

一般に屋上緑化されていない建物の場合には、表面が濡れている場合を除けば蒸発散による潜熱の消費がないため、屋上に入ってきた放射収支量は顕熱と伝導熱に分配される。顕熱は大気を直接暖めるため、大気加熱量と表現することも可能で、この熱がヒートアイランドを促進させる主要因とされている⁸⁾。

また、伝導熱として屋上から建物躯体に伝わった熱は、夏季においては最上階の貫流熱負荷(冷房負荷)となる。この負荷を処理するための冷房運転によるエネルギーは、最終的には人工排熱として都市大気に放

* , 9 S ā §0» s6Î - ƒ Ú&ç " • é Î ā Ç ÿ
Æ ā ā ƒ Ú •

- (1) --+5Y ÷ 2 ê " â ê 3 ð ' { * , 9 S æ § ô /,
Ó 3 ð ' { * , 9 S é Ç Ç " â&, 2 ` ""
" â&, 5 ` Ð Æ ƒ Ú •
- (2) /, Ó 3 ð ' { * , 9 S ê â ê 3 ð ' { * ,
9 S æ § ô ^2 ü p Ç w Ð á ç Ú • Ô â Ü "
/, Ó 3 ð ' { * , 9 S ê â ê 3 ð ' { * ,
9 S æ § ô " œ ^2 Ç &, 1.4 Z â "5ü ^2 ê&, 1/3 â
½ ƒ Ú • ù Ú " µ É ^2 ê B ü á Ö Ê â ½ ƒ Ú •
- (3) /, Ó 3 ð ' { * , 9 S ê "4 5 "â ß Ú Î â á
Ê " u4 5 A Ç&î&ï Ô A æ Å ç á ý " â
ê 3 * , 9 S Á E o ; \ f < ' - z 2
Ç ,&ï Ô Î ā Ç Æ ƒ Ú • ù Ú Ø é 2 ê "
E o ; \ f < û / N Ç 5ü *0 æ á æ ™
9Ô \ g | ç 2, Ç " È ç 9Ö ö ä " " È ç Î ā
Ç Æ ƒ Ú •

ó((¥ ,

- 1) E o ; \ f < »%w4P % -"í1j&Ê ¾/ 9æ E o ;
\ f < »%w " " pp.18(2004).
- 2) E o ; \ f < é »%w ā Ũ- ê \ z', G
)Ó ´ \$ p91:* 939Ô20049Ö
- 3) ò i1ú9æ E o ; \ f < »%w &µ Ç2Ž:!*c 01ú
Ò ò i é s û æ 0 ì á:* " pp.43(2003).
- 4) ð ' { é E o ; \ f < ' - z 2 9Û0-2,+o
3 ð ' { æ4P Ô .9Û ® s" 4É 6 "
#y W = û1â ò i1úlc °\$| G#†\$â ^2 Ž 2004
p3:* 23 (2004)
- 5) /, Ó 3 ð ' { * , 9 S é4?" " ā n Ä H(» .O
0Û4É " (' \ "#y W = û1â " ® s" 4É
6 ò i1úlc °\$| G#†\$â ^2 Ž 20089Ô20089Ö
- 6))¼!ç ā' { ā Ä)¼*2 G ¾', 0 H ; (f ,
\$ p13* 199Ô19879Ö
- 7) '\$è4F é .!¹ ā.3. l e " V r. ^ "1-+®
4ö R*0 &» ā.ž O ³ p285 (1999Ö
- 8) lc 0"i9æ ´ 13 2 E o ; \ f < »%w » :.ž
O . : K Ž T "%Y9á%(»%w Ũ- É l 2 é.O
» : é . " pp.135-184 (2002).