

屋上緑化のヒートアイランド対策効果に関する研究

尾之上 真弓*

Effects of Roof Planting as a Measure of Heat Island Mitigation

Mayumi ONOUE

1. はじめに

近年、都市の急激な都市化に伴うアスファルト舗装や建物のコンクリート化などによる防水表面の増加が原因によるヒートアイランド現象が問題になっている。その対策の一つに都市緑化がある。これは植物による蒸発散効果を利用し都市の温暖化を緩和しようとするものである。しかし、都市において、緑化するスペースを得ることは困難であり、建物の屋上に緑化する屋上緑化が今注目を浴びている。屋上緑化の義務化が推進される中、植栽による蒸発散量などの明確なデータはなく、屋上緑化に関しても建物内部の研究は多くされているが、建物外部への熱環境の影響などは明確な研究データは示されていない。

そこで本研究では、都市緑化の主たる手法としての屋上緑化に対して、緑化手法や材料・植種の違いが建物内外に及ぼす影響を評価する。

別に、屋上緑化による屋外環境影響の把握を行なうことを目的として、福岡市内に計画・施工された階段状の緑化屋根スペース(以下ステップガーデン)を有する建物に関して、建物周辺の温熱環境の実測を行なった。同時に、過去の実測データより確認された冷気流を目視により明確に確認するため、可視化実験も行なった。

2. 緑化手法の違いによる熱的効果の比較実験

2-1. 実験項目と実験方法

実験は日本工業大学内の建物屋上に実験装置を設置して行なった。装置の詳細として、断面図を Fig.1 に示す。試験体においては 410 mm×410 mm、深さ 152 mm の容器を製作し、この容器に 300 mm×300 mm、厚

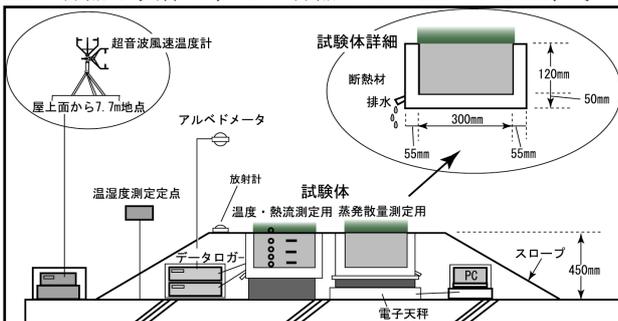


Fig.1 実験装置断面図

さ 20 mm~100 mm に各試験材料を入れ、その四方と底面を断熱材で覆ったものを試験体とした。対象試験材料ごとに地温・熱流量測定用と蒸発散量測定用の 2 体を用意し、計 10 体の試験体を使用した。試験体は実際の施工状態を考慮し、底面に排水口を施工して自由排水するようにした。実験装置は、7080 mm×6180 mm に製作しており、風の影響をできるだけ排除する目的で周囲をスロープで覆った。なお、試験体は装置中心付近に並べた。

各試験体における測定項目・測定点、使用測器に関しては、Table1 に示すとおりである。超音波風速計は 0.1 秒毎に、その他の測器や蒸発散量を計測する電子天秤は 1 分毎のデータのサンプリングを行なった。実験は、2002 年 8 月 7 日から 12 月 31 日にかけて連続的に行なった。

2-2. 試験対象材料

今回試験対象とした緑化の手法および材料に関して、各試験体の構成とその特徴を Table2 に示す。芝植栽に関しては屋上緑化や外溝の緑化等に用いられる植栽基盤の天然土壌、軽量土壌のアクアソイル(アクロス福岡でも実際に使用されている人工土壌)、緑化コンクリート、水を給排水するゲル状の樹脂を分散させたマットに芝生を植栽したウォーターバ

Table1 測定項目と測定点・使用測器

測定項目	試験体	測定点	測定測器
表面温度	各試験体	表面	T型熱電対
温度(地温)	天然土壌	表面-0,10,30,50,70,100mm	T型熱電対
	人工土壌		
	緑化コンクリート		
	ウォーターハンク		
熱流量	セダムカーペット	表面-0,25,50mm	熱流計(英弘精機 CN-81)
	天然土壌	表面-10,30,50,70mm	
	人工土壌	表面-0,10,50mm	
	緑化コンクリート	表面-0,10,50mm	
蒸発量	ウォーターハンク	表面-0,25mm	電子天秤(Mettler-Toledo)
	セダムカーペット	表面-0mm	
気象条件	各試験体	実験装置周辺	サーモレコーダー(Especo RS-11)
	気温・相対湿度	実験装置周辺	3次元超音波風速温度計(KAIJO DA-800 TR-81C)
	風向・風速	実験装置周辺	精密赤外線放射計(英弘精機 MS-202)
	下向き長波量	実験装置周辺	アルベドメータ(英弘精機 MR-22)
短波放射量	実験装置周辺		

Table2 試験対象材料

種類	構成	特徴
天然土壌	芝+天然土壌100mm	一般の天然土壌
人工土壌	芝+人工土壌100mm	軽量で保水性に富む人工土壌に芝を植栽したもの
緑化コンクリート	芝+ポーラスコンクリート100mm	ポーラスコンクリートに直接芝を植栽したもの主に川岸・護岸工事などで用いられる
ウォーターハンク	芝+ハイドロゲルマット50mm	温度の変化により水を吸排水するゲル状の樹脂を分散させたマットに直接芝を植栽したもの
セダムカーペット	セダム+客土層25mm	薄層・軽量のカーペット状にセダムを植栽したものの気候変化・乾燥に強くメンテナンス容易、低コスト施工

※建築学専攻

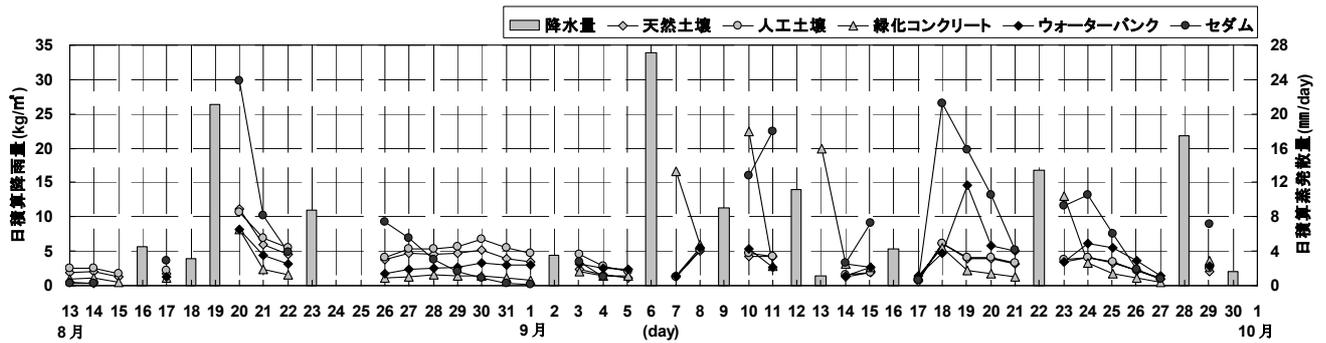


Fig.2 各試験体における蒸発散量と降雨量の経時変化

ンクの4種、それに薄層・軽量の屋上緑化として普及が目覚ましいセダムをカーペット状にした材料の計5種類を実験対象とした。

なお、ウォーターバンクに関しては9月5日までとそれ以降では芝が枯れてしまったため試験体を取り替えてある。

2-3. 実験結果

この実験は過去の実験から継続的に実施してきたが、夏季においてのデータは取得できていなかったため、本研究では夏季における解析を重点的に行なった。ここでの熱的効果は、主に蒸発散量に伴う潜熱フラックスを指す。Fig.2は8月13日から10月1日までに、日積算蒸発量と日積算降雨量の経時変化を示したものである。8月19日、23日の降雨後から9月1日までの変化に注目すると、降雨直後セダムの蒸発散量の値は大きい、その後は蒸発散量の持ちが悪い。このように蓄えた水分を急激に蒸発させてしまうということは蒸発散の持続性がなく、保水性がないことを示す。

Fig.3は電子天秤で計測されている各試験体の重量と蒸発潜熱を日射量で割ったものの関係を示したものである。蒸発潜熱を日射量で割る理由は、蒸発散は主に日射が出ている時に起こり、日射が少なくなると蒸発散量は急激に減少する。そのままの値を使用すると安定した関係が取れないからである。この図は横軸に各試験体の重量をとっており、横軸での幅がそのままその試験体の含水量を示す。縦軸に蒸発散量をとっているが、重量の変化とともに蒸発散量の値の変化を表す。図中に示した線は、データの傾向を分かりやすくしたものである。これを見ると、天然土壌と人工土壌は重量が減少するある一定の重量まで蒸発散量はほぼ変わらない状態(恒常蒸発過程)で、ある重量から徐々に蒸発散量を減らし、0に近い値を示す現象が見られる。減少する期間は土壌水分が制限要因になっていることを意味している。上記のことから両試験体は保水性が高いことが分かる。緑化コンクリートは重量の変化の幅が小さく蒸発散量も急激に減少しているので、保水性に乏しいことがいえる。ウォーターバンクは基本的に水

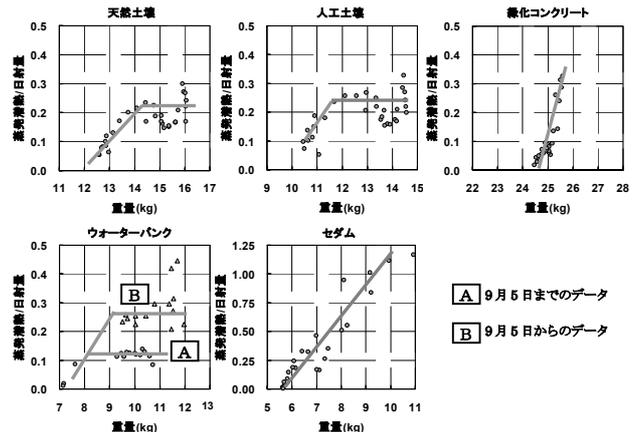


Fig.3 各試験体重量と蒸発散量の関係

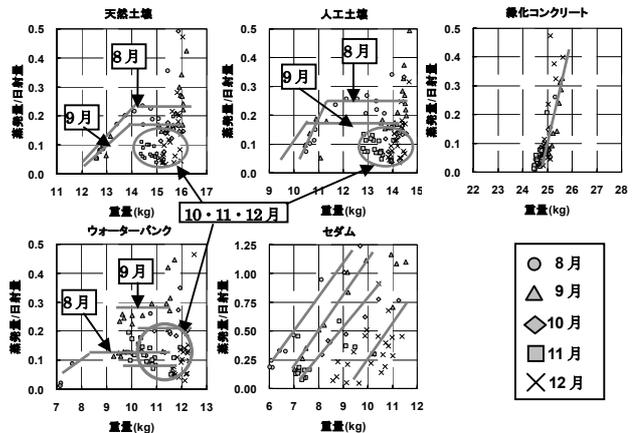


Fig.4 各試験体重量と蒸発散量の月別の関係

分を蓄えているので蒸発散量が安定しているが、2つのパターンに分かれている。これは、9月5日までとそれ以降では植栽が枯れてしまい取り替え、試験体が異なるためである。Aの状態は活性がない状態で、Bは活性が良い時であり、このAとBの差が植栽の蒸発散量の寄与であるといえる。

セダムの値が1を超えているが、この1を超えてしまう状態は降雨後の排水によるものである。セダムは土壌部分が砂状になっており、その土壌が水分を蓄えることができないのですぐに排水されてしまう。このことが保水性を悪くしている原因である。それと同時にセダムは乾燥に強い性質を持つため、セダムの葉表面での蒸散をあまりしないことも大きな原因である。

Fig.4 は先の関係を月別に比較して見るために示した。各試験体を全体的に見てみると 8月・9月は重量と蒸発散量の関係がうまく出ているが、10月から12月は重量と蒸発散量にあまり変化がなく、データもかたまって出てきている。これは、試験体に植栽した芝が夏芝であるため10月以降枯れてしまい、植栽からの蒸散がなくなり少なくなってしまったことが理由に挙げられる。

2-4. まとめ

緑化手法の違いや、材料・植栽の違いが建物屋内外環境へ及ぼす影響を明らかにすることを目的とした試験体実験を行ない、これらの蒸発散量について主に評価を行なった。セダムは芝に比べて、ローコスト・ローメンテナンス・ローウェイトの面では長所を持つが、保水性が乏しく降雨後は大きな蒸発効率を示すが、数日で急激に減少してしまうことが明らかになった。

3. 屋上緑化建物の熱環境実測

3-1. 実験項目と実験方法

本実測は福岡市内の中心部に在り、地下4階、地上14階で、地上部の最高高さが約60mのアクロス福岡を実測対象としている。建物の南側には公園が広がっており、ステップガーデンと一体となった緑地帯を形成している。今回の測定は、過去に実測したデータから明らかになった特殊性、すなわちステップガーデンは冷気の供給源だ(Fig.5)ということに注目した。過去の実測データから川の影響を受けにくくするために、気流の影響を受けない西側に集中して測定を行なった。今回、3Fに風速計を2高度に設置した理由として、冷気流の層の厚さを捉えるため高度差をつけたのである。測定点については Fig.6 に、測定に用いた測器や測定項目は Table3 に示す。

短期間では計画的な設計データにならないので、6月26日から11月28日まで長期間実測を行なった。

3-2. 下降気流の発生条件と発生頻度解析

ステップガーデン11階、7階、3階上・下の超音波風速計において鉛直成分の値がマイナスの時を下降気流とし、下降気流がどのような条件下の時多く発生するかを頻度で示した。

まず、下降気流が冷気流によるものであることを把握するために、6階の正味放射量 R_n と鉛直成分風速との頻度を Fig.7 に示した。これは、期間中に比較的冷気流が多く発生している3階下のデータを解析したもので、ここでは下降気流が吹いている時と吹いていない時で R_n の値の違いを見るために示したが、下降気流であるときとない時ではあまり差がみられなかった。これは、下降気流が発生している時と放射冷却との関係があまり見られないこと

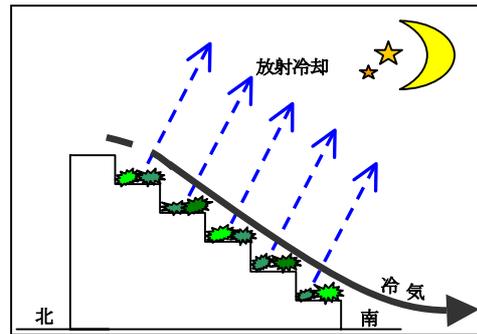


Fig.5 過去の実測からの冷気流概念図

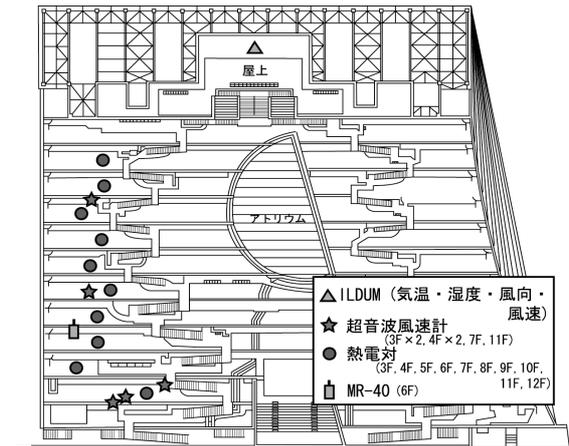


Fig.6 測定対象建物と測定点(屋根伏せ図)

Table3 測定項目と測定点・使用測器

測定項目	測定器	設置場所
気象条件	気温・相対湿度	通風式温度計 (英弘精機 MH-011PS)
	風向・風速	三杯式風速計・プロペラ風向計
正味放射量	長波・短波放射計	精密長波短波放射計 (英弘精機 MR-40)
顕熱フラックス	風向・風速・温度変動	超音波風速温度計 (KAIJO DA800TV TR-61C)
		超音波風速温度計 (KAIJO DA800TV TR-90AH)
		3軸超音波風向風速計 (英弘精機 USA-1 3D)
気温分布	鉛直気温分布	熱電対
		3,4,5,6,7,8,9,10,11,12F(計5点)

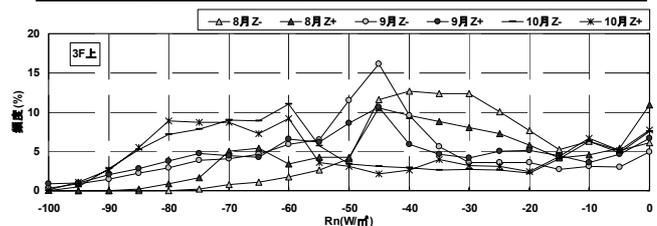


Fig.7 下降気流発生時・非発生時における R_n の頻度分布

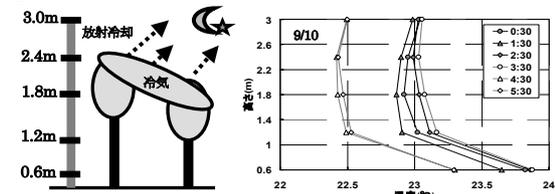


Fig.8 下降気流の発生に伴う各条件との関係

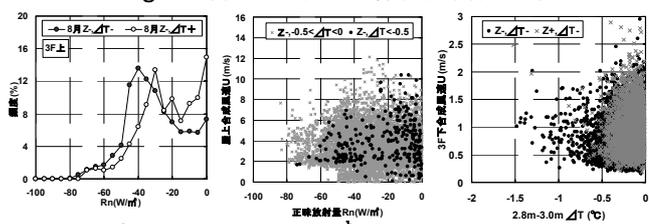


Fig.9 5F の鉛直気温分布と概念図

を意味する。Fig.8 は長期期間中の 5 階熱電対における鉛直気温分布である。これより、緑被面が放射冷却により冷やされていることがいえるが、先の解析からはその傾向が見られなかった。これを証明するためには、8月における緑被面2.4mの気温と3.0mの気温の差(ΔT)を算出し、 ΔT から放射冷却を判断することにした(Fig9)。Fig.9a は鉛直成分がマイナスの時に ΔT がプラス・マイナスの時のデータを示し、 ΔT がマイナスの時の方が R_n の頻度のピークが左寄りに出ており、放射冷却されていることを示す。Fig.9b は鉛直成分がマイナスのときの ΔT の値を限定して屋上の風速の変化を見たが、特に分布に差はなかった。Fig.9c では、下降気流が起きている時と起っていない時で ΔT がマイナスの時に変化があるかを示したが、下降気流が起きている時と起っていない時でも ΔT はあまり差がなかった。

3-4. 可視化実験による下降気流の把握

可視化実験は長期実測に平行し、2002年9月9日から9月11日まで行なった。開始時間は21時で1時間おきに15分程度、フォグジェネレータを使用し、8階と4階から煙を発生させた(Fig.10)。9月10日の実験では、期間中で一番多く下降気流の発生が目視により確認できた。なお、Fig.11の風向・風速のデータからもその傾向が見られた。風速の弱い時に風向が北風に変わっている。ステップガーデンは南に下がっているのでこれは吹き降ろしの風が吹いていることが確認できる。

3-5. 冷気流持続時間頻度

9月10日のデータを使用し、下降気流の持続時間の頻度を求めた。Fig.12に示したのは顕熱フラックス H がマイナスの時の時間を計測した。鉛直成分でもマイナスの時の時間を計測した。これを見ると1分に頻度が集中しており、下降気流は常に変動していることが分かった。

3-6. まとめ

屋上緑化の屋外環境の実測を行なった。長期にわ



Fig.10 可視化実験状況

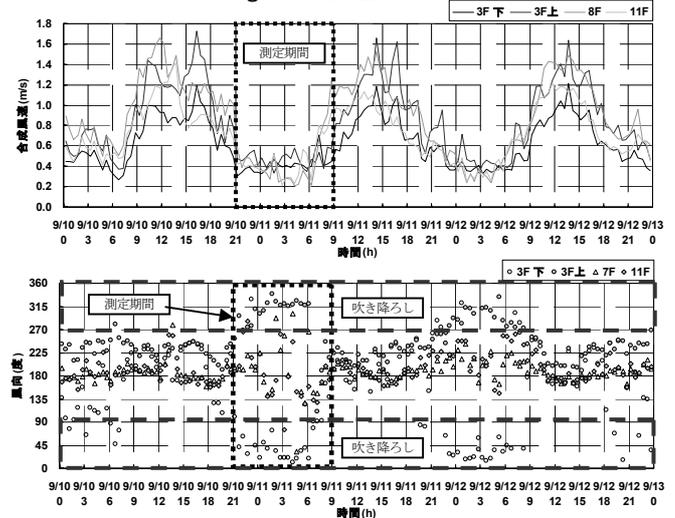


Fig.11 可視化実験期間における風向・風速の経時変化

たる多点のフラックス測定から冷気流の発生条件について解析した結果、冷気流の発生条件を確定することはできなかった。

可視化実測では、下降気流が目視で確認でき、データからも確認できた。下降気流の持続時間は短く常に変動していることが明らかになった。

4. 結論

屋上緑化のヒートアイランド対策効果を2つの実験・実測から検討した。

試験体を用いた実験からは植種による蒸発散量と保水性の違いを把握できた。実際の屋上緑化で行なった実測からは、今回は冷気流の発生条件を確定する事ができなかったが、可視化実験では下降気流の確認ができた。なお、下降気流は常に変動していることが明らかになった。

【参考文献】

- 1) 三坂ら：緑化による屋外熱環境の緩和に関する研究(その2)、日本建築学会学術講演梗概集、(環境工学 ID-1)677-678, 2002
- 2) 尾之上ら：ステップガーデンを有する建物周辺の温熱環境実測評価(その1)、日本建築学会学術講演梗概集、(環境工学 ID-1)725-726, 2001
- 3) 三坂ら：ステップガーデンを有する建物周辺の温熱環境実測評価(その2)、日本建築学会学術講演梗概集、(環境工学 ID-1)727-728, 2001
- 4) 松嶋ら：ステップガーデンを有する建物とその周辺市街地の熱環境に関する実測研究(その1)日本建築学会学術講演梗概集、(環境工学 ID-1)683-684, 2002
- 5) 尾之上ら：ステップガーデンを有する建物とその周辺市街地の熱環境に関する実測研究(その2)、日本建築学会学術講演梗概集、(環境工学 ID-1)685-686, 2002

審査員(主査) 教授 成田 健一
 審査員(副査) 教授 伊藤 庸一
 審査員(副査) 助教授 川村 清志

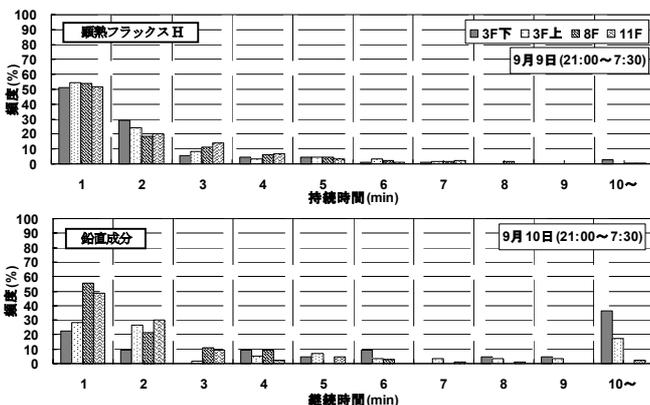


Fig.12 顕熱フラックスと鉛直成分による冷気流持続時間の頻度分布