露出セメント板と緑化パネル設置部分との表面温度と近傍気温の差異

Difference of Surface Temperature and Temperature of a Neighborhood on Wall of Cement and Wall Greening

涌井 史郎* 油井 正昭* 飯島健太郎*
Shiro WAKUI Masaaki YUI Kentaro IIJIMA

Abstract : The aim of this study was to examine mitigating effects of heat environment by wall greenery. An enforcement place of a experiment was the wall of a penthouse on the roof floor of a university building located in Aoba Ward of the city of Yokohama. Lawn grass was planted onto about half area of the wall (height 3500 x width 3600mm). Then the thermal sensors were installed in a lattice-like pattern in order to measure surface temperatures of the planted and non-planted surfaces, and temperature distribution 15-cm in front of those surfaces. A change of 24-hours of temperature distribution in a summer day was recorded and analyzed. No difference in temperatures of the planted and non-planted surfaces of the wall could be observed before dawn, and no significant difference was also shown from morning till early afternoon. Both surface temperatures gradually decreased from evening till night, with those of the planted surface continuously being kept lower than those of the non-planted. In conclusion, wall greenery is effective for the air temperature moderation caused by the plant transpiration, in addition to suppression of heat accumulation.

Keywords: wall greening, thermal environment, airtemperature moderation, temperature distribution

キーワード: 壁面緑化, 温熱環境, 気温緩和, 気温分布

1. 研究目的

都市の暑熱環境緩和策としては地表面被覆の改善が有効な手法の一つであり、密集市街地の大半を占めている建築物の緑化を推進することが不可欠といえる。屋上緑化と共に壁面緑化による温熱環境改善効果の検証に関する研究が行なわれ、緑化面と非緑化面の表面温度差¹⁾²⁾³⁾、熱の流入抑止力⁶⁾⁷⁾、またそのプロセスとしての植物の蒸散量との関係⁵⁾などが明らかにされており、その多くは建築構造物に対する断熱性能に関する効果を解析している。

一方、壁面緑化による建物の外部空間に対する放射環境からみた改善効果を中心にした議論があり⁷⁾⁸⁾、とりわけその測定精度を高めることが、研究の中心的課題ともなっている。一方、2005年愛・地球博のバイオラング⁹⁾は、暑熱環境改善効果を検証するための一大実験装置としても位置づけられ、非緑化壁面に比較して最大7℃気温を低くしている効果なども報告されている⁴⁾。

なお暑熱環境緩和効果については、日中のピーク時のみならず24時間中の推移も重要な要素であり、またポイントではなく熱画像などと同様にその面的な気温分布の推移も効果を把握する上で必要である。

そこで本研究では、緑化ユニット型の壁面緑化を対象として、その暑熱環境緩和効果について面的な近傍気温と表面温度の分布を24時間の変化から比較・検討することにより効果を把握することを目的とした。

2. 実験内容と方法

(1) 計測対象地と実験条件の設定

実験は、横浜市青葉区大学研究施設棟屋上のペントハウス南面の壁面を対象として行なった。対象壁面は、高さ3500mm、幅3600mm、外壁の材質は整形セメント板(CBt150:C種)であり、色彩は白色である。この壁面の右側を緑化対象とした。緑化面は緑化ユニットの規格の都合上、1920×2550mmに設定した。そのため緑化面の下部600mm、上部350mmは壁面が露出して

いる(図-1)。また実験対象の壁面がある環境条件としては、前面の地表面はコンクリートの打放しであるが、壁面から300mm手前に深さ400mmの植栽枠が設置されており、灌木を密に植栽することにより対象とする壁面への放射の直接的影響を低減するように配慮した。

(2) 緑化ユニットと設置方法

緑化ユニットは、缶体ボックス内(1200×480×100mm)に培地としてボラ土が充填され、植生面以外は不織布でめられている。これに予めノシバ(*Zoysia japonica*)の張り芝が施された状態の資材を(図-2)、2005年7月28日に対象壁面にビス止めにより固定した(図-3)。緑化ユニットは縦型の配置とし、横4列、2段の配置とした。

なお先に述べたバイオラングは総緑化面積3500㎡であり、このうち2600㎡はスクリーン状の緑化で1125枚もの緑化パネルで構成されていた。緑化パネルのうち70㎡が芝草を用いたターフ状の緑化面を形成していた。本研究においては、この芝草を用いた緑化パネルを想定した。この資材の設置手法により緑化ユニット裏面と壁面の間には100mm厚の空間が空いている。

設置後、直ちにドリップ式の給水装置を設置した。1段目と2段目の各緑化ユニット上部にパイプを配し、約100mm間隔のドリップ口からの注水により、直壁の緑化ユニットに対して極力均等に給水されるように配慮した。給水は、緑化ユニット設置当日より毎日5:00、17:00よりの各々2時間の給水を行い養生を開始した。給水量は、緑化ユニット1枚あたり約12ℓ/hに設定したが、2時間の給水時間の後半には、いずれのユニットも下部より余剰水の流出が認められた。

なおデータ解析対象日の緑化面の状況は、被覆率100%、ターフの葉長は100mm以上に達し、下垂していた。

(3) センサーの設置位置と計測方法

緑化面と非緑化面の表面温度とその近傍気温の分布状況を比較するために、温度センサーを次のように設置した。まず非緑化部

* 桐蔭横浜大学医工学部 Faculty of Biomedical Engineering, Toin University of Yokohama

図－１ 実験対象とした壁面とノシバによる壁面緑化

図－２ 壁面設置前の壁面緑化ユニット

図－３ 緑化ユニットの設置断面

図－４ 非緑化面と緑化面の接触温度ならびに近傍気温計測用センサー位置図

分の接触表面は横方向１点×縦方向４点、緑化部分の接触表面は横方向２点×縦方向４点に設置した。次に各々の面から１５０ｍｍ程度離れた非接触の空間に非緑化面は横方向３点×縦方向４点、緑化面は横方向４点×縦方向４点に格子状に設置した（図－４）。

温度センサーは熱電対式を採用し、エスベック社製サーモレコーダーワイヤレス RSW-10（図－５）、テフロン被覆センサー（図－６）を用いた。接触表面温度計測のための固定は熱電対部分を外壁表面と、緑化ユニット面に覆われているノシバの葉の表面にテープ止めた。近傍気温計測についてはセンサー部分への直射光の影響を極力軽減するためにアルミホイル製のカサを被せる構造とした（図－７）。なおサーモレコーダー本体は非防水仕様のため、ペントハウス上部に固定した防水収納ボックス内に設置収容した。計測メモリーは昼夜にわたって５分毎に設定し、同年８月１０日

より開始し、９月９日までの１ヶ月間継続的に計測した。

（４）対象地域の気象概況

非緑化面と緑化面の表面温度ならびに近傍気温の２４時間の変化をデータ分析する対象日としては、計測期間中で終日天候が安定、かつ一日を通じて風速が小さい日を選定し、同年８月２９日とした。対象地域の気象の概況を表-1に示した。当日は、日中は快晴となり昼夜共に安定した天候であった。未明は２３℃、日中最高時の気温は２９.７℃となり、真夏日とはならなかった。湿度は未明までは８０％前後を記録していたが、日中は１６：００にかけて４０％台まで低下、夕方以降は６０％台となっていた。風向は概ね未明までは北より、午後から夜間にかけては南よりの風となり、午前に比較して午後の風速がやや高めを記録した。

図－５ サーマレコーダーワイヤレス RSW-10 本体

図－６ テフロン被覆センサーとテープ止めの方法

図－７ アルミホイル製のカサを被せたセンサー

3. 計測結果

(1) 非緑化面及び緑化面における表面温度の日変化概況

非緑化面（4点）、緑化面（8点）の表面に設置したセンサーの各々について、各時刻の60分間中5分毎に記録した全データの平均値を24時間推移で示したのが図－8である。

非緑化面、緑化面の表面温度は、1:00から6:00にかけては22℃～24℃付近を推移していたが、概ね緑化面の方が1℃前後高かった。いずれも7:00には24℃付近となり、8:00には緑化面はその

表－1 2005年8月29日横浜市青葉区の気象データ

時刻	気温(℃)	湿度(%)	風向	風速(m/s)
1:00	22.7	83	東南東	0.6
2:00	23.2	79	東北東	1.1
3:00	22.9	81	北	1.8
4:00	22.5	82	北	1.2
5:00	23.0	79	北北西	2.4
6:00	23.0	79	北	2.4
7:00	23.2	79	北	1.6
8:00	24.6	72	北	1.1
9:00	25.9	66	北	1.7
10:00	27.2	61	南東	1.1
11:00	28.2	61	東	2.6
12:00	28.9	50	東南東	3.1
13:00	29.2	50	東	3.4
14:00	29.7	48	東南東	3.0
15:00	29.7	44	南南東	3.2
16:00	29.4	44	南東	2.0
17:00	26.6	66	南西	4.7
18:00	25.7	66	南西	4.2
19:00	25.4	65	南	3.6
20:00	25.1	63	南南西	3.2
21:00	24.9	65	南	2.5
22:00	24.5	66	南南西	3.1
23:00	24.2	69	南西	2.9
0:00	23.8	76	南西	2.7

注) 日本気象協会統計室のデータを基に作成した

まま24℃台であったが、非緑化面では28℃前後まで上昇した。その後、非緑化面では、9:00に30℃台、10:00から16:00には40℃以上となり、とりわけ12:00から13:00は約50℃を記録した。

緑化面では9:00から11:00は25～26℃台となり、その後わずかに上昇し、16:00までに28～29℃付近となったが、30℃を超えることはなかった。

夕方以降については、17:00には非緑化面は34℃、緑化面は28℃、18:00には非緑化面は35℃、緑化面は27℃となり、緑化面で低く推移したが、19:00には非緑化面と緑化面の差が無くなり全体に26℃となった。20:00から24:00には、非緑化面で23～25℃、緑化面では24～26℃となり、非緑化面の方が低く推移した。以上のように、非緑化面は日中最高時で50℃近くに達し、少なくとも7時間は40℃以上、9時間は30℃以上を記録した。夜間7時間は25℃を下回っていた。

緑化面では、日中最高時にも30℃に届いておらず、日中は25～28℃付近を推移した。夜間も25℃付近を推移し、そのうち10時間は非緑化面の表面温度の方が下回っていた。

(2) 非緑化面及び緑化面における近傍気温変化の概況

非緑化面（12点）、緑化面（16点）の近傍に設置したセンサーの各々について、各時刻の60分間中5分毎に記録した全データの平均値を24時間推移で示したのが図－9である。

非緑化面ならびに緑化面の各々の近傍気温推移は同様の傾向を示しており、日中の最高気温はおよそ35℃に達していた。

図－8 非緑化面と緑化面の24時間中の表面温度推移

図－9 非緑化面と緑化面の24時間中の近傍気温推移

1:00～6:00にかけては、非緑化面と緑化面に差は認められず22～23℃付近を推移した。7:00～11:00にかけては、緑化面の気温

上昇が先立ち、それに追隨して非緑化面が暖められていく傾向を示しながら、35℃付近に達した。

なおこの時間帯は、前述のとおり非緑化面の表面温度は20℃以上の急速な上昇を示す一方、緑化面の表面温度は数度程度の上昇となり、緑化面の方が低い温度で推移している。つまり非緑化面と緑化面の近傍気温の推移の特徴は、その時の各々の表面温度とは別の要因による影響を受けていたと考えられる。

12:00から13:00は、非緑化面、緑化面ともに35℃前後を記録したが、わずかに緑化面の気温が低く推移した。

13:00以降19:00にかけての時間帯は、非緑化面、緑化面ともに暫時気温が低下し25℃付近に達した。このとき、緑化面の気温低下が先立ち、それに追隨して非緑化面の気温が低下する傾向を示した。

20:00以降については、緑化面、非緑化面の気温差はわずかとなり、同様に推移しながら23℃付近まで低下を示した。

(3) 非緑化面及び緑化面の表面温度ならびに近傍気温の平面分布の推移

表面温度については非緑化面4点、緑化面8点、気温については非緑化面12点、緑化面16点に設置した各々のセンサー部位について、60分間毎に5分間隔で記録したデータの平均値を平面的に表現することを試み、表面温度と近傍気温の分布状況を示した。

その結果、1:00から6:00にかけての時間帯（深夜から明け方）は、非緑化面、緑化面共に表面温度と近傍の気温は、ほぼ全面にわたって同様の分布で推移を示した。

次いで7:00から17:00にかけての日中時間帯は、非緑化面、緑化面共に表面温度はほぼ全面にわたって同様の分布で推移した。しかし近傍の気温の値は非緑化面、緑化面共にバラツキが目立ち特徴を見出すには至らなかったが、13:00から14:00付近では、非緑化面に比較して緑化面の方が低い気温分布が認められた。

一方、17:00以降24:00までの時間帯は、非緑化面及び緑化面の表面温度ならびに近傍気温の平面分布の推移に特徴的な変化が認められたので以下に詳述する（図－10）。

表面温度については、17:00に非緑化面は約34℃、緑化面は27～29℃、18:00には非緑化面は約29℃、緑化面は約27℃となり、緑化面で低く推移したが、19:00には非緑化面と緑化面の差が無くなり全体に約26℃となった。20:00から24:00には、非緑化面で23～25℃、緑化面では24～26℃となり、非緑化面の方が低く推移した。

近傍気温の面的推移については次のとおりである。17:00には、非緑化面29～30℃、緑化面では約28℃、18:00には非緑化面約27℃、緑化面約26℃となり、非緑化面よりも緑化面の方が全面にわたって低く推移し、気温低下効果が認められた。この時間は給水直後の時刻とも一致している。

19:00には、非緑化面、緑化面のほぼ全面にわたって25℃台の分布となった。

20:00には緑化面は24℃台に低下したが、非緑化面は25℃前後の分布が占めていた。次いで21:00には非緑化面、緑化面共に全面にわたって24℃台となった。

22:00から23:00には、主として緑化面で23℃台に低下し、24:00には非緑化面、緑化面共にほぼ全面にわたって23℃となった。

なお図－10中に、最も低い気温分布域のみ0.1℃刻みの等温線を加えて表現した結果、19:00から24:00にかけて、いずれも緑化面の中央やや下部に最も低い気温域が認められ、その位置を中心に上下左右に気温の低下が広がっているような分布状況が認められた。またその部位の気温の低下に追隨して周囲の気温が低下しているかのような時間的変化が認められた。

図-10 17:00~24:00 の非緑化面と緑化面の表面温度とその近傍気温の分布変化

4. 考察

(1) 非緑化面及び緑化面における表面温度の日変化概況

非緑化面と緑化面の表面温度の24時間推移を比較すると、まず緑化面では日中の最高時にも30℃に達しなかったが、非緑化面では15時間にわたって30℃以上を記録した。また非緑化面においては昼夜にわたって25℃を超える日変動を示したが、緑化面では5℃以内の変動に留まっており、温度環境の恒常性に貢献していたと言える。すなわち植物からの蒸散と基盤からの蒸発により潜熱として消費されることによって、表面温度の安定性が維持されたものと推察される。

(2) 非緑化面及び緑化面における近傍気温変化の概況

非緑化面と緑化面の近傍気温の24時間推移を比較すると、ほぼ同様の変化をみせており、緑化によって日中際立って気温を下げるような効果は認められなかった。既往の研究では、巨大な規模の緑化壁（愛知万博のバイオラング）では、非緑化壁面に比較して最大7℃気温を低くしている効果が報告されているが、本実験の緑化規模ではこうした明確な気温低減効果を見出すには至らなかった。

非緑化面と緑化面の近傍気温の推移の特徴として、午前中7:00から11:00の気温の上昇時には非緑化面に先立って緑化面で上昇していたが、今回の実験環境において地表面からの日射反射や輻射熱の影響を調節できているとは言えず、データのさらなる蓄積と近傍風速の計測も含めた計測精度の向上については今後の課題としたい。一方、15:00から19:00にかけての時間帯は非緑化面に先立って緑化面での表面温度が植物と基材からの蒸発散作用によりセメント板よりも低く維持されていることで、近傍気温の低下に作用したものと推察される。

(3) 非緑化面及び緑化面の近傍気温の平面分布の推移

前述のような緑化面が気温低下の推進力となっている可能性については、非緑化面及び緑化面の近傍気温の平面的な分布の推移からも認めることができた。とりわけ緑化面の詳細な気温分布を見ると、緑化面の中央やや下部の気温が常時最も低く推移しており、この付近から蒸散（蒸発）ならびに蒸発潜熱によって冷却効果がにじみでている可能性がある。なおノシバの生育は全体に均一であることから、この効果についてはドリップ位置に基づく基盤中の土壌含水率の差異が影響したものと推察される。

5. まとめ

本研究は、露出セメント板の壁面と土壌基盤を伴った壁面緑化ユニットを対象に、その表面温度ならびに近傍気温の平面分布とその時間的推移から暑熱環境緩和効果の可能性を探った。

その結果、第一に、昼夜にわたって25℃を超える日変動を示

す非緑化面に対して、土壌基盤を伴う緑化面では昼夜にわたって5℃以内の変動に留まり、壁面緑化が表面温度の安定性に貢献することを明らかにした。

第二に、本実験の規模である約12㎡の露出セメント板に対して、その約半分の面積を壁面緑化する程度では、日中際立った近傍気温低減効果をもたらすには至らないことが明らかになった。

第三に、本実験の壁面緑化の構造において、夜間6時間にわたって緑化面中央やや下部に最も気温の低いエリアが分布する特徴が認められた。こうした緑化面近傍に存在する気温の低いエリアの存在が、追随した気温低下のプロセスとして作用しているのかを明らかにすることが今後の課題である。

謝辞：本研究は都市緑化技術開発機構ならびに尊農社緑地の協力により実施した。また計測や解析については、根本健氏（アーキヤマデ(株)）、石原俊彦氏（桐蔭横浜大学工学部）にご協力頂いた。記して深謝致します。

引用文献

- 1) 梅干野晃・山下富大（1983）：ベランダ植栽による日射遮へい効果：日本建築学会九州支部研究報告，133-136
- 2) 梅干野晃・山下富大（1983）：つる植物によるベランダ植栽による日射遮へい効果に関する実験的研究：日本建築学会建築環境工学論文集，141-146
- 3) 近藤三雄・鈴木誠孝（1983）：表面温度からみた都市植生の存在効果に関する実証的研究：造園雑誌 47(1)，1-15
- 4) 松江正彦（2005）：壁面緑化による暑熱環境改善効果の実証：都市緑化技術(57)，17-18
- 5) 野島義照・沖中健・小林達明・坊垣和明・瀬戸祐直・倉山千春（1993）：壁面緑化による建築物の壁面温度の上昇抑止効果の実証的研究：造園雑誌 56(5)，115-120
- 6) 沖中健・野島義照・小林達明・瀬戸祐直（1994）：つる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：千葉大学園芸学部報（48），125-134
- 7) 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
- 8) 鈴木弘孝・三坂育正・水谷敦司・田代順孝（2005）：WBGT，SET*による壁面緑化の温熱環境改善効果の評価：ランドスケープ研究 69(5)，441-446
- 9) 涌井史郎(2005)：愛・地球博におけるバイオラングの誕生について：都市緑化技術(57)，6-8