

## 表面温度と日射量から見たグリーンカーテンの温熱環境改善効果

The Effects of Green Curtain on Improving the Thermal Environment Estimating Surface Temperature and Solar Radiation

鈴木 弘孝\* 加藤 真司\*\* 藤田 茂\*\*\*

Hirotaka SUZUKI Masashi KATO Shigeru FUJITA

**Abstract :** The purpose of this study is to evaluate the difference of the thermal environment at the outdoor balcony with or without the green curtain, which could be expected to come into wide as a measure of the heat island phenomenon. The actual experiment was carried out for the two classrooms almost as same as the direction, floor and area, and we analyzed measurement data, selecting three days of “Manatsubi” in August, 2013. As a result, the surface temperature of the back side of the green curtain reduced about 4°C, compared with it of the high reflected glass. The difference of surface temperature between with and without the green curtain indicated about 6°C. Because of decrease of the surface temperature, the indoor temperature was also reduced about 2°C with the green curtain, compared with no curtain. The incident solar radiation reduced more than 80%, and the indoor illuminance reduced more than 30%, at the peak in the daytime with green curtain, compared with no curtain, but the recommended level of illuminance could be maintained in most of daytime.

**Keywords:** *heat island, green curtain, surface temperature, thermal indices*

**キーワード :** ヒートアイランド, グリーンカーテン, 表面温度, 温熱指標

## 1. 研究の背景と目的

近年, 都市の市街地部で深刻化しつつあるヒートアイランド現象の緩和策として, 地表面被覆状態の改善策として建物の屋上や壁面の緑化の推進が国の政策に位置付けられている<sup>1)</sup>。一方で, 小・中学校や市町村等の公的施設を中心として, ツルレイシ (*Momordica charantia* L. var. *pavel* Crantz) 等のつる性植物をネット等で誘引し, 夏季の日射遮蔽による暑熱緩和を図る「グリーンカーテン」が普及しつつある。なお, 「グリーンカーテン」は, 「緑のカーテン<sup>2),3)</sup>」や「植栽スクリーン<sup>4)</sup>」などと称される場合も見られるが, 本稿では「グリーンカーテン」に用語を統一する。特に, 2011年3月11日の東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故による影響から, 国民の節電意識が高まり, 一般住宅においてもグリーンカーテンの普及が広がりを見せている。

グリーンカーテンの設置によって, 屋内の温熱環境改善効果を検証した既往研究としては, 福田ら<sup>5)</sup>は, 横浜市内の小学校や保育園等 69 箇所を設置されたグリーンカーテンについて, 表面温度や室内気温の観測によってその効果を確認している。また, 成田<sup>6)</sup>は, 小学校の校舎に設置されたグリーンカーテンによる教室の温熱環境改善効果について実測し, グリーンカーテンは教室の放射環境の改善に寄与している一方で, 通風阻害というマイナス面があること, 温熱環境指標 SET\*による評価結果から放射温度による体感温度の低下は通風阻害による上昇量の2倍程度であること, 照度の低下は1/3程度となることを明らかにした。同じく, 成田ら<sup>7)</sup>は, グリーンカーテンの葉群層から各々約 30 cm 離れた表面と裏面の気温を比較した結果, 有意な温度差は認められず, 葉群層を通過した空気が冷却されているという証拠は得られなかったとしている。高山ら<sup>8)</sup>は, 一般住宅をモデルとして西側壁面に蔓性植物を使った登攀型のグリーンカーテンを設置した場合におけるガラス窓日射熱負荷軽減量を算定することを目的として, 地表面全天日射量に基づく窓面の透過日射熱負荷算定モデルについて検討を行い, 窓面の透過日射熱負荷の積算値は概ね観測によ

る実測値と一致し, モデルの有効性を示した。加藤ら<sup>9)</sup>は, 集合住宅を利用して, グリーンカーテンの設置量の違いと簾との比較により, グリーンカーテンは簾よりも大きな室温低下傾向があることを確認するとともに, グリーンカーテンの節電効果を算定し, 窓の開放時においては通風性と日射遮蔽性を併せ持つグリーンカーテンの体感温度での有利性を指摘している。軸丸ら<sup>10)</sup>は, グリーンカーテンがある場合とない場合の教室内温度の測定を行った結果, 室内温度はグリーンカーテンがある場合はない場合に比べて1~2°C, 外気温に対しては4~5°C低くなっていることを報告している。一方で, 最近ではベランダの手摺部に予めグリーンカーテンを設置するためのフックやプランター受け等の設備が整備されたマンション<sup>10)</sup>も見られるようになってきた。今後, 都市市街地部でのマンション等の集合住宅において, 身近に緑に触れあえる空間としてバルコニー部にグリーンカーテンを普及させることにより, 都市部の立面緑化の推進にも寄与することが期待できる。鈴木ら<sup>11)</sup>は, MRT(平均放射温度)や WBGT(湿球黒球温度)の指標をもとにグリーンカーテンによるバルコニー部での効果を評価し, MRTで約40%低減したことを報告するとともに, WBGTでは日中ピーク時で0.7~1.3°Cの低減を確認している。同じく鈴木ら<sup>3)</sup>は, バルコニー部におけるグリーンカーテンの影響を SET\*(新標準有効温度)や PMV(予測平均温冷感申告)によって評価した結果, SET\*では日中ピーク時で約2°Cの低減を報告している。

グリーンカーテンの温熱環境改善効果は, 日射量の軽減によるところが大きく, そのメカニズムについて梅干野ら<sup>12)</sup>は, ベランダにつる植物(ヘチマ: *Luffa cylindrica* (L.) Roem)を用いた被覆を行い, 夏季の日射透過特性と表面温度を計測することで, 建築物内部への日射遮蔽効果として室温の上昇を抑制する効果を検証している。同じく, 梅干野ら<sup>4)</sup>は, ヘチマとアサガオ(*Ipomoea nil* (L.) Roch)を用いた植栽スクリーンを製作し, グリーンカーテンの日射透過特性と表面温度分布について計測した結果, いずれの植

\*城西国際大学 環境社会学部

\*\*国立研究開発法人 建築研究所

\*\*\* (有)緑花技研

物も葉の表側の表面温度は日射量との相関が強く、日射量 300kcal/m<sup>2</sup>h 前後では表面温度は気温とほぼ等しく、日射量がそれ以下では気温より低く、日射量がそれ以上では表面温度が気温よりも 2~3℃ 上昇することを報告している。しかしながら、これらの実験は普通ガラスを用いたものである。

そこで、本研究は、省エネ効果が高いとされる熱線反射ガラスが使用された大学構内の教育棟バルコニー部を対象として、グリーンカーテンを設置した場合と設置しない場合の日射量の違いと表面温度の違いについて計測による比較を行い、グリーンカーテンの設置による夏季の真夏日での温熱環境改善効果について検証し、評価することを目的とした。

## 2. 研究の方法

### (1) 計測器の設置状況

千葉県東金市内にある大学キャンパス内の教育棟の1階及び2階に位置する2教室は同じ場所の上下階の位置関係にあり、建物は南南東向きで、西側は室外、南側がバルコニー、東側が廊下に接していた。教室の大きさは、縦 8.7 m、横 8.3 m、高さ 3.0 m であった。窓面は、横幅 8.3 m のうち、5.0 m がガラス窓となっており、床面から天井面までの全面がガラス面で、使用されたガラス板は厚さ 8mm の熱線反射ガラスである。1階バルコニー部は前庭の地上部から 1.2 m の高さであった。同じ方位と広さ・形状を有する2教室のバルコニー部を計測対象として、1階バルコニー部にはツルレイシの苗を2株ずつ定植したプランター6基を2013年7月5日に設置した。実験計測時には、教室内の空調は作動させず、照明も落とし、窓面は全て閉じた状態で計測した。

グリーンカーテンに使用したツルレイシの苗は、縦 17~25 cm、横 66~75 cm、深さ 25 cm のプランター6基に、市販の園芸用土をそれぞれ約 20 L を入れて、6月20日に苗を定植し、直達日射を避けて大学構内の実習棟の屋根つきの屋外で養生を行った。苗は大学近隣のホームセンターで入手した5号ポットの苗を使用した。植物への灌水は、用土の地表面および植物からの蒸発散量に影響を与えるため、毎日各プランターに6時と18時の2回2Lずつを養生期間中は手やりにて行い、計測場所への移動後は各プランター毎にゴム製のチューブを配置して、手やりと同様に6時と18時の2回2Lずつ自動灌水を行った。計測時のグリーンカーテンの被覆状態は写真-1に示す通りで、被覆率は96.5%、葉面積指数(LAI)は加藤<sup>13)</sup>の方法により算出し、1.1であった。計測器の設置状況は、写真-2と写真-3に示すとおりで、使用した計測器は表-1に示すとおりである。

### (2) 計測方法

屋外の一般気象状況を把握するため、計測に使用した教育棟南側の前庭に、図-1、図-2に示すように温・湿度計、日射

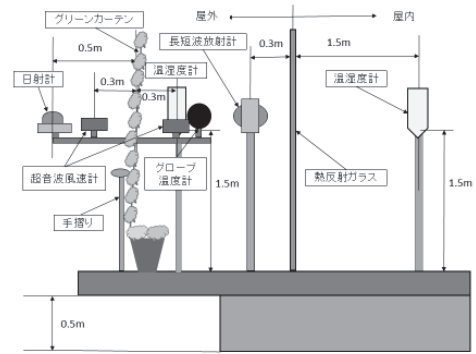


図-2 計測機器設置 (断面図)

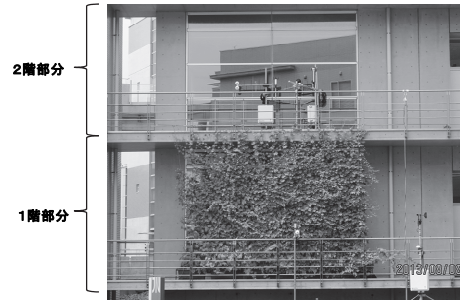


写真-1 グリーンカーテンの被覆状況 (8月8日)



写真-2 気象条件の測定機器設置状況

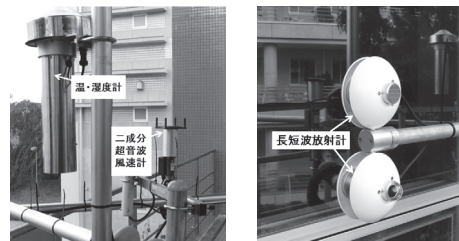


写真-3 2階バルコニー部の計測器設置状況

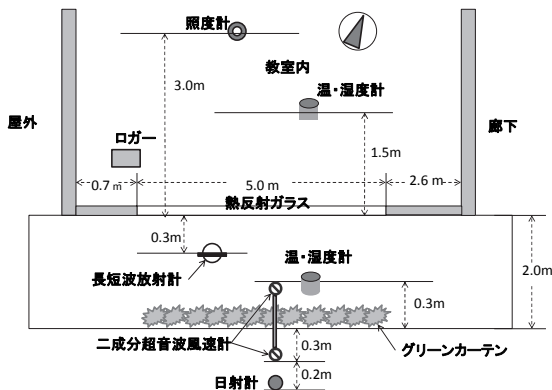


図-1 計測機器設置図 (平面図)

計を地面から 1.5 m の位置に、風向・風速計を 2.0 m の位置に設置した。日射計の計測面は、地面と平行にして上に向けて設置した。長短波放射計は計測面をバルコニー床面に垂直方向にして窓ガラス面から 30cm 程離し、床面から 1.5m の高さにガラス面と平行となるように設置した。ここで、グリーンカーテン面が太陽からの日射を直接受ける側を「表側」、バルコニーとガラス面側を「裏側」と称する。温・湿度計は、1階と2階のバルコニー内にグリーンカーテン面と屋外の手摺部にほぼ平行に並列させ、床面からは 1.5m の位置に設置した。さらに、グリーンカーテンの表側には日射計をグリーンカーテンから約 50cm 離して、計測面をバルコニー床面に垂直方向にして、グリーンカーテン面とは平行となるように表側に向けて設置した。

## 3. 結果と考察

表-1 計測機器等一覧表

計測項目	計測器	メーカー名	型番	数量	設置場所		
					1階 バルコニー	2階 バルコニー	前庭
気温・湿度	小型温湿度センサー (3 mケーブル付 /0-1v)	Vai Sala	HMP-60HT-03C	3基	●	●	●
風速・風向	セパレート風向風速センサー	R. M. YOUNG	CYG-3002	1基			●
風速・風向	2成分超音波風速計	R. M. YOUNG	CYG-85000-JK	3基	●2基	●1基	
短波日射量	日射計 (claSS 2)	Huk Seflux	CHF-LP02-c-JK	2基	●		●
長短波放射量	長短波放射計	Huk Seflux	CHF-NR01	2基	●		
表面温度	インフレックスモグラフィ	NEC AVIO	R300	1台	●	●	
計測記録	マイクロロガー	Campbell	C-CR1000-4M	2基	●(室内)	●(室内)	
灌水装置	灌水コンピューター	(株)カクダイ社製	502-302	1基	●		

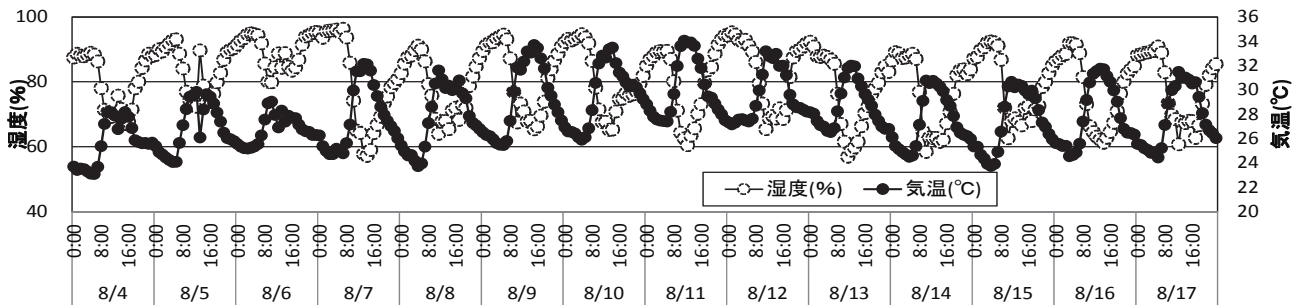


図-3 気温・湿度の経時変化

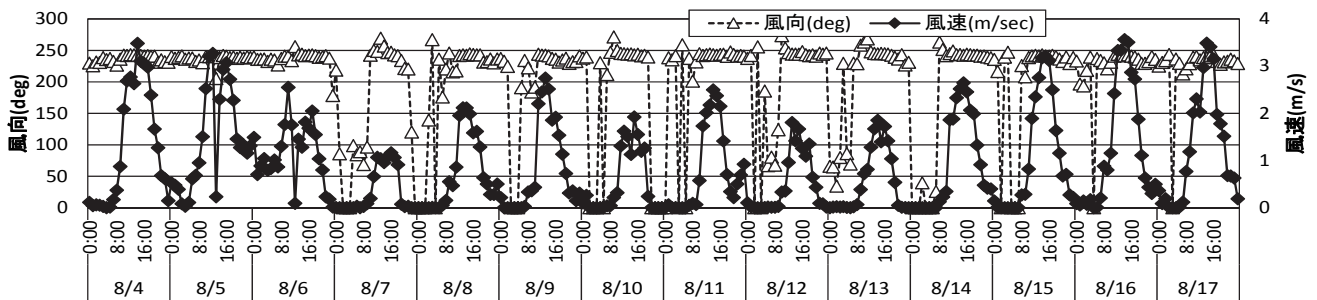


図-4 風向・風速の経時変化

(1) 気象条件と解析対象日

計測を行った大学構内の気象条件として、気温と湿度、風向と風速を計測した。図-3は気温と湿度、図-4は風速と風向について、8月4日から8月17日までの14日間の経時変化を示したものである。図-3より、気温について、最高気温は8月11日の11時に34.1℃、最低気温は8月4日の5時に23.1℃を記録した。14日間の平均気温は28.0℃であった。湿度について、最高値は8月7日の7時に96.4%、最低値は8月7日の14時に57.2%を記録し、14日間の平均湿度は80.5%であった。図-4より、風速について、最大風速は8月4日の14時に3.5m/sを記録した。14日間の平均風速は0.9m/sであった。風向については、230~250deg(南西から西南西の風)が優勢であったが、深夜0時から翌朝8時にかけて南東から北東の風まで変動が見られた。以下に、最高気温が連続して30℃以上の「真夏日」を記録した8月8日~10日までの3日間を選定して、解析を行った。

(2) カーテン表裏の日射量比較

日射量について、グリーンカーテンの表側では太陽からの直射日射と周囲からの散乱日射を受ける。グリーンカーテンの効果として、壁面外壁や窓面が受ける日射量を遮ることで、外壁面の温度上昇を抑制する効果が指摘できる。入射日射量 $S_1$ (W/m<sup>2</sup>)はグリーンカーテンにより遮蔽されるため、グリーンカーテンを透過した日射量 $S_2$ (W/m<sup>2</sup>)は $S_1$ より小さな数値になる。図-5は、グ

リーンカーテンの表側の入射日射量 $S_1$ (W/m<sup>2</sup>)と裏側でグリーンカーテンを透過した日射量 $S_2$ (W/m<sup>2</sup>)について8月8日から10日までの3日間の経時変化をグラフで示したものである。各計測日の最大値を示したピーク時の数値で比較すると、8月8日は11時の時点で最大値を示し、表側では452.0W/m<sup>2</sup>を示したのに対して、裏側では75.8W/m<sup>2</sup>と低減している。同様に、8月9日では12時にピークとなり、表側で458.2W/m<sup>2</sup>、裏側で101.0W/m<sup>2</sup>を示した。8月10日では、12時にピークとなり、表側で464.2W/m<sup>2</sup>、裏側で108.2W/m<sup>2</sup>を示した。これより、日射透過率を $\alpha_c$ とすると、

$$\alpha_c = S_2 / S_1$$

ここで、 $S_1$ : グリーンカーテン表側入射日射量 (W/m<sup>2</sup>)、 $S_2$ : グリーンカーテン裏側透過日射量 (W/m<sup>2</sup>)

図-6は、グリーンカーテンの表側の入射日射量 $S_1$ (W/m<sup>2</sup>)とカーテン裏側のベランダにおける透過日射量 $S_2$ (W/m<sup>2</sup>)との関係を示したものである。両者は強い正の相関( $R^2=0.94$ )を示し、回帰直線の傾きより日射透過率( $\alpha$ )は0.17となり、グリーンカーテン表側から入射した日射量は80%以上が削減され、透過した日射量はグリーンカーテンの表側から入射した日射量の20%以下に低減されていた。

(3) 熱線反射ガラスの特性

今回、計測に使用した熱線反射ガラスは厚さ8mmの旭硝子社製

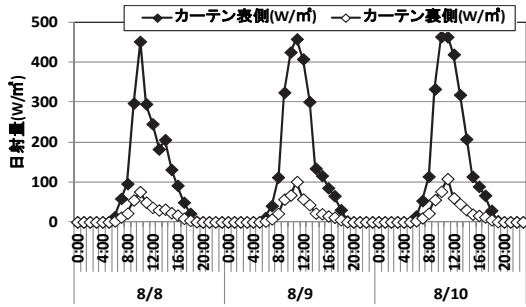


図-5 グリーンカーテン表側と裏側の日射量の経時変化

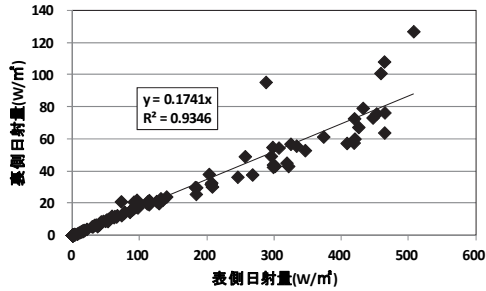


図-6 グリーンカーテン表側と裏側の入射日射量の関係

表-2 熱反射ガラスと普通ガラスとの性能比較<sup>14)</sup>

区分	品名	呼び厚さ mm	光学的性能(日射)%			熱的性能		
			反射率	透過率	吸収率	遮蔽係数	日射熱取得率	放射率
高遮熱性能熱線反射ガラス	サンルッククス TS30	8	14.7	23.5	61.8	0.48	0.43	0.89
普通ガラス	フロート板ガラス	8	7.2	81.5	11.3	0.97	0.85	0.89

のサンルック Ts30 である。この熱線反射ガラスは、板ガラスの表面に極薄の金属膜をコーティングしたもので、日射を反射し日射の室内流入を遮り、窓際の局所的な昇温やまぶしさを和らげ、冷房負荷を低減し、省エネ効果が期待され、近年は高層ビルなどにも普及が進んでいる。表-2は、今回使用されている熱線反射ガラスと透明の板ガラスとの光学的性能と熱的特性を比較したものである。これより、「光学的性能」として、熱線反射ガラスでは同等の厚さを有する透明のフロート板ガラスと比較し、日射の「反射率」では約2倍、「透過率」では約3割、「吸収率」では5倍以上を示し、日射の反射率と吸収率が高くなっている。また「熱的性能」では「遮蔽係数」と「日射熱取得率」が約1/2の低い値となっており、遮熱性が高くなっている。

(4) 表面温度の算出と比較

表面温度  $T_{sr}$  は、計測した長波放射量よりステファン・ボルツマンの法則式<sup>15)</sup>から式(1)を導出して、算出することができる。長波放射量は、長短波放射計で計測した計測値を用いたが、長短波放射計は計測面から30cmほどの直近に設置したため、鈴木ら<sup>16)</sup>の方法を参考として計測値は計測壁面からの放射量とみなし、形態係数による補正は行わなかった。また、赤外線放射量のすべてを補足できてはいないが、計測した長波放射量と同等とみなした。ここで、緑化面の放射率は、鈴木らの先行研究<sup>16)</sup>を参考として同じつる性植物の0.98を使用した。一方、熱線反射ガラス面の放射率は、表-2より、0.89を使用した。

$$T_{sr} = \sqrt[4]{\frac{L\uparrow}{\varepsilon \cdot \sigma}} - 273.15 \quad (1)$$

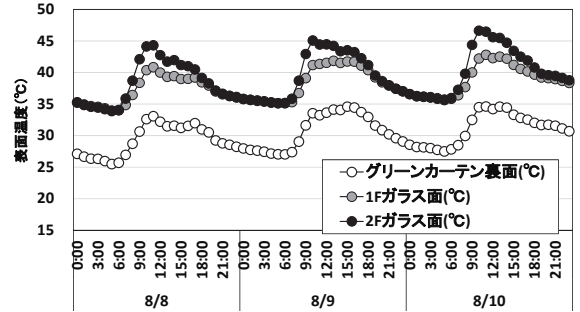


図-7 グリーンカーテン裏面とガラス面の表面温度経時変化

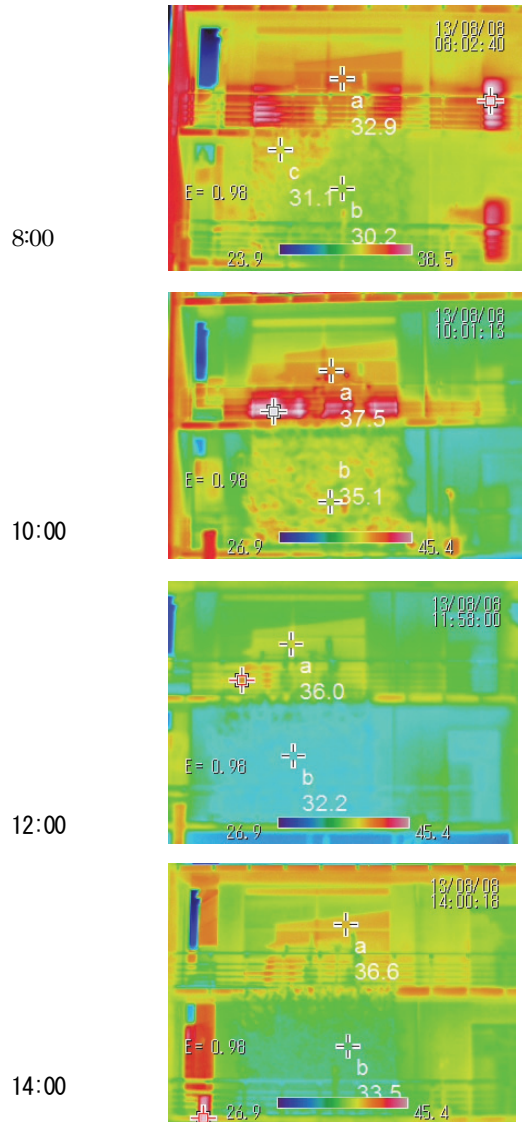


写真-4 サーモカメラによる表面温度の推移(8月8日)

ここで、 $L\uparrow$ : 上向き長波放射量( $W/m^2$ )、 $\varepsilon$ : 放射率、 $\sigma$ : ステファン・ボルツマン定数  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} [J/S/m^2/K^4]$

図-7は、グリーンカーテンの裏側の葉面温度と1階と2階のガラス面の表面温度を上式により算出し、経時変化を示したものである。これより、8月8日ではピークとなった11時の時点で、2階ガラス面(グリーンカーテンなしの場合)が44.3°Cに対して、1階ガラス面(カーテンありの場合)は40.9°Cで3.7°C低減し、グリーンカーテン裏面では33.1°Cと11.2°Cも低減していた。8月9日ではピークとなった10時の時点で、2階ガラス面で45.1°Cに

対して、1階ガラス面は41.2℃と3.9℃低減し、グリーンカーテン裏面では33.6℃と11.5℃低減していた。8月10日では、ピークとなった10時の時点で、2階ガラス面で46.7℃に対して、1階ガラス面は42.2℃と4.5℃低減し、グリーンカーテン裏面では34.5℃と12.2℃も低減していた。

一方、最低時についてみると、1階と2階のガラス面ではほとんど差異は見られず、8月8日では5時の時点で、33.0℃を示したのに対して、グリーンカーテン裏面では25.5℃と7.5℃低減していた。8月9日では6時の時点で、ガラス面で35.2℃を示したのに対して、グリーンカーテン裏面では27.0℃と8.2℃低減していた。8月10日では5時の時点で、ガラス面で35.6℃を示したのに対して、グリーンカーテン裏面では27.5℃と8.1℃低減していた。これより、グリーンカーテン裏面の表面温度は、2階ガラス面の表面温度よりもピーク時には10℃以上、最低時においても8℃以上の低減が見られた。写真-4は同じく8月8日のグリーンカーテンとガラス面の表面温度をサーモカメラで定時に撮影したものである。「サーモカメラは、画角内の全ての面における表面温度を把握することができるため、対策場所の検討などには有効である。ただし、画角が狭いことが欠点である。17)とされている。写真-4より、10時の時点で、2階のガラス面a点では37.5℃を示しているが、1階のグリーンカーテン表面では直達日射を受けて35.1℃を示した。2階のガラス面は、熱線反射ガラスが使用されていることから、対向の建物からの長波放射を反射しており、表面温度の数値もガラス面の温度をそのまま表示したのではない。

一方、グリーンカーテンの表面温度は、計測器を設置した位置に当たるb点では、35.1℃を示した。12時の時点で、カーテンの表面温度は32.2℃に下がったが、これは図-5より同時刻において雲の影響等により日射量が低減したことによると推察される。14時の時点では再び上昇し、グリーンカーテン表面のb点では33.5℃を示した。これを図-7と比較すると、8月8日10時の時点で、2階のガラス面では図-7が37.2℃に対して、写真-4が37.5℃とほとんど差はないが、グリーンカーテンの葉面では図-7が33.8℃に対して、写真-4では35.1℃と1.3℃の差異が生じている。これは、写真-4がサーモカメラ画像内の定点での温度を示し、面全体の表面温度でないこと、図-7がグリーンカーテン裏面の葉面温度であることによるものと考えられる。

#### (4) 屋内外の気温比較

図-8は、グリーンカーテンありの場合となしの場合、屋内気温の経時変化を示したものである。8月8日ではなしの場合、ピーク時の11時に31.4℃に対して、ありの場合では29.3℃であり、温度差は2.1℃であった。8月9日ではなしの場合、ピーク時の13時に32.2℃に対して、ありの場合では30.9℃であり、温度差は1.3℃であった。8月10日ではなしの場合、ピーク時の14時に33.3℃に対して、ありの場合では31.9℃であり、温度差は1.4℃であった。これより、グリーンカーテンの設置によりピーク時には1.3～2.1℃の室内気温の低減が見られた。最低気温については、いずれの日も6時頃となり、両者の間にはほとんど気温の差は見られなかった。図-9は、グリーンカーテンありの場合となしの場合のバルコニー部での屋外気温の経時変化を示したものである。いずれの日もピーク時には両者の間にほとんど差異は見られなかった。

最低時についてみると、8月8日では5時の時点で、なしの場合の24.5℃に対して、ありの場合では23.8℃であり、温度差は0.7℃であった。8月9日では、6時の時点で、なしの場合の13時に26.0℃に対して、ありの場合では25.5℃であり、温度差は0.5℃であった。8月10日では、5時の時点で、なしの場合の26.6℃に対して、ありの場合では25.9℃であり、温度差は0.7℃であった。これより、グリーンカーテンの設置により、バルコニー部の

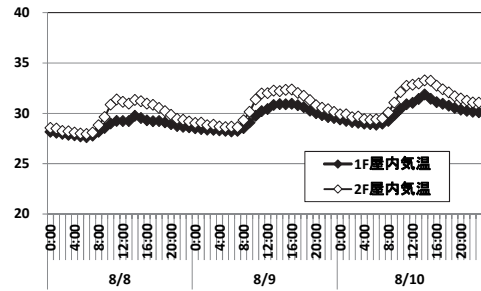


図-8 屋内気温比較

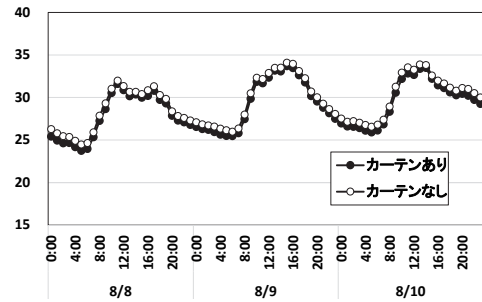


図-9 屋外気温比較

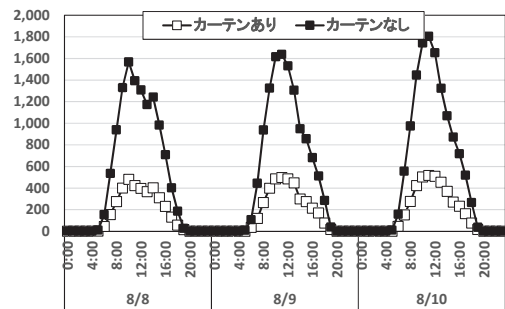


図-10 照度の比較

屋外気温は最低時には0.5～0.7℃と1℃未満であるが、わずかに低減が見られた。

#### (5) 照度の比較

屋内の照度について、グリーンカーテンの有無による違いを比較する。図-10より、8月8日ではグリーンカーテンなしの場合、照度のピークは9時に1,567Lxを示したのに対して、グリーンカーテンありの場合には、479Lxを示した。同様に、8月9日ではグリーンカーテンなしの場合、照度のピークは10時に1,637Lxを示したのに対して、グリーンカーテンありの場合には497Lxを示した。8月10日ではグリーンカーテンなしの場合、照度のピークは11時に1,805Lxを示したのに対して、グリーンカーテンありの場合には、516Lxを示した。これより、グリーンカーテンを設置した場合には、なしの場合と比較して入射日射量をグリーンカーテンが遮蔽することにより、照度が1/3以下に低減していた。この結果は、成田らが行った研究結果と概ね符合している。

JISの照度基準<sup>18)</sup>によると、1,500Lxは、屋内証明では工場での精密機械、電子部品の製造等の極めて細かい視作業を行う場合の照度である。また、学校の学習環境では、300Lxは教室での維持照度とされており、図-10より日中の8時から15時の時間帯ではグリーンカーテンの設置により照度が低下しても教室での維持照度は確保されていた。

## 4. 考察

本研究では、一般住宅レベルに普及が進みつつあるグリーンカ

ーテンを取り上げ、今後、マンション等のバルコニー部での普及を図ることにより、市街地において一体的かつ総合的な都市の緑化対策が推進されることで都市の暑熱環境改善に期待できることから、入射日射量と表面温度に着目してグリーンカーテンの設置による夏季の真夏日での温熱環境改善効果を検証した。入射日射量については、グリーンカーテンを設置することにより、緑被率 95%の下で入射日射量はグリーンカーテン透過後は入射日射量の約 80%以上が削減されていた。梅干野ら<sup>2)</sup>によれば、ヘチマを用いたベランダ植栽の日射遮蔽効果に関する分析において、葉の被覆率が 60%の場合に日射量は 70%程度遮蔽されたことが報告されている。今回の結果では、ツルレイシの被覆率が 95%と高いため、日射量の削減率もより高い数値を示したと考えられる。

入射日射量の抑制に伴う屋内照度の変化を比較したところ、グリーンカーテンの設置により教室の中央部では照度が 1/3 に低減し、この結果は成田ら<sup>7)</sup>の先行研究の結果と概ね整合した結果となった。鈴木らの報告<sup>1)</sup>と比較すると、照度の値が大幅に低減しているが、これは鈴木らの計測場所が窓際であり、直射日射の影響を受けた照度であるが、本計測では、教室のほぼ中央部での照度であることによるものである。グリーンカーテン設置後の教室屋内の照度は、日中の大半の時間帯で、JIS の照度基準<sup>18)</sup>の維持照度である 300Lx は維持されていたため、グリーンカーテンにより日射が遮蔽されても、教室での日中の学習上は支障が生じない程度の照度は確保されていた。

表面温度については、グリーンカーテンの葉面と熱線反射ガラスの表面温度について、計測した長波放射量から「ステファン・ボルツマンの法則式<sup>15)</sup>」に基づき、算出を行うとともにサーモグラフィによる熱画像と比較を行った。この結果、ピーク時にはグリーンカーテン裏面の葉面温度とグリーンカーテンを設置しない 2 階ガラス面の表面温度とは 10°C 以上の差が見られ、またグリーンカーテンの設置によりガラス面の表面温度も 4°C 前後低減していた。一方、最低温度時にはガラス面ではグリーンカーテンの設置の有無による差異は見られなかったが、グリーンカーテン裏の表面温度は 8°C 以上ガラス面の表面温度を下回っていた。今回、表面温度を(1)式により導出していることから、ガラス面とグリーンカーテン裏の表面温度の差は、ピーク時における長波放射量の差と植物面とガラス面の放射率の違いにより顕在化したものと考えられる。今後、素材特性の違いによるヒートアイランド現象緩和の物理的なメカニズムの検証が課題と考えられる。表面温度が低減することにより、屋内気温についてはピーク時に 1~2°C の低減が認められ、最低時においては両者の間にほとんど差異は見られなかった。鈴木らの実験結果<sup>1)</sup>によると、普通ガラス面で教室を締め切った条件下ではピーク時に約 4°C の室温の低下を計測しており、熱反射ガラスにより温度差は縮減するが、グリーンカーテンとの併用による室温の低下は確認することができた。グリーンカーテンの設置により入射日射量が抑制され、ガラス面および周辺部の表面温度の低減が図られることで、野島ら<sup>19)</sup>報告するように、屋内側への熱流量が抑制され、屋内気温の低減が図られることとなる。以上のことから、日射反射率と遮熱効果の高い熱線反射ガラスを用いられた場合でも、グリーンカーテンと併用することで、屋内側への熱負荷をさらに高める効果を期待できる。

## 5. まとめ

本研究では、グリーンカーテンの有無による室外バルコニー部での日射量と表面温度の相違に着目して、大学構内の方位と階数、教室内の規模がほぼ同一の教室を対象として実証実験を行い、夏季の真夏日での温熱環境の違いを評価する目的で解析を行った。

解析の結果得られた主な知見は、以下のとおりである。

1) 入射日射量について、グリーンカーテンによる日射透過率は

0.17 を示し、グリーンカーテンの裏側では表側と比して約 80% 以上の低減が見られ、両者の間には強い正の相関が認められた。  
2) 表面温度について、グリーンカーテンの裏側の葉面と熱線反射ガラスの表面温度を比較した結果、グリーンカーテン裏側での葉面温度とグリーンカーテンを設置しない熱線反射ガラス表面との間では、ピーク時には 10°C 以上の差異がみられた。ガラス面の表面温度では、グリーンカーテンありの場合にはなしの場合に比してピーク時に 3~4°C 低減し、最低時は差異が見られなかった。グリーンカーテンの設置によるガラス面および周辺外壁の表面温度の低減により、教室内の気温はピーク時に 1~2°C 低減していた。  
3) グリーンカーテンの設置に伴う日射量の低減により、グリーンカーテンありの場合にはなしの場合に比して教室内の照度は約 1/3 に低減していた。

謝辞：本研究は、日本学術振興会の科学研究費補助金により実施したものである。ここに記して感謝の意を表します。

## 補注及び引用文献

- 1) ヒートアイランド対策推進会議 (2013) : ヒートアイランド対策大綱: 21pp. < [http://www.env.go.jp/press/file\\_view.](http://www.env.go.jp/press/file_view.) > 2014.9.1 参照
- 2) 加藤真司・桑沢保夫・石井儀光・榎野公宏・橋本剛・池田今日子 (2012) : 集合住宅におけるグリーンカーテンの温熱環境改善効果研究 : 日本緑化工学会誌, 38 (1): 39-44.
- 3) 鈴木弘孝・加藤真司・桑沢保夫・藤田茂 (2015) : SET\*, PMV を用いたバルコニー部における緑のカーテンの温熱環境改善効果 : 日本緑化工学会誌, 41 (1): 175-180
- 4) 梅干野晃・山下富大 (1984) : ツル植物による植栽スクリーンの日射遮蔽効果 : 日本建築学会建築環境工学論文集, 第 6 号: 140-145.
- 5) 福田佐子・佐保満夫 (2008) : グリーンカーテンの温度低減効果 : 横浜市環境科学研究所報, 第 32 号: 22-26.
- 6) 成田健一 (2007) : グリーンカーテンが教室の温熱環境に及ぼす効果 : 環境情報科学論文集, 21: 501-506.
- 7) 成田健一 (2009) : グリーンカーテンは周囲空気を冷却するか? : 環境情報科学論文集, 23: 167-172.
- 8) 高山成・山本晴彦・吉越恒・岩谷潔・原田陽子・山崎俊成・立石欣也 (2011) : 蔓植物を使った夏季の壁面緑化による日傘効果とガラス窓日射熱負荷軽減量の算定 : 日本建築学会環境系論文集, 76 (661): 247-254.
- 9) 軸丸勇士・藤本裕一・島崎卓 (2008) : 「グリーンカーテン」の降温効果とその利用 : 日本科学教育学会九州・沖縄支部会, 13-20.
- 10) 野村不動産ホールディングス (2012) : CSR 報告書 2012 : 野村不動産, 39pp.
- 11) 鈴木弘孝・加藤真司・藤田茂 (2015) : MRT, WBGT によるグリーンカーテンの温熱環境改善効果の評価 : ランドスケープ研究 78(5), 505-510
- 12) 梅干野晃・山下富大 (1983) : ツル植物によるベランダ植栽の日射遮蔽効果に関する実験研究 : 日本建築学会建築環境工学論文集, 第 5 号 : 141-146.
- 13) 加藤真司・持田太樹・島田知幸 (2013) : 写真画像に基づく緑のカーテンの LAI 測定方法 : 平成 25 年度日本造園学会関東支部大会梗概集 Vol. 31, 112
- 14) 旭硝子ホームページ, 高遮熱性能熱線反射ガラス JISR3221 熱線反射ガラス「サンルックス®」 ([http://www.agc.com/products/summary/1174402\\_832.html](http://www.agc.com/products/summary/1174402_832.html)) (2015. 12. 1 参照) より作成した。
- 15) 田中俊六・武田仁・足立哲夫・土橋喬雄 (2002) : 最新環境工学 : 井上書院, 317pp.
- 16) 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
- 17) 環境省 (2012) 平成 24 年度ヒートアイランド現象に対する適応策及び震災後におけるヒートアイランド対策 (<https://www.env.go.jp/air/report/h25-02/index.html>)
- 18) 日本工業規格, JIS 照度基準 JIS Z9110-1979 「照度基準」付表 7-1
- 19) 野島義照・鈴木弘孝 (2004) : 壁面緑化による夏季の壁面から屋内への熱流および熱流量の軽減効果 : ランドスケープ研究 67(5), 447-452