

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

Estimating the Effects of Green Curtain on Improving the Thermal Environment using the Indices of MRT and WBGT

鈴木 弘孝* 加藤 真司** 藤田 茂***

Hiroataka SUZUKI Masashi KATO Shigeru FUJITA

Abstract : The purpose of this study is to evaluate the difference of the thermal environment at the outdoor balcony, such as mansions and so on, with or without the green curtain, which could be expected to come into wide as a measure of the heat island phenomenon in the near future. 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. As a result, the velocity of the wind reduced 40% behind the green curtain, compared with in front of it, and both values collated strongly. The value of MRT also was reduced about 30°C (40 %) with green curtain, compared with no curtain. The value of WBGT reduced 0.7~1.3°C at the peak in the daytime with green curtain, compared with no curtain, but the former showed tendency to be 0.7~0.8°C more over than the later from midnight to early morning. It was suggested that using the thermal indices of MRT and WBGT, we could evaluate the improving effect of the outdoor thermal environment behind the green curtain.

Keywords: heat island, green curtain, thermal indices, MRT, WBGT

キーワード : ヒートアイランド, グリーンカーテン, 温熱指標, MRT, WBGT

1. 研究の背景と目的

都市部においてコンクリートやアスファルトによる地表面被覆の増加と緑地や水面の減少, 都市活動に伴う自動車や空調機器などによる人工発熱の増加等により, ヒートアイランド現象が顕在化しており, 2004年3月には「ヒートアイランド対策大綱」が関係府省連絡会議において決定され, 2013年5月には改定される¹⁾等, その対策の強力な推進が必要かつ急務となっている。ヒートアイランド現象の緩和を図るための地表面被覆改善策として, 都市の中の緑地面積を増大させることが有効とされているが, 高度に土地利用が集積した都市市街地においては, 市街地面積の大半を占める民有地において建築物の緑化として屋上や壁面の緑化の推進を図ることが有効とされている¹⁾。一方, 近年は小・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²⁾が普及しつつある。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。福田ら³⁾は, 横浜市内の小中学校や保育園等69箇所を設置された緑のカーテン⁴⁾について, 赤外線カメラによる表面温度観測と緑化教室と非緑化教室について教室室内気温を観測し, 緑のカーテンによる温度低減効果として, 表面温度では晴天日の日向では10°C程度, 曇天日や日陰では3~4°C程度であること, 教室室内温度については最大で1.4°C低いことを明らかにした。軸丸ら⁵⁾は, 緑のカーテンがある場合とない場合の教室室内温度の測定を行った結果, 教室室内温度は緑の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。成田⁶⁾は, 小学校の校舎に設置された緑のカーテン⁴⁾による, 教室の温熱環境改善効果について実測し, 緑の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⁷⁾は, 緑のカーテンの葉群層から各々約30cm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。吉田ら⁸⁾は, 緑のカーテン⁴⁾による教室室内熱環境緩和効果をもたらす日射遮蔽性能の評価尺度として, ak (葉面積密度×消散係数) が有効なパラメータとなることを確認した。高山ら⁹⁾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緑のカーテンを設置した場合におけるガラス窓日射熱負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¹⁰⁾は, 集合住宅を利用して, 緑のカーテンの設置量の違いと簾との比較により, 緑のカーテン⁴⁾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, 緑の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緑のカーテンの体感温度での有利性を指摘している。

以上の先行研究のレビューにより, グリーンカーテン(以下「カーテン」という)の設置による教室内外の温熱環境比較に関する研究ストックは相当程度蓄積されてきたが, 今後, 総合的に市街地部の緑化を推進していくために高層の住宅や建築物の壁面部での緑化等が有効と考えられ, その際に室外の利用が見込まれるバルコニー部での温熱効果に関する研究例は少ない。そこで, 本研究では, 大学の教育棟を対象にして, MRT (Mean Radiant Temperature : 平均放射温度) と WBGT (Wet Bulb Globe Temperature : 湿球黒球温度) を温熱指標として, カーテンを設置した場合と設置しない場合の教室外バルコニー部での温熱環境を比較し, カーテンの設置による教室内外での温熱環境改善効果を定量的に評価することを目的とした。

2. 研究の方法

*城西国際大学環境社会学部 ** (独) 建築研究所 *** (有) 緑花技研

表-1 計測器一覧表

計測項目	記号	計測器	メーカー名	型番	数量	設置場所			
						G1棟		G2棟	
						教室外	教室内	教室外	教室内
気温・湿度		小型温湿度センサー (0-1v)	Vaisala	HMP-60HT-03C	4基	●	●	●	●
風速・風向		セバ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	2基			●●	
グローブ温度		グローブ温度計	クリマテック	C-BB-15cm-JK	2基	●		●	
日射量		日射計 (class 2)	Hukseflux	CHF-LP02-c-JK	2基	●		●	
照度		小型照度計 (教室用 0-30KLx)	英弘精機	CEK-ML020SI	2基		●		●
計測記録		データロガー	Campbell	C-CR1000-4M	2基		●		●

(1) 実験装置の設置

千葉県東金市内にある大学キャンパス内の同じ方位と広さを有す棟のバルコニー部にはツルレイシの苗を2株定植したプランター8基を2012年6月20日に設置した。G1棟とG2棟の間は約20m離れていた。図-1,図-2に示すとおり,G1棟とG2棟の教室は、いずれも東向きで、南側は室外、北側は隣の教室に接していた。教室の大きさは、タテ11.2m, ヨコ7.9m, 高さ3.0mであった。窓面は、東側は横幅7.9mのうち3.4m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、材質は単層のフロート版ガラスであった。南側は、腰高1.1mで、タテ1.9m, ヨコ2.2mのガラス面3面が教室の東端より、0.8mの間隔で配置されていた。床面は、教室外の外構広場面から0.8mの高さで、材質はビニール製タイル、色はライトグレーであった。実験計測時には、教室は入口と窓面を全て閉じ、東側のガラス面のブラインドは全面引き上げ、南側はブラインドを下ろして遮光した。

カーテンに使用したツルレイシの苗は、タテ17~25cm, ヨコ66~75cm, 深さ25cmのプランター6基とタテ21~27cm, ヨコ50~59cm, 深さ20cmのプランター2基に、市販の園芸用土(販売元:(株)ホーネンアグリ)をそれぞれ約20Lと約16Lを入れ、6月13日に苗を2株ずつ定植した。ツルレイシの苗は、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。植物への灌水量は、プランター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、灌水は毎日定量(7月末までは9時に手やりで各プランターに2Lずつ、8月からは9時と18時の2回、各プランターにそれぞれ2Lずつ)を与えた。使用した計測器は表-1に示すとおりである。また、G1棟とG2棟における計測器の設置状況は、それぞれ図-1と図-2に示すとおりである。計測時のカーテンの被覆状態は写真-1に示す通りで、葉面積指数は1.2、被覆率は80.1%であった。LAIと被覆率は、加藤ら¹⁾の方法によって算出した。

(2) 計測の方法

カーテンによる温熱環境改善効果を明らかにするため、計測は緑化による効果が最も期待される酷暑期に行うこととした。図-1より、G1棟では、温湿度計は教室のガラス面から1.0m離し、



写真-1 カーテンの繁茂状況 (8月16日)

グローブ温度計は、バルコニーの外縁部から30cm程教室側に、床面から1.5mの高さに設置した。日射計と風速計はバルコニーの外縁部に設置した。いずれの計測器もバルコニー床面からは1.5mの高さに設置した。図-2より、G2棟では、G1棟と同様に、温湿度計をガラス面より1.0m離して設置した。カーテン面より東側を「表側」、カーテン面より西側(バルコニー側)を「裏側」としてカーテン近傍での風速と風向の変化を計測するため、カーテンから30cm程離して2成分超音波風速計を設置した。グローブ温度計は、カーテン裏側にカーテンから30cm程離し、床面から1.5mの高さに設置した。G1棟、G2棟とも教室内は閉め切りとして開閉はせず、また空調も入れず、照明も落とした状態で計測した。教室内の温湿度計は、窓面から1.5m離し、床面からは1.5mの高さに設置した。また、照度計は、窓際での照度を計測するため、窓面から1.0m離して、床面に設置した。計測器は2012年8月5日に設置し、学生たちが教室に出入りすることのない夏季休暇中の8月6日0時から19日の24時までの14日間を自動計測により行

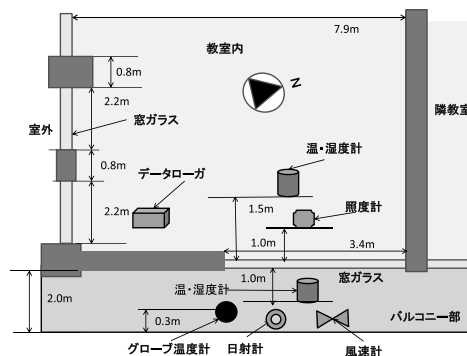


図-1 G1棟の計測器設置図

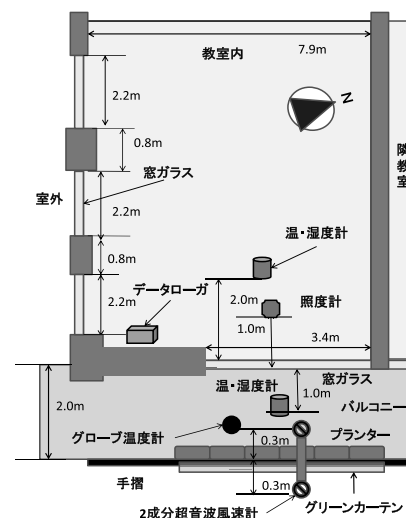


図-2 G2棟の計測器設置図

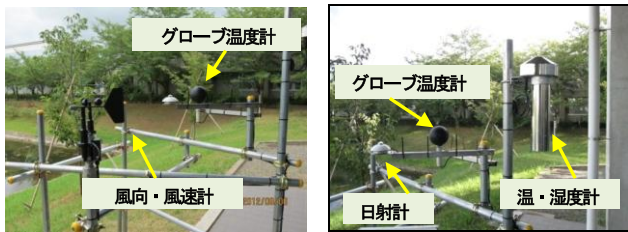


写真-2 G1棟の計測器設置状況



カーテン裏側
カーテン表側
写真-3 G2棟の計測器設置状況



写真-4 G1, G2棟教室内に設置した計測器

った。計測間隔は1分とした。なお、G1棟とG2棟は形状も方位も同じであるが、教室内の温熱環境条件が同一であることを確認するため、本実験後、カーテンを撤去した状態で夏季（2014年8月16～19日）に教室内に黒球グローブ温度と照度の測定を行い、両室の教室内の条件がほぼ同一であることを確認した。計測器は、計測前に全て校正を行った。G1棟とG2棟における計測器の設置状況は、写真-2から写真-4に示すとおりである。

3. 結果

(1) 気象概況

14日間の計測期間のうち1日の最高気温が30℃を上回る「真夏日」が連続した8月16日から8月18日までの3日間を解析対象に選定した。一般気象条件として、気温、湿度の推移を図-3に、風速、風向の推移を図-4に、日射量の推移を図-5に示す。

図-3より、気温については、3日間の最高気温は、8月16日の12時に32.0℃、最低気温は8月17日の5時に23.9℃を記録した。3日間の平均気温は27.5℃であった。湿度については、3日間の最高値は8月17日の5時に95.9%、最低値は8月16日の13時に61.7%を記録し、3日間の平均湿度は82.5%であった。

図-4より、風速については、最大風速は8月17日の16時に1.8 m/secを記録した。3日間の平均風速は0.4 m/secであった。風向については、150～200 deg(南東～南南西)の風が優勢であった。図-5より、日射量については、日の出とともに上昇し10時～11時にピークとなり、日没まで暫減していく。期間中の最大値は、8月17日の11時に729.1 W/m²を示した。

(2) 教室外の気温と湿度の変化

図-6は、G1棟とG2棟のバルコニー部における気温の経時変化を示したものである。これより、日射量については、日の出とともに上昇し、10時～11時にピークとなり、日没まで暫減していく。期間中の最大値は、8月17日の11時に729.1 W/m²を示した。

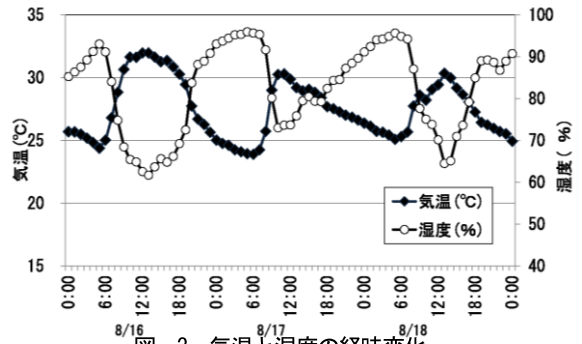


図-3 気温と湿度の経時変化

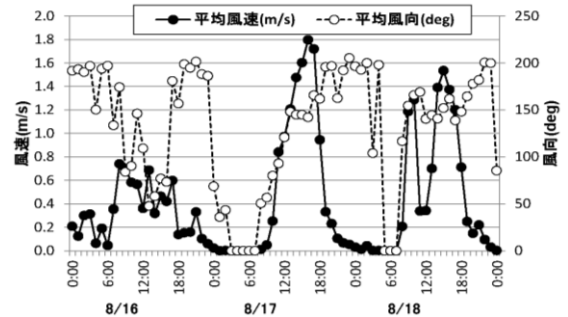


図-4 風向と風速の経時変化

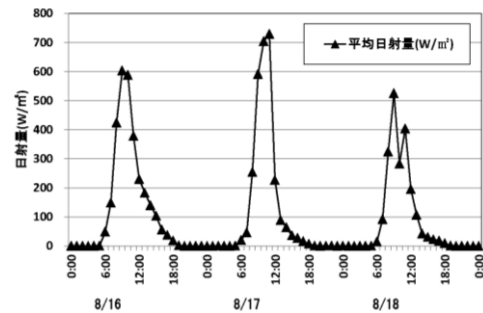


図-5 日射量の経時変化

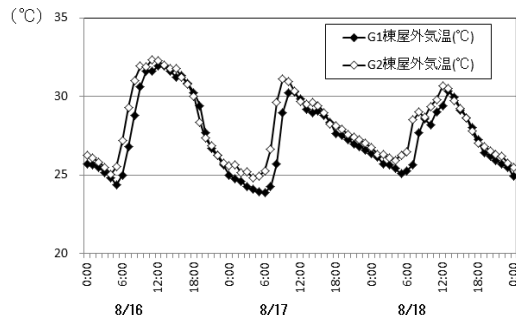


図-6 室外気温の経時変化

(2) 教室外の気温と湿度の変化

図-6は、G1棟とG2棟のバルコニー部における気温の経時変化を示したものである。これより、カーテンを設置したG2棟の方がG1棟よりも、終始、気温が高いまま推移しており、最大差は8月17日の4時に1.1℃を示し、3日間の平均気温差は0.4℃となった。これは、カーテン設置による通風の障害が原因と考えられる。また、図-7は、同じく二つの教育棟のバルコニー部における湿度の経時変化を示したものである。これより、6時から9時にかけては、G1棟（カーテンなし）の方が低く推移し、12時前後から夜間にかけては、逆にG2棟（カーテンあり）の方が高くなる傾向が見られ、最大では8月16日の19時に11.6%の差が生じ3日間の平均では、0.6%程度上回っていた。これは、カーテン表面からの蒸散作用と通風の障害が影響したものと推察される。

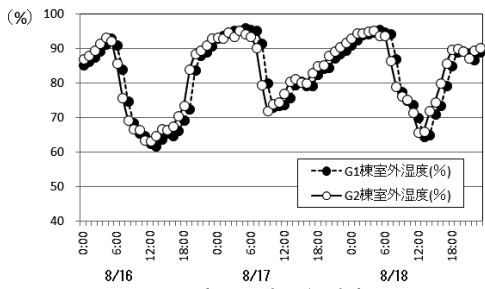


図-7 室外温度の経時変化

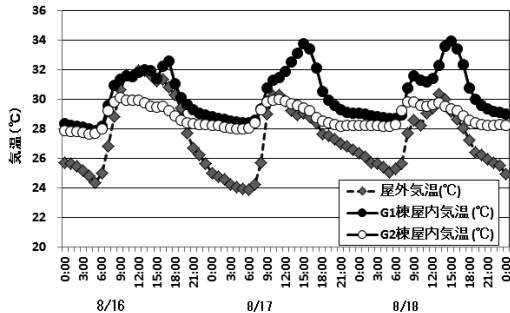


図-8 教室外と教室内の気温比較

(3) 教室内外の気温の変化

図-8は、G1棟とG2棟の教室内外とG1棟教室外のバルコニー部の気温の経時変化を示したものである。カーテンを設置しないG1棟の場合、教室内の最高気温は8月18日の15時の時点で33.9℃を記録し、最低気温は、8月16日の5時に27.9℃を計測した。これより、3日間の最高気温と最低気温の差は、最大で6.0℃を記録した。室外気温の推移と比較するとピーク時では最大で3.6℃の上昇が見られた。

これに対して、カーテンを設置したG2棟の場合には、最高気温はいずれの日も、9～10時に29.8～30.1℃となり、以後夜間にかけて緩やかに低減する傾向が見られ、18時以降はほぼ28℃付近で安定した。最低気温は、8月16日の4時に27.7℃を記録した。カーテンなしの場合と比較すると、最高気温は最大で4.1℃低減し、最高と最低の最大気温差も2.5℃となり、1/2以下に緩和された。教室外の最高気温と比較すると、ピーク時では0.3～1.9℃低くなっていた。軸丸ら⁵⁾の報告と比較して、カーテン設置による教室外と教室内との最大の気温差が大きくなっているが、これは、軸丸らの場合は窓部を開放状態で測定していることとの違いによるものである。

(4) 照度の変化

教室内外において、窓ガラス面から1m離れた床面に照度計を設置した室内照度の経時変化を図-9に示す。これより、カーテンなしのG1棟の教室内外では、日の出とともに東方向から受ける直達日射の影響により、9時にピークとなり45,000 lxから58,000 lxを示したのに対して、カーテンありのG2棟の場合は8時の時点でピークとなり、19,000 lxから31,000 lxとなり、約50～60%教室内外の照度は低減した。低減の比率については、成田らの報告⁶⁾の1/3低減と比較すると大きい。これは成田らが教室の中央部で計測したのに対して、本研究では測定位置を窓側としたことにより、直達日射の影響を受けたためである。室内作業の照度基準(JIS)¹²⁾では、居間での裁縫などの手元作業に750～2,000 lx、読書等に300～750 lx必要とされている。成田ら⁵⁾の報告では、カーテンを設置した場合は、教室内外の照度がJIS基準を下回っていたが、今回の窓際での計測では室内での手元作業に必要な照度に対して、ピーク時には25～29倍の照度が確保されている他、いずれの日も7時～14時までの間は750 lx以上の照度が維持され、

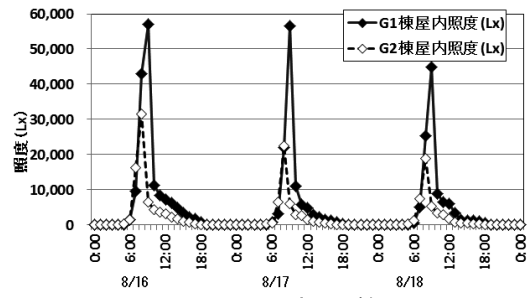


図-9 照度の比較

14時以降16時頃までは300 lx以上が確保されていた。これより、カーテンが日射を遮蔽することにより、窓際では特に日中は照明をつけなくとも読書等の室内での作業には支障を生じない程度の照度は維持されていた。

(5) 風速・風向の比較

図-10は、8月16日から18日までの3日間のG2棟に設置したカーテンの表側と裏側の風速の変化を示したものである。これより、カーテンの表側では、8月17日の15時頃に最大1.5 m/secを記録したのに対して、カーテン裏側では1.1 m/secとなり、約30%程度低減していた。3日間の平均風速でみると、表側では0.5 m/sec、裏側では0.3 m/secとなり、約40%低減していた。カーテン表側と裏側の風速の関係を示すと、図-11のとおりである。これより、両者の間には、強い正の相関($R^2=0.91$)が見られ、回帰直線の傾きからカーテン裏側の風速は、表側の風速の62.2%となり、表側の風速に対して38.8%が減速していた。

一方、図-12は、同じく3日間のG2棟に設置したグリーンカーテンの表側と裏側の風向の変化を示したものである。これより、表側、裏側とも全体として南南西(200 deg)の風が卓越する傾向が見られた。8月16日の日中には、両側とも北東(50 deg)から東南東(100 deg)の風が優勢となったが、17日の深夜にかけては、グリーンカーテンの表側で東南東(100 deg)から南(180 deg)の風が優勢となっていたのに対して、裏側では北東(50 deg)から南西(220 deg)の風まで大きく変動していた。グリーンカーテン表側と裏側の風向の関係は図-13に示すとおりで、両者の間の相関関係は低く($R^2=0.41$)なっていた。これは、グリーンカーテンが密に被覆されることで、風の透過が遮られ、カーテン裏側で乱流が形成されたためと考えられる。

(6) 温熱環境改善効果の評価

1) MRTによる評価

カーテンの設置によりバルコニー部での暑熱環境が具体的にどのように改善されるかを、カーテンに比較的近い位置での影響を評価するため、MRTによる温熱指標を用いて熱環境改善効果を確認した。MRTは、暑さ感を示す温熱指標の一つで、周囲の全方向から受ける熱放射を平均化して温度表示したものである¹³⁾。具体的には、グローブ温度計により計測した黒球グローブ温度(T_g)と温湿度計により計測した乾球温度(T_a)、長音波風速計による風速値(V)を用いて、(1)によりMRTを算出した。

$$MRT = T_g + 2.37\sqrt{V} \times (T_g - T_a) \quad \dots (1)$$

ここで、 T_g : 黒球グローブ温度 [°C], T_a : 乾球温度 [°C], V : 風速 [m/s]

8月16～18日について、MRTの算出結果を経時変化で表すと、図-14に示すとおりである。これより、室外のバルコニー部では、日中はG2棟(カーテンあり)の方がG1棟(カーテンなし)よりも絶えず低温で推移し、温度が上昇するにつれ、両者の温度差が拡大している。最大ピークの9時の時点では、G1棟(カーテンなし)が67.8～70.2℃と70℃前後であるのに対して、G2棟(カ

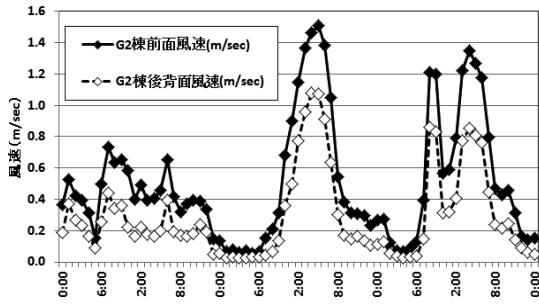


図-10 風速の経時変化

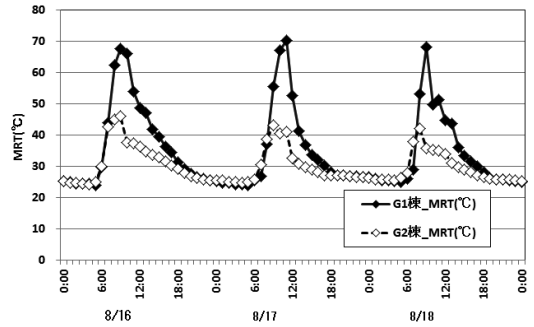


図-14 MRTの経時変化

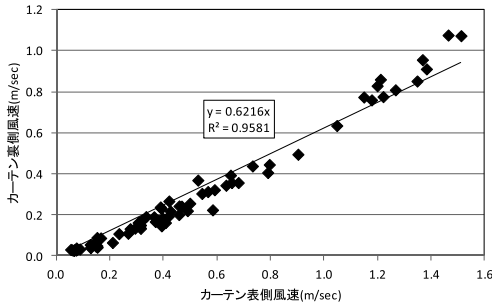


図-11 カーテン表側とカーテン裏側の風速の関係

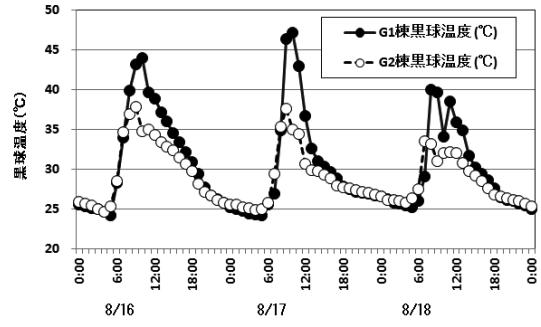


図-15 グローブ温度計の経時変化

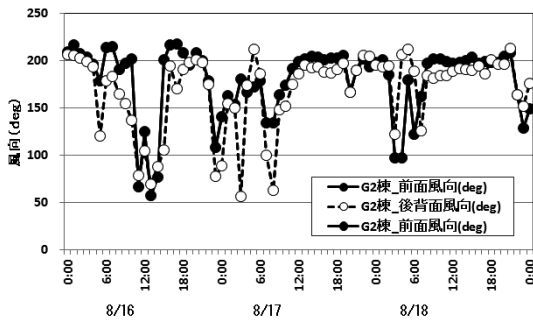


図-12 風向の経時変化

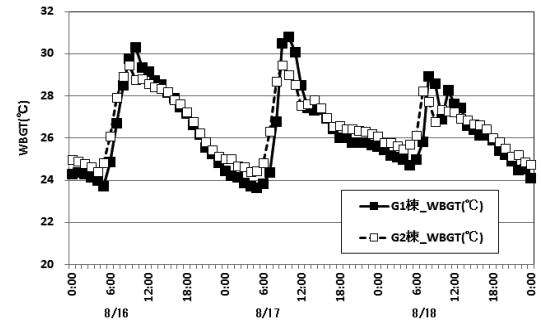


図-16 WBGTの経時変化

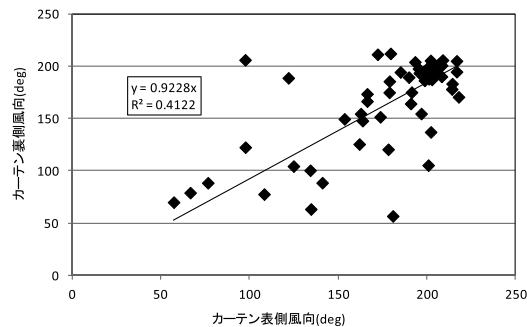


図-13 カーテン表側とカーテン裏側の風向の関係

表-2 熱中症予防のための運動指針¹⁵⁾

WBGT	運動指針	
31℃以上	運動は原則中止	WBGTが31℃以上では、皮膚温より気温の方が高くなる。特別の場合以外は運動は中止する。
28～31℃	厳重警戒	熱中症の危険が高いので、激しい運動や持久走など熱負担の大きい運動は避ける。
25～28℃	警戒	熱中症の危険が増すので、積極的に休息をとり、水分を補給する。
21～25℃	注意	熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。運動の合間に積極的に水を飲むようにする。
21℃まで	ほぼ安全	通常は熱中症の危険性は小さいが、適宜水分の補給が必要である。

ーテンあり)が42.3~46.3℃であり、カーテンなしの場合に比して約40%低い値を示した。また、夜間20時以降翌朝5時までの間は、両者の間に温度差はほとんど見られず、温度も25~27℃で安定している。図-15は、グローブ温度の経時変化を示したものである。これより、G1棟とG2棟ともに、MRTの変化とほぼ相移的に推移しており、MRT値はグローブ温度に大きく左右されていることが分かる。

2) WBGTによる評価

次に、建物外部空間での放射環境も考慮して温熱環境を評価する指標としてWBGT値の算出を試みた。WBGTは、外部空間で

の労働環境やスポーツ環境として適正な空間であるか否かを示す指標として用いられ、人体の熱収支に影響の大きい湿度、輻射熱、気温の三つを取り入れた温熱指標であり、(2)式で算出される¹⁴⁾。

$$WBGT = 0.7T_w + 0.2T_g + 0.1T_d \quad \dots (2)$$

ここで、 T_w : 湿球温度 (℃), T_g : グローブ温度 (℃), T_d : 乾球・湿球温度 (℃)

表-2に示すとおり、1993年に日本体育協会から、WBGTを基準とした「熱中症予防のための運動指針¹⁵⁾」が提示されているが、この指針によるとWBGTが28℃以上になると熱中症の危険

が高く、「激しい運動は中止」とされ、31℃以上になると「運動は原則として中止」とされている。本研究では、計測した気温と湿度を基に、WBGT値を算出した。8月16～18日についてWBGTの経時変化で表すと、図-16に示すとおりである。ピーク時は9～10時の時間帯でG1棟では28.9～30.8℃を示したのに対して、G2棟では28.2～29.5℃となり、0.7～1.3℃低くなっていた。一方、夜間から早朝にかけては、逆にG1棟の方がG2棟よりも低くなる傾向が見られた。最低温度を記録した4～6時の時間帯では、前者が23.6～24.7℃に対して、後者が24.4～25.5℃となり、日中とは逆に0.7～0.8℃低くなっていた。

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、市街地部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熱環境改善に期待できることから、MRTとWBGTの温熱指標を用いてカーテンの設置による温熱環境改善効果を検証した。

MRTについては、カーテンを設置しない場合に比べると、設置した場合の方が絶えず低い温度で推移し、温度の上昇につれてその差は拡大し、ピーク時で約27℃と約40%の低減効果が見られた。このような温度差の生じる理由として、カーテンにより直達日射が遮蔽されることで、グローブ温度の比較から建物のバルコニー床面や窓のガラス面、建物の外壁の表面温度の上昇が抑制されること、風速もカーテン裏側では表側に対して約40%が低減されることにより、MRT値が大幅に低減したものと考えられる。鈴木ら¹⁶⁾が過年度に、壁面緑化の外側での温熱環境をコンクリート壁(白色)との比較で評価した結果では、壁面緑化によりMRT値が約15%の低減を報告している。緑化の形態が異なるため単純な比較はできないが、放射環境が大きく緩和されることにより、夏季のバルコニー等の室外において、ベランダガーデニングやくつろぎ等の室外利用の可能性が高まることが期待できる。また、グローブ温度を計測することで、MRTの値を簡易に近似させることもでき、MRTを用いてカーテンによる戸外の温熱環境改善効果を定量的に評価することの有効性が確認できた。

一方、WBGTは、室外のスポーツや労働現場において暑熱環境を評価し、熱中症予防対策に活用されている指標である。この方法は、労働者が活動している一定時間における平均的な熱の影響を評価する場合には適用できるが、快適域に近い熱ストレスの評価には適用できないとされている¹⁴⁾。今回の計測の結果では、カーテンを設置することにより、設置しない場合に比して、ピーク時には約1℃弱低減が確認できたが、顕著な緩和効果は認められず、先の「熱中症予防のための運動指針¹⁵⁾」によると、熱中症のリスクを低減するまでの効果は確認できなかった。逆に夜半から早朝にかけてカーテンを設置しない状態の方が、カーテンを設置した場合に比べると1℃弱低くなる傾向が見られた。これは、植物体からの蒸散作用により緑化された面の近傍では相対湿度が高くなり、カーテンを設置した場合に比して、設置しない場合の方が低い温度を記録したものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、カーテンの有無による室外バルコニー部での温熱環境の違いを評価する目的で、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、解析を行った。解析の結果、本研究において得られた主な知見は、以下のとおりである。

1) 室外の風速については、カーテンの裏側では表側と比して約40%の低減が見られ、両者の間には強い正の相関が認められる

一方、風向についての相関は低かった。

2) 室外バルコニー部での放射環境を評価する温熱指標としてMRTを用いて評価したところ、カーテンありの場合にはカーテンなしの場合に比して、約40%近くが低減していた。これは、直達日射がカーテンにより遮光されることによる周辺からの放射温度の低下と風速の減速によるものである。

3) 室外バルコニー部での作業・生活環境を評価する温熱指標として、WBGTを用いて評価したところ、カーテンの設置による日中ピーク時に0.7～1.3℃の低減が確認されたが、早朝にかけては逆にカーテンありの方がなしの場合よりも、0.7～0.8℃上回る傾向が見られた。これは、カーテン裏側の湿分の上昇が作用したものと考えられる。

以上により、カーテンの設置の有無による教室内外での温熱環境の違いについてMRT、WBGTという温熱指標により評価した結果、MRT値の比較からカーテンによる放射環境の改善効果を定量的に補足することができた。一方、作業環境としてWBGT値で評価したところ、カーテン設置による日中の低減効果は見られたが、熱中症のリスクを軽減するまでの顕著な効果は認められなかった。通風の確保等による体感温度の低減が課題と考えられる。

謝辞：本研究は、野村不動産株式会社からの受託費により実施したものである。記して、関係各位に対し深く感謝申し上げる。

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) 2014.9.1 参照
- 2) 「グリーンカーテン」の用語について、「緑のカーテン」という用語も一般的に使用されているが、本論文では引用文献で使用されている場合の他は「グリーンカーテン」に統一した。
- 3) 福田亜佐子, 佐保満夫他 (2008)：緑の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
- 4) 先行研究の論文の中では、「緑のカーテン」という用語が使用されているため、論文内の用語をそのまま使用したが、本稿の「グリーンカーテン」と同義である。
- 5) 軸丸勇士他 (2008)：「緑のカーテン」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
- 6) 成田健一 (2007)：緑の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)：緑の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) 吉田伸治 (2009)：実測による緑のカーテンの教室内温熱環境緩和・日射遮蔽効果の分析：日本建築学会大会北陸支部研究報告集(52), 207-210
- 9) 高山成, 山本晴彦他 (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
- 10) 加藤真司, 桑沢保夫, 石井俊光, 樋野公宏, 橋本剛, 池田今日子 (2012)：集合住宅における緑の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
- 11) 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
- 12) 日本工業規格, JIS 照度基準 JIS Z9110-1979 「照度基準」付表 7-1
- 13) 国土交通省都市・地域整備局公園緑地環境推進室 (2004)：緑による熱環境改善効果に関する調査について, 11pp.
- 14) 環境省, 環境省熱中症予防情報サイト：環境省ホームページ (<http://www.wbgt.env.go.jp/wbgt.php>) 2014.9.1 参照
- 15) 日本体育協会：熱中症予防のための運動指針：日本体育協会ホームページ (<http://www.japan-sports.or.jp/medicine/tabid/922/>) 2013.4.16更新, 2014.9.1 参照
- 16) 鈴木弘孝, 三坂育正, 水谷敦司, 田代順孝 (2006)：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