研究論文

グリーンカーテンを用いた西日対策の室内温熱環境への影響

中村　美紀，榊原　洋子，太田　弘一，久永　直見

【要旨】グリーンカーテンを用いた教室内の温熱環境改善効果の測定を行った。夏季にグリーンカーテンが施された教室とそうでない通常の教室の気温を比較したところ，グリーンカーテンが施された教室の方がわずかではあるが教室内の気温が低下した。また，その遮光効果によって，教室内にある椅子やカーテンの表面温度が低下していることが確認された。このことから，顕著な室内気温の低減にはならないが，総合的に温熱環境を改善できることがわかった。

キーワード：グリーンカーテン，温熱環境，室内温度，熱放射，放射環境，西日対策

Ⅰ．はじめに

一般家庭や教育現場において，夏季の温熱環境を改善するための試みとしてグリーンカーテンが急速に普及し始めた。着手しやすいこと，食物を育てることができることや涼感を得ることができることなど，人間生活にとって多くの利点が見込まれ，関心を持つ人が増えている。グリーンカーテンの温熱環境への影響に関する報告は，例えば，野島ほか（2004）[1]や鈴木ほか（2006）[2]，成田（2007）[3]によるものがある。成田（2009）[4]は，その論文にて，グリーンカーテンから30cm離れた地点で測定した気温は下がらなかったという事例を示し，体感される涼しさの本質は放射環境の改善であることを指摘している。また，梅干野ほか（1985）[5]は，西日対策としてツタを西壁にはわせることでその影響をほぼ完全に取り除くことができると報告している。

しかしながら，このような研究結果は一般に周知されておらず，教育現場で活躍する教員も「緑化はいいことである」という一般概念的なものからグリーンカーテン設置を推進している場合が多いのが現状である。有効活用するためには，これまでの知見について実例とともにわかりやすく提示することが必要であろう。特に，放射環境について情報の周知が不十分であるように思われる。涼しさの要素として，人間の代謝量，気温，湿度，熱放射などが関わっているが，例えば空調機は温度をコントロールするものとすれば，グリーンカーテンは熱放射をコントロールするものに該当する。熱放射とは，簡単に説明するとすれば，表面温度に応じて放出される熱エネルギーのことである。これは輻射熱とも呼ばれている。表面温度が高いものは熱放射が多くなる。この熱放射に焦点を当てて生活空間をみたものを，放射環境と呼んでいる。先行研究では放射環境の改善，すなわち表面温度の低減による熱放射の減少が報告されている。

本学においては，2011年度よりエコキャンパスプロジェクトが実施中であり，活動のひとつとして，校舎壁面の利用により，人間がより快適な環境で学ぶ教育空間を創出することを目的としたグリーンカーテンが導入された。本学は教育大学である特徴から，学生が大学生活を送る間にこのようなグリーンカーテンの効果を実際に体験し，理解することで，教職に就いた後に，多くの教育現場で有効活用できることを期待している。

本研究では，グリーンカーテンによる教室内の温熱環境への影響評価を試みた。特に教室内の気温を中心とした調査に関するものであり，最後の項目で熱放射についても報告する。気温を測定した理由は，涼感は気温低下によって得られると考えられていることから，その実例を示すためである。しかし，グリーンカーテンに期待できる大きな効果は，日射遮蔽と熱放射の低減効果である。本報告では，気温と熱放射の両方の効果について言及する。

Ⅱ．実験概要

1．対象建物

実験は，愛知教育大学第一共通棟の西側校舎壁面で行った。図１は，その校舎を西側から撮影し

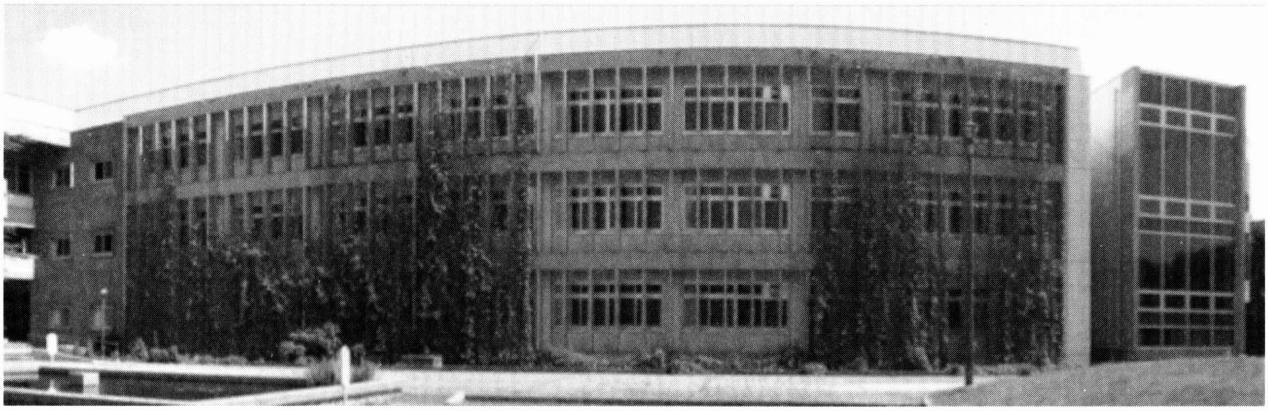


図１．実験対象建物の第一共通棟校舎の外観

た写真である。建物は鉄筋の３階建てで，廊下が南北に渡り，その東西に教室が並んでいる。壁面は白色であり，また西側には日除けとなる灰色の枠組みが取り付けられているが，西日を防ぐことはできない。今回設置したグリーンカーテンは，この枠組みの外側にネットを張り，主として宿根性アサガオを地植えから育てたものである。実験は２階まで成長した頃に実施した。なお，到達が遅れる３階の緑化対象教室には，７月にプランターを窓外の張り出し部分に設置し，主にヘチマが栽培されている。

図２に，教室配置の模式図を示す。記載した番号は教室番号である。また，ここでは縦列ごとに，北側から順にL2，L3，L4，L5，L6と呼ぶことにする。グレーで網掛けした場所は，グリーンカーテンがあることを示している。L2は他の教室と壁面そのものが異なり，グリーンカーテンもしていない。また，L5ではグリーンカーテンのネットを外して比較実験を行った。

建物が３階建てであること，また南北方向に伸びた建物であることから，各教室によって温度が異なる可能性も予測できたが，グリーンカーテンが既に施されていた状況で測定を開始したため，全教室についてグリーンカーテンの有無を統一した測定をすることはできなかった。しかし，その他の条件は統一した状態で測定をすることができたため，実験結果から，グリーンカーテンの有無による影響を考察することができた。ここでは，その影響を温熱環境改善効果として報告する。

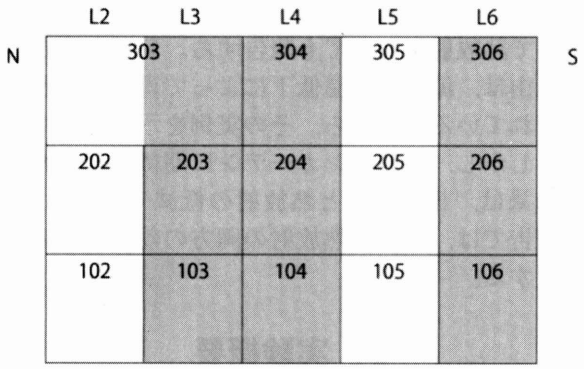


図２．実験対象場所の教室配置模式図

グレー部分は緑化の施された教室を示す。また，北側から縦列ごとにL2，L3，L4，L5，L6と呼ぶことにする。

２．測定方法及び気象状況

教室内の温度と湿度の測定には，T＆D社製おんどとり72Uiを使用した。本報告では温度のみについて報告する。牧ほか（2011）[6]の予備調査報告によれば，使用した合計13個の器差は0.3℃以内であることがわかっている。測器は教室の中央に三脚に固定の上設置し，床から約１mの高さになるようにした。また，本研究ではラディエーションシールドは使用していないが，測定場所が室内であることから，日射による大きな影響はないと思われる。また，「Ⅲ．実験結果」で述べるが，通常のカーテンの開閉に関わらず温度変動の傾向は同じであったことから，直射日光による影響もほとんどないと考えられた。また，外気温と湿度の測定には，おんどとりRTR-53Aを使用した。測定間隔は室内室外のどちらも５分とした。

観測は2012年８月11日から19日にかけて行った。なるべく人の出入りがない日を選んだが，全教室についての使用を避けることはできず，11日には204教室，16日には105教室，203教室，206教室，17日には105教室と203教室でエアコン等の使用があった。それらの日はデータ解析では扱わないことにした。また，期間中は教室のドアは締め切りにして，窓は閉め，カーテンは開けてある状態を基本的な状態とした。ただし，104と105教室では，窓とカーテンの開閉によって変化をつけることを試みた。以下にそのパターンと測定期間をまとめておく。

ａ．基準値測定期間（8/11-13）：全教室とも，カー

テンを開け，窓を閉めた状態
b．カーテン効果測定期間(8/14-16)：L4, L5のみ，基準値測定状況に加えカーテンを閉めた状態
c．通風効果測定期間（8/17-19）：L4，L5 のみ，基準値測定状況に加え窓を開けた状態

期間中の天候は，晴天日がなく，晴れ間を伴う曇天，もしくは雨天であった。一部の解析では，エアコン使用日と雨天日は除外している。室内の影響を測定するため，特に風は関係しないが，通風効果測定期間においても，室内の風はほぼ無風であった。

また，グリーンカーテンに期待される効果としては，熱放射の低減が挙げられる。単位面積が小さいものはそれが大きいものに比べて熱伝達率が大きくなることがSakai et al. (2012)[7]によって報告されており，グリーンカーテンについても葉という小さな面積から構成されているものであるから，同じ原理で放熱効率がよくなると考えられる。そのため，グリーンカーテンそのものの表面温度を比較的低く保つことができる。さらに，それによって日射を遮り，日陰を作ることができる。これらより，外部と内側壁面からの熱放射を減少させることができ，それに伴って温熱感も緩和される。本研究は室内に関する温熱感を測ることが目的であるため，サーモカメラを用いて教室内から窓に向かって熱放射の測定を行った。測定は，2012年９月28日14：50頃に行った。この日は快晴であり，同時刻の外気温は30℃であった。測器はNEC Avio赤外線テクノロジー株式会社製サーモショットF30を使用し，測定波長範囲は，８μm～13μmである。

Ⅲ．実験結果と考察

１．室内温度

建物全体の温度変化の傾向を把握するため，各教室の温度を階層ごとに平均したグラフを図３に示す。図３では，11日の２階，16日と17日の１階と２階にエアコン使用時が含まれている。また，外気温は30分の移動平均とした。対象建物の各階層における温度は，３階が高くて１階が低く，全期間通してのその温度差の平均は約4.8℃である。測定期間を通して３階の温度が高くなったが，これは屋上面が直射日光により熱くなり，その影響として，上層階の温度が高くなったものと考えられる。特に，12日と16日には最高気温が顕著に見られるが，これは比較的晴天であった日である。いずれの日についても最高気温を示すのは17時頃であり，これは西日が差し込む時間帯と一致している。また，カーテン効果測定期間についても同様に，同時刻に温度上昇が見られることから，センサ部に直射日光が当たって上昇したわけではないことが推測できる。

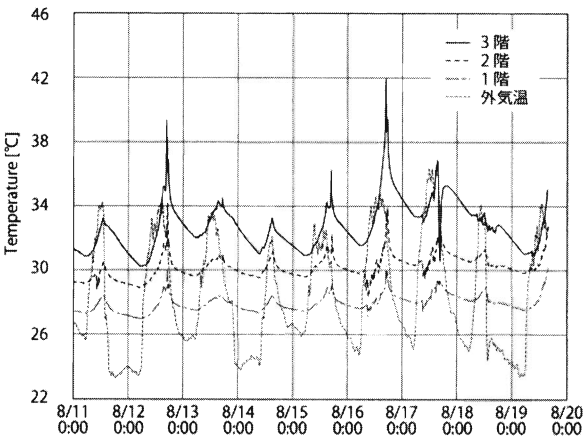


図３．階層ごとの教室の平均温度と外気温

それぞれの測定期間について，縦列の教室群について平均温度を算出した。ここではエアコンの使用があった11日と，屋上面からの影響が強く，また教室数が異なる３階については除外した。さらに，L2はその他の教室と壁面構造が異なること，また，L6は南側壁面からの日射の影響と，校舎南側入り口にあるガラス張りのスペースからの暖かい空気の影響を受けていると考えられることから，本考察では対象外とした。

図４(a) に，基準値測定期間のうち12，13日について，12～18時の平均温度を示す。同じ日時の外気温の平均は，32.6℃である。標準偏差は，L3は0.31，L4は0.64，L5は0.84であるが，ここでは時間変化の影響が大きいため，あくまで参考値であることに注意されたい。特にL5の標準偏差が大きいのは，最高温度を示す時間帯に，温度上昇が大きいことによるものである。L3とL4はほとんど同じ温度であるのに対して，L5の温度はL3,

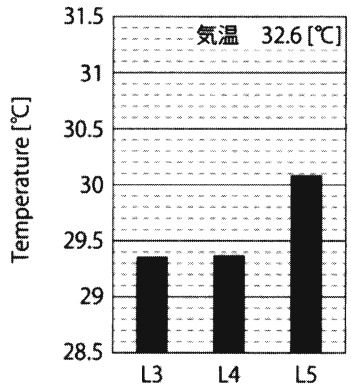


図４(a)．基準値測定期間の12～18時の平均温度
グリーンカーテンがある列とそれがない列で0.7℃の温度差がある。

L4に比べて約0.7℃高い。この温度差が，グリーンカーテンが室内温度へ与える影響と考えられる。また，特に植物がよく育っていた１階だけについて見ると，103教室と104教室ではほとんど同じ温度であるのに対して，105教室の温度はそれらより約1.2℃高い結果となっていた。

図４(b) に，カーテン効果測定期間のうち14，15日について，12～18時の平均温度を示す。同じ日時の外気温の平均は，30.7℃である。標準偏差は，L3は0.30，L4は0.36，L5は0.51である。カーテンを閉めたのはL4とL5であるが，ここでも基準値測定期間の結果と同様に，L3とL4はほとんど同じ温度であるのに対して，L5の温度はそれに比べて約0.7℃高い結果となった。すなわち，カーテンを開けても閉めても，教室内の温度は変化しないことがわかる。カーテンによって直射日光を遮ることができるが，カーテン自身が熱くなり，その熱放射によって温度上昇していると考えられる。それに比べて，グリーンカーテンは屋外で行われており，グリーンカーテン自身が熱くなりにくく熱放射が小さい上に，ガラスによってその熱放射の透過が妨げられている。それにより，室内温度を上げる熱源となるものが抑えられたと考えられる。

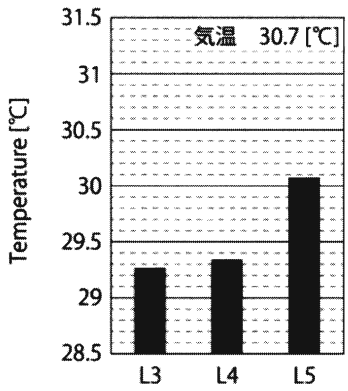


図４(b)．カーテン効果測定期間の12～18時の平均温度
カーテンをしても基準値測定期間と同様の温度差を示すことから，室内温度へのカーテンの影響はないことがわかる。

図４(c) に，通風効果測定期間のうち，19日について12～16時の平均温度を示す。同じ日時の外気温の平均は，33.1℃である。この期間は期間中にエアコンの使用と，雨天による温度低下が見られたため，一日だけのデータしか使えなかった。また，測器回収のため16時までしかデータが得られておらず，他のデータとの比較には注意されたい。窓を開けたのはL4とL5であり，また，105教室のみ室内の風速を調査していたが，0.1m/s未満という結果であったため，ほとんど無風であったと見なすことができる。標準偏差は，L3は0.49，L4は0.93，L5は1.08である。L4及びL5は外気の流入によって温度上昇していることがわかる。L3との各温度差は，L4のそれと0.8℃，L5のそれと1.3℃である。ここでは室温だけに着目すると，どちらについても温度上昇した結果となったが，L4とL5を比べると，グリーンカーテンのあるL4の方が，温度上昇を抑えることができたことがわかる。

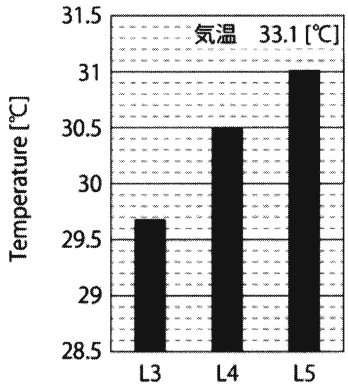


図４(C)．通風効果測定期間の12～16時の平均温度
窓を開けた教室は温度上昇したが，緑化のある教室の方がない教室に比べて温度上昇は小さかった。

２．熱放射

図５(a) に可視画像，図５(b) に緑化のある104教室の熱画像，図５(c) に緑化のない105教室の熱画像を示す。これらは室内から窓に向かって撮影したものである。他の実験を兼ねていたことから，窓は開けた状態であるが，簡易風速計で測定したところ，無風であった。図５(b) と図５(c) に，A，B，Cと３か所の温度を表示した。Aは窓の内側，Bは教室中央付近の座席の背もたれ，

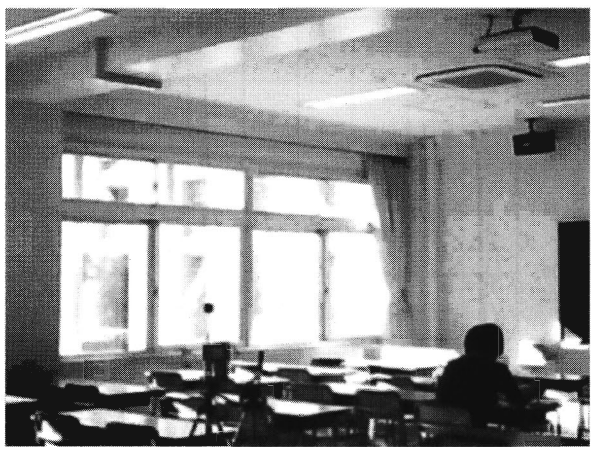


図５(a)．教室内から撮影した室内の様子（105教室）

Cは端に寄せたカーテンのそれぞれの温度である。104教室と105教室におけるそれぞれの温度差は，Aは6.6℃，Bは2.1℃，Cは2.9℃となっており，3か所とも105教室のほうが104教室に比べて高くなっている。例えば点Aについて，ステファンボルツマンの法則に従って熱放射を計算すると，105教室では104教室に比べて約43W/m^{2}多くなる。これは105教室では教室内に日射が差し込むことで反射・散乱によって教室内の椅子やカーテンが温度上昇したものと考えられる。それに対して，104教室では窓の外で日光を遮ったことで，教室内への直射日光が少ないことにより温度上昇を抑制できたものと思われる。さらに，図5(b)と図5(c)から，開いた窓の外に見えるグリーンカーテンも温度上昇していないこともわかる。

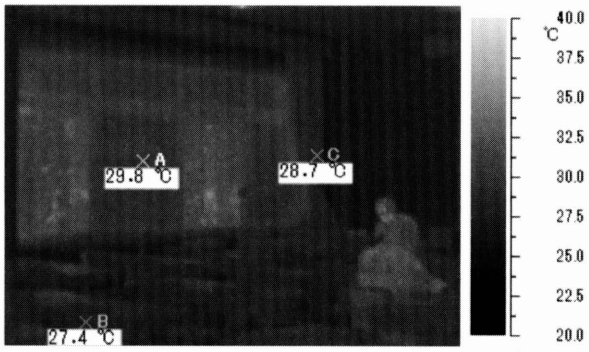


図5 (b)．教室内から撮影した104教室の熱画像

点Aは窓の内側，点Bは教室中央付近の座席の背もたれ，点Cは端に寄せたカーテンである。各点におけるそれぞれの温度を示している。

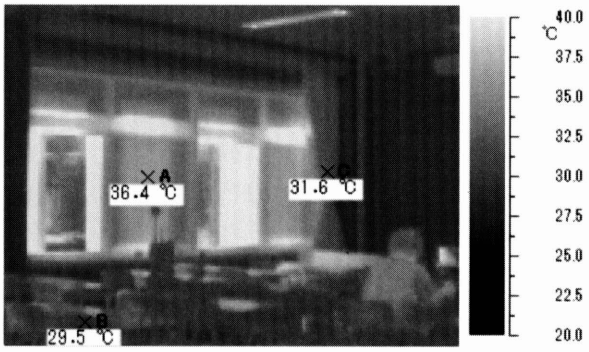


図5 (C)．教室内から撮影した105教室の熱画像

各点は(b)と同様である。すべての点について，(b)の温度に比べて高い値を示す。

Ⅳ．まとめ

夏の教室内の温熱環境の改善を目的として，グリーンカーテンによる西日対策を行い，室内温度に対する効果測定を行った。その結果，グリーンカーテンを施すことで，それがない教室に比べて室内温度が約0.7℃の低下が見られた。教室内にある通常のカーテンを閉めても室温低下が見られなかったことから，これは緑化による影響と考えられる。また，熱画像から教室内の椅子やカーテンの表面温度まで変化することがわかった。室温低下はわずかであったが，それぞれの室内にある椅子やカーテンの表面温度が異なることから，温熱環境の中でも特に熱放射の低減効果が大きいと考える。

引用文献

1）野島義照，鈴木弘孝，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)，2004．447-452
2）鈴木弘孝，三坂育成，他，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)，2006．441-446
3）成田健一，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，Vol 21．2007．501-506
4）成田健一，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，Vol 23．2009．211-214
5）梅干野晃，茶谷正洋，他，ツタの西日遮へい効果に関する実験研究，日本建築学会計画系論文報告集，第351号，1985．11-19
6）牧洋，榊原洋子，他，壁面緑化が教室の温度・湿度に与える影響に関する予備的調査，愛知教育大学保健環境センター紀要，Vol 10．2011．43-56
7）S. Sakai, M. Nakamura, et al.. Sierpinski's forest：New technology of cool roof with fractal shapes, Energy and Buildings, 2012．28-34

謝辞

本研究は文部科学省特別経費「環境研究と環境教育の融合によるエコキャンパスづくり」による活動の一部として行われた。