

## 緑のカーテンは周囲空気を冷却するか？

### Dose a Green Screen (Wall Greening Plants) Cool the Ambient Air?

成田健一\*

Ken-ichi NARITA

**要旨：**「緑のカーテン」による温熱環境の緩和効果、とりわけ蒸散に伴う緑被層周辺の気温変化に注目して実測調査を行った。緑被層の前後における気温変化を把握するためには、緑被による日陰部分と基準となる日向面の気温を比較することになる。そこで、気温測定における日射影響を極力避けるため、極細の熱電対(線径0.025mm)と超音波風速温度計を用いて注意深く観測を行った。その結果、葉群層の周囲では相対的に気温が高くなっており、緑のカーテンを通過した空気は、むしろ外気温よりも加熱されていた。葉の表面温度は、外気温よりも高温であり、蒸散作用により空気が冷却されている証拠は得られなかった。

**キーワード：**ヒートアイランド、壁面緑化、温熱快適性、通風、蒸散

**Abstract :** Microclimatic observations about the thermal environment of vertical green screen out of wall were performed in summer. The ultrasonic anemometer thermometers and very fine thermocouples (diameter: 0.025mm) were used to avoid the radiation effect on the measurement of air temperature. The leaves surface temperature was higher than surrounding air temperature during midday. In addition, air temperature in the vicinity of the leaf was also higher than the ambient air. Therefore, the evidence of evaporative cooling effect of the green screen on surrounding air could not be found.

**Key Words :** heat island, wall greening, thermal comfort, cross ventilation, transpiration

#### はじめに

「緑のカーテン」とは、植物のツルや葉を窓の外に設置したネットに這わせたもので、夏の強い日差しを和らげ、蒸散効果により涼風が得られ、クーラーなしでも部屋の温度を下げられる「自然のカーテン」との触れ込みで、市民活動を中心に広がりつつある。もともとは戸建住宅など小規模なものが中心であったが、プランターに灌水装置を組み込み、通気を確保しながら水位を一定に保つ工夫を加えることで高さ 20m 程度まで伸ばすことが可能となることから、東京では 200 を超える小学校で採用されている。「緑のカーテン」を推進しているHPの多くや書籍では「(緑は)蒸散作用により周囲の空気から熱を奪い、冷たい風を作り出す」と解説されている。

沙漠地帯の人工的に灌漑がなされた農地では、蒸発散による潜熱フラックスがその場の正味放射量を上回ることがしばしば観測される。そのような条件下では、不足分の蒸発散のためのエネルギーは負の顕熱フラックスで補われており、蒸発散面の温度が周囲気温よりも低温となる(堀口ほか, 2004)。しかしながら、このような特

殊条件以外では、通常日射を受けている植被面の温度は、風速が 9m/s を超える強風下でなければ、気温よりも高くなるとされている(近藤, 1994)。「緑のカーテン」の温熱環境緩和効果に関しては、岡崎ら(2006)・成田(2007)などの報告があるが、このような葉面温度と気温の関係については考察されていない。壁面緑化という範疇では、ツタスクリーンを扱った梅干野ら(1985)の研究があるが、そこでは日射を受けた葉面温度は最大で約 10°C 程度気温よりも高く、スクリーン周囲の気温は外気温よりも高くなっていると報告されている。一方、壁面ではないが、屋上面にサツマイモの水耕栽培で葉群層を作り、空調室外機周辺の気温を低下させることで COP を向上させ、省エネルギーにつなげようという研究が近年報告されており、そこでは葉群層を通過した空気が 2°C 程度低温になると報告されている(山下ほか, 2008)。

以上のように、「緑のカーテン」において一般に言われているような「周囲の空気を冷却する効果が本当に存在するのか?」「葉温は気温よりも低くなっているのか?」については、十分なデータが示されていない状況にある。そこで本研究では、「緑のカーテン」の葉群層周

\*日本工業大学 工学部 建築学科

りの詳細な気温分布の実測を行い、緑のカーテンによる温熱環境緩和効果の把握を試みた。本報の目的は、新しい熱収支モデルの構築ではなく、あくまでも一般に流布している緑のカーテンの効果の解説に対する正確な情報を提供することにある。

## 1. 実測方法

測定対象とした「緑のカーテン」の状況を図1に示す。場所は、埼玉県南部の大学キャンパス内に建つ建物（6階建て）の南側壁面で、壁の方位は真南から約15度西に振れている。「緑のカーテン」は、屋上から幅約6mのナイロン製のネットを垂らして生育させている。プランターには下層に炭を敷き、その上に土層を盛って深さ約20cmとし、内部には通気のためコルゲート管を埋設してある。フロートを用いた自作の水位コントロール装置を取り付け、プランター内の水位が常に一定になるよう給水される仕組みになっている。測定は9月1日から17日まで行ったが、この時期には先端部は4階の窓面まで達していた。測定領域は、2階の窓面付近とした。植えられた植物はヘチマ・ゴーヤ・キュウリ・アサガオであるが、測定領域付近は主にヘチマが優占していた。

図2に、測器の配置を示す。Lアングルで組んだ600×1800mmのフレームを緑のカーテンの中央付近に水

平に吊り、ネットの外側約270mm、ネットの建物側30mmと330mmのライン上に熱電対を各6点設置した。以下、各列を建物から遠い側からA列・B列・C列と表現する。取り付けた極細熱電対の詳細を図3に示す。測定部の線径が0.025mmのE熱電対（クロメル・コンスタンタン）で、測定位置までは0.2mmの同種の補償導線を用いている。スポット溶接により、先端部の15mm程を極細の熱電対で加工している。一般に、直射日光がある条件下では、温度センサは日射の影響を受けるためそのままでは気温の測定はできない。その影響はセンサの線径に左右され、太いほど影響が大となる（近藤, 1982）。しかしながら、センサの線径が非常に小さい場合は、日射影響をほとんど無視することができ、日射遮蔽シェルタを用いなくても気温の測定が可能となる。今回使用した0.025mmの熱電対に関しては、超音波風速温度計による温度出力変動と比較検討し、日射影響がほぼ無視できることを確認している。

なお、葉近傍の気温を把握するため、今回は図4に示す断熱材片と爪楊枝を用いたフレームを葉の表面と裏面に取り付け、葉面から約1cmの位置で測定を行った。

壁面には日射計と赤外放射計を緑のカーテンの裏面



図1 測定対象とした緑のカーテンの状況

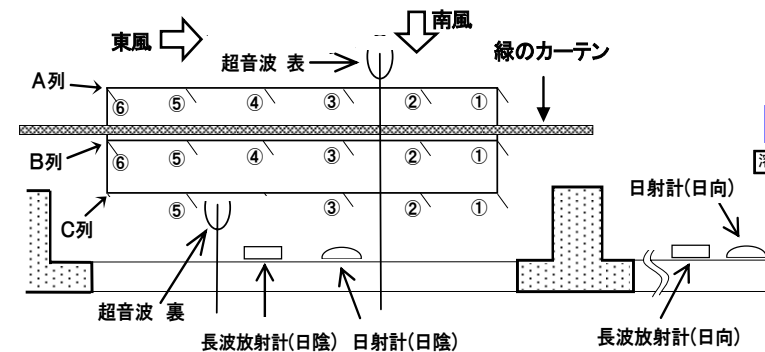


図2 測定領域における測器の配置状況（平面図）

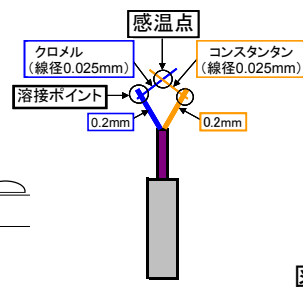


図3 極細熱電対

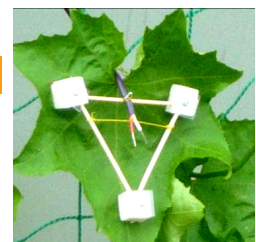


図4 葉面近傍への熱電対の取り付け状況

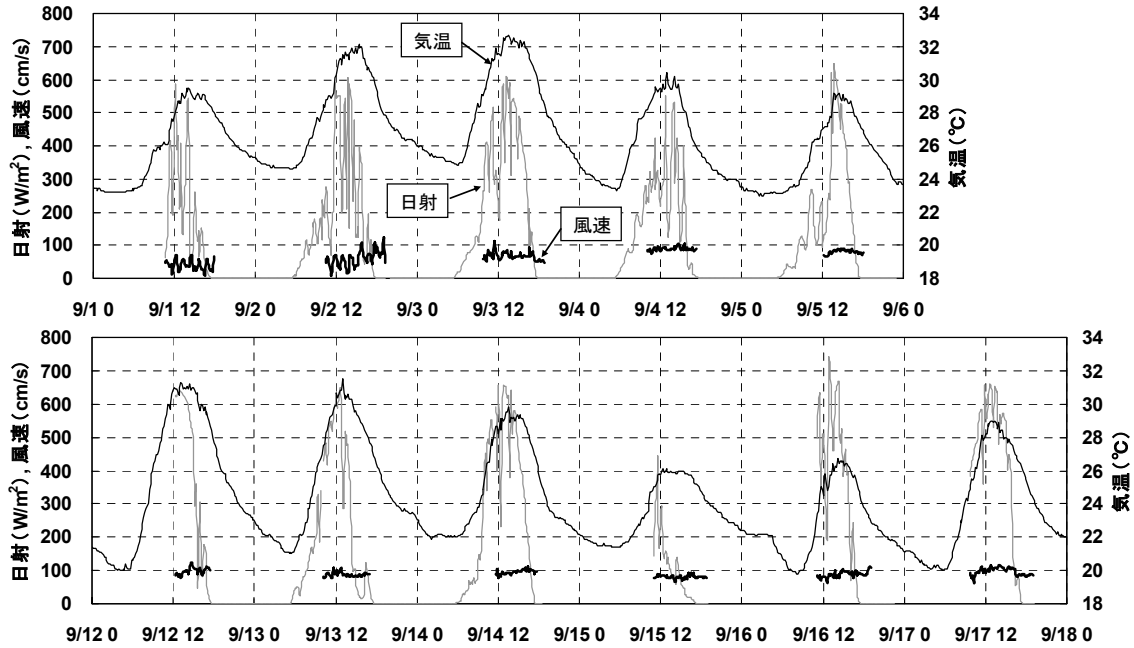


図5 測定日の気象概況

と日向面の2箇所に取り付け、鉛直面の放射量を測定した。さらに、室内側から5cm スパンの超音波風速温度計を緑のカーテンの外側と内側になるよう水平に支持し、3次元の各風速成分と気温を測定した。超音波風速計の位置はほぼ熱電対のA列とC列に合わせた。ただし、ネットは風により最大で25cm程度の幅で建物に近づいたり遠ざかったりする。そのため、ネットに固定した熱電対と建物から突き出した超音波風速温度計の位置関係は必ずしも常に一致していない。なお、2台の超音波風速温度計の温度目盛のズレを校正する目的で、測定開始直後の9月1日と2日の2日間は、超音波風速温度計の位置を約30分毎にネットの裏面と表面に交互に替えながら測定を行った。

データのサンプリング間隔は、放射関係と熱電対が10秒、超音波風速温度計は0.1秒とした。

測定の後半9月12日～14日・17日の4日間は、赤外放射カメラによる葉群層の日向側表面および壁表面の熱画像を約30分毎に測定した。

## 2. 測定結果と考察

図5に、測定日(延べ11日間)の気象状況(10分平平均値)を示す。ここでの気温は、キャンパス中庭の百葉箱内で測定した値、風速は葉群層の外側の超音波風速温度計で測定されたスカラー風速である。日射量は、葉群層から外れた日向壁面で測定された鉛直面日射量で、特に断らない限り、この値を以下単に「日射量」と表現する。15日以外は概ね晴れの天気であったが、快晴と呼べ

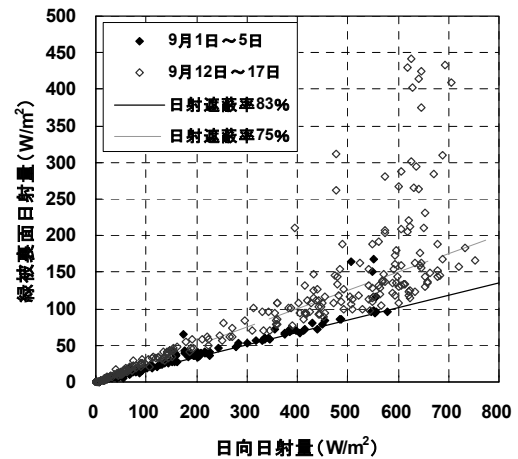


図6 「緑のカーテン」による日射遮蔽率の検討

る日は皆無であった。全体に風速は弱く、ほぼ1 m/s以下であった。

まず、葉群層による日射遮蔽の効果をみるため、日向面の日射量と緑被面裏の日射量を比較した(図6)。前半の5日間はバラツキも小さく、日射遮蔽率は83%程度と見積もれる。一方、後半の6日間は、前半に比べ日射遮蔽率が低下しておりバラツキも大きい。木漏れ日で一時的に極端に低下している時間帯を除くと、日射遮蔽率は75%程度となっている。遮蔽率低下の原因としては、日射計の位置が固定であるため太陽高度の変化やセンサ近くの葉の向きの変化なども考えられるが詳細は不明である。植物活性の低下も疑われるため、以下のいくつかの図では、前半と後半に分けて結果をプロットした。

気温分布の検討に先立ち、超音波風速温度計の温度目

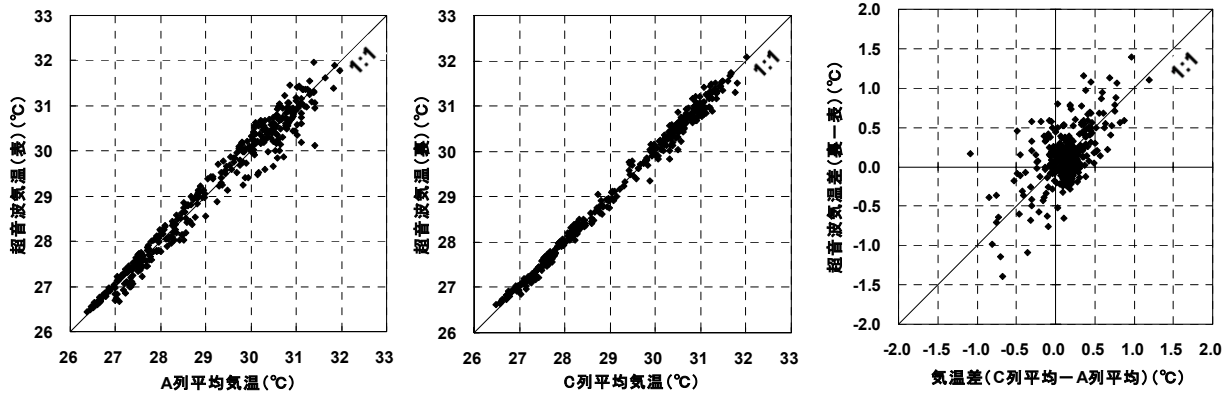


図7 極細熱電対と超音波風速計による気温測定結果の比較の一例（9月5日・1分平均値）

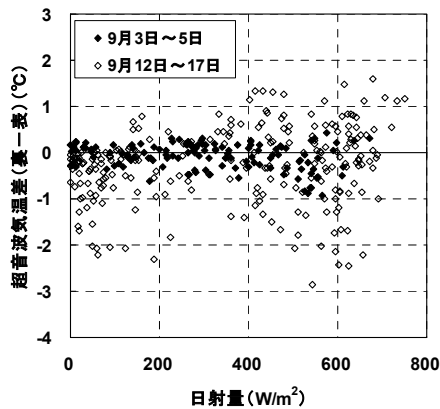


図8 全測定期間の葉群層表裏の気温差

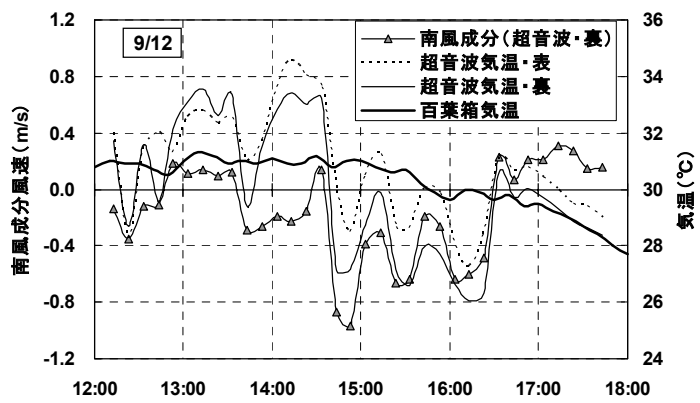


図9 葉群層表裏の気温差が大きくなった日の風との関係

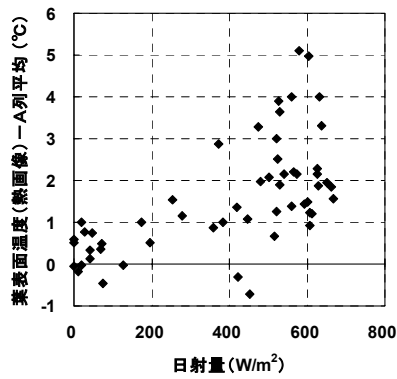


図10 熱画像による緑被面温度と日射量の関係

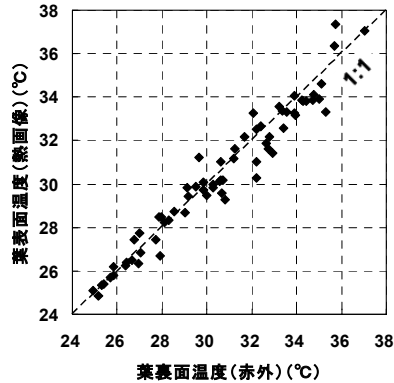


図11 長波放射による緑被裏面温度と熱画像による表面温度の比較

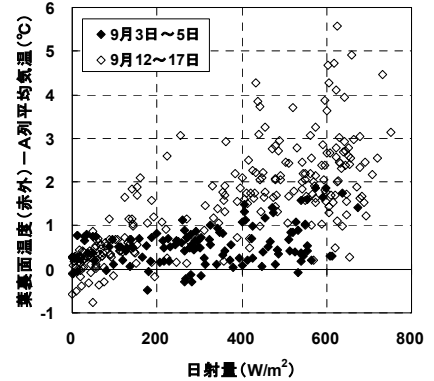


図12 長波放射による緑被裏面温度と日射量の関係

盛の校正を、同時に測定した極細熱電対のデータ（各列の平均値）を用いて行った。図7は、9月5日を例に校正後の超音波風速計による気温と極細熱電対による気温、および両者による葉群層両側の気温差を1分平均値で比較したものである。葉群層の裏側（熱電対のC列）ではセンサによる差異が小さいが、葉群層の表側（熱電対のA列）では、ややバラツキが大きい。両側の気温差については、絶対値が小さく原点付近にプロットが集中しているが、僅かながら $1^{\circ}\text{C}$ を超える差異がある場合もみられる。

図8は、葉群層の表面と裏面の気温差を全測定日について10分平均値で日射量に対してプロットしたものである。後半のデータの中に裏面が大きく低温となるケースが出現している。検討の結果、これらのプロットは12日と13日の両日にのみ現れている。図9は、12日を例に各気温の変化と葉群層裏の超音波風速温度計で測定された南風成分（ここでは建物に向かう成分を指す）の変化を示したものである。負の風速成分（建物から外への成分）に伴って裏面の気温が大きく低下している。このときの気温は百葉箱気温よりも低いことから、室内側か

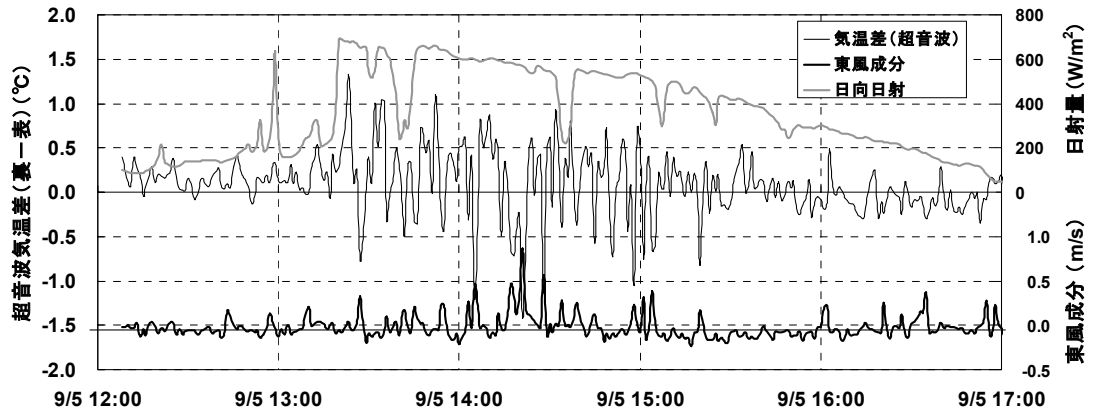


図 13 葉群層の表裏の気温差と日射量および風速の時間変化（9月5日・1分平均値）

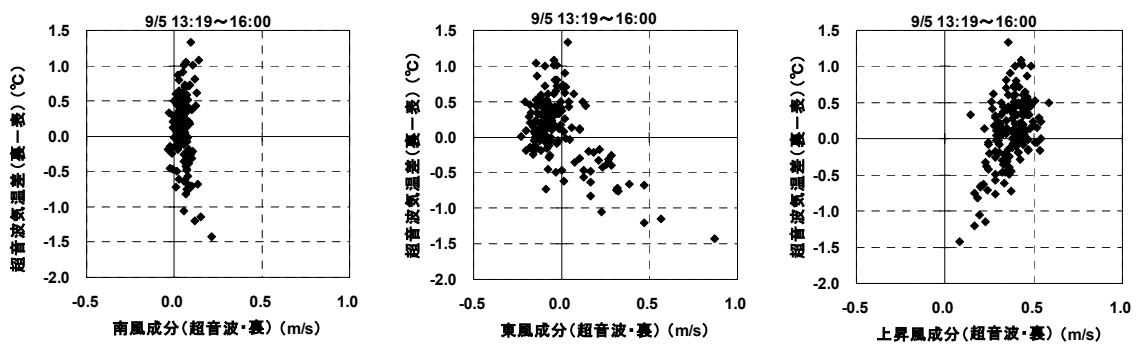


図 14 葉群層の表裏の気温差と各風速成分の関係（9月5日・1分平均値）

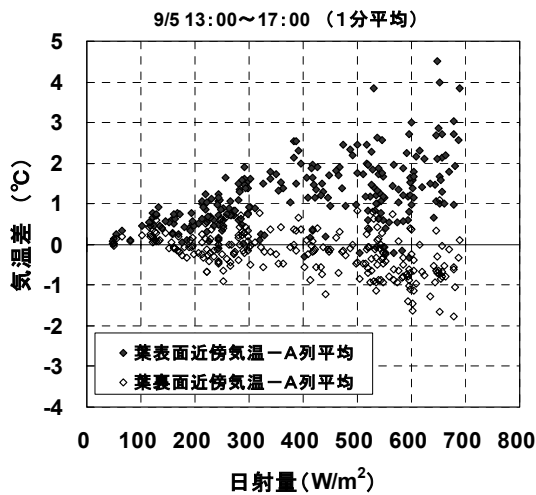


図 15 葉面近傍気温と日射量の関係

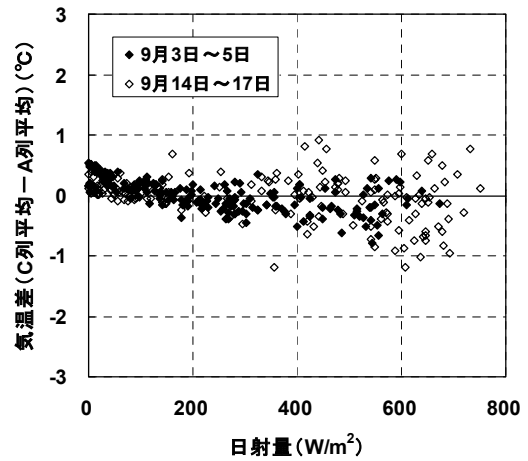


図 16 葉群層表裏気温差と日射量の関係

らの冷気の流出に伴う気温低下と思われる。測定領域の部屋では空調は使用していなかったが、建物内の空気が外気に比べ相対的に低かったものと思われる。以上のことから、この両日のデータは以下の解析から除外することとした。

次に、緑被層の表面温度について検討した。図 10 は熱画像による日向面の表面温度と日射量の関係である。表面温度と気温の温度差は日射量とともに増大する傾向

が認められ、最大で気温よりも5℃高くなっている。図 11 は、熱画像と同時刻の緑被層裏の長波放射量から逆算した緑被裏面の放射温度を熱画像のデータと比較したものである。両者はほぼ 1 : 1 の関係にあり、緑被の表裏で表面温度が大きく変わらないという結果が得られた。長波放射量のデータは期間を通して測定されているので、図 10 と同様の図を長波放射による緑被裏面温度についてプロットした（図 12）。日射量の増大に従って、緑被

面温度が気温よりも高くなっている傾向が明らかである。気温との差は測定期間の前半は小さく、後半に大きくなる傾向があり、植物活性の低下が起こっていた可能性が指摘できる。

図 13 は、比較的日射が安定していた 5 日を例に 1 分平均値で葉群層表裏の気温差の変化を示したものである。図 7 にも示したように、気温差はゼロ付近で推移しているが、短時間では±1℃を超える場合も見受けられる。このような変動の大きさは日射量の変化に深く関係している。特に葉群層の裏面が表面よりも低温となるケースに注目すると、東風成分の増大に伴って出現していることがわかる(図 14)。従って、このときの葉群層裏面の気温低下は、緑のカーテンの側方から建物に沿って流入した風の効果によるものと思われる。緑のカーテン自体による気温低下ではないと考えられる。

図 15 は、同じ 5 日の日射が安定していた時間帯における葉面近傍気温と日射量の関係を示したものである。表面では日射の増大に伴って葉近傍気温が上昇しており、表面温度の上昇に伴って近傍気温が上昇していると思われる。

図 16 は、これまでの考察を踏まえ、最終的に葉群層による温熱効果の検討に用いることができると判断されたデータについて、表面と裏面の気温差をまとめたものである。測定期間の後半はやや温度差のバラツキが大きくなっているが、明確な気温差は認められず、緑のカーテンにより周囲気温が低下しているという傾向は認められなかった。

## まとめ

現在、急速に広まっている「緑のカーテン」について、葉の蒸散作用による周囲気温冷却効果があるかどうかを検討するため、緑被面の温度・葉面近傍気温・葉群層前後の気温差を注意深く測定した。測定には、日射影響が無視できる極細熱電対(線径 0.025mm)と超音波風速温度計を使用した。その結果、緑被面の温度は日射の増大に伴って気温よりも高温となっており、日中は気温よりも 2~5℃高くなっていた。また、葉近傍 1cm の気温も、日射量の増大とともに昇温しており、以上のことから、葉群層は周囲気温に対して冷却よりも加熱側に作用していることが明らかとなった。葉群層から各々 30cm 程度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、少なくとも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。葉自体は日射により僅かに気温よりも高温化しているが、葉の熱容量が小さいため、周囲空気に対して大きな作用を及ぼ

していないものと思われる。

以上のように、今回の測定から、現在普及しているヘチマ等が主体の緑のカーテンに関しては、水分条件を十分満足するような状況においても、葉群層による冷却効果は確認できなかった。

壁面緑化に関する既往の研究(例えば、三坂ら 2005)では、植物による蒸散の効果が期待されると報告されているが、本研究の結果は決してこれらの結果を否定するものではない。葉層の温度が建物壁面などに比べて相対的に低温となる理由は、まさしく蒸散の効果であり、緑のカーテンでは、成田(2007)に示されるように、それにより大きな体感温度の低下効果が得られる。しかしながら、体感される涼しさの本質は放射環境の改善であり、決して気温が低下しているわけではない。この点は、正しく認識される必要があると思われる。本来「緑」の効果は多面的なものであり、本研究の結果は「緑」による環境改善の方向性を否定するものではないことを最後に付け加えておきたい。

今後は、サツマイモの水耕栽培等、条件が異なる場合の状況についても、さらに検討を加えていきたい。

## 謝辞

本研究の実測に際しては、金木慎一君・木下靖裕君に多大なる御協力をいただいた。ここに記して心から感謝の意を表します。

## 引用文献

- 堀口郁夫・小林哲夫・塚本 修・大槻恭一(2004), 局地気象学 森北出版, 東京, 244p
- 梅干野 晃・茶谷 正洋・八木 幸二(1985) 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, No.351, 11-19
- 近藤純正(1982) 大気境界層の科学 東京堂出版, 東京, 219pp
- 近藤純正(1994) 水環境の気象学 朝倉書店, 東京, 350p
- 三坂育正・鈴木弘孝・藤崎健一郎・成田健一・田代順孝(2005) 壁面緑化の蒸発散効果に関する研究, 環境情報科学論文集, Vol.19, 113-116.
- 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, Vol.21, 501-506.
- NPO 法人 緑のカーテン応援団・編(2009) 緑のカーテンの育て方・楽しみ方 創森社, 東京, 79p
- 岡崎沙織・須永修通(2006) 屋上および壁面植栽が教室の温熱環境に与える影響に関する実測解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 575-576.
- 山下道子・吉田治典・王福林(2008) 水気耕栽培屋上緑化を利用した冷房熱源の効率向上に関する研究(その1) 水気耕栽培屋上緑化の冷却効果の実測および解析, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, 161-164