

都市緑道における夏季の温熱環境・温熱生理の空間変動

—岡山市西川緑道公園を対象にして—

疋田 浩之・大橋 唯太*

岡山理科大学大学院総合情報研究科生物地球システム専攻

*岡山理科大学総合情報学部生物地球システム学科

(2011年9月30日受付、2011年11月7日受理)

1. はじめに

近年、地球温暖化やヒートアイランド現象によって大都市圏を中心に暑熱環境の悪化が深刻な問題となっており、夏季における日最高気温も年々上昇傾向にある(気象庁、2010)。特に2010年の岡山市における8月の月平均気温は、気象庁が統計を開始した1898年以降で最も高い30.5℃が記録された。このような背景から、夏季日中に人が体感する屋外の快適性をテーマとする研究が多数おこなわれている(例えば山田、1996)。その中では、都市域の大規模緑地帯や緑道が気温上昇を抑制し、快適性を向上させる働きがあることも報告されている(例えば成田ほか、2004)。これらの研究ではWBGT(湿球黒球温度)やDI(不快指数)などの温熱指標を用いた快適性の評価がおこなわれているが、指標には気温・相対湿度・風速などの気象要素しか含まれておらず、血圧・脈拍数・血流量などの生理要素が考慮されていない。そのためWBGTやDIによって評価された温熱快適性は、実際に人が感じる感覚と必ずしも一致するとは限らないことが考えられる。

SET*(Standard New Effective Temperature)は1971年にGaggeらによって提唱された、世界中で広く使用されている温熱指標である。WBGTやDIなど多くの温熱指標は気象要素のみによって温熱環境の評価がされるのに対し、SET*は気象要素だけでなく血流量・代謝量などの生理要素も考慮されている。SET*は本来、屋内環境での快適性調査を目的に提唱された指標であったが、Pickup and Dear (1999)や木内(2001)によって屋外環境での適応性が報告された。これによって、SET*による屋外環境の快適性評価も可能となったが、その多くはオイラー的概念にもとづく固定観測である。しかし実際の屋外活動で長時間同じ場所に静止することは稀であり、歩行などの移動の場合がほとんどである。歩行者が体感する快適性はラグランジュ的概念にもとづく移動観測で評価することが可能であり、仲吉(2009)に

よって試みられている。

そこで本研究では、岡山市街地に存在する都市緑道を対象事例に、歩行者が体感する屋外の温熱快適性をラグランジュ的概念にもとづく移動観測から明らかにした。

2. 観測概要

2010年8月4日～10月1日の期間中、晴天日8日間を選定し、岡山市街地中心部に位置する西川緑道公園内の緑道とそれに隣接する側道で、歩行による温熱環境・温熱生理の移動観測を実施した。本稿では日最高気温が35.0℃以上の猛暑日を記録し、1日を通して快晴であった8月16日・8月20日・8月21日の測定結果を報告する。

2-1 測定項目および使用測器

観測項目は、気象要素として気温・相対湿度・黒球温度・風向風速・気圧、生理要素として血圧・脈拍数・体表部温度・体深部温度である。気温と相対湿度は超小型温湿度データロガー(テクノサイエンス社製)、黒球温度はベルノン式黒球温度計(柴田科学社製)、風向風速はKestrel4500(Nielsen-Kellerman社製)、血圧と脈拍数はオムロン自動血圧計(オムロン社製)、体表部温度はおんどとりJr(T&D社製)、体深部温度は耳用体温ロガー(テクノサイエンス社製)をそれぞれ使用した。各項目の測定間隔は、気温・相対湿度・黒球温度・体表部温度・体深部温度を1秒、風向風速・気圧を2秒とし、血圧・脈拍数を適宜とした。これらの測定項目を用い、2秒間隔でSET*値を算出した。また、緑道内と側道の周辺環境の視野確認としてドライブレコーダ(フィールテック社製)を用いた。

2-2 観測方法

観測範囲を緑道内と側道に分けて、歩行による移動観測をおこなった。緑道内を13時30分~14時15分、側道を14時45分~15時30分の間に時速2.9kmで自転車を手で押しながら移動した。気象要素を測定する機器は自転車の前かごに取り付け、生理要素を測定する機器は被験者に装着した。観測における測器の様子を図-1に示す。

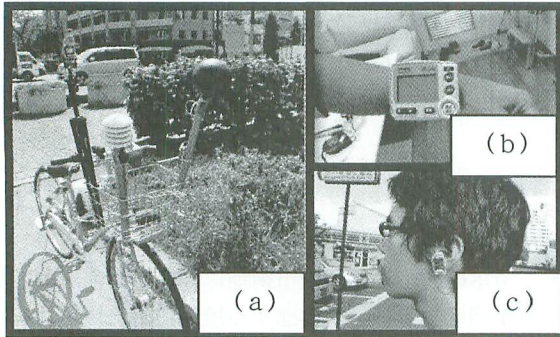


図-1 観測時に使用した測器。
 (a) 気象要素を測定する測器、
 (b) オムロン自動血圧計、
 (c) 耳用体温ロガーを示す。

3. 観測結果

近藤(2007)によって大規模緑地は収縮期血圧が周辺環境よりも5mmHg~10mmHg低下したと報告されていることから、本研究ではSET*と収縮期血圧に着目した。各観測日の被験者は、8月16日が20代前半の女性、8月20日が20代後半の男性、8月21日が20代前半の男性で、全員健康体であった。

ここでは緑道内と側道をそれぞれ8区間に分け、区間ごとの測定平均値を求めた。その結果を図-2に、また、各区間における景観および位置関係を図-3に示す。なお本研究では、Gagge(1972)が提唱したSET*と快適感の対応表(表-1)を用いて、観測結果の考察をおこなった。

3-1 緑道内と側道における快適性評価

SET*と快適感の対応表からは、(8区間×3日)中、緑道内でSET*が40.0℃以上の「許容できない」と評価さ

表-1 SET*と生理状態・快適感・温冷感の対応表。

SET*	温冷感	快適感	生理状態	健康状態
>40	暑さ限界	許容できない	体温上昇、体温調節不良	血液循環不良
37.5-40	非常に暑い	不快	激しい発汗・血流量によるストレス増加	熱中症の危険増加
35-37.5	暑い	やや不快		脈拍不安定
30-35	暖かい	やや不快		
26-30	やや暖かい	快適	発汗・血流量変化による通常の体温調節	正常
23-26	中立		中立	
20-23	快適		血流量変化による体温調節	

れた区間が1区間、37.5℃以上40.0℃未満の「不快」が20区間、37.5℃未満の「やや不快」と評価されたのが3区間みられた。側道では、SET*が40.0℃以上の「許容できない」と評価された区間は存在せず、「不快」・「やや不快」と評価された区間がそれぞれ12区間みられた。したがって、側道よりも緑道で人体が感じる温熱快適性が不快であったことが示唆される。同様の傾向が上記3日以外の全ての観測日で認められた。

3-2 緑道内と側道での収縮期血圧の結果

緑道内と側道で測定した収縮期血圧の平均値を比較した。8月16日・20日・21日に緑道内で測定された平均収縮期血圧は、それぞれ105mmHg・96mmHg・115mmHgであった。一方、側道の平均収縮期血圧は、8月16日が111mmHg、20日が109mmHg、21日が119mmHgとなった。上記3日間について比較をすれば、緑道内の方が側道よりも平均収縮期血圧が低く、その差は最大13mmHgである。しかし、上記以外の観測日では、緑道内の方が収縮期血圧が高くなる日も3日ほど確認されている。また、多くの観測日では緑道内と側道の収縮期血圧の差が5mmHg以内となっていた。今回使用した血圧計の測定精度は±5mmHgであるため、緑道内と側道で測定した収縮期血圧に有意な差があるとは言い難い。

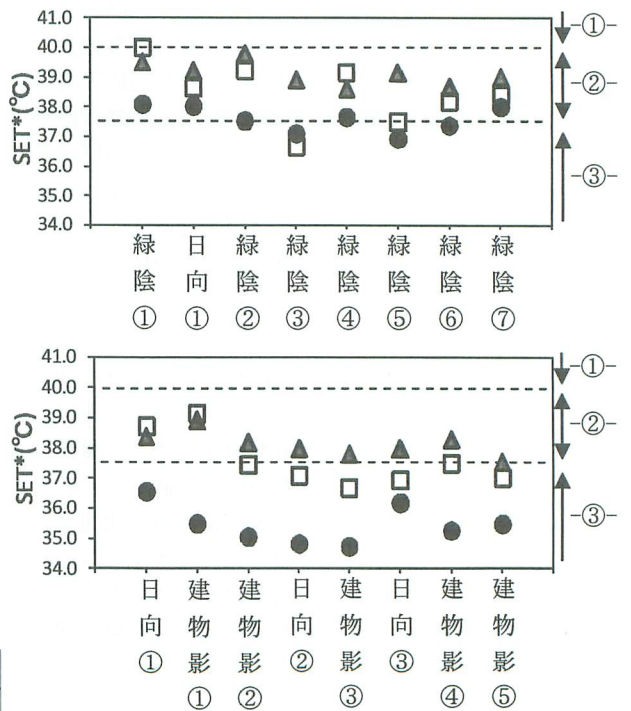
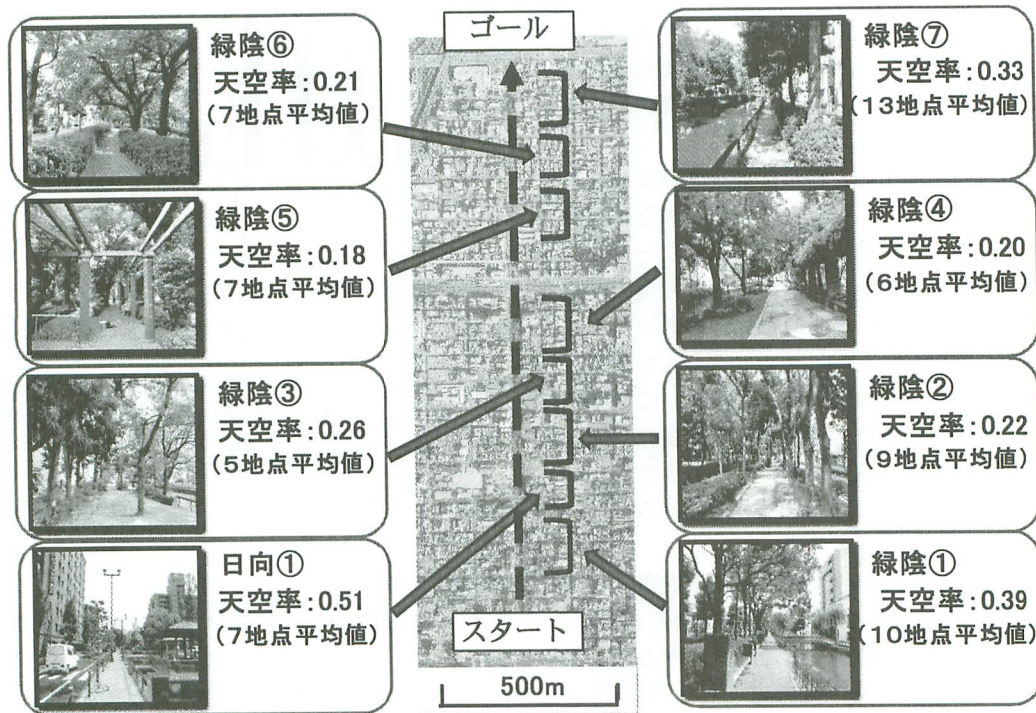


図-2 緑道内と側道における各区間のSET*平均値。上段が緑道内、下段が側道の結果を示す。横軸に示す①は快適感が「許容できない」、②は「不快」、③は「やや不快」を表している。▲が8月16日、●が8月20日、□が8月21日の結果である。

西川緑道内ルート



側道ルート

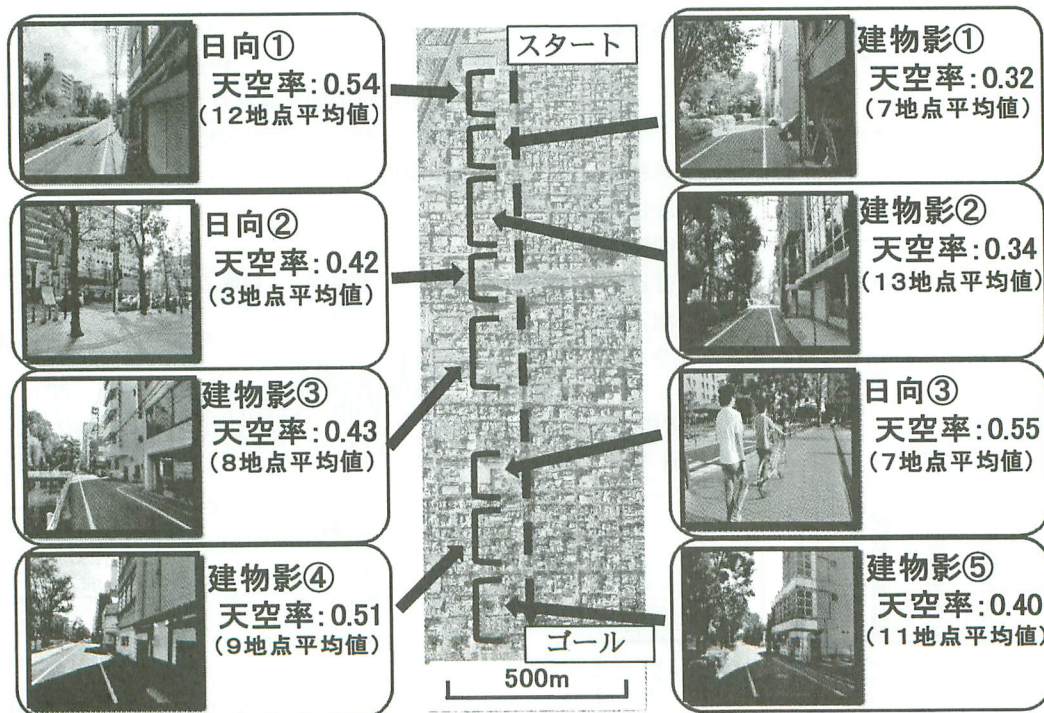


図-3 緑道内と側道における各区間の位置関係と景観。
 上段が西川緑道内、下段が側道を表す。緑道内では日陰が多い区間を「緑陰区間」、
 日向の多い区間を「日向区間」とみなした。同様に、側道で日影が多い区間を「建物影
 区間」、日向の多い区間を「日向区間」とした。

4. 考察

4-1 風速が温熱快適性に与える影響

西川緑道公園で快適性調査をおこなった結果、観測からは緑道内の方が側道よりも不快に感じやすい環境という結果が得られた。風速は人間が感じる快適性に大きな影響を与えるため、緑道内と側道のあいだの風速の違いに着目して考察をおこなってみた。

図-4に、8月16日に緑道内と側道で測定された風速頻度のヒストグラムを示す。緑道内で測定された風速は側道の風速よりも小さな値で出現率が高くなっており、この傾向は全観測日で確認された。また、緑道内、側道ともに、観測によって得たSET*と風速のあいだには強い負の相関が認められた(緑道内: n=7905; r=-0.78; p<0.05 側道: n=7793; r=-0.82; p<0.05)。この結果から、風は人体が感じる快適性に大きな影響を及ぼしており、特に緑道内では風速が側道よりも小さかったため、快適感が不快になったものと考えられる。

4-2 入力放射量が温熱快適性に与える影響

次に、緑道内で快適感が不快となった原因について、人体への入力放射量から考察をおこなってみる。入力放射量の算出式は、鳥山(2001)を参考にした。図-5に、8月16日の緑道内と側道での人体への入力放射量を示す。このグラフは、計算された入力放射量の頻度分布を表している。緑道内の方が側道よりも大きな入力放射量の出現率が高く、このような傾向は全観測日で認められた。この特徴が、緑道内での温熱快適感が不快となった原因の1つに挙げられる。

4-3 植栽が温熱快適性に及ぼす影響

植栽が温熱快適性に与える影響について考察をおこなってみる。側道には樹木が植樹されていないため、緑道を対象とした。4-1節で風速と快適感の関係について述べたが、ここでも植栽と風速の関係に着目して考察をおこなう。図-6は、8月21日に緑道内で測定されたSET*の推移と植物高の分布を対応させたグラフであ

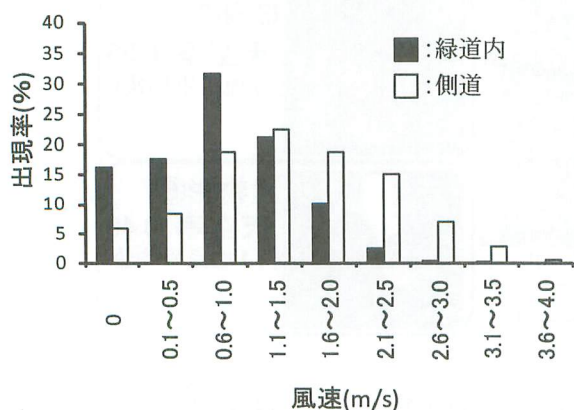


図-4 緑道内と側道で観測された風速のヒストグラム。黒色が緑道内、白抜きが側道での風速を示す。

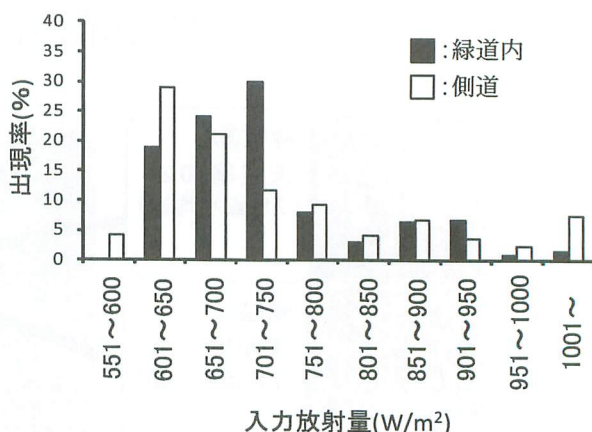


図-5 緑道内と側道で観測された入力放射量のヒストグラム。黒色が緑道内、白抜きが側道での入力放射量の出現率を示す。

る。風速が比較的大きかった区間(緑陰③)と反対に小さかった区間(緑陰⑥)を取り上げて植栽の特徴をみていく。

緑陰③にはクスノキやケヤキなど樹高10m以上の大高木が多く、一方の緑陰⑥にはヤマモモなど樹高10m未満の小高木が多く植樹されていた。大高木を植樹することによって地上付近に‘風の道’が形成されやすい環境となり、快適感が向上しているのではないかと考えられる。逆に小高木は地上付近に枝葉が多いため、通風が阻害されやすく、快適感が低下すると推測される。側道は緑道内と異なり、移流を阻害する障害物などが存在しないため全ての区間で風速が大きくなり、快適な環境が形成されていた。

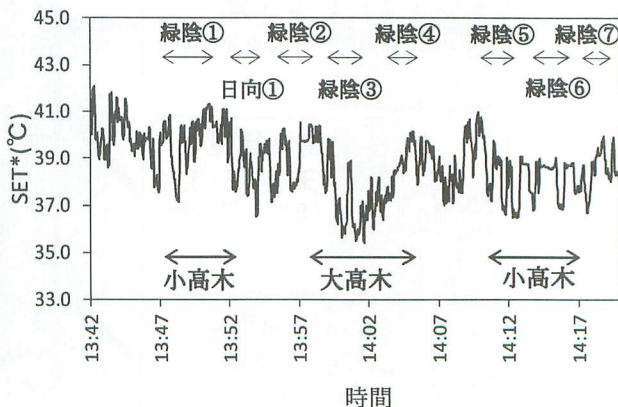


図-6 8月21日に緑道内で測定されたSET*の推移と植物高さの対応。

5. まとめ

本研究では、岡山市街中心部に位置する西川緑道公園の緑道内と公園に隣接する側道において歩行者が体感する温熱快適性の実態を明らかにするため、2010年8月4日から10月1日までの期間に移動観測を実施した。

その結果、西川緑道公園の利用者は、温熱環境の緩和効果があるとされる樹木が多く植樹された緑道内の方が、側道よりも快適性が不快に感じる可能性が明らかとなった。この要因として、おもに次の2つが考えられた。1つは緑道内と側道で出現する風速の違いである。緑道内では風速が恒常的に小さくなるため、人が体感する快適性が悪化したと推測された。2つめは人体への入力放射量の違いである。緑道内では樹木によって直達光が遮断される一方、側道では建築物によって直達光が遮断されていた。しかし、緑道内では木漏れ日として散乱光が地表まで入射していたため、人体が受け取る入力放射量は側道よりも大きく、その結果、緑道内でより不快な環境が形成されたと考える。

以上のように人の快適感には、風速と入力放射量が大きく関与していることが本研究によって確認された。したがって都市緑道内の温熱快適性を向上させるには、地上付近の通風を阻害せず、かつ直達光の遮断率の高い樹木を植樹することが重要であり、例えばクスノキやケヤキなどの大高木が効果的である。国土交通省が5年ごとに実施する、全国に植樹された街路樹の本数調査で、ケヤキはイチョウ(57万本)とサクラ(49万本)に次ぐ3番目(48万本)、クスノキは6番目(27万本)の多さであった(国土交通省、2009)。ケヤキやクスノキの本数が多い理由は、樹木の成長速度や維持の簡便さにあると思われる。今後、ケヤキやクスノキによる緑道の温熱快適性の向上効果が検討されると面白いであろう。

謝辞

本観測をおこなうにあたり、西川緑道公園の植生について詳しく教えていただいた岡山理科大学大学院数理・環境システムの山本伸子氏に心より感謝申し上げます。また、観測実施にあたり、助言をしていただいた岡山大学大学院自然科学研究科の重田祥範氏、観測に協力していただいた岡山理科大学総合情報学部大橋研究室のゼミ生にこの場をお借りして深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Gagge, A. P., Fobelets, A. P., Berglund, L. G. : A STANDARD PREDICTIVE INDEX OF HUMAN RESPONSE TO THE THERMAL ENVIRONMENT, ASHRAE, pp709-731 (1972)
- 2) 藤崎健一郎・半田真理子：公園、街路等の植栽が微気象に及ぼす影響, 造園雑誌, 57巻, 5号, pp151-156 (1994)
- 3) 深井一夫：標準新有効温度(SET*)における放射, 湿度, 気流, 着衣の影響の温度換算, 日本建築学会環境系論文集, pp19-26 (1994)
- 4) 橋本剛・鈴木健次：緑道及び住宅地における熱環境の実測調査, 日本ヒートアイランド学会, pp88-89 (2009)
- 5) 木内豪：屋外空間における温冷感指標に関する研究, 天気, 48巻, 9号, pp15-21 (2001)
- 6) 国土交通省・国土技術政策総合研究所：わが国の街路樹VI, 国総研資料第506号, pp29-34 (2009)
- 7) 近藤照彦・武田淳史・武田信彬：森林浴効果の生理学的研究, 群馬パース大学紀要, 4巻, pp15-22 (2007)
- 8) 仲吉信人・神田学：ラグランジュアン人間気象学の試論, 水工学論文集, 53巻, pp325-330 (2009)
- 9) 成田健一・三上岳彦・菅原広史・本条毅・木村圭司・桑田直也：新宿御苑におけるクールアイランドと冷気のにじみだし現象, 地理学評論, 77巻, 6号, pp403-420 (2004)
- 10) Pickup, J. and R. de Dear : An outdoor thermal comfort index (OUT_SET*), The model and its assumptions. Proc. 15th Int. pp279-283 (1999)
- 11) 関谷隼人・垂水弘夫：都市街路空間における緑・水環境が歩行者に及ぼす温冷感緩和効果に関する研究, 日本建築学会研究報告書, pp157-160 (2007)
- 12) 社団法人 空気調和・衛生工学会：新版・快適な温熱環境のメカニズム, 丸善株式会社, pp25-125 (2006)
- 13) 鳥山敦・文字信貴・青野靖之・鯉谷憲：樹木と天空比が都市の熱環境に及ぼす影響, 農業気象, 57巻, 1号, pp12-27 (2001)
- 14) 山田宏之：各種温熱環境指数を用いた夏季緑陰の温熱環境評価, 都市緑化科学開発機構, pp65-68 (1996)

Spatial fluctuations of thermal environment and physiology at an urban green load in summer.

— Nishigawa green load park in Okayama City —

Hiroyuki HIKITA and Yukitaka OHASHI*

Graduate School of Informatics, Okayama University of Science,

**Faculty of Informatics, Okayama University of Science,*

1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama 700-0005, Japan

(Received September 30, 2011; accepted November 7, 2011)

Many researchers have reported that the urban planting is effective as a heat island countermeasure. In this paper, in order to investigate an influence of urban green on urban thermal environment and human thermal sensation, SET* was measured on urban green load (Nishigawa in Okayama City) and its outside-street. Our observation period was selected from July 29 to October 1 in 2010, and the observations were conducted for 8 clear-sky days of this period. The observation data were divided into 8 regions for both green load and side-street. In the present paper, results in August 16, 20, and 21 were summarized.

From the analysis of SET*, the thermal sensation of “intolerable” was recorded at one region of the total 24 regions during the 3 days in the green load and did not appear in the side-street. On the other hand, “uncomfortable” was recorded at 20 and 12 regions in the green load and the side-street, respectively. And then, “slightly uncomfortable” was 3 and 12 regions in the green load and the side-street, respectively. These results suggest that the green load gives uncomfortable thermal sensation in comparison with the side-street, contrary to our expectation. As the reasons, differences in wind speed and radiations between the green load and side-street were discussed here: trees obstruct the load ventilation, and make the scattered solar radiation reach to the ground surface. Therefore, it is important for urban plantings to devise a choice of tree species giving the ventilation and shade effectively.

Keywords: urban green load; thermal environment; thermal comfort; SET*.