

## ② 自然教育園における日中の熱輸送 —市街地との比較—

菅原広史<sup>1</sup>・清水昭吾<sup>2</sup>・成田健一<sup>3</sup>・三上岳彦<sup>4</sup>・萩原信介<sup>5</sup>

Sensible heat flux in the Institute for Nature Study  
- comparison with the surrounding building area -

Hirofumi Sugawara<sup>1</sup>, Shogo Shimizu<sup>2</sup>, Ken-ichi Narita<sup>3</sup>,  
Takehiko Mikami<sup>4</sup> and Shinsuke Hagiwara<sup>5</sup>

### はじめに

都市内に存在する公園緑地は、夏季のヒートアイランド（都市温暖化）を緩和する冷熱源として働く（成田ほか，2004）。緑地内は周辺市街地よりも低温であることがすでに様々な研究で示されている（清水ほか，2012；菅原ほか，2006）。一方，緑地が周辺市街地をどの程度冷やしているかは，気温だけではなく，熱輸送量でも評価する必要がある。菅原ほか（2012b）は自然教育園がもつ夜間の冷却効果をエアコン4000台分と評価している。

緑地の冷却効果の評価は，夜間のみではなく日中についても行う必要がある。それは冷却効果を都市緑地の存在価値（気候資源）の一部分と考えた場合，一日のトータルで考える必要があるからである。本報告では日中の冷却効果の大部分を担うと考えられる樹冠からの鉛直熱輸送について実測結果を報告する。冷却効果としては鉛直方向のみならず水平方向の熱輸送も存在するが，日中は風向が安定しないことが多く，その評価は夜間（菅原ほか，2012b）よりもさらに困難である。

日中の緑地は夜間とは異なり，大気を加熱している。ただし，その大きさが周辺市街地の加熱量よりも小さいので，緑地は相対的に冷熱源となっているわけである。昼間の緑地が大気を加熱するのは，日射として受けたエネルギーを大気に放出するからであり，緑地単体でみれば大気を加熱している。したがって，昼間の緑地の冷熱源効果を評価するには市街地との比較が必要である。

本報告では既往研究（菅原ほか，2012a）による市街地での鉛直熱輸送量の測定値を引用し，自然教育園でのそれと比較する。菅原ほか（2012a）の測定は2011年夏期であるため，本報告でも2011年のデータを用いて比較する。

---

<sup>1</sup>防衛大学校, National Defense Academy

<sup>2</sup>首都大学東京, Tokyo Metropolitan University

<sup>3</sup>日本工業大学, Nippon Institute of Technology

<sup>4</sup>帝京大学, Teikyo University

<sup>5</sup>国立科学博物館附属自然教育園, Institute for Nature Study, National Museum of Nature and Science

## 測 定

園中央のタワーにおいて乱流計測を行った。タワー先端（地上 20m, 樹冠上約 8m）の位置に超音波風速計（Kaijo SAT-540）を設置し、10Hz での計測を実施した。乱流計測値から渦相関法を用いて熱輸送量を算出する際には、超音波風速計に対する横風補正、トランデューサ後流補正、地形性鉛直流補正、大気密度変動に対する web 補正等を行い 30 分平均値を算出した。さらに、タワー先端では正味放射量（Kipp&Zonen CNR-1）による上・下方向の日射量および赤外放射量の測定も行っている。

菅原ら（2012a）では板橋区および渋谷区においてシンチレーション法（菅原, 2012）を、小金井市においては自然教育園とおなじ渦相関法を用いて熱輸送量の測定を行っている。シンチレーション法と渦相関法が同様の測定結果を示すことは Lagouarde *et al.* (2006) の検証実験によって示されている。板橋区と渋谷区は中高層ビルが立ち並ぶいわゆる市街地であり、小金井市は住宅地と田畑が混在した土地被覆である。

## 結 果

図 1 に 2011 年 8 月の晴天日 9 日間における地表面温度の特別平均を示す。ここでいう地表面とは自然教育園では樹冠の葉と林床の一部、市街地では建物の壁面と屋根面を意味する。晴天日の抽出条件は、東京管区気象台（大手町）において、降水なし、日照時間 7 時間以上、最高気温 30℃ 以上とした。自然教育園では市街地よりも日中平均で 2.1（板橋）～ 8.9（代々木）℃ 低い。図 2 には顕熱輸送量について同様の特別平均を示した。市街地での顕熱輸送量は日中の最大値で 360Wm<sup>-2</sup> 程度（板橋, 14 時）であるのに対して、自然教育園の顕熱輸送量は 100Wm<sup>-2</sup>（13 時）と 1/4 程度である。地面からの顕

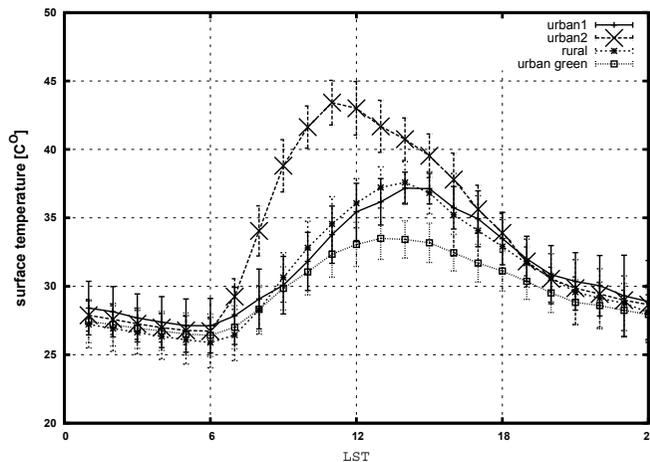


図 1 地表面温度の特別平均. 2011 年月の晴天日. 誤差棒は特別平均の標準偏差. urban-1, urban-2, rural は菅原ら (2012a) による測定でそれぞれ板橋, 代々木, 小金井における結果. urban green が自然教育園における測定結果.

熱輸送量の起源となる日射量は正午の時点で  $800\text{W/m}^{-2}$  であり、市街地と自然教育園の顕熱輸送量の差は日射量の 35% に及ぶ。

図 1, 図 2 からは、市街地の地表面温度・顕熱輸送量が場所によって大きく異なることがわかる。顕熱輸送量ではその差が  $100\text{Wm}^{-2}$  程度であり、自然教育園の顕熱輸送量自体と同程度であることから無視できない。市街地では気象要素の空間的なばらつきが大きいことが指摘されている(高野ほか, 2003; 菅原ほか, 2006)。本報告では、市街地の代表的な状態と自然教育園との比較を行うため、板橋と代々木の平均値を市街地の値として使用する。

自然教育園での顕熱輸送量が小さい理由について検討するため、図 3 に顕熱輸送量の差および自然教育園における潜熱輸送量を示した。顕熱輸送量の差は日中 9 - 15 時の平均で  $140\text{Wm}^{-2}$  であり、

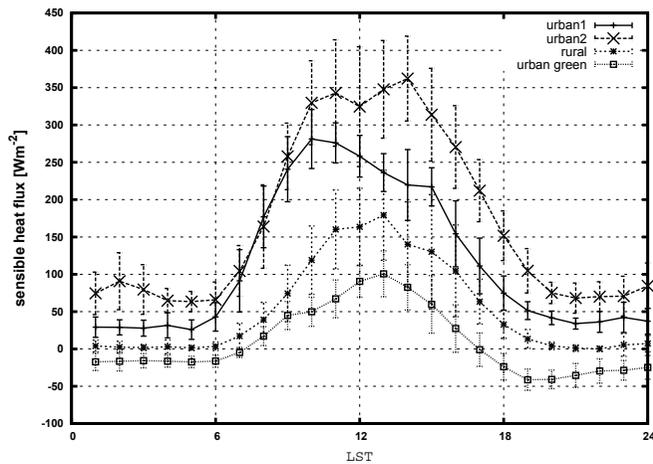


図 2 顕熱輸送量の時別平均。凡例は図 1 に同じ。

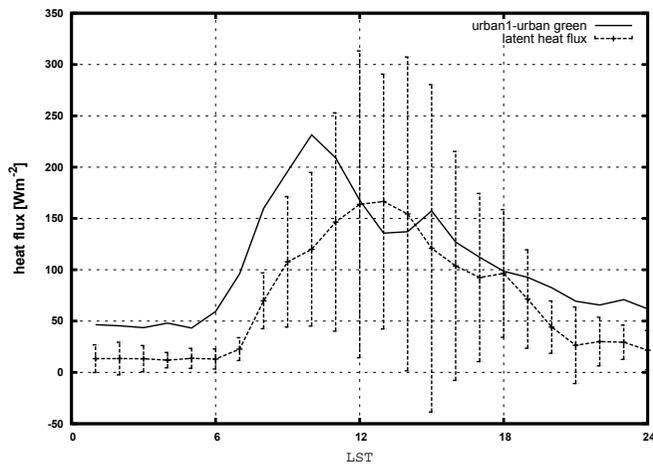


図 3 顕熱輸送量の差および自然教育園における潜熱輸送量。図 1 の urban-1 と urban green (自然教育園) との差をとったもの。

潜熱輸送量とほぼ同じ大きさである。したがって、量的には自然教育園の植物による蒸発散（潜熱輸送）によって顕熱輸送量を低く抑えていると言ってよさそうである。ただし、午前中に潜熱輸送量よりも顕熱輸送量の差の方が大きい時間帯がある。これは朝のラッシュの時間であることから、市街地における人工排熱がその原因であると考えられる。

一方、図1で見たように自然教育園の地表面温度は市街地よりも低い。したがって、自然教育園では赤外放射量として放出されるエネルギー量が市街地よりも少ない。一般に地表面は日射および大気放射でうけたエネルギーを、反射日射、赤外放射、顕熱、潜熱、地中伝導熱に分配する。これは式で表すと次のようになる。

$$(1 - a) S + \varepsilon L = H + LE + G + \varepsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

$S$ は日射、 $L$ は大気放射（大気が地表面へ向けて放射する赤外線）、 $H$ は顕熱、 $LE$ は潜熱、 $G$ は地中伝導熱、 $\sigma T^4$ は地表面から大気へ向けて放射する赤外線のエネルギー量で、 $\sigma$ はステファンボルツマン定数、 $T$ は地表面温度である。 $a$ は地表面の日射反射率、 $\varepsilon$ は射出率である。自然教育園の場合は赤外放射として放出するエネルギー量が少ないため、その分が他の項目で多めに分配されていることになる。したがって、上に述べたような顕熱輸送量の大小の比較だけでは、自然教育園の冷熱効果のメカニズムを考える上では不十分である。そこで式(1)の熱バランスについて、日中9-15時の平均値を図4に示した。自然教育園の正味放射量  $R_{net}$  ( $= (1 - a) S + \varepsilon L - \varepsilon \sigma T^4$ ) は市街地よりも大きいにもかかわらず、顕熱輸送量  $H$  は市街地の半分程度である。これは自然教育園では蒸発散の潜熱輸送があるためであり、その大きさは市街地の顕熱輸送量の約7割、市街地と自然教育園での顕熱輸送量の差の1.25倍である。また、市街地では人工排熱が  $103 \text{ Wm}^{-2}$  存在するが、自然教育園ではそれが無いことも、トータルでの顕熱輸送量（日射起源の顕熱  $H$  と人工排熱の合計）が低く抑えられる原因である。

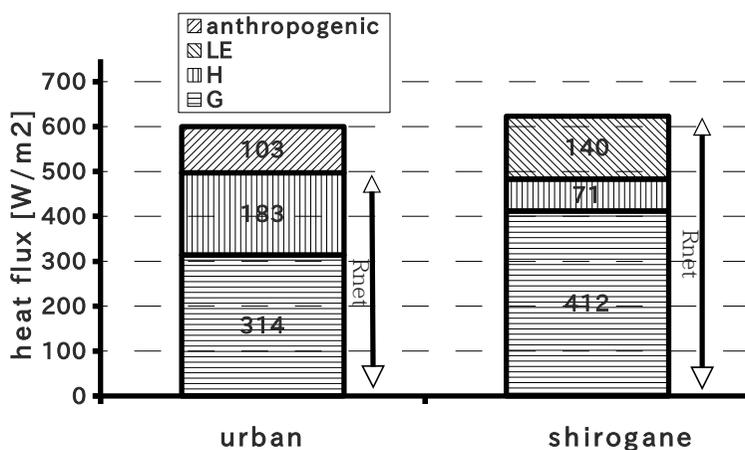


図4 市街地および自然教育園における熱バランス。市街地は菅原ほか（2012a）による測定の前橋と代々木の平均値。9-15時の平均値。それぞれ anthropogenic: 人工排熱, LE: 潜熱, H: 顕熱, G: 地中伝導熱, Rnet: 正味放射量。

## 要 旨

自然教育園の森林樹冠上において測定した鉛直熱輸送量を、既往研究による市街地でのそれと比較した。自然教育園の顕熱輸送量は市街地の1/4程度である。熱バランスの解析により、植物の蒸発散によって顕熱輸送が抑えられていることが示された。

## Summary

Upward sensible heat flux was compared between the Institute for Nature Study and surrounding building area. Sensible heat flux in the institute accounts to 1/4 of that in the building area. Analysis of heat balance showed that evapo-transplantation by plants is a main reason of sensible heat reduction.

## 引 用 文 献

- Lagouarde, J.-P., Irvine, M., Bonnefonde, J.-M., Grimmond, C. S. B., Long, N., Oke, T. R., Salmond, J. A. & Offerle, B. 2006. Monitoring the sensible heat flux over urban areas using large aperture scintillometry: case study of Marseille city during the ESCOMPTE Experiment. *Bound.-Layer Meteorol.* 118 : 449-476.
- 成田健一, 三上岳彦, 菅原広史, 本條毅, 木村圭司, 桑田直也. 2004. 新宿御苑におけるクールアイランドと冷気のにじみ出し現象. *地理学評論*, 77 (6) : 403-420.
- 清水昭吾, 菅原広史, 成田健一, 三上岳彦, 萩原信介. 2012. 自然教育園における冷気のにじみ出し現象—2011年夏季の観測結果— *自然教育園報告* 43 : 19-27.
- 菅原広史, 成田健一, 三上岳彦, 本條毅, 石井康一郎. 2006. 都市内緑地におけるクールアイランド強度の季節変化と気象条件への依存性. *天気*, 54 : 393-404.
- 菅原広史, 2012. 都市におけるフラックスおよび乱流観測. *気象研究ノート*. 224 : 103-154.
- 菅原広史, 成田健一, 清野直子, 小田僚子, 岩井宏徳, 安井元昭, 佐藤晋介, 村山泰啓, 宮内正厚, 中島孝, 松井隆, 胡斯勒図, 水澤雅之, 萩原信介, 三上岳彦, 清水昭吾. 2012a. 東京における顕熱フラックスの分布. *日本ヒートアイランド学会第7回全国大会予稿集*. A-32.
- 菅原広史, 清水昭吾, 成田健一, 三上岳彦, 萩原信介. 2012b. 自然教育園の森林は周辺市街地をどれくらい冷やしているか? *自然教育園報告* 43 : 11-17.
- 高野武将, 成田健一, 三上岳彦, 菅原広史, 本條毅. 2003. 街路空間における放射量と温度の空間平均と変動—新宿御苑周辺市街地を例として. *環境情報科学論文集* 17 : 47-52.

