

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350433

研究課題名(和文) 緑地は都市をどれくらい冷やすか？

研究課題名(英文) How much does urban green cool town?

研究代表者

菅原 広史 (Sugawara, Hirofumi)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・その他部局等・准教授)

研究者番号：60531788

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：都市内の緑地における都市温暖化緩和効果を明らかにするため、国立科学博物館自然教育園において気象観測を行った。夏季に自然教育園の緑地から周辺市街地へ流出する冷気の温度、流速と流出方向に注目した計測を行った。

夏季において冷気の流出はおよそ夜半ごろから出現し夜明け前まで継続した。設置した全地点で流出をとらえることができた。冷気の厚さはおよそ樹高と同じであることが明らかとなった。この結果をもとに緑地での熱収支を解析し、緑地が周辺市街地を冷却する冷熱量を求めた。熱収支がバランスすることが確認できた信頼性の高いケースでは、冷熱量は 39Wm^{-2} であった。この冷却量は家庭用エアコン2600台に相当する。

研究成果の概要(英文)：This study clarified the thermal mitigation effect of urban green area to the urban warming. We conducted meteorological observation in a large urban park located in downtown Tokyo. The main topic of our observation was air temperature, wind speed and direction of cold air drainage from the park to the surrounding building area in summer night.

In summer night, cold air drainage was found from midnight to sunrise, at all points along the park boundary. The drainage has depth similar to the tree height. Heat budget of the park was analyzed and the cooling amount was evaluated. In the reliable runs in which the heat budget closes, the cooling amount was 39Wm^{-2} . It corresponds to the 2600 unit of room air conditioner.

研究分野：気象学

キーワード：都市温暖化 ヒートアイランド 都市緑化 熱収支

1. 研究開始当初の背景

都市域に存在する公園などの緑地は、夏季の都市の温暖化現象や熱帯夜による生活環境の悪化を緩和する効果があることが、数々の既往研究で示されてきた。その成果は平成16年に制定されたヒートアイランド対策大綱にも反映されている。

それらの従来の研究のほとんどでは、温度を用いて温暖化緩和効果を評価していた。しかしながら温度はその効果を評価する指標としては適切でない面もある。例えば、夏季に都市緑地で形成された冷気は周辺の市街地へ流出し、道路面などからの加熱を受けてすぐに温度が変化する。その温度変化の時間スケールは1～2分程度であり、通常の温度計の応答時間とほぼ同じである。したがって既往研究のほとんどは、加熱されてある程度暖まってしまった緑地からの冷気を測定していることになる。

都市緑地が周辺市街地を冷やすことが温暖化緩和効果であるから、冷却量を冷熱エネルギー量（単位は J）で評価するのが物理的には適切である。しかしながら、熱量での評価は、冷気の体積も考慮しなければならないため、温度単体での評価よりもはるかに困難であり、この点について研究した例はこれまでなかった。熱量で評価することの物理的な妥当性とは別に、一般市民から「公園の冷房能力はエアコン何台分ですか？」と聞かれることがある。この率直な疑問に正面から答えることができる研究成果はこれまで得られていなかった。

2. 研究の目的

本研究では夏季の都市緑地による市街地冷却効果を、実測に基づき熱量で評価することを目的とした。この目的のためには、緑地から市街地へ流出する冷気の厚さや流出頻度を把握することが必要となる。実測においてはこの点に重点をおいた。

3. 研究の方法

本研究は国立科学博物館附属自然教育園（東京都港区）を調査フィールドに選定し、都市緑地の熱収支を測定した。自然教育園（以下、園と略す）は面積 0.2 km² の大規模な公園であり、敷地はほとんどが樹高 14 m の樹木で覆われている。周囲は中高層ビルが立ち並ぶ市街地である。園内外に温度計等を設置し、夏季を中心に気象観測を行った（図 1）。

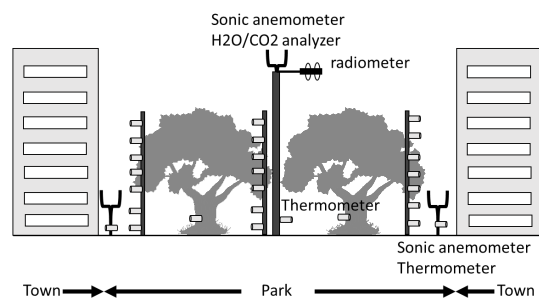


図 1 観測概念図

計測データから以下の手法で冷却能力を評価した。園全体を検査体積とした場合、その熱収支は以下の式で書ける。概念図を図 3 に示す。

$$Q_H + Q_E + R_{net} + Q_g + Q_{adv} + Q_a + Q_w = 0 \quad (1)$$

Q_H, Q_E, R_{net} は検査体積上端でのそれぞれ顕熱、潜熱、放射による熱輸送量である。 Q_g は地中伝導熱量、検査体積内の空での貯熱量、 Q_{adv} は移流による熱輸送量、 Q_a および Q_w はそれぞれ検査体積内の空気および樹木での貯熱量である。いずれの項も検査体積から外に出る向きを正の値とする。

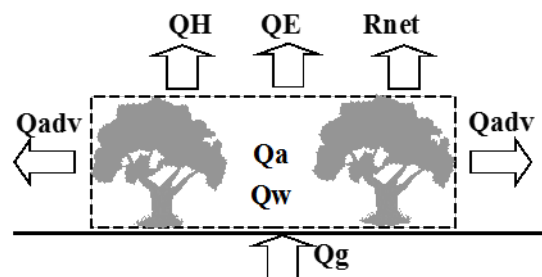


図 2 熱収支概念図

式(1)の各項のうち Q_H と Q_{adv} の合計が、都市緑地が周辺市街地を冷却する冷却量である。その値は緑地の単位水平面積あたりの熱量 (J/m^2) という単位で算出される。移流による熱輸送量 Q_{adv} の測定は非常に困難である。本研究では式(1)の熱収支式が実測値をもとに評価して閉じていること(熱輸送量の合計値が誤差の範囲内でゼロになること)を確認し、 Q_{adv} の測定精度を保障することとした。

式(1)のうち、 Q_H 、 Q_E 、 R_{net} は樹冠上に設置した乱流計測機器および放射計により計測した。貯熱項 Q_a 、 Q_w 、 Q_g は測定した温度の時間変化から算出した。 Q_{adv} は緑地・市街地の気温差と流出風速との積で算出した。

4. 研究成果

図3に2014年夏季に行った集中観測での測定地点を示す。黄丸あるいは青三角で示した地点に風速計と温度計を設置して、1分間隔での測定を約2ヶ月間にわたり行った。図中 Stower は地上 18 m、Nupper は地上 8 m の位置にセンサーが設置されている。他の地点は地上 1.5 m である。図4は2014年7月28~29日の測定例である。市街地の気温もあわせて示した。北および東側の地点(N, Nupper, NW, E)では16時ごろに上空風向が南東から南西へ変化すると、それと同時に市街地へ向かう風向へと変化している。また、各地点ともこれと同時に気温の急激な低下がみられる。この風向と気温の変化は既往研究で見られてきた冷気流出の特徴である。およそ2時には南側の地点においても風向が市街地へ向かう方向へと変化し、明確な気温低下も見られた。この時刻以降では欠測であった SW を除きすべての地点で市街地へ向かう風が観測され、園全体で発散風となっていた。Stower においても冷気にじみ出しの特徴が見られたということは、冷気の厚さが 18 m 以上であることを示している。これはこ

の地点での樹高とほぼ同じ高さである。なお、研究期間初年度の現地観測により、市街地へ流出する冷気は、比較的細かな地形によりその風向・風速が影響を受けることが明らかとなった。このため、周囲を代表するような地形上に観測地点を設け、冷気流出の観測をおこなっている。

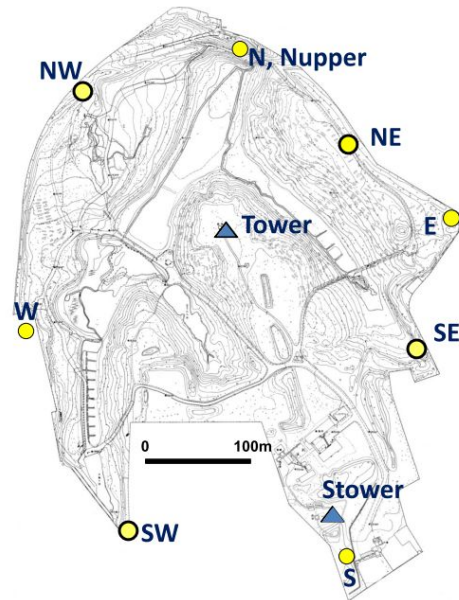


図3 2014年夏季の観測地点

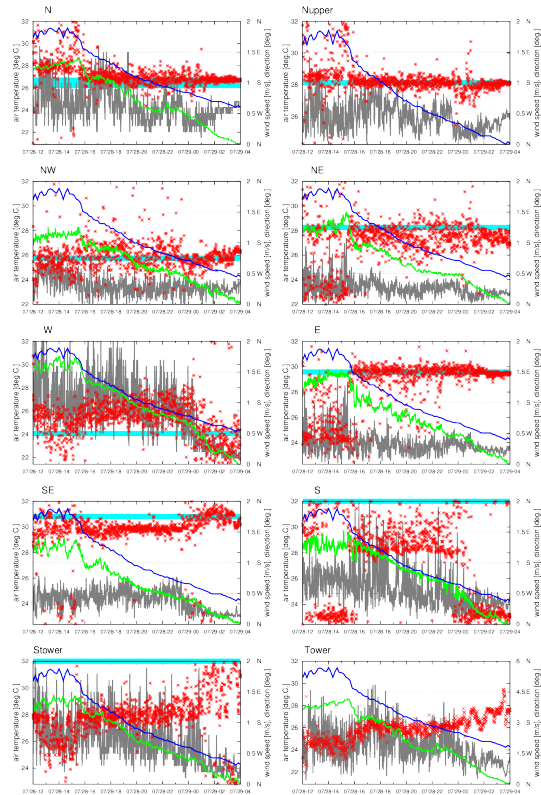


図4 2014年7月28~29日の各地点の気温(青)と風向(赤)、風速(灰)。市街地

の気温(緑)も示した。各地点での市街地へ向かう風向を青線で示した。

以上の結果から、冷気の厚さは樹高とほぼ同じであること、夜半過ぎには東西南北すべての方向に冷気が発散的に流出することが明らかとなった。この結果に基づき、夜半過ぎのデータで式(1)の熱収支式を評価し、さらに式(1)が閉じることから十分な測定精度であると確認できたケースについて、市街地冷却量 Q_H+Q_{adv} を求めたのが図5の黄色四角である。図の横軸は樹冠上での正味放射量(夜間であるので、放射冷却で緑地が失う熱量に相当する)。この図から市街地冷却量は平均で $39Wm^{-2}$ であることがわかった。この冷却量に園の面積をかけると $7.8 MW$ となり、これは日本の標準的な家庭用エアコン 2600 台に相当する。

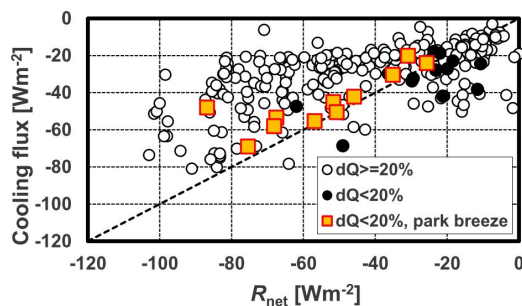


図4 市街地冷却量(縦軸, Q_H+Q_{adv})と正味放射量(横軸)との関係。dQは Q_{adv} に対する式(1)の残差項の割合。

なお、上記の集中観測のほかに、通年の気温観測も行った。冬季には、夏季とは逆の気温分布(市街地の方が低温)が出現することも明らかとなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1件)

Sugawara, H., Shimizu, S., Takahashi, H., Hagiwara, S., Narita, K., Mikami, T., Hirano, T. (2015). Thermal Influence of a Large Green Space on a Hot Urban Environment. Journal of Environment

Quality, 45(1), 125-133.
doi:10.2134/jeq2015.01.0049, 査読有り。

[学会発表](計 3件)

菅原広史, 萩原信介, 緑地は冬も涼しいのか?, 日本ヒートアイランド学会第11回全国大会, 2016年7月, 広島市。

菅原広史, 萩原信介, 都市内樹林における二酸化炭素フラックスの季節変化, 日本気象学会2016年春季大会, 2016年5月, 東京。

Sugawara H., Shimizu S., Hagiwara S., Narita K., Mikami T., How much does urban green cool town? German-Japan meeting on urban Climate, 2014年10月, ドイツ, ハノーバ。

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅原 広史 (SUGAWARA, Hirofumi)
防衛大学校地球海洋学科, 准教授
研究者番号: 60531788

(2) 研究分担者

成田 健一 (NARITA, Ken-ichi)
日本工業大学建築学科, 教授
研究者番号: 20189210

(3) 研究分担者

三上 岳彦 (MIKAMI, Takehiko)
帝京大学文学部, 教授
研究者番号: 10114662

(4) 研究分担者

萩原 信介 (HAGIWARA, Shinsuke)
国立科学博物館, 研究員
研究者番号: 30000144