

公園緑地に適応させた黒球温度推定式の導出

岡田 牧¹, 岡田 益己², 日下 博幸³

¹筑波大院 生命環境科学, ²岩手大 農学部, ³筑波大 計算科学

1. はじめに

湿球黒球温度 WBGT は熱中症の危険度を表す指標として使われている。WBGT は乾球温度・湿球温度・黒球温度の3つから構成される。その中で黒球温度は、放射による熱的不快を表現している。黒球温度の計測は基準化されておらず、且つ長期的安定的に計測することが難しい。そのために、気温・日射量・風速などの気象要素から黒球温度を推定する経験式が作られてきた（高市ほか 2003; 登内・村山 2008）。

一方、公園緑地は市民の憩いの場であるとともにヒートアイランド緩和として重要な効果が期待されている（Eliasson and Upmanis 2000; 永谷ほか 2007）。このような場における熱中症危険度は、都市住民の生活に密接な情報であり大変重要と考えられる。

本研究では、はじめに、黒球表面の熱収支から黒球温度を予報するモデルを用いて、地表面状態や風速の違いが黒球温度に与える影響を把握する。次に、既往の推定式の公園緑地への適応可能性を調べた。最後に、黒球表面の熱収支に準じた新しい推定式を導出した。

2. 手法

2. 1 観測概要

2011年9月8日から10日（11時から15時）に、つくば市内の洞峰公園・二宮公園・北向児童公園にて観測を行った。黒球温度はサーミスタ式温度計（T&D 社製 RTR-52A）をベルノン式黒球（Φ=150mm）に挿入して計測した。乾球温度と相対湿度は自作強制通風筒（村上・木村 2010）にそれぞれ RTR-52A と RTR-53A を挿入して計測した。全天日射量と風速は AWS（DAVIS 社製 VantagePro2）を使って計測した。

2. 2 黒球表面の熱収支

黒球は熱伝導が大変良く、黒球の表面温度と黒球内部で計測した温度は等しく、また、黒球は水平一様・平坦な地表面の上にあると考える。すると黒球表面の熱収支は次のように書く事ができる。

$$\begin{aligned} \zeta_g \left(\frac{S_o - S_{dif}}{4 \cos \theta} + \frac{S_{dif}}{2} + \frac{\alpha_{gr} S_o}{2} \right) + \varepsilon_g \left(\frac{L_{sky}}{2} + \frac{\varepsilon_{gr} \sigma T_{gr}^4}{2} - \sigma T_g^4 \right) \\ + \rho c_p C_H U_a (T_a - T_g) = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

3. 結果

3. 1 ボーエン比と風速の変化による黒球温度

風速と地表面状態の違いによる黒球温度の変化を調べるため、式(1)を数値計算的に解いた。地表面状態の違いはボーエン比で表した。風速の違いを検証する場合、ボーエン比を1.1に固定した。また地表面状態の違いを検証する場合、風速を 0.57 m s^{-1} に固定した。その結果、地表面状態の違いと比べて入力データとなる風速の方が黒球温度に影響を及ぼすことが分かった。

3. 2 既往の推定式の公園緑地への適応性

高市ほか(2003)式(2)と登内・村山(2008)式(3)に全天日射量と風速の観測値を与えて得た黒球温度の推定値と、黒球温度の観測値を比較した。図1は全天日射量と既往の推定式の推定誤差の関係を表している。式(2)は全体的に過大評価評価の傾向を示した。また、式(3)は式が2分化されたことにより、日射量 400 W m^{-2} 前後で推定誤差が不連続を示した。

$$T_g = T_a + 0.090S_o / (1 + 0.0037S_o) \quad (2)$$

$$T_g = T_a - 0.3 + 0.0256S_o - 0.18U^{1/2} \quad (S_o \leq 400 \text{ W m}^{-2})$$

$$T_g = T_a + 12.1 + 0.0067S_o - 2.40U^{1/2} \quad (S_o > 400 \text{ W m}^{-2}) \quad (3)$$

3. 3 新しい推定式の導出

黒球表面の熱収支式(式(1))にテーラー展開による線形化などを施し、式(2)に倣って日射量に対する双曲線関数の形を取り入れ、式(4)のような新しい推定式の形を導出した。

$$T_g = T_a + (S_o + a) / (bS_o + cU_a + d) \quad (4)$$

この式と既往の推定式のパラメータを今回の観測値にフィットさせた。図2はパラメータフィット後の式(2)、(3)と(4)の日射量と推定誤差の関係を表している。新しい推定式(4)は式(3)のような系統的誤差は現れず、且つ式(3)と同程度の推定精度を示した。

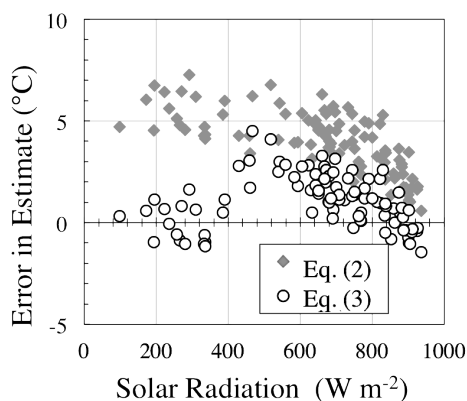


図1. 既往の推定式に観測データを与えた時の日射量と推定誤差の関係

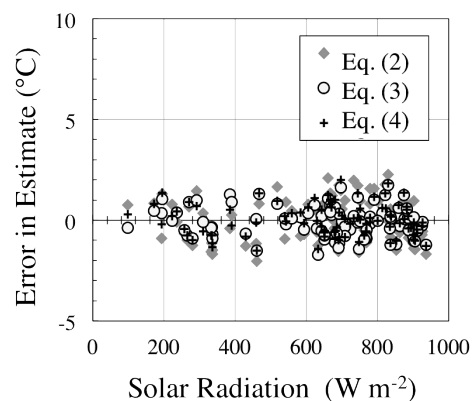


図2. パラメータを観測値にフィットさせた後の日射量と推定誤差の関係

4. まとめ

WBGT を構成する要素の 1 つである黒球温度を推定する新しい式の導出を試みた。新しい推定式は、黒球表面の熱収支式を基礎とし、且つ黒球温度の変化に大きく影響を及ぼす日射量と風速を変数として含ませた。つくば市内の 3 カ所の公園にて測定した観測結果に対し、既往の推定式と並べてパラメータのフィッティングをかけた。その結果、新しい推定式は推定誤差が日射量に対して不連続にならず、環境省で採用されている登内・村山（2008）の式と同様の精度が確認された。

謝辞

本研究は、文部科学省の委託事業「気候変動適応研究推進プログラム」において実施したものである。

参考文献

- Eliasson, I., and H. Upmains, 2000: Nocturnal airflow from urban parks-implications for city ventilation. *Theor. Appl. Climatol.*, **66**(1-2), 95-107.
- 村上 雅則, 木村 富士男, 2010: 可搬型簡易自作強制通風式温度計作成マニュアル. 筑波大学陸域環境センター報告, **11**, 29-33.
- 永谷 結, 梅木 清, 本條 毅, 菅原 広史, 成田 健一, 三上 岳彦, 2007: 長期観測による新宿御苑のにじみ出し現象の解析. 環境情報科学論文集, **21**, 507- 512.
- 高市 益行, 細野 達夫, 黒崎 秀仁, 渡辺 慎一, 川嶋 浩樹, 中野 有加, 2003: 高軒高温室における WBGT 値を用いた快適作業領域の解析. <http://naro.affrc.go.jp/top/seika/2003/vegetea/ve03023.html>
- 登内 道彦, 村上 貢司, 2008: 熱中症危険度の地域特性と HWDI. 日本生気象学会雑誌, **45**(3), 62.