

公園緑地への黒球温度推定式の適用性

岡田 牧* 岡田 益己** 日下博幸***

*筑波大院 生命環境科学研究科 **岩手大 農学部 ***筑波大 計算科学研究センター

1. はじめに,

WBGT (湿球黒球温度) は、暑さ指数として規格化され (JIS Z 8504、ISO7243)、環境省の熱中症予防情報サイトなどで利用されている。WBGT の輻射熱項にあたる黒球温度 T_g は、気象観測網や数値モデルから得た日射量や風速を用いて推定されるが、その推定結果が市街地や公園など環境の異なる条件に広く適用できるかは未検討である。本研究では、始めに黒球の熱収支に基づいて数値実験を行い、黒球温度に与える因子を整理する。次に既往の推定式を得た環境とは異なる公園緑地で黒球温度と気象要素を観測し、推定式の適用性を検討する。

本研究で対象とする既往の推定式は、高市ほか (2003) の式(1)と登内・村山 (2008) の式(2,3)である。

$$T_g = T_d + 0.090S / (1 + 0.0037S) \quad (1)$$

$$T_g = T_d + 12.1 + 0.0067S - 2.40U^{1/2} \quad (S \geq 400 \text{ W/m}^2) \quad (2)$$

$$T_g = T_d - 0.3 + 0.0256S - 0.18U^{1/2} \quad (S < 400 \text{ W/m}^2) \quad (3)$$

2. 方法,

①数値実験 黒球表面では正味放射と対流が平衡している。単位黒球面積当たりの熱収支式は次のように表される。

$$(S_o - S_{dif}) / 4 \cos \theta + S_{dif} / 2 + \alpha S_o / 2 + L_{sky} / 2 + L_{gr} / 2 - L_g + h_c (T_d - T_g) = 0 \quad (4)$$

黒球温度に影響を与える気象要素について整理するため、地表面の熱収支式と式(4)をそれぞれ Newton-Raphson 法で数値的に解いて黒球温度を得た。本研究では夏の晴天日を想定して、乾球温度 T_d は 30°C に固定した。天空放射量 L_{sky} は Brunt の式を用いて乾球温度から算出した。議論を簡単にするため、地表面状態の違いをボーエン比のみで表現した。例えば、芝地とアスファルトの地表面温度の差を、それぞれボーエン比 0.2 と 2.5 で再現した。対流熱伝達率 h_c の計算には鳥山ほか (2001) を使用した。

②公園観測 観測は 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、北向児童公園にて行った。黒球温度はサーミスタ式温度計 (T & D 社製 RTR-52A) をバルノン式黒球 ($\Phi=150\text{mm}$) に挿入して計測した。乾球温度はサーミスタ式温度計を自作強制通風筒 (村上・木村 2009) に挿入して計測した。全天日射量 S_o と風速 U は DAVIS 社製 AWS (VantagePro 2) より得た。

3. 結果と考察,

式(4)を黒球-乾球温度差 $T_g - T_d$ について展開する。

$$T_g - T_d = \{ (S_o - S_{dif}) / 4 \cos \theta + S_{dif} / 2 + \alpha S_o / 2 + (a + b\sqrt{e}) \sigma T_d^4 / 2 + \sigma T_{gr}^4 / 2 \} / (h_r + h_c) \quad (5)$$

式(5)から、太陽天頂角 (θ) 小さくほど、温度差に及ぼす全天日射量 (S_o) の作用が大きいこと、また対流熱伝達率 (h_c) が風速の関数のため、温度差は風速に反比例することが分かる。数値実験と同様の気温と風速を既往の推定式に与え、各計算結果と比較した。その結果、登内・村山の式はボーエン比 2.5 の計算結果と近い関係が示された。

一方、公園観測の平均風速 0.6m/s の条件で数値実験を行い、観測値と比較したところ、観測値はボーエン比 2.5 の曲線よりも、ボーエン比 0.2 から 0.4 の曲線に近い値を示した (図 1)。各推定式から得られた黒球温度と観測値の差を全天日射量に対してプロットしたところ、推定式ごとに系統的な誤差が示された (図 2)。この誤差はパラメータをチューニングすることで小さくなった。各推定式が公園観測値を正しく推定できなかった原因として、1)地表面温度の違い 2)風速項の有無 3)曇天時データの混入が考えられる。

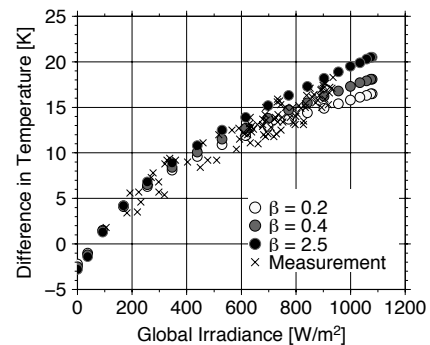


図 1. 数値実験 (風速 0.6m/s 、ボーエン比 0.2) と観測における全天日射量と温度差の関係

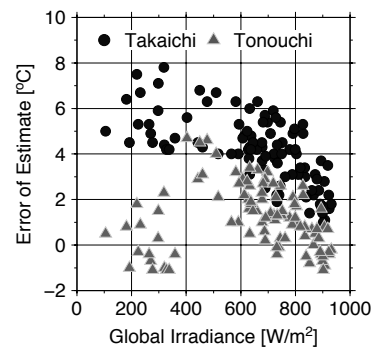


図 2. 各推定式における全天日射量に対する黒球温度推定誤差

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。