

観測による黒球温度指示値とその決定要因の検討

*山本 享¹, 松本 太², 福岡 義隆³, 岩本 裕之¹, 中祢 顕治¹, 宮下 良治¹
 (1: いであ (株), 2: 国立環境研究所, 3: 立正大学)

1.はじめに

近年の高温現象多発の影響もあり、熱中症の被害者数の増加が報告されている。現在熱中症の予防指針は、(財)日本体育協会、環境省などから示されており、厚生労働省からも労働環境下について基準が示されている。それらにおいては湿球黒球温度 (WBGT) が指標として一般に用いられている。

しかし WBGT は、あまり一般に普及していない専用の測定機器を使用しないと測定することはできず、予測することも簡単ではない。また、WBGT の算出式には黒球温度が変量として入っているが、黒球温度も基本的には専用の測定機器を使用しないと得ることができない値である。

これまで、Tonouchi et al. (2006) が、WBGT や黒球温度を推定するための予測式を、長期観測データから提案した例があるが、このような例は多くない。

本研究では、より短いタイムスケールについて検討し、黒球温度観測値の変動がどの程度理論値に一致するか確認し、推定式を求めるための基礎資料とすることを目的として、黒球温度および各気象要素の実測を行った。

2.観測

本研究では、2006年夏季に立正大学熊谷キャンパス内の観測圃場において黒球温度観測を実施した。測定項目は、以下の通りである。

高度 150cm	下向き/上向き 短波/長波放射 気温・相対湿度、黒球温度、風向風速
高度 50cm	気温・相対湿度、黒球温度、風向風速

観測は芝地面と舗装面の2種の地表面上で行った。測定間隔は、放射については5秒、気温・相対湿度、黒球温度については1分、風向風速については10分とした。黒球は、市販のベルノン式φ150mm (r=0.075m) を用いている。

3.解析

熱収支式を黒球に適用すると次のようになる。

$$R = \sigma T_g^4 + H + LE + G \quad \dots\dots(1)$$

R: 入力放射量, H: 顕熱, LE: 潜熱, G: 貯熱量

T_g: 黒球温度, σT_g⁴: 黒球からの長波放射量

黒球においては潜熱 LE=0 であり、貯熱量 G は無視した。放射の受光面積を考慮し、黒球への単位面積あたりの入力放射 R は、以下のように取り扱った。

$$R = I/4 + S_d \downarrow / 2 + S \uparrow / 2 + L \downarrow / 2 + L \uparrow / 2 \quad \dots\dots(2)$$

つまり、直達日射 I は日射に対して垂直な断面面積 πr² で受け、散乱日射 S_d↓、下向き長波放射は黒球の上半球表面積 2πr² で受け、地表面による反射日射、地表面からの長波放射は下半球表面積 πr² で受ける。また、黒球からの顕熱輸送や長波放射は黒球表面積で放出される。

また測定値として得られているのは、水平面日射量 S↓であるが、式(2)に代入するためには、下の式(3)を利用して直達成分と散乱成分に分離してやる必要がある。

$$S \downarrow = I \times \sin \alpha + S_d \downarrow \quad (\alpha: \text{太陽高度角}) \quad \dots\dots(3)$$

直達日射量 I と散乱日射量 S_d↓は大気透過率を仮定し、古藤田 (1986) にある計算式で計算値を求め、その計算値の比をもって、観測値 S↓の直散分離を行った。

(1)式を変形すると次の式が得られる。

$$T_g - T = (R - \sigma T^4) / (4\sigma T^3 + C_p \rho (a/d)N) \quad \dots\dots(4)$$

ここに C_pρ: 空気の体積熱容量, a: 空気の分子温度拡散係数, d: 黒球直径, N: ヌッセル数。

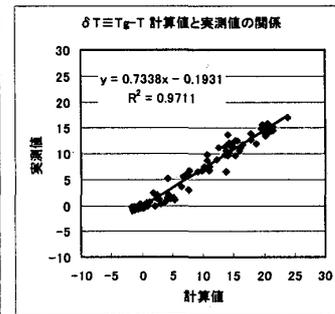
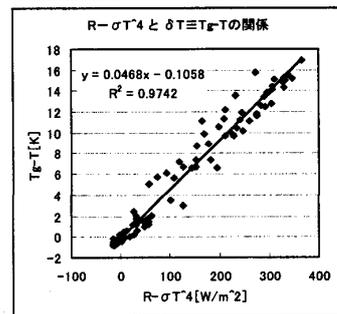
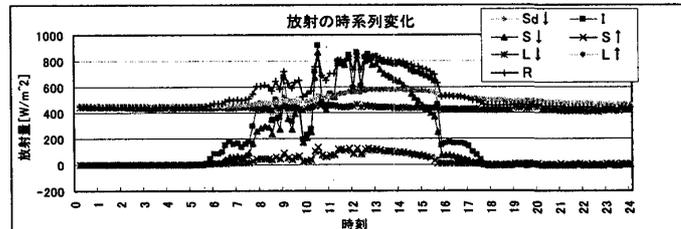
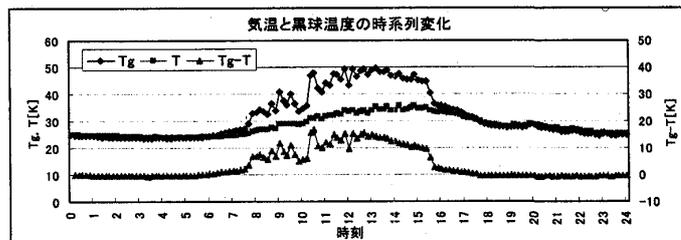
式(4)を気温、放射、風の観測値を用いて解き、黒球温度と気温の差 δT (≡T_g-T) の計算値も求めた。

4.結果

図(上・中)に2006年9月10日の舗装面上における高度150cmにおける各気象要素の観測結果や計算値の時系列を示す。

観測結果・計算結果からは以下の結果が得られた。

- ・夜間においては、黒球温度指示値は気温とほぼ等しい値を示す。
- ・日午後、黒球温度は入力放射の増加とともに上昇する。
- ・黒球温度指示値は、日射の強い日中においては、下向き短波放射の大きさに依存するところが大きい。
- ・入力放射の変化と「黒球温度指示値と気温観測値の差」(観測値で得られた δT) の変化の位相はほぼ一致している。
- ・式(3)で、左辺の T_g-T と右辺の一部 R-σT⁴ をそれぞれ観測値から求め、散布図(図下左)に示すと相関はかなり高い結果となった。(9月10日は一日微風であった。)
- ・式(3)から放射と風の観測値から計算値として求めた T_g-T と観測値を比較した図(図下右)の通り、計算値で求められる黒球温度の方が実際の観測値より高い値となった。ただし、一次回帰した決定係数の値は大きくなっている。
- ・計算値 δT から求めた顕熱 H の大きさは、日中で 200W/m² 程度であり、最大で黒球からの放射の 1/3 程度であった。



[参考文献]

Tonouchi, M., K. Murayama, and M. Ono, 2006: WBGT Forecasts for Preventing Heat Stroke in Japan, Extended Abstract of 6th Symposium on the Urban Environment and AMS Forum on Managing Our Physical and Natural Resources.
 近藤純正編著, 1994: 水環境の気象学—地表面の熱収支・水収支—, 朝倉書店, 350 pp.
 近藤純正名誉教授 web サイト (研究の指針): <http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/kenkyu00.html>
 古藤田一雄, 1986: 直達・散乱成分を考慮した斜面全日射量の簡易推定法, 農業気象, 42(3), 249-259.