

# 夏季屋外環境における簡易型を含む市販 WBGT 測定器等の 測定精度に関する検討<sup>†</sup>

齊藤 宏之<sup>\*1</sup> 澤田 晋一<sup>\*2</sup>

近年熱中症が多発していることから、作業現場における暑熱環境リスクの指標として WBGT 値の測定・評価が求められている。その一方で現在さまざまな WBGT 測定器が市販されているが、それらの測定器がどの程度適切かつ正確に本来の WBGT 値を測定・評価しているかどうかは必ずしも明らかではない。そこで本研究は、その点を明らかにするために、複数の市販 WBGT 測定器を用いて屋外環境（曇天コンクリート上、晴天コンクリート上、晴天ステンレス板上）で並行測定を行い、機種間の測定値の比較ならびに自然湿球型の標準機種との比較を行った。その結果、黒球を持たない簡易型測定器では晴天時あるいは照り返しの強い晴天時で黒球付きの機種に比べて 2～4℃程度の差があることがわかった。従って、黒球のない簡易型は日射のある屋外では誤差が大きくなることに注意が必要である。また、温度・湿度から簡易的に WBGT 値を求める簡易換算表についても、日照のある屋外では平均で 3～4℃程度過小評価することが示されたことから、誤差が大きくなることに留意が必要である。

キーワード：暑熱環境, WBGT, 測定精度

## 1 はじめに

職業性熱中症は近年の温暖化傾向もあって多発傾向にあり、特に建設業で顕著である<sup>1)</sup>。熱中症を防止するためには作業現場における暑熱環境の測定・評価を行い、的確な措置を講じることが必要である。厚生労働省においても第 12 次労働災害防止計画において「熱中症の発生状況を勘案し、夏季の一定の時期の屋外作業について、作業環境の測定、評価と必要な措置を義務付けることを検討する」と明記<sup>2)</sup>しており、今後は暑熱環境の測定、評価が義務付けられる方向に進むことが想定される。

作業時の暑熱環境の測定・評価を行う指標としては、WBGT (Wet Bulb Globe Temperature, 湿球黒球温度)<sup>3,4)</sup>が一般的に用いられており、ISO 7243 として国際基準となっている<sup>5)</sup>他、我が国をはじめとした多くの国で暑熱評価の基準として用いられている<sup>6)</sup>。WBGT は乾球 ( $T_a$ )、自然湿球 ( $T_{nw}$ )、黒球 ( $T_g$ ) の各温度を用いて下記の計算式で算出される数値である。

$$\text{屋外: WBGT} = 0.7T_{nw} + 0.2T_g + 0.1T_a$$

$$\text{室内: WBGT} = 0.7T_{nw} + 0.3T_g$$

一方、WBGT の測定・評価のために現在多種多様な測定器が市販されており、大きく分けて①黒球・自然湿球型、②黒球・温湿度センサー型、③黒球なし・温湿度センサー型（簡易型）の三種類が存在している。これらのうち、ISO や JIS に準拠しているのは①の黒球・自然湿球型であるが、機種を選択が限られる上、高価であることから一般的ではない。②の黒球・温湿度センサー型が現場に

て広く用いられているが、 $T_{nw}$  の算出に必要な自然湿球を持たず、自然湿球とは測定原理の異なる湿度センサーによる相対湿度の値を用いて  $T_{nw}$  を算出していると推察される。従って、WBGT の構成要素の 7 割を占める  $T_{nw}$  の算出値の精度が問題になりうる。③の黒球なし・温度センサー型（簡易型）は安価かつ小型軽量であることから現場の作業員が携帯して使用しているケースが多く見られるが、②の黒球・温湿度センサー型における問題点に加え、屋外にて WBGT を算出するために必要な黒球を持たないことから、的確な測定・評価ができていようかが疑問視される。従って、これらの市販 WBGT 測定器にて的確に屋外の暑熱環境を測定・評価することが可能かどうかをあらかじめ検討しておく必要がある。

本稿では、夏季の屋外環境においてこれらの市販測定器による並行測定を行うことにより、測定精度の妥当性についての評価を試みた。また、WBGT 値を気温と湿度から簡易的に換算する表<sup>7)</sup>が出回っているが、この換算表の適用による暑熱リスクの過小評価の可能性も指摘されている<sup>8)</sup>ことから、本換算表が屋外環境で適用可能かどうかについても併せて検討した。

## 2 方法

### 1) 測定

研究所の屋上（川崎市多摩区）にて、2013 年 8 月下旬に市販の WBGT 測定器 10 機種（各 1 台）による同時測定を行った。WBGT 測定器の概要を表 1 に示す。

このうち、①黒球・自然湿球型の機種 A (3M-Quest 社製 QT-36) を標準機種とした。当該機種は ISO 7243 (JIS Z 8504) の規定に準拠した、黒球（直径 50.8mm）、自然湿球、乾球を有する測定器である<sup>9)</sup>。黒球サイズのみ ISO (JIS) に定められた 150 mm ではなく 50.8mm となっているが、同等の値を示すとされており、予備実験における検討でも同機種の 150mm の黒球と 50.8mm の黒球ではほぼ完全に一致した。センサー部分を写真 1 に示す。

<sup>†</sup> 原稿受付 2014年06月30日

<sup>†</sup> 原稿受理 2014年10月20日

J-STAGE Advance published date: December 12, 2014

\*1 (独)労働安全衛生総合研究所 有害性評価研究グループ

\*2 (独)労働安全衛生総合研究所 国際情報・研究振興センター

連絡先: 〒214-8585 神奈川県川崎市多摩区長尾6-21-1

(独)労働安全衛生総合研究所 有害性評価研究グループ 齊藤宏之<sup>\*1</sup>

E-mail: saitoh@h.jniosh.go.jp

②の黒球・温湿度センサー型の機種(B~F)については、表1に示したサイズの黒球を有する。機種B~Eは黒球の下の軸の部分に乾球温ならびに相対湿度を測定する温湿度センサーを収めた部分(金属製又は表面金属処理を施したプラスチック製)を有している。機種Fは筐体上部にプラスチック製(緑色)のセンサー収納部を有する。この部分のサイズの概略を表1に示す。これらの研究に用いたWBGT測定器のうち標準機種を除く測定器は、研究開始時点において日本の科学機器販売会社のカタログに記載され、容易に入手可能で比較的低価格のため作業現場での使用が広く見込まれる市販製品(黒球なしの簡易型についてはWBGT値の表示のあるもの)の中から形状の異なるものを無作為に選択した。

これらを黒球の高さ(黒球が無い機種については測定器の高さ)が建物屋上の床面から高さ1.1mになるように設置し、下記の3条件にて5分毎に測定を行った。

- a) 薄曇りのコンクリート上(2013年8月26日)
- b) 晴天のコンクリート上(2013年8月27日)
- c) 晴天のステンレス板(1000mm×3400mm)上(2013年8月28日)

なお、この3条件は屋外暑熱条件として代表的かつ重

表1 使用したWBGT測定器の概要

機種	黒球 (サイズ)	自然 湿球	温湿度センサー 収納部分の大きさ
① 黒球・自然湿球型			
A	○(50.8mm)	○	—
② 黒球・温湿度センサー型			
B	○(24mm)	×	φ24×73mm
C	○(75mm)	×	φ26×55mm
D	○(60mm)	×	φ24×45mm
E	○(40mm)	×	φ26×55mm
F	○(75mm)	×	φ15×15mm
③ 黒球なし(簡易型)			
G	×	×	—
H	×	×	—
I	×	×	—
J	×	×	—

(注: 黒球なし(簡易型)の温湿度センサー収納部の大きさについては、筐体内での実装状況が不明のため、計測不能とした)。



写真1 機種Aのセンサー部

要と思われる直射日光の有無、ならびに直射日光がある場合においては照り返しの有無を念頭に置いて選定した。

2) 解析

得られた測定結果のうち、それぞれ10:00~15:00のデータ(各61ポイント)を解析した。時系列にWBGT測定値を標準機種(A)と比較するとともに、機種AとのWBGT値の差(ΔWBGT)を比較した。各機種と機種Aとの測定値の差については、対応のあるt検定にて各測定器間の有意差の検定を行った。これらの解析にはR3.1.0を用いた。

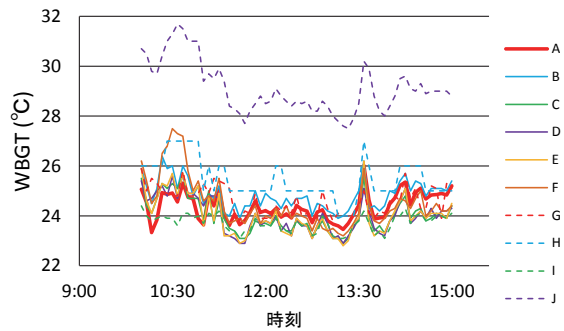


図1a 曇天時のコンクリート上における各種計測器を用いたWBGT値の推移

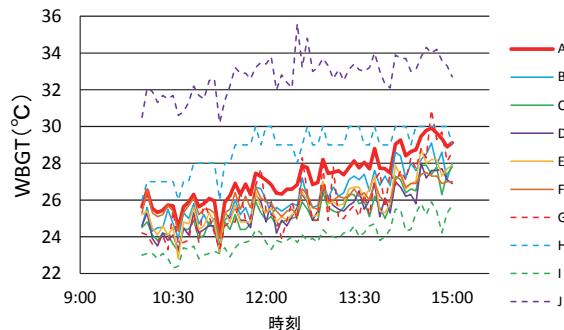


図1b 晴天時のコンクリート上における各種計測器を用いたWBGT値の推移

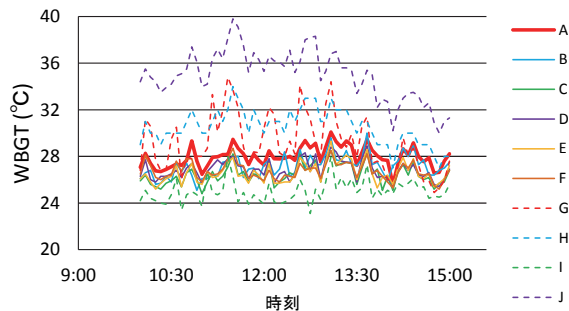


図1c 晴天時のステンレス板上における各種計測器を用いたWBGT値の推移

(図1a, 1b, 1c 共通: 太線... ①黒球・自然湿球型, 実線... ②黒球・温湿度センサー型, 破線... ③黒球なし・温湿度センサー型(簡易型))

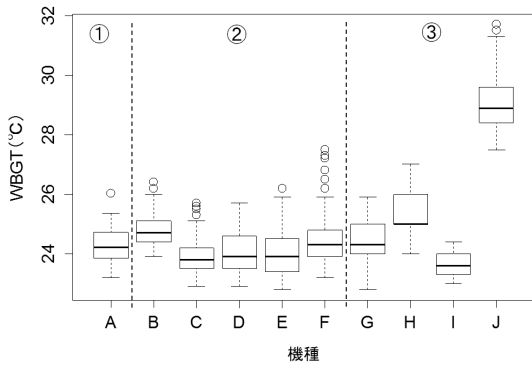


図 2a 曇天時のコンクリート上における各種計測器を用いた WBGT 値の分布

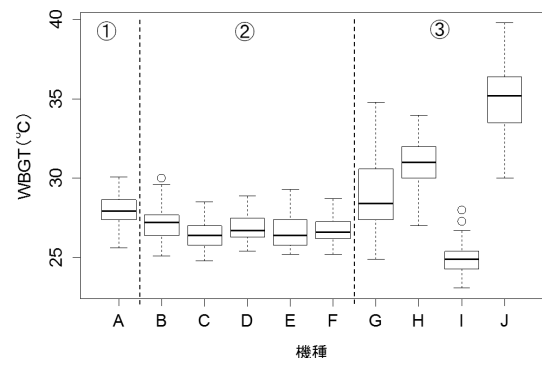


図 2c 晴天時のステンレス板上における各種計測器を用いた WBGT 値の分布

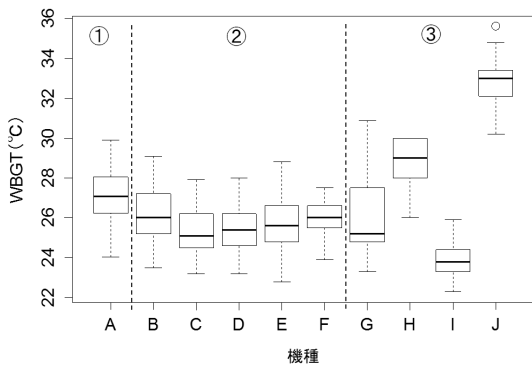


図 2b 晴天時のコンクリート上における各種計測器を用いた WBGT 値の分布

図 2a ~ 2c 共通：① ... 黒球・自然湿球型，② ... 黒球・温湿度センサー型，③ ... 黒球なし（簡易型）．箱の中央の横線は中央値，箱の上端は第三四分位，下端は第一四分位，上下のひげは極値（四分位範囲×1.5），○印は外れ値を示す．

(ア) ①標準機種(A)と②黒球・温湿度センサー型の比較

黒球・温度センサー型の測定値を標準機種 A と比較した結果，機種 F の曇天時を除いて対応のある t 検定にて機種 A との有意な差があり，機種間の測定値に差があることが示された（表 2）．曇天時ではすべての機種において機種 A との平均値の差が ± 0.5℃以内（- 0.37 ~ + 0.46℃）にあったが，晴天時にはコンクリート上（- 0.82 ~ - 1.52℃），ステンレス上（- 0.97 ~ - 1.81℃）と，平均値の差が低い方向に拡大した（図 1a ~ 1c，図 2a ~ 2c，表 2）．

機種 A の測定値との相関では曇天時では機種 F の測定値にばらつきが見られたが，それ以外の機種は標準機種との測定値の差も小さく，ばらつきも少なかった（図 3a）．一方，晴天時・コンクリート上（図 3b）ならびに晴天時・ステンレス板上（図 3c）では標準機種 A に比べて一貫して測定値が低く，且つ WBGT 値が大きくなるにつれて差が大きくなる傾向が見られたが，各測定器における測定値のばらつきは小さかった．

### 3 結果

#### 1) WBGT 測定値の比較

曇天時のコンクリート上，晴天時のコンクリート上ならびに晴天時のステンレス板上における各種計測値を用いた WBGT 値の推移を図 1a, 1b, 1c に，WBGT 測定値の分布を図 2a, 2b, 2c に，各機種の WBGT 値の概要を表 2 に示す．また，機種 A と②黒球・温湿度センサー型の WBGT 測定値の相関を図 3a, 3b, 3c に，機種 A と③黒球なし・温湿度センサー型（簡易型）の WBGT 測定値の相関を図 4a, 4b, 4c に示す．

表 2 各機種の WBGT 測定値の概要（平均値，標準偏差，機種 A との差の平均）

機種	曇天・コンクリート上			快晴・コンクリート上			快晴・ステンレス板上		
	平均 ±SD	p	機種 A との差の平均	平均 ±SD	p	機種 A との差の平均	平均 ±SD	p	機種 A との差の平均
A	24.37±0.56	-	-	27.19±1.36	-	-	27.98±0.88	-	-
B	24.84±0.60	7.91E-16	+0.46	26.22±1.32	< 2.2E-16	-0.97	27.16±0.96	5.72E-11	-0.82
C	24.00±0.69	2.38E-08	-0.37	25.37±1.18	< 2.2E-16	-1.81	26.45±0.87	< 2.2E-16	-1.52
D	24.04±0.72	5.14E-06	-0.34	25.48±1.13	< 2.2E-16	-1.71	26.87±0.84	< 2.2E-16	-1.11
E	24.02±0.81	1.66E-06	-0.35	25.78±1.26	< 2.2E-16	-1.41	26.61±0.89	< 2.2E-16	-1.37
F	24.50±1.00	0.23	+0.12	26.03±0.77	< 2.2E-16	-1.16	26.75±0.76	< 2.2E-16	-1.23
G	24.61±0.57	0.0022	+0.24	25.89±1.79	5.46E-16	-1.30	29.09±2.42	5.99E-05	+1.11
H	25.46±0.81	< 2.2E-16	+1.08	28.77±1.17	< 2.2E-16	+1.58	30.54±1.51	< 2.2E-16	+2.56
I	23.72±0.34	< 2.2E-16	-0.66	23.94±0.85	< 2.2E-16	-3.24	25.01±2.56	< 2.2E-16	-2.97
J	29.12±1.04	< 2.2E-16	+4.75	32.75±1.06	< 2.2E-16	+5.57	34.97±2.18	< 2.2E-16	+6.99

p 値：対応のある t 検定による．

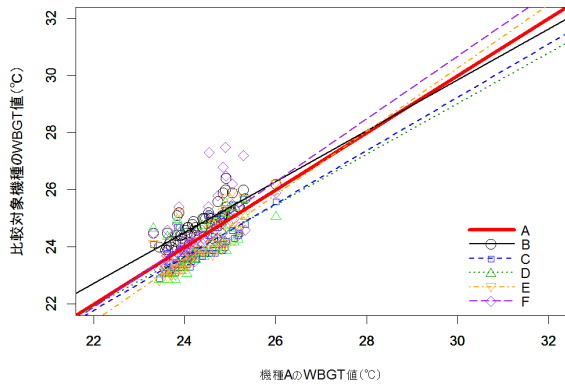


図 3a 曇天時・コンクリート上における標準機種 A と②黒球・温湿度センサー型の機種との WBGT 測定値の相関

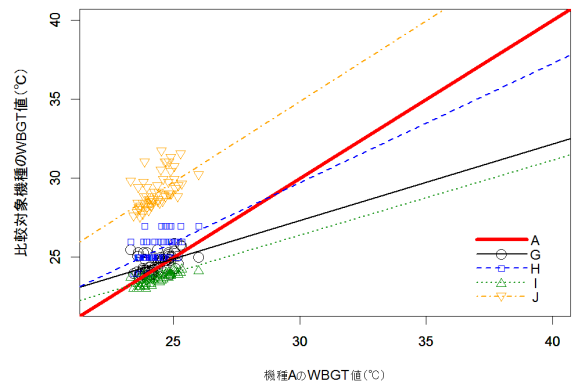


図 4a 曇天時・コンクリート上における標準機種 A と③黒球なし・温湿度センサー型（簡易型）の機種との WBGT 測定値の相関

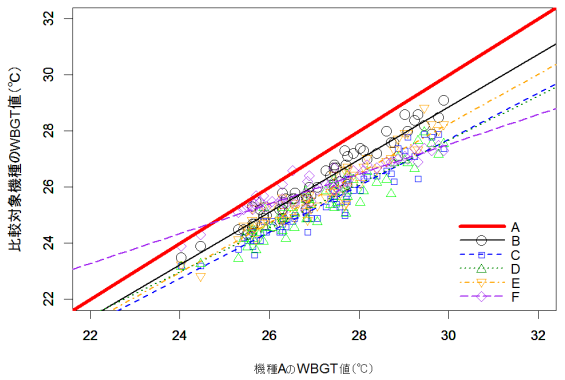


図 3b 晴天時・コンクリート上における標準機種 A と②黒球・温湿度センサー型の機種との WBGT 測定値の相関

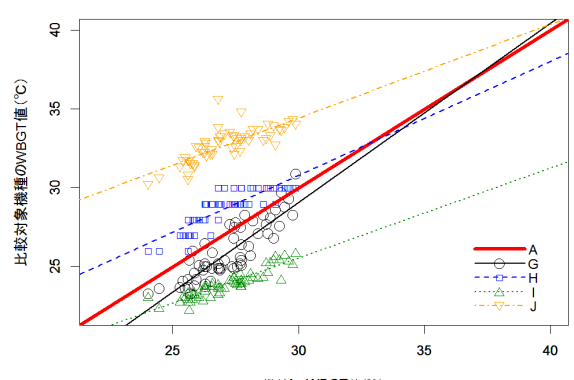


図 4b 晴天時・コンクリート上における標準機種 A と③黒球なし・温湿度センサー型（簡易型）の機種との WBGT 測定値の相関

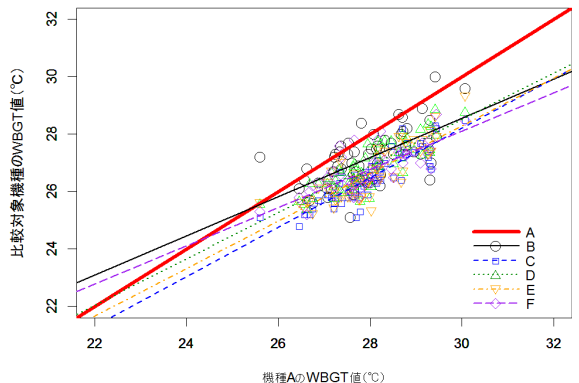


図 3c 晴天時・ステンレス板上における標準機種 A と②黒球・温湿度センサー型の機種との WBGT 測定値の相関

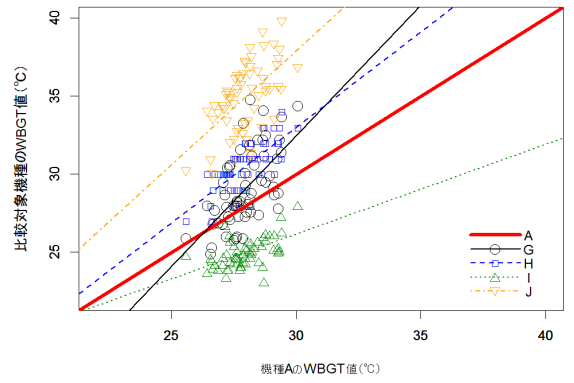


図 4c 晴天時・ステンレス板上における標準機種 A と③黒球なし・温湿度センサー型（簡易型）の機種との WBGT 測定値の相関

(イ) ①標準機種 (A) と③黒球なし・温湿度センサー型 (簡易型) の比較

黒球なし・温湿度センサー型 (簡易型) の測定値を標準機種 A と比較した結果, いずれの条件下においても機種 A との有意な差が認められた (表 2)。いずれの条件下においても機種 A との差が最も大きかったのは機種 J であり, 機種 A との差の平均は曇天時で +4.75°C, 快晴・コンクリート上で +5.57°C, 快晴・ステンレス版上で +6.99°C であった。機種 J を除いた三機種では, 曇天時には比較的近い値 (-0.66 ~ +1.08°C) を示していた (図 1a, 2a) が, 機種 G (+0.24°C) 以外は②黒球・温湿度センサー型 ( $\pm 0.5^\circ\text{C}$  以内) に比べると -0.66 ~ +1.08°C

と, 標準機種との差が大きかった。晴天時のコンクリート上では -3.27 ~ +1.58°C, 晴天時のステンレス版上では -2.97 ~ +2.56°C と, 曇天時に比べて機種 A との測定値の差が大きくなった。但し, その中でも機種 G は曇天時で +0.24°C, 晴天時のコンクリート上で -1.30°C, 快晴のステンレス版上で +1.11°C と, 機種 A との差が小さかった。機種 A との相関図 (図 4a ~ 4c) においても, 黒球・温湿度センサー型の機種に比べて標準機種からの差が大きいことが示された。

2) 簡易換算表による数値との比較

測定器間の比較にて測定した結果のうち, 標準機種 A 「労働安全衛生研究」



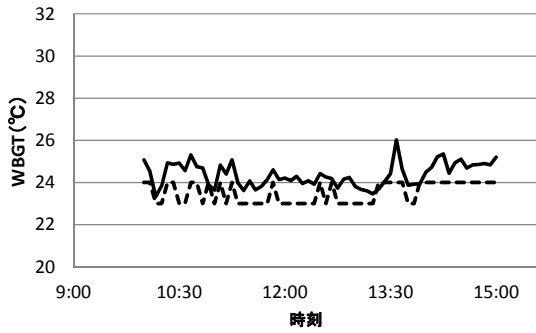


図 5a 曇天時のコンクリート上における WBGT 実測値と温湿度からの簡易換算値の推移

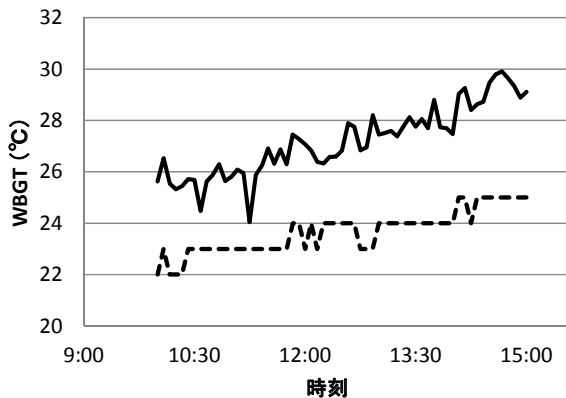


図 5b 晴天時のコンクリート上における WBGT 実測値と温湿度からの簡易換算値の推移

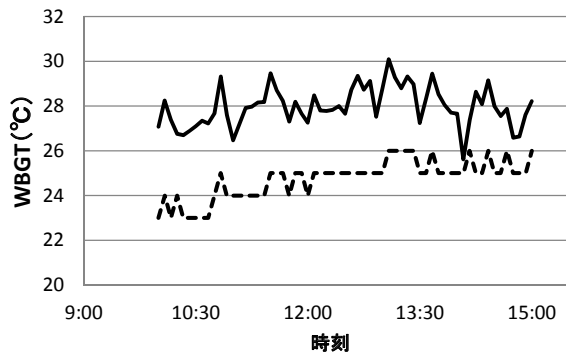


図 5c 晴天時のステンレス板上における WBGT 実測値と温湿度からの簡易換算値の推移

(図 5a ~ 5c 共通: 実線・・・機種 A における WBGT 実測値, 破線・・・機種 A における乾球温 ( $T_a$ ), 相対湿度 (RH) 実測値を用いて簡易換算表にて求めた WBGT 値)

における乾球温 ( $T_a$ ) および相対湿度 (RH) より簡易換算表を用いて算出した WBGT 簡易換算値の推移を, 実際の WBGT 測定値と比較した結果を図 5a, 5b, 5c に, 各条件下における平均値と標準偏差, 実測値と簡易換算値の差を表 3 に示す. いずれの条件においても簡易換算値は実測値よりも低い値を示しており, 曇天時 (図 5a) では両者の差は平均  $0.9^{\circ}\text{C}$  (最大  $2.0^{\circ}\text{C}$ ) であったが, 晴天時のコンクリート上 (図 5b) では平均  $3.5^{\circ}\text{C}$  (最大  $5.2^{\circ}\text{C}$ ), 晴天時のステンレス板上 (図 5c) では平均  $3.3^{\circ}\text{C}$  (最大  $4.5^{\circ}\text{C}$ ) であった (表 3). いずれの条件下においても対応のある t 検定で有意差 ( $p < 0.001$ ) が認められた.

表 3 WBGT 実測値と簡易換算値の比較 (単位:  $^{\circ}\text{C}$ , 平均値  $\pm$  標準偏差)

測定条件	WBGT 実測値 (標準機種 A)	簡易換算表による WBGT 換算値	
曇天・コンクリート上	24.4 $\pm$ 0.56	23.5 $\pm$ 0.50	***
晴天・コンクリート上	27.2 $\pm$ 1.35	23.7 $\pm$ 0.84	***
晴天・ステンレス上	28.0 $\pm$ 0.87	24.7 $\pm$ 0.87	***

\*\*\*  $p < 0.001$  (対応のある t 検定による)

#### 4 考察

##### 1) WBGT 測定値の比較

市販 WBGT 測定器の測定値を黒球ならびに自然湿球を有する標準機種と比較したところ, 全ての機種において標準機種との有意な差が認められた. このうち, 黒球・温湿度センサー型の機種 (5 機種) については標準機種との間に有意差が認められたものの, その差は曇天時で  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  以内, 晴天時 (コンクリート上, ステンレス板上) でおよそ  $-1 \sim -2^{\circ}\text{C}$  程度と, 黒球なし・温湿度センサー型 (簡易型, 4 機種) に比べるとその差は小さかった. 過去の研究においては, 黒球・温湿度センサー型の携帯型測定器では 6 インチ型黒球温度計を用いた測定器と比較して測定値と日内変動に差が見られ, 補正式が必要と指摘している<sup>10)</sup>. しかしながら, 今回測定した限りにおいては機種間のばらつきも少なく, 測定値も安定していたことから, 若干低めの値を示す可能性をあらかじめ知った上で, 必要に応じて補正を行うことにより現場での測定・評価には使用可能であると考えられる.

黒球・温湿度センサー型の機種において, 標準機種との測定値の差が見られた要因については, 自然湿球温度 ( $T_{nw}$ ) の算出に自然湿球ではなく温湿度センサーによる相対湿度 (RH) からの換算を経ていることが原因の一つではないかと推察される. 特に半導体型の湿度センサーは温度センサーに比べると測定精度が良好ではなく, 今回用いた測定器の仕様においても気温の精度が  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  程度であるのに対し, 相対湿度は  $\pm 3 \sim 5\%RH$  となっており, ここから換算した湿球温度にも同程度の誤差が見込まれる. WBGT 値の 7 割が自然湿球値 ( $T_{nw}$ ) であることを考えると, 相対湿度の測定誤差が WBGT 値に与える影響は大きいと考えられる.

その一方で, 黒球なし・温湿度センサー型 (簡易型, 4 機種) についてはいずれの条件下でも差が大きかった 1 機種を除いては曇天時では差が小さかったものの, 晴天時, 特に照り返しの大きいステンレス板上においては標準機種からの差が大きく, 且つ機種によって高く出たり低く出たり傾向がまちまちであった. 黒球のない機種において, 特に晴天時の測定精度が良くない点については, これらの機種において屋外における WBGT 値の算出式 ( $WBGT = 0.7T_{nw} + 0.2T_g + 0.1T_a$ ) に必要な  $T_g$  の測定が行われていない以上, 必然的な結果と思われる. 実際にこれらの機種において WBGT 値がどのように演算され

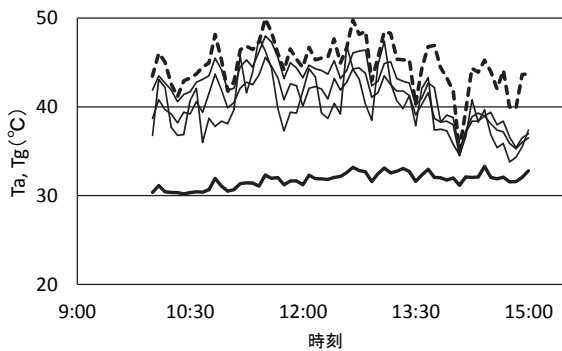


図 6a 晴天時のステンレス板上における機種 A (太実線) と黒球なし・温湿度センサー型 (簡易型) (細実線, 機種 G, H, J) の  $T_a$  ならびに機種 A における  $T_g$  (太破線) の推移

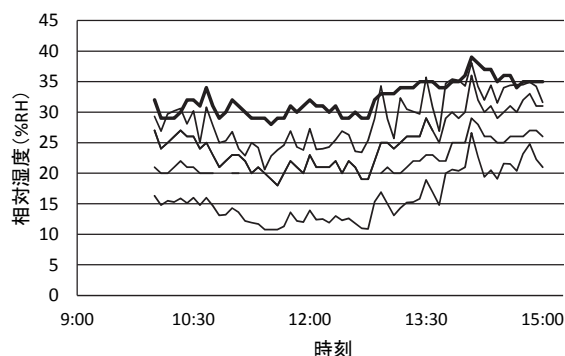


図 6b 晴天時のステンレス板上における機種 A (太実線) と黒球なし・温湿度センサー型 (簡易型) (細実線, 機種 G, H, I, J) の相対湿度の推移 (注: 一部値が欠落しているのは, 一部の機種において相対湿度が測定下限以下となっていたためである)

ているかは不明であるため推測の域を出ないが、屋内では  $T_a$  と  $T_g$  がほぼ等しいという前提の下で下記のような演算式となっているものと推察される。

$$WBGT = 0.7T_{nw} + 0.3T_g = 0.7T_{nw} + 0.3T_a$$

なお、今回の測定にて曇天時において差が小さかったのは、日射の少ない曇天時においては黒球温 ( $T_g$ ) と乾球温 ( $T_a$ ) の差が小さかったことによると考えられる。

これらの黒球なし・温湿度センサー型 (簡易型) のもう一つの問題点として、気温 (乾球温,  $T_a$ ) の数値が黒球付きの測定器による値よりも高い値に上昇してしまうことが挙げられる。簡易型の機種 G, H, J の平均値はそれぞれ 40.0°C, 40.5°C, 42.3°C であり、機種 A の  $T_a$  (平均 31.8°C) よりも  $T_g$  (平均 44.8°C) に近い値であった (図 6a)。また、相対湿度についても機種 A (平均 32.3%) に比べて 15.8 ~ 28.9% と、低い値となっている機種がみられた (図 6b)。これらの機種では、温湿度センサーの実装箇所の放熱設計や通気性が屋外での使用を想定したものではないため、筐体の温度が日射により上昇し、結果として温湿度の測定値に影響したものと思われる。特に相対湿度の測定誤差は WBGT 値の 7 割を占める  $T_{nw}$  の誤差に直結するため、影響は無視できないと考えられる。

その一方で、今回の調査にて用いた黒球なし・温湿度センサー型 (簡易型) の中には機種 G のように屋外晴天下においても標準機種からの WBGT 値の差が小さい機種もあった (晴天・コンクリート上で -1.30°C, 快晴・ステンレス上で +1.11°C) が、これは乾球温 ( $T_a$ ) の数値が黒球温 ( $T_g$ ) に近い値を示したために、WBGT の計算値が偶然一致した可能性が考えられる。いずれにしても、少なくとも日射の影響が無視できない屋外においては、これらの黒球なし・温湿度センサー型 (簡易型) の使用は過小評価あるいは過大評価の可能性があることから、特に屋外環境においては使用すべきでないと考えられる。なお、今回対象とした黒球なし・温湿度センサー型 (簡易型) の 4 機種のうち 3 機種は取扱説明書にて屋外での使用を推奨しない旨の注意書きが書かれており、残り 1 機種についても長時間直射日光が当たる場所では使用しない旨の注意書きが書かれていた。このことから、これらの機種は日射のある屋外での使用を想定していないことが伺える。しかしながら、実際に建設現場などの屋外作業者がこれらの簡易型を腰に付けて用いている例が散見されていたことから、これらの注意書きは利用者に必ずしも徹底されていないと思われる。

## 2) 簡易換算表による数値との比較

温度と湿度から WBGT 値を簡易的に求める簡易換算表については日本気象学会・熱中症予防研究委員会にて提唱され<sup>7)</sup>、厚生労働省や環境省など各種団体のパンフレット等にも引用されている<sup>10)</sup>。しかしながら、WBGT 値の算出に必要な黒球温度 ( $T_g$ ) が要素として含まれていないことから、この表の適用はあくまでも室内で日射がない状態 (黒球温度と乾球温度が等しい) 場合に限定されると考えざるを得ない。日本気象学会の現在の指針においてもその旨明記されているが、当初の指針<sup>12)</sup>ではその記述がなかったこともあって、屋内外問わず、全ての暑熱環境の評価に適用できるという誤解があるように思われる。これまでも乾球温度と相対湿度から WBGT を算出しようとする試みは幾つかなされてきた<sup>13)</sup>が、湿球温度は乾球温度、相対湿度ならびに気圧から求めることが可能である一方で、黒球温度をこれらの数値から求めることは不可能であり、日射量や放射熱を評価することが出来ず、炎天下の屋外では大きなバイアスが存在することが指摘されている<sup>8,13,14)</sup>。今回、実測値と簡易換算表による換算値を比較した結果、換算値はいずれの条件下においても実測値を下回っており、特に晴天時で顕著であった。特に日差しや輻射熱のある状態においては 3 ~ 4°C 程度実測値よりも換算値のほうが下回る結果が得られており、この換算表を屋外作業に適用することは深刻な過小評価につながりかねない。従って、簡易換算表を屋外作業にて用いることは避けるべきであると考えられる。

熱中症を適切に予防するためには、暑熱環境の測定・評価が不可欠である。暑熱リスク評価値の一つである WBGT 値を適切でない手法によって測定・評価を行うこ

とは、過小評価によって熱中症の危険性が増すだけでなく、仮に過大評価であったとしても作業が無用に中断されることから、作業管理上問題がある。このことから、適切な測定器を用いて測定する必要がある。WBGTの基準値は身体強度ならびに着衣条件によって異なり、身体強度が高い場合や熱抵抗の大きい防護服着用している場合はWBGT値が低くても熱中症のリスクが存在する。従って、WBGT値が低い場合においてもそのような作業が想定される場合においてはWBGT値を正確に把握することが必要となると思われる。

なお、今回の検討は限られた測定器の数ならびに限られた条件下で行ったものであることから、必要に応じてさらに条件を整えて測定・評価する必要があると考えられる。

## 5 結論

熱中症を防止するためには暑熱環境リスクの測定・評価が不可欠である。屋外における暑熱リスクを評価するためには黒球付きの測定器が必要であり、黒球を持たない簡易型の使用や、温度と湿度からWBGT値を求める簡易換算表の使用は避けるべきと考えられる。

## 文 献

- 1) 厚生労働省. 職場での熱中症による死亡災害及び労働災害の発生状況(平成24年). <http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei51/>
- 2) 厚生労働省. 第12次労働災害防止計画. <http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei21/dl/12-honbun.pdf>
- 3) Yaglow C, Minard D: Control of Heat Casualities at Military Training Centers. *American Medical Association Archives of Industrial Health*. 1957; 16: 302-316.
- 4) Persons K. Heat Stress Standard ISO 7243 and Its Global Application. *Industrial Health*. 2006; 44(3): 368-379.
- 5) International Standard Organization. Hot environments – Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). ISO 7243: 1989.
- 6) 日本工業規格. 人間工学 – WBGT (湿球黒球温度) 指数に基づく作業者の熱ストレスの評価 – 暑熱環境. JIS Z 8504: 1999.
- 7) 日本生気象学会. 「日常生活における熱中症予防指針」Ver.3. 日本生気象学会雑誌. 2013; 50(1): 49-59. (オンライン版: <http://www.med.shimane-u.ac.jp/assoc-jpnbiomet/pdf/shishinVer3.pdf>)
- 8) 澤田晋一. 職場における熱中症対策の5つのポイント: その科学的根拠. *安全衛生コンサルタント* 2013; 33(5): 40-49.
- 9) 3M Personal Safety Divison. QUESTemp 34 and QUESTemp 36 User Manual. [http://multimedia.3m.com/mws/mediawebservlet?mwsId=66666UgxGCuNyXTtOxf6XM2EVtQEcuZgVs6EVs6E666666-&fn=Qtemp34\\_36\\_RevH\\_combined\\_web\\_R2.pdf](http://multimedia.3m.com/mws/mediawebservlet?mwsId=66666UgxGCuNyXTtOxf6XM2EVtQEcuZgVs6EVs6E666666-&fn=Qtemp34_36_RevH_combined_web_R2.pdf).
- 10) 久米 雅, 芳田哲也, 中井誠一. 屋外環境におけるWBGT計測装置の比較・検討. *日本生気象学会雑誌*. 2010; 47(3): S55.
- 11) 厚生労働省. 熱中症を防ごう(2009年版). <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2009/06/dl/h0616-1b.pdf>
- 12) 日本生気象学会. 「日常生活における熱中症予防指針」Ver.1, 2008; <http://www.med.shimane-u.ac.jp/assoc-jpnbiomet/pdf/shishinVer1.pdf>
- 13) 中井誠一, 寄本 明, 森本武利. 環境温度と運動時熱中症事故発生との関係. *体力科学*, 1992; 41: 540-547.
- 14) 小野雅司, 登内道彦. 通常観測気象要素を用いたWBGT(湿球黒球温度)の推定. *日本生気象学会誌*, 2014; 50(4): 147-157.

# Measurement Accuracy of Some WBGT measuring Instruments in Summer Outdoor Environments

by

Hiroyuki SAITO<sup>\*1</sup> and Shin-ichi SAWADA<sup>\*2</sup>

We performed a parallel measurement using some commercially available WBGT measuring instruments and compared the measurement accuracy among them in summer outdoor environments. The results showed that the simple models without globe thermometer were inaccurate for measuring outdoor environmental heat stress. Therefore, use of simple models without globe thermometer is not recommended outdoors or indoors with solar radiation. Also use of a simple conversion table for WBGT values should be avoided in outdoor environments with solar radiation if the table is based on air temperature and relative humidity.

**Key Words:** heat stress, WBGT, summer outdoor environment

---

\*1 Hazard Evaluation and Epidemiology Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health, Japan

\*2 International Center for Research Promotion and Informatics, National Institute of Occupational Safety and Health, Japan