

## 夏季日中の屋外における熱中症指標WBGTと温熱感覚

### Relation between WBGT and thermal sensations outdoors during summer days

○李孝森（大阪市立大学）梅宮典子（大阪市立大学）小林知広（大阪市立大学）野口裕一郎（大阪市立大学）  
荒井哲郎（大阪市立大学）坂根達也（大阪市立大学）片田直宏（大阪市立大学）大野真斗（大阪市立大学）

Koshin Li\*<sup>1</sup>, Noriko UMEMIYA\*<sup>1</sup>, Tomohiro KOBAYASHI\*<sup>1</sup>, Yuichiro NOGUCHI\*<sup>1</sup>,

Tetsuro ARAI\*<sup>1</sup>, Tatsuya SAKANE\*<sup>1</sup>, Naohiro KATADA\*<sup>1</sup>, Masato OONO\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Osaka City University

The Wet Bulb Globe Temperature is useful to evaluate hot outdoor environments. It has become popular recently as an index to predict the danger associated with hot environments, especially since the hot summers in 2010. However, its relation to thermal sensations is not fully examined. In this study, thermal environments and thermal comfort were measured on university campus streets during the daytime in summer. The relations between thermal environments and sensations were analyzed using the ASHRAE scale and a ‘hot-cool’ scale for thermal sensation evaluation. They were compared in relation to sensations of thermal comfort, radiation, air movement, and perspiration.

#### 1. はじめに

暑熱環境を評価するために、熱中症指標 WBGT が熱中症発症の危険度に対応される。特に 2010 年の夏季の熱波による救急搬送者数や死亡者の増加が社会問題となって以降、熱中症予報がインターネット上で公開されるなど、運動時だけでなく日常生活も対象として WBGT が急速に定着しつつある<sup>1)</sup>。建築の分野では温熱環境総合指標として着衣量や代謝量も考慮した SET\*が使用されることが多いが、森本ら（2013）は大学生の運動時の熱中症発症傾向が SET\*より WBGT とよく対応することを示した<sup>2)</sup>。SET\*が環境に応じて着衣量や運動量が調節された結果を考慮しているのに対して、WBGT は人体側の要因を含まない。本研究は、夏季日中の屋外における WBGT と歩行者の温熱感覚との関係について調査をおこなったので報告する。

#### 2. 方法

##### 2.1 調査概要

大阪市内の大学キャンパスの道路で、気温、湿度、グローブ温度、風向風速、日射量、および WBGT を測定する三脚を設置して温熱環境を 10 秒および 2 分間隔で測定すると同時に、歩行者に協力を依頼して温熱感覚の申告調査をおこなった。測定には樹木や空調室外機による局所的な熱的影響の比較的小さい位置を選定した。測定場所は路面アスファルト（舗装）と芝地（未舗装）の 2 箇所とし、WBGT 計は未舗装の測定地点に設置した。図 1 に示す。測定日時は 2013 年 9 月 10 日 12:00～11 日 18:00

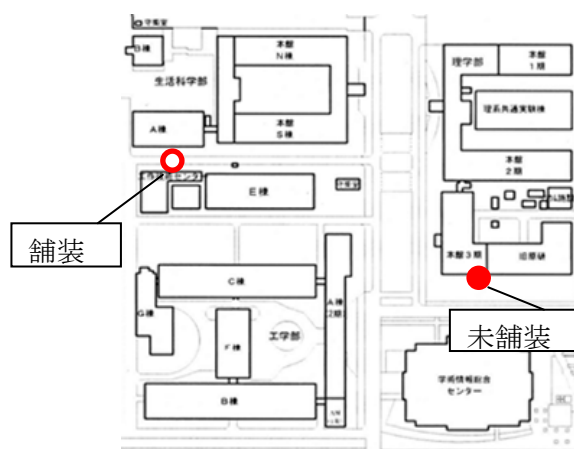


Figure1. Measuring points

までと 19 日 12:00～20 日 18:00 までの 4 日間で、天候は曇時々晴と晴であった。

##### 2.2 主観申告調査

4 日間の 14:00～18:00 に、測定点近傍において歩行者に協力を依頼し、調査票に記入してもらった。質問項目は基本属性の他に、着衣や歩行速度など、温熱感覚として ASHRAE7 段階尺度、「涼しい」と「暑い」からなる 7 段階暑涼尺度、4 段階の熱的快適感、放射感、気流感、発汗感、および下着の濡れ感などである。図 2 に申告尺度を示す。記入時間は 3～5 分であった。4 日間で未舗装 180 人、舗装 161 人の申告を集めた。

### 2.3 WBGT の推定

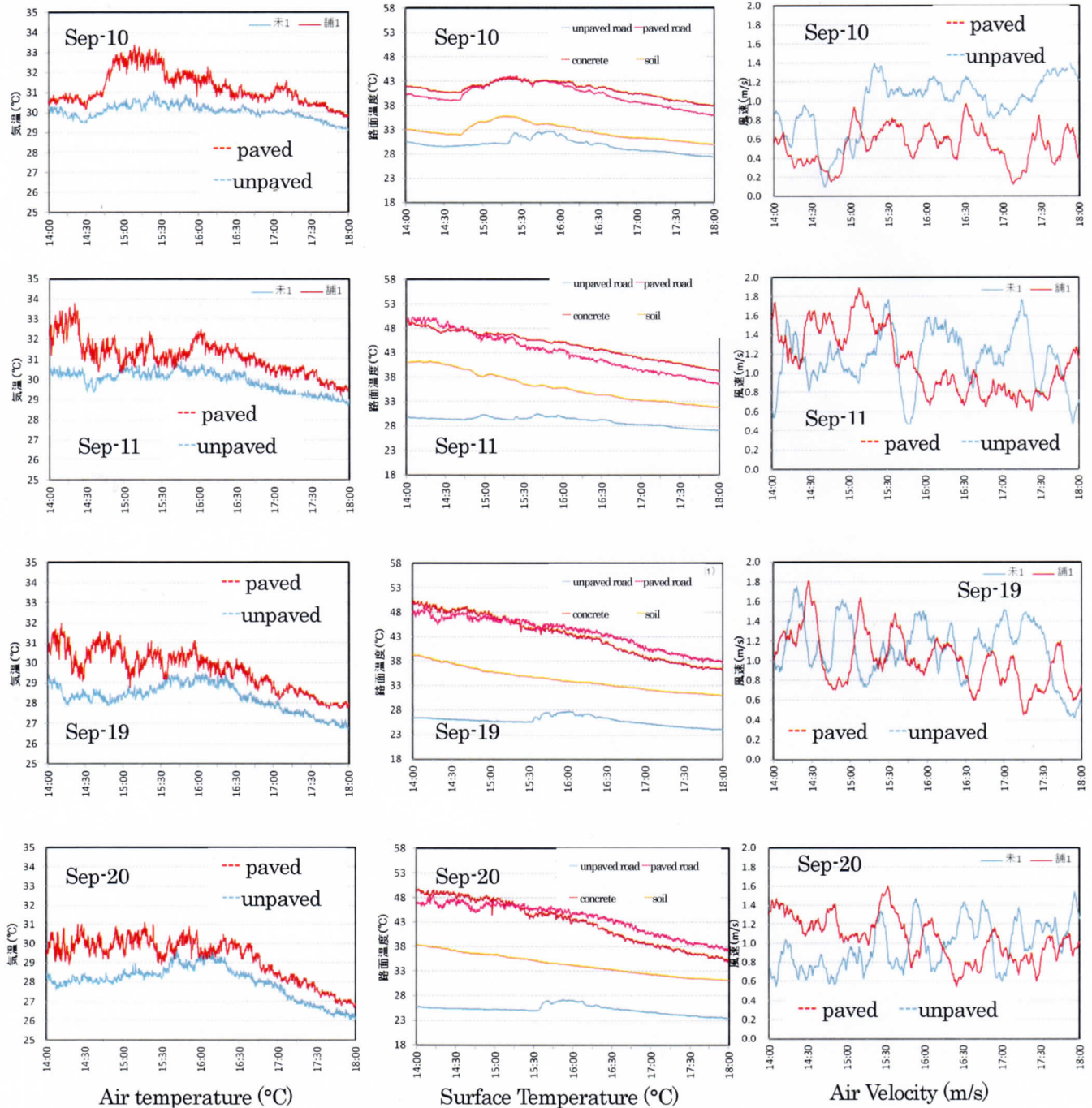
屋外の WBGT である WBGT<sub>out</sub> は式(1)であらわされるが、WBGT 計に部分的に欠測があったため、WBGT は式(2)によって推定した自然湿球温度 t<sub>nw</sub> を用いて推定する。大気圧は気象台の値を用い、その他は申告時の平均値を用いる。

$$WBGT_{out} = 0.7t_{nw} + 0.2t_g + 0.1t_a \quad (1)$$

ここに、t<sub>nw</sub> : 湿球温度 t<sub>g</sub> : グローブ温度 t<sub>a</sub> : 気温

<温冷感1> 7 暑い 6 暖かい 5 やや暖かい 4 どちらでもない 3 やや涼しい 2 涼しい 1 寒い	<温冷感2> 7 非常に暑い 6 暑い 5 やや暑い 4 どちらでもない 3 やや涼しい 2 涼しい 1 非常に涼しい	<熱的不快感> 4 非常に不快 3 不快 2 少し不快 1 快適	<気流感> 4 非常に感じる 3 感じる 2 少し感じる 1 感じない	<放射感> 4 非常に感じる 3 感じる 2 少し感じる 1 感じない	<発汗感> 4 非常に感じる 3 感じる 2 少し感じる 1 感じない	<下着のぬれ> 4 非常にぬれている 3 ぬれている 2 少しぬれている 1 ぬれていない
---	--	--	---	---	---	---

Figure2. Thermal sensation scales



Air temperature (°C)

Surface Temperature (°C)

Air Velocity (m/s)

Figure3. Measurements

$$e_w - e = B \frac{p}{p_0} (t_a - t_{nw})$$

$$e_w = 6.11 \times 10^{\frac{7.5t_a}{240.9+t_a}} \quad (2)$$

$$e = e_w \times \varphi$$

ここに、

$e_w$  : 飽和水蒸気圧 (hPa)     $e$  : 水蒸気圧 (hPa)  
 $p$  : 気圧 (hPa)     $p_0=1013.2$      $B=0.667$   
 $\varphi$  : 相対湿度 (%)

### 3. 結果

#### 3.1 温熱環境

気温、表面温度、および風速の時間的推移を図3に示す。気温の分析対象時間の平均値は、9月10日は未舗装：30.0℃、舗装：31.0℃、9月11日は未舗装：29.8℃、舗装：30.8℃、9月19日は未舗装：28.1℃、舗装：29.1℃、9月20日は未舗装：27.9℃、舗装：28.7℃である。

路面温度の平均値は、9月10日は未舗装：29.6℃、舗装：39.5℃、9月11日は未舗装：28.7℃、舗装：40.4℃、9月19日は未舗装：25.7℃、舗装：40.1℃、9月20日は未舗装：25.2℃、舗装：39.6℃である。

風速の平均値は、9月10日は未舗装：1.1m/s、舗装：0.6 m/s、9月11日は未舗装：1.2 m/s、舗装：0.9m/s、9月19日は未舗装：1.1 m/s、舗装：0.9 m/s、9月20日は未舗装：1.1 m/s、舗装：0.9m/sである。

気温の変動幅は4日とも、日中に大きく、夕方にかけて小さくなる。舗装街路が未舗装街路より常に気温が低い。路面温度は、アスファルト舗装、コンクリート、土、未舗装の順である。未舗装街路が土より低いのは芝地のためと思われる。風速は未舗装が舗装より高い時間帯があるが一貫した傾向はみられない。

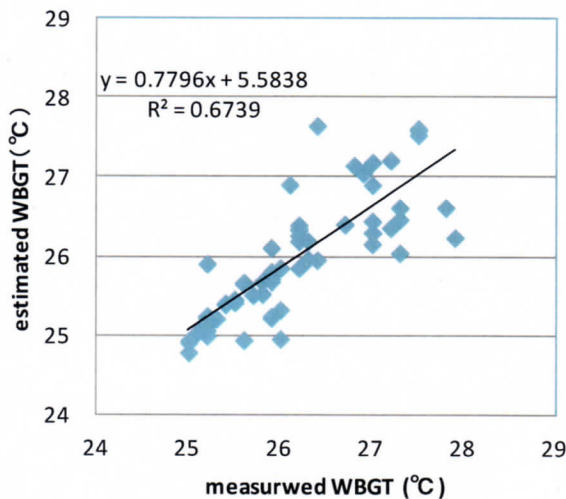


Figure4. Estimation of WBGT

#### 3.2 WBGT の推定

図4に、WBGTの実測値と推定値の関係を示す。高温域でばらつきがあるが決定係数は0.67であり、比較的よく推定できているといえる。以降の分析には推定したWBGTを用いる。

#### 3.3 WBGT と温熱感覚の関係

図5に、温冷感とWBGTの関係を温冷感1と温冷感2について示す。ASHRAE 尺度は7が最多であるのに対し暑涼尺度は5が最多で、分布に違いがある。図6にASHRAE 尺度の各段階における暑涼尺度の分布を示す。

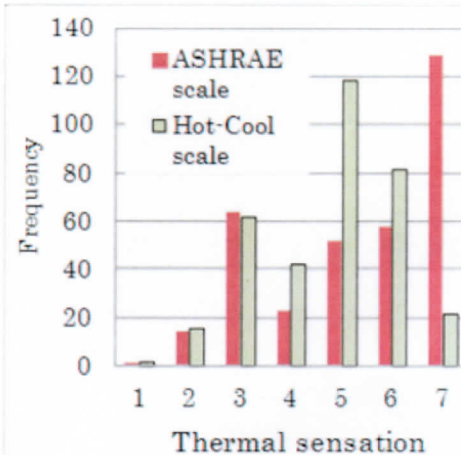


Figure5. Frequency distribution of Thermal sensation

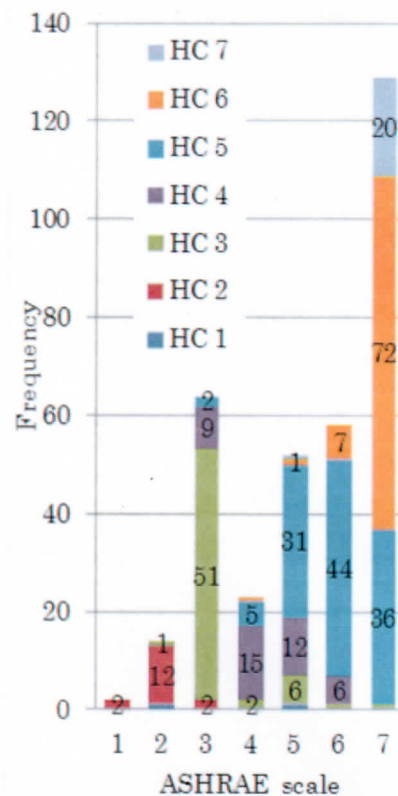


Figure6. Relation between ASHRAE scale and Hot-cool scale



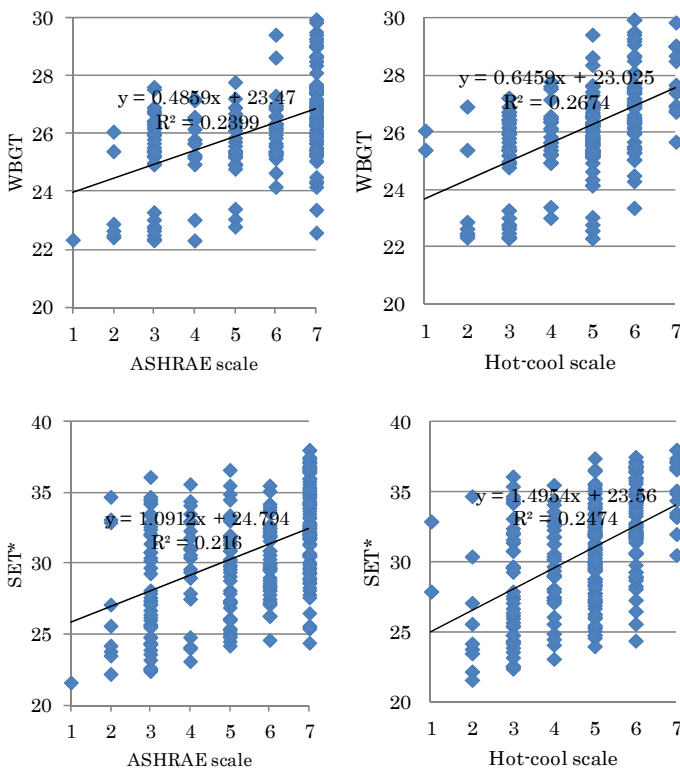


Figure7. Correlation between scales and thermal environments

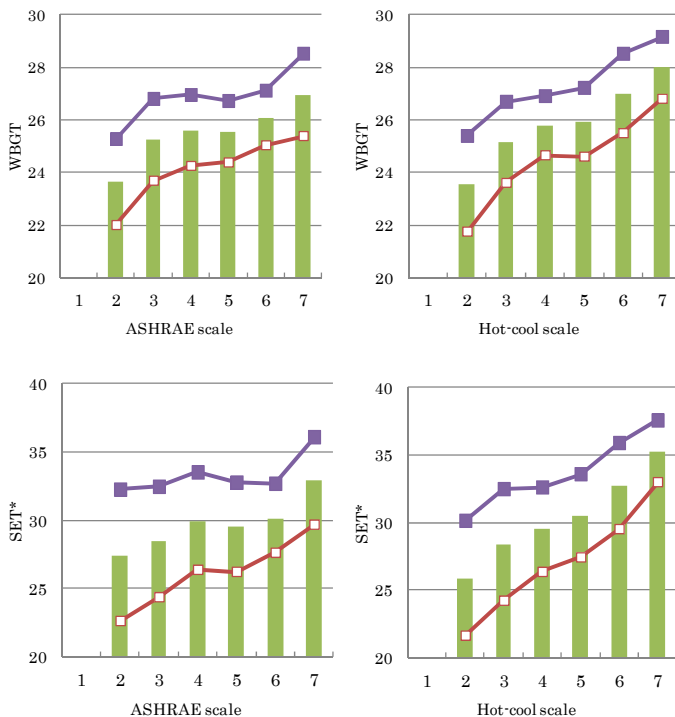


Figure8. Mean WBGT and SET\* for each category

図7に、ASHRAE 尺度および暑涼尺度と WBGT および SET\*との関係を示す。R<sup>2</sup>は 0.22~0.27 であるが、WBGT は SET\*より高く、暑涼尺度は ASHRAE 尺度より

高い。勾配は暑涼尺度のほうが ASHRAE 尺度より急である。

図8に、ASHRAE 尺度および暑涼尺度の各段階における WBGT および SET\*の平均値±標準偏差を示す。図5~6において尺度によって分布に大きな差がみられたが、中立温感に対する WBGT は ASHRAE 尺度で 25.6℃、暑涼尺度で 25.8℃、中立温感に対する SET\*は ASHRAE 尺度で 30.0℃、暑涼尺度で 29.5℃であり、WBGT も SET\*もともに、尺度による違いはあまりない。ASHRAE 尺度では 4~6 で平均 WBGT や平均 SET\*に逆転が見られるのに対して、暑涼尺度ではカテゴリーの順に平均 WBGT や平均 SET\*が上昇している。暑涼尺度でも、WBGT に対しては 4 と 5 で平均 WBGT がほぼ同じであり、暑涼尺度と平均 SET\*との対応が最もよいといえる。

また、SET\*は寒い側（涼しい側）で標準偏差が大きいのにに対して、WBGT の標準偏差はカテゴリーによってほとんど差がない。WBGT のほうが SET\*より評価が安定しているといえる。

#### 4. まとめ

夏季日中に大学キャンパスにおいて歩行者を対象とした申告調査をおこない、温熱環境を WBGT と SET\*で表して、温冷感の ASHRAE 尺度と暑涼尺度を比較した。その結果、以下を明らかにした。

- 1) 尺度によって温冷感の分布に大きな違いがある、
- 2) 一方で、中立温感に対応する WBGT や SET\*には尺度によってあまり違いがない、
- 3) 中立温感に対応する WBGT は ASHRAE 尺度で 25.6℃、暑涼尺度で 25.8℃であった、
- 4) ASHRAE 尺度と暑涼尺度のいずれも、カテゴリー4~5のときの WBGT の平均値にはほとんど差がなく、むしろ逆転していた、
- 5) WBGT は SET\*とは異なりカテゴリーによる評価のばらつきの差が小さい。

#### 参考文献

- 1) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針 第3版、2013年5月
- 2) 森本早紀ほか：夏季のスポーツ活動時における紫外線対策の増進に関する研究、平成24年度(第42回)空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、pp.265-268、2013年3月。
- 3) 野口裕一郎ほか：夏季日中における OUT\_SET\*-L の導入による温熱環境と温熱感覚について、平成25年度空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会、投稿中。