

WBGT を用いたクールスポット評価の考え方

Evaluation Method of WBGT Reduction Effect for Cool Spots

鍋島 美奈子 (大阪公立大学)
Minako NABESHIMA (Osaka Metropolitan University)

はじめに

気候変動やヒートアイランド現象により夏季の熱環境が悪化している大阪府では、熱中症対策の観点から、暑くても屋外で待たざるを得ない駅前広場などで、市町村や公共交通事業者等が連携し、猛暑対策に取り組めるよう誘導・支援している。緑化、日除け屋根、ミスト噴霧などの対策技術を組み合わせて、一時的に暑さを凌げる周辺より涼しい空間、いわゆる「クールスポット」を創出するため、その建設費に対し、1件あたり1,500万円を上限とする補助をおこなっており、令和2~5年の4年間で100箇所を超えるクールスポットが駅前広場やバス停などに新設された。この補助事業で設置されたクールスポットは、設置事業者が暑さ指数WBGTを用いて効果測定をすることが義務付けられ、その結果は大阪府のWebサイト上で公開されている^{補1)}。WBGTはJIS規格に適合した汎用測器も普及しており、事業者が現場計測をおこなう際の障壁は比較的小さいが、運用上の課題もある。以下に具体的な課題をひとつ挙げる。

大阪府の効果測定マニュアルによると、気温30℃以上の晴れの日、新設されたクールスポット（以降、対策あり地点と呼ぶ）と、当該クールスポットの外側に位置する日向の場所（以降、対策なし地点と呼ぶ）とのWBGT差を計測し、クールスポット設置の効果を評価することになっている。ただし、各クールスポットの測定日時は同一ではなく、天候も異なるため、クールスポット間のデータを直接比較することは難しい。大阪府のWebサイト¹⁾にて、公開されている事業者によるWBGT測定結果33件をもとに、図1を作成した^{補2)}。図1より対策なし地点のWBGTが高い日時に計測した方が対策有無の差も大きくなっており、異なる日時に計測されたクールスポット同士を相対的に比較評価する際には、測定日時の気象条件による違いを考慮する必要があることがわかる。また、Takayanagiら^{①)}は、同一地点でも測定時の気象条件が異なると対策有無のWBGT差が変化すると指摘している。

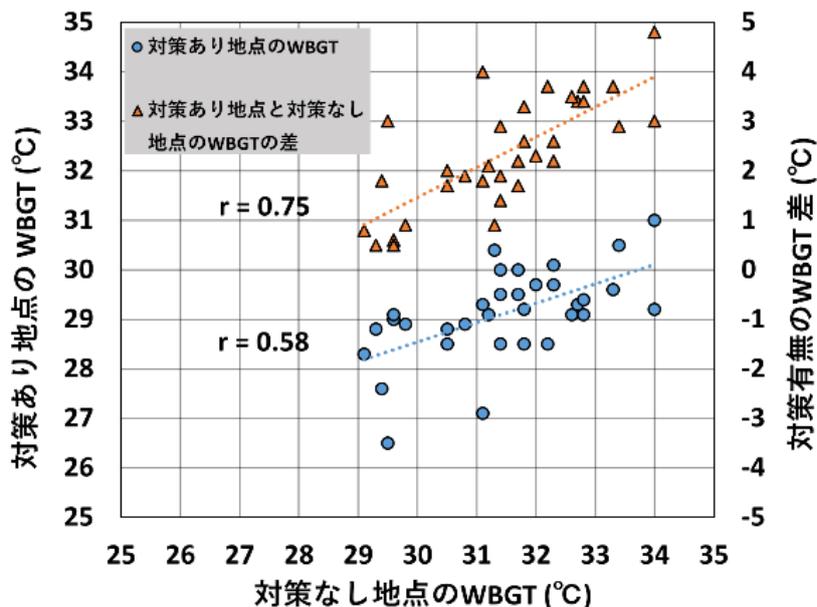


図1 対策なし地点と対策あり地点の相関関係

そこで筆者らは、完全日陰クールスポットという理想的なクールスポットの WBGT 低減効果の回帰推定値を基準として、クールスポット間の相対評価が可能な評価方法を提案した^②。また、山崎ら^③は先に提案した評価基準の算出方法を一般化するため、大阪のデータだけでなく全国 6 地域（那覇、鹿児島、名古屋、東京、仙台、札幌）の管区気象台の観測データを用いて、各地域に大阪と同様の評価基準が適用可能かを検討した。札幌、仙台を除く温暖地域の 5 カ所では評価基準である回帰式は類似の傾向を示したことから、温暖地域で統一的な評価基準が適用可能であることを確認した。一方で、札幌の 8 月や大阪の 9 月後半は傾向が異なると指摘した。鍋島ら^④は、地域によらず統一的な評価基準を提案することを目的に、大阪の 8、9 月の違いを分析した。その結果、夏から秋に移行する際に見られる比較的低温低湿度のデータを相対湿度の下限値を設けて分離することで、評価基準の推定誤差が小さくなることを示した。回帰分析の元となる盛夏期の気象台データは、WBGT $\geq 28^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $\leq 80\%$ かつ降水量「記載なし」、乾球温度 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $\geq 45\%$ の条件で抽出することで、大阪の 8 月と 9 月の回帰式はほぼ同様の傾向を示すことを明らかにした。本稿では、これら一連の研究成果を踏まえて、WBGT を用いたクールスポット評価の考え方について解説する。

1. 評価基準の考え方

1. 1 完全日陰クールスポット

基準となる理想環境は、黒球が完全に屋根に覆われたクールスポットを想定し、「完全日陰クールスポット」と定義する。式(1)で示すように、黒球温度と乾球温度が等しいとした WBGT（以降、WBGT Shaded : WBGT_s と表記する）であり、日射遮蔽等の放射量低減対策がなされているクールスポットで期待される WBGT の最低値との想定である。つまり、基準点における対策ありの WBGT_s を式(1)で、対策なし地点の WBGT₀ を WBGT 定義式の式(2)で算出し、式(3)より対策有無の WBGT 差: ΔWBGT_s を求める。

評価基準を作成するための元データは、気象台の毎時データ（乾球温度、風速、相対湿度、降水量）と環境省が管区気象台で観測している黒球温度データを用いる^{補3}。ここで、降雨の影響がある時間帯と熱中症リスクが低い日時を除外するため、WBGT が 28°C 以上、相対湿度が 80% 以下かつ降水量の欄が「記載なし」、乾球温度 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $\geq 45\%$ の条件を満たすデータを抽出する。降水量は前 1 時間の合計量とし、乾球温度、風速、黒球温度は 1 時間ごとの瞬時値とする。

1. 2 基準を用いた分析手法

盛夏期である 8 月の大阪の気象データ（2023 年、2024 年の 2 年分）から、前述の条件で抽出したデータをもとに、WBGT₀ と ΔWBGT_s の散布図を作成し、回帰式を求める(図 2)。説明変数 x は対策なし地点の WBGT₀、被説明変数 y は ΔWBGT_s である。図 2 に示す $y = 0.71x - 18.8$ が評価基準となる回帰式である。式(4)により、ある調査対象のクールスポット i 点の対策有無の WBGT 差 \bar{y}_i が実測値として得られたとすると、式(5)に示す \hat{y} と \bar{y}_i との差 $\text{WBGT}_{\text{diff}}$ を定義し、クールスポット i 点を評価する。

$$\text{WBGT}_s = 0.7T_{nw} + 0.3T_a \quad (1)$$

$$\text{WBGT}_0 = 0.7T_{nw} + 0.2T_g + 0.1T_a \quad (2)$$

$$\Delta\text{WBGT}_s = \text{WBGT}_s - \text{WBGT}_0 \quad (3)$$

$$\bar{y}_i = \overline{\Delta\text{WBGT}_s}_i = \overline{\text{WBGT}_s}_{0,i} - \overline{\text{WBGT}_s}_i \quad (4)$$

$$\text{WBGT}_{\text{diff}} = \hat{y} - \bar{y}_i \quad (5)$$

ここに、

T_{nw} : 自然湿球温度 [$^{\circ}\text{C}$] (JIS B7922 附属書式 A.1), T_a : 乾球温度 [$^{\circ}\text{C}$], T_g : 黒球温度 [$^{\circ}\text{C}$], T_{a50} : 飽和効率 50% の時の乾球温度 [$^{\circ}\text{C}$], η_m : 飽和効率 [%], T_w : 湿球温度 [$^{\circ}\text{C}$], WBGT_s : 完全日陰クールスポットの WBGT [$^{\circ}\text{C}$], WBGT_0 : 対策なし地点の WBGT [$^{\circ}\text{C}$], ΔWBGT_s : 完全日陰クールスポットにおける WBGT 差 [K], $\text{WBGT}_{\text{diff}}$: 実測平均値と回帰推定値の差 [K], $\overline{\Delta\text{WBGT}_s}_i$: 地点 i の対策有無の WBGT 差の平均 [K], $\overline{\text{WBGT}_s}_{0,i}$: 地点 i の対策なしの WBGT の平均 [$^{\circ}\text{C}$], $\overline{\text{WBGT}_s}_i$: 地点 i の対策ありの WBGT の平均 [$^{\circ}\text{C}$], i : クールスポット地点, \hat{y} : 基準点の回帰推定値

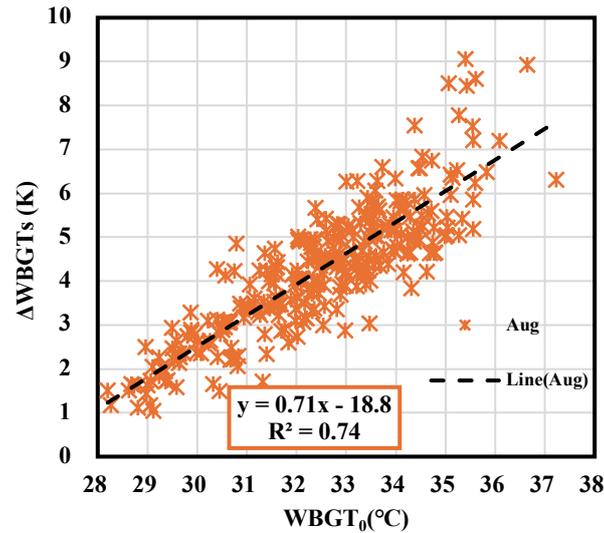


図 2 近隣の气象台データを元に作成した完全日陰クールスポットの $\Delta WBGT_s$ の回帰式

図 2 より $WBGT_0$ を説明変数とする回帰式の決定係数は 0.74 となり、説明力は高い。 $WBGT_{diff}$ が小さいほど実在のクールスポットが基準（理想クールスポット相当）に近く、 $WBGT$ 低減効果が大きいクールスポットと考えることができる。つまり、理想的な日陰のクールスポットに対する相対比較により評価する方法である。

2. 評価基準の適用

2. 1 適用事例

図 3 に 2021～2022 年に事業者が効果計測をおこなったクールスポット 32 か所の実測調査データ（図 1 で使用したデータと同じ）をプロットし、黒破線で前章で求めた完全日陰クールスポットの回帰式を示す。回帰式上の推定値と実測値との差 $WBGT_{diff}$ も例示している。例示した地点は、対策なし地点 $WBGT_0=31.3^\circ\text{C}$ 、対策有無の差 $\Delta WBGT=0.9\text{K}$ となり、 $WBGT_{diff}$ が 2.5 K となり、32 か所のクールスポットのうち、最も $WBGT_{diff}$ が大きい地点となった。 $WBGT_{diff}$ という評価指標を用いれば、例えば、 $WBGT_{diff}$ が $\pm 0.5\text{K}$ 未満で S クラス、 $WBGT_{diff}$ が $\pm 0.5 \sim 1.5\text{K}$ で A クラス、といったクールスポットの相対比較やランク付けも可能となる。

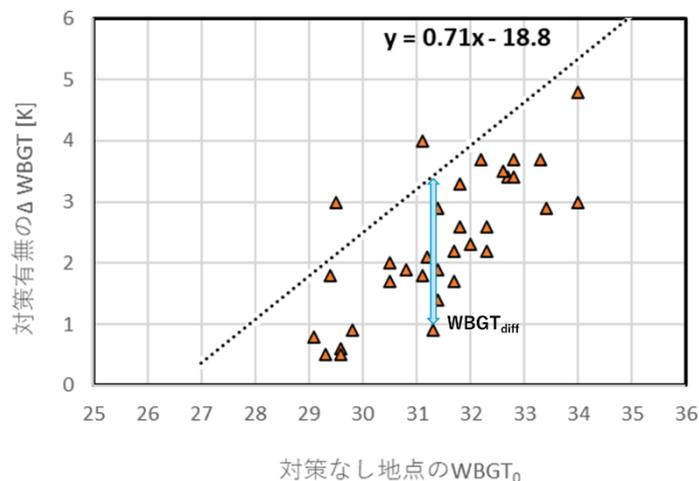


図 3 実在するクールスポットにおける $WBGT_0$ 、 $\Delta WBGT$ と評価基準となる回帰式の例

おわりに

本稿では、完全日陰クールスポットという理想的なクールスポットを基準として WBGT 低減効果を評価し、ランク付けする方法について解説した。近隣の気象台データなどを用いて評価基準となる完全日陰クールスポットの回帰式を推定しておき、実在するクールスポットの対策有無の WBGT 差が、完全日陰クールスポットの WBGT 差からどの程度乖離しているか (WBGT_{diff}) を評価指標にするという考え方である。今回は大阪府の補助事業として設置されたクールスポットを対象にした評価手法を紹介したが、大阪以外の都市であっても、盛夏期のデータを抽出する条件さえ統一すれば、地域に依らず統一の評価基準で WBGT 低減効果を比較評価できると考えており、今後検証を進めていく予定である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、大阪ヒートアイランド対策技術コンソーシアム (HITEC) 都市デザイン WG より実測に対する支援を受け、分析を進める際には貴重なご意見、ご指導を賜りました。ここに記して感謝いたします。

補 注

- ¹⁾ 大阪府森林等環境整備事業評価審議会。 <<https://www.pref.osaka.lg.jp/o120030/midorikikaku/shinrinkankyozei/hyokashingikai.html>>, 2025.9.7 閲覧
- ²⁾ 図 1 の横軸は対策なし地点の WBGT, ○マークは対策あり地点 WBGT の散布図 (左縦軸) であり, △マークは対策有無の WBGT 差の散布図 (右縦軸) である。ここで, 対策あり地点とはクールスポット内の代表とする 1 点で, 対策なし地点とは当該クールスポットの外側にある日向の場所 1 点である。いずれも測点を事業者が選定し, 図面や測定日時などの情報とともに公開されている。
- ³⁾ 環境省熱中症予防情報サイト 暑さ指数(WBGT)の実況と予測。 <https://www.wbgt.env.go.jp/wbgt_data.php>, 2025.9.7 閲覧

引用文献

- (1) Takayanagi, Y., Nabeshima, M., Li, X. and Nishioka, M. (2023) Development of a Labeling System for Outdoor Cool Spots in Urbanized Areas: A study based on the thermal environment measurement results at bus stops in station squares. 6th international Conference on Countermeasure to Urban Heat islands, 672-681.
- (2) 李 星宇・高柳 幸奈・鍋島 美奈子・西岡 真稔 (2024) クールスポットの WBGT 低減効果による比較評価方法の検討：大阪府内の駅前広場の事例, 環境情報科学論文集, Vol.38, 185-190.
- (3) 山崎 凜太郎・鍋島 美奈子・畔岡 玲苑・西岡 真稔 (2025) 街中クールスポットにおける WBGT 低減効果の評価に関する研究：評価基準の地域性に関する考察, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, A-35.
- (4) 鍋島 美奈子・山崎 凜太郎・西岡 真稔 (2025) 街なかのクールスポットにおける WBGT 低減効果に関する研究：夏期の評価基準となる回帰式の作成方法, 日本ヒートアイランド学会第 20 回全国大会予稿集.