２）環境研究グループ

２）－８　屋外暑熱環境の WBGT 評価に関する研究【持続可能】

Study on Estimating Outdoor Heat Environment Using WBGT

（研究開発期間　令和６年度）

環境研究グループ　　足永　靖信
Environmental Research Groupe　　Yasunobu Ashiei

The Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) is widely used index that relates to the risk of heat stroke. It is claimed that the observation of natural wet bulb temperature using the ISO type measuring instrument requires a significant amount of work to manage wick moisture. This research examines three major alternatives by utilizing outdoor observation data of natural wet bulb temperature. It was shown that the method of using wet bulb temperature as natural wet bulb temperature tended to underestimate compared to the ISO type measuring instrument.

［研究開発の目的］

気候変動に伴う様々な影響が懸念されており、近年の都市の暑熱化と熱中症などの健康被害の深刻化はその一つである。「熱中症対策実行計画」（令和５年５月 30 日、閣議決定）では、2030 年に熱中症による死亡者数半減が目標に掲げられている。国、自治体が進めている暑さ対策に貢献するため、早急に都市の暑熱リスクの評価法を確立する必要がある。

本研究では、熱中症抑止の評価指標として国内外で広く用いられている WBGT（湿球黒球温度、Wet-Bulb Glove Temperature）に着目して、計算方法をレビューするとともに、屋外熱環境の評価方法を検討する。

［研究開発の内容］

①　基礎調査

WBGT の計算に必要となる自然湿球温度の計算方法について国内外の研究事例を収集する。あわせて、日本、欧米諸国の暑さに関する情報提供システムの状況調査を実施する。

②　評価事例

実市街地を対象として、WBGT を試算し、WBGT の各種計算方法の適用性を検証するとともに、暑さを低減する有効手段の特定化を試みる。

③　とりまとめ

①、②の成果をとりまとめる。

［研究開発の結果］

①　基礎調査

文献調査を行い、自然湿球温度を代替する方法は次の３つに分類されることがわかった。

１）湿球温度を用いる方法

自然湿球温度の替わりに湿球温度をそのまま用いる。湿球温度の計算ロジックは確立されており、温湿度データから正確に算出することが可能である。環境省は暑さ指数の計算式に湿球温度の使用を提唱しており、この方法が該当する。学術論文でも活用事例がいくつか見られる。

２）ISO の換算式を用いる方法

ISO7243 では wick の熱収支式をたてて、周囲の放射、風の暴露影響を受ける自然湿球温度を求める方法を提示している。同書において、換算式の適用例は日射が無い状態のものが掲載されている。この方法は屋外空間に対しても適用される場合がある。

３）wick の形状を考慮する方法

Liljegren は、wick の円柱形状が受ける直達光や地物の放射熱、蒸発の気化熱などを熱収支に直接反映することにより、黒球の MRT を介さない数理モデルを構築している。Lemke and Kjellstrom は、室外の WBGT は Liljegren の手法、室内の WBGT には Bernard の手法を推奨している。

②　評価事例

ISO 型測定器による屋外観測値と WBGT の各種計算式の結果を比較する。計算式は、Liljergen 、ISO 換算、湿球温度法に加え、小野・登内（2013）が提唱した経験式を検討対象とする。計測期間中の RMS 誤差を取りまとめた結果を**表１**に一覧する。ISO 型測定器との RMS 誤差は、Liljergen ＜ ISO 換算 ＜ 湿球温度法 ＜ 経験式の順に大きくなった。Liljergen と ISO 換算は RMS 誤差が 0.3℃以下に収まっており、屋外の評価において一定の計算精度を有している。湿球温度法と経験式は RMS 誤差 1℃以上であり、ISO 型測定器との乖離が大きい。一方、湿球温度法と経験式の間で RMS 誤差を調べると 0.4℃以下であり、経

験式が湿球温度法の代替手段として有効であることが解る。

実市街地を対象として、2 つの計算方法（湿球温度法、ISO 換算）で WBGT を評価した事例を**図 1** に示す。ISO 換算＞湿球温度法となっており、**表 1** の結果も踏まえると、湿球温度法が過小評価となる可能性が示されている。また、樹木の導入エリアでは WBGT の数値が両ケースとも低く表れており、暑さが低減されていることが解る。

③　とりまとめ

WBGT の評価の上でキーとなる自然湿球温度を代替する 3 つの方法について現地観測データとの比較検討を行った。その結果、wick の放射受熱において円筒形状を精緻に考慮した Liljergen の方法は、WBGT の現地観測値を高精度に再現することを確認した。ただし、日射の直散分離の精度に左右される傾向があるのでデリケートな気象データ処理が求められる。実務で評価する場合は、欧州で実施されているように、一般気象データから自然湿球温度ベースの WBGT に落とし込むような簡易式で評価する方が現実的かもしれない。

一方、環境省の熱中症アラートでは、湿球温度をベースとした WBGT と国内の熱中症発生データの関係を基に暑さ指数（WBGT）の閾値を 33℃と定義している。そのため、熱中症アラートの判別に際しては、湿球温度法、または経験式を用いるのがよい。ただし、WBGT の評価ランクを他国と比較する場合は、各国の評価式の相違を念頭に置く必要がある。

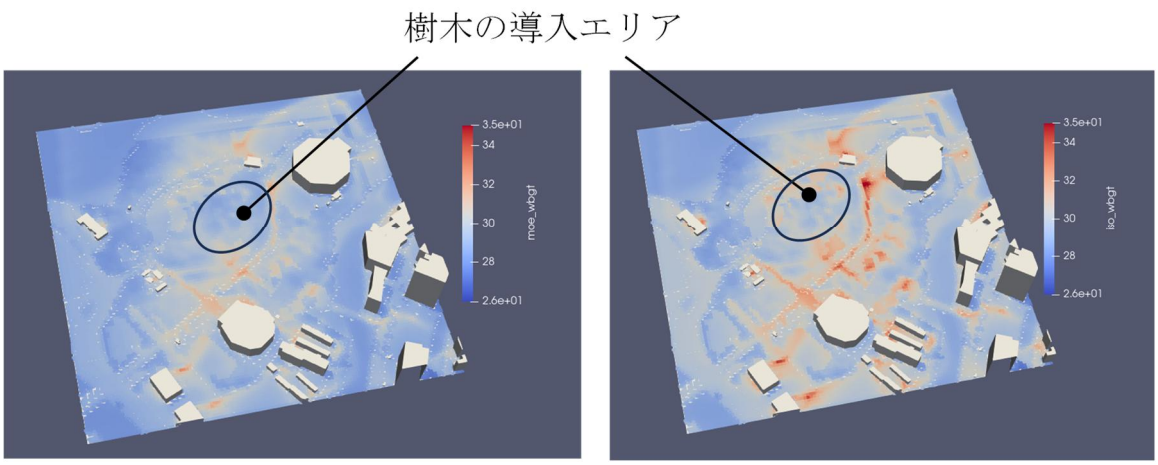
自然湿球温度等の観測データは、環境省から提供いただいた。本研究の内容は公式の見解ではなく、著者の責任において取りまとめたものである。研究成果は下記の論文に公表した。

［参考文献］

1）足永靖信：自然湿球温度の屋外観測データを活用した WBGT の計算式の検討、空気調和・衛生工学会論文集、49-327，pp. 31-35、2024.6

表1　ISO 型測定器および各種計算式による WBGT の RMS 誤差
（2017 年 8 月 11 日～8 月 13 日の日中 11-15 時）

	ISO型測定器	Lijergen	ISO換算	湿球温度法	経験式
ISO型測定器		0.218	0.292	1.013	1.140
Lilgergen			0.255	0.958	1.088
ISO換算				1.123	1.260
湿球温度法					0.369
経験式					



a）湿球温度法　　（b）ISO 換算

図 1　WBGT の分布（2019 年 8 月 9 日 14 時、丸の内公園）