

## 1. 研究背景

近年、都市開発や気候変動が進むことによって、気温が上昇し、熱中症搬送数が増加している。特に 2023 年は観測史上最も暑い夏であり、東京は猛暑日が 22 日と記録を更新し、熱中症患者数は年々増加傾向にある。このまま気候変動が進むと莫大な熱中症被害の発生や医療・介護供給体制の崩壊が危惧される。その為、熱環境の予測を行い、被害を予測する必要がある。

## 2. 先行研究

先行研究<sup>1)</sup>では、領域気象・都市気象・建物エネルギー連成モデル（以降、WRF-CM-BEM）を用い、熱中症発症リスクを表現する体感温度指標としての屋外の WBGT（湿球黒球温度）について、同モデルによる表現精度の検証がなされた。千代田区と練馬区内の 2 地点で実測された WBGT 値と WRF-CM-BEM による日向・日陰条件下での 2 種類の計算値が比較され、その誤差が後述する 2 つの指標（MBE と RMSE）を用い定量化された。

## 3. 目的

先行研究<sup>(1)</sup>では WRF-CM-BEM による屋外 WBGT の計算値について、都内 2 地点のみの実測との比較しかなされていない。また、その後、WRF-CM-BEM は改良がなされており、改良後の WBGT の精度検証は行われていない。この為、本研究ではモデル検証の地点数を 4 地点に増やし、改良後の WRF-CM-BEM の WBGT とその構成要素の精度検証を行う。

## 4. 研究手法

### 4.1 WBGT の実測値について

環境省が公開している WBGT は地点によって算出方法が異なる。解析地点の小石川植物園（以降文京）では、黒球温度と乾球温度と湿球温度（以下の（1）式）より WBGT が算出されている。黒

球温度は環境省が観測している実測値であり、乾球温度と湿球温度は気象庁で観測された気象要素（気温、相対湿度、気圧）から計算した値である。  
 $WBGT(^{\circ}C) = 0.7 \times \text{湿球温度}(^{\circ}C) + 0.2 \times \text{黒球温度}(^{\circ}C) + 0.1 \times \text{乾球温度}(^{\circ}C) \cdots (1)$

一方、府中市幸町（以降府中）、練馬区石神井台（以降練馬）、横浜市中区山手町横浜地方気象台（以降横浜）では気象庁で観測された気温、相対湿度、風速、全天日射量の関数としての実験式（以下の（2）式）より WBGT が算出されている。湿度と全天日射量が観測されていない地点は、それぞれの推計式から計算し、WBGT を算出している。

$$WBGT = 0.735 \times 0.0374 \times H + 0.00292 \times T_a \times H + 7.619 \times SR - 4.557 \times SR^2 - 0.0572 \times WS - 4.064 \cdots (2)$$

H:相対湿度（%）、SR;全天日射(W/m<sup>2</sup>)、WS:風速(m/s)、Ta:気温(°C)

### 4.2 WRF-CM-BEM の WBGT の精度検証

2018 年 7 月・8 月の日最高 WBGT 値について、文京、府中、練馬、横浜の 4 地点での実測値と WRF-CM-BEM によるシミュレーション値を用い、モデルの検証を行った。どの地点も先行研究<sup>1)</sup>と比較したところ精度が上がっていることが確認できた（中間発表にて報告済み）。

### 4.3 文京区の構成温度の精度検証

WRF-CM-BEM の WBGT は式(1)を用いて算出している為、本報では文京に着目した。

また、日射量は気温を含め都市気象に対して大きな影響を及ぼす為、WBGT に先立ち、日射の精度検証を行う事とした。その検証に際しては日射量に対する雲の影響を捉える為に、晴天指数(k<sub>t</sub>)を採用し、Clear Sky(0.65 ≤ k<sub>t</sub>)、Cloudy(0.3 ≤ k<sub>t</sub><0.65)、Overcast(k<sub>t</sub><0.3)の 3 つに分類した。k<sub>t</sub>とは、地上に降り注ぐ日射量と大気の影響を受ける

前の大気上端に入る日射量との比であり、算出方法については先行研究<sup>2)</sup>を踏襲した。解析には誤差が過大評価・過小評価、どちらの傾向かを表現する指標 Mean Bias Error (以降 MBE) と RMSE と誤差のばらつきを表す指標である unbiased RMSE (以降 uRMSE) を用いた。

## 5. 研究結果

### 5.1 日射の再現精度

図1は全天日射量の相関結果をプロットした図である。これまでの検証結果<sup>3)</sup>と同様に晴天時での日射は相関係数が0.9と良好な再現精度がみられたが、曇天時では著しく過大評価された。

図2は日付ごとの晴天指数と降水日をプロットした図である。これらの結果から降水がなく日射の再現精度が良好であった7月13日から14日の期間を対象に以降の解析を行った。

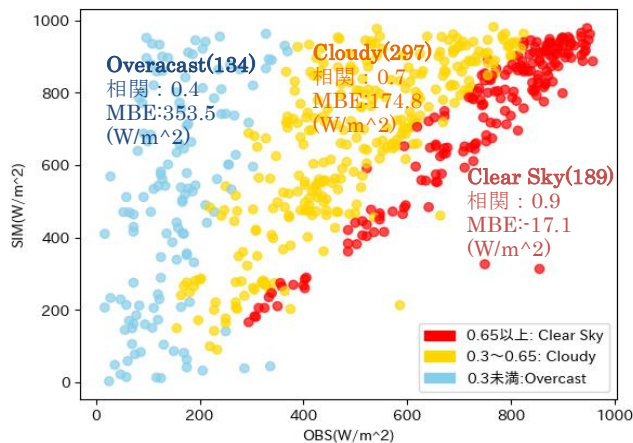


図1 晴天指数の分類による全天日射量相関結果

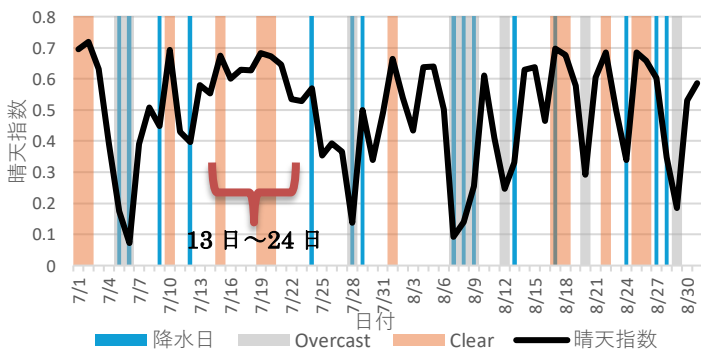


図2 日付ごとの晴天指数と降水日

### 5.2 文京の WBGT とその構成温度の解析結果

上述した文京の WBGT とその構成温度の解析結果を表1に示した。

表1 WBGT(°C)と構成温度(°C)の解析結果

|      | MBE   | uRMSE | RMSE | 標準偏差 |
|------|-------|-------|------|------|
| WBGT | -0.43 | 1.26  | 1.33 | 2.55 |
| 湿球温度 | -0.31 | 1.08  | 1.12 | 1.06 |
| 黒球温度 | -0.95 | 4.37  | 4.47 | 9.29 |
| 乾球温度 | -0.29 | 1.46  | 1.49 | 2.61 |

WBGT とその構成温度は表1で示した通り、MBEにより過小評価の傾向が示されている。一方黒球温度は他の構成温度よりもばらつきが大きく誤差が大きくなる結果となった。

## 6. 考察

湿球温度のランダム誤差と実測値の標準偏差はほぼ同値であり、WRF-CM-BEMは実測値と同様なばらつきを再現できていると考えられた。また、黒球温度を除く各値の RMSE は、気象庁の最高気温予測誤差<sup>4)</sup>よりも小さく、良好な精度を示していると考えられた。一方で、黒球温度においては実測値のばらつきが大きく、図1に示されるような日射のばらつきや風速が影響していると考えられた。

## 7. まとめと今後の課題

日最高 WBGT の解析結果から、モデルの改良によって精度が向上していることが示唆された。また、湿球温度と乾球温度については良好な精度を示したが、黒球温度は十分な精度を示さなかった。この為、黒球温度と気象要素を同時に観測し、その結果を基に精度評価を行う必要がある。

## 8. 参考文献

- 1) Ohashi et al, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 53 (3), 583–597, 2014.
- 2) Larafanego et al. Solar Energy, 86, 2200–2217, 2012
- 3) 亀卦川幸浩 他, 土木学会論文集 G (環境) Vol.73, No.2, 57-69, 2017
- 4) 気象庁/最高気温の予報誤差の例年値:  
<https://www.data.jma.go.jp/yoho/kensho/reimax.html> (参照日: 2025/1/22)