

川崎市で実測された住宅室内熱環境の実態と CM-BEM による その再現性の検証

21T7-035 鈴木 崇晃
指導教官：亀卦川 幸浩

1. 研究の背景

地球温暖化やヒートアイランド現象による気温上昇の影響は、地球環境への影響のみならず、熱中症や睡眠障害といった人体への健康被害も増加させている。わが国では熱中症の注意喚起のため屋外の暑さ指数に基づき 2020 年 4 月から熱中症警戒アラートを、2024 年 6 月から熱中症特別警戒アラートを導入した。しかし、熱中症による昨年の救急搬送状況²⁾によると、道路や駅といった屋外の公共の場などで発症した熱中症の割合は 29.4%であったのに対し、住居での発症割合は 39.9%となっている。すなわち、熱中症の多くが発症している室内の熱環境については現在、注意喚起をする方法がない。

2. WBGT(Wet-Bulb Globe Temperature)について

WBGT は湿度、日射・輻射、気温から算出されるもので、人体と外気との熱収支に着目し、熱中症リスクを表現する指標である。以下の表に環境省が表記している分類別 WBGT と WBGT 算出式を示す。

表 1 分類別 WBGT と WBGT 算出式

WBGT (°C)	分類	WBGT (°C)	分類
~25未満	注意	33~35未満	熱中症警戒アラート
25~28未満	警戒		
28~31未満	嚴重警戒	35~	熱中症特別警戒アラート
31~33未満	危険		
屋外	$WBGT(^{\circ}C) = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度} + 0.1 \times \text{乾球温度}$		
屋内	$WBGT(^{\circ}C) = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.3 \times \text{黒球温度}$		

3. 先行研究

先行研究³⁾では、東京都大田区蒲田の住宅街における室内熱環境の実測値を用いて、都市気候・建物エネルギーモデル CM-BEM による室温表現

の精度が検証された。しかし、室内の WBGT の精度検証は行われていない。

4. 研究目的

本研究は、川崎市の住宅における室内熱環境を計測し、得られたデータから熱中症発症の危険性が高い非空調室の WBGT を算出し、CM-BEM による室内 WBGT の計算結果との比較を行う。これにより、CM-BEM による室内 WBGT の表現精度を検証することを目的とする。

5. 研究方法

本研究では川崎市幸区河原町・古川町・下作延（以降 川崎）にある集合住宅 16 世帯、戸建て住宅 6 世帯、加えて東京都杉並区永福（以降 永福）空き家戸建て住宅 1 軒を対象に室内熱環境を計測した。対象とした部屋は、空調室 26 部屋、非空調室 32 部屋、計 58 部屋、計測期間は 2024 年 7 月 27 日~9 月 16 日の 52 日間であった。室内熱環境（室温、室内湿度、黒球温度を 10 分間隔で計測）と室外熱環境（外気温、室外湿度を 10 分間隔で計測）に加え、エアコンの稼働の有無、および窓の開閉を計測対象とした。

使用したモデルは先行研究³⁾で室温表現が向上した電力起源内部発熱や換気量などのパラメータ変更後の CM-BEM を解析に用いた。解析にはモデルの予測性を測る RMSE、系統誤差を表現する Mean Bias Error（以降 MBE）、ランダム誤差を表現する unbiased RMSE（以降 uRMSE）を用いた。

6. 解析結果

屋外・室内 WBGT を環境省は表 1 のように分類している。それによって昼間(5~18 時)、夜間(18

～5 時)別の温度レンジ別に WBGT 出現割合を
図 1 に示す。

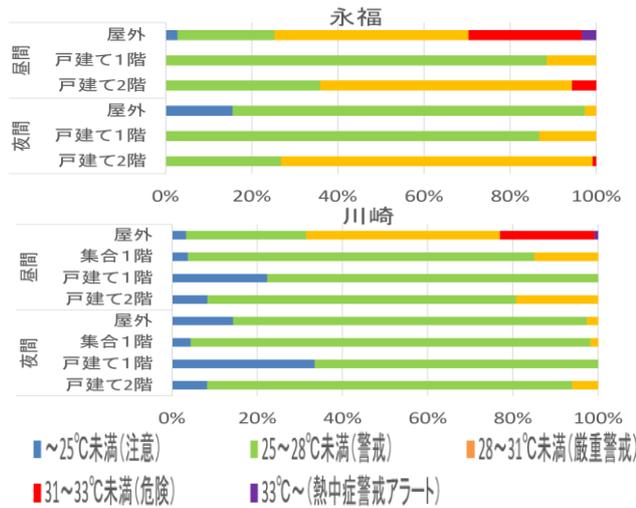


図 1 WBGT の温度レンジ別出現割合

CM-BEM による屋外・室内 WBGT 値を本研究
での実測値と比較しその誤差を算出した結果を
表 2 に示す。CM-BEM の精度を先行研究との対比
により明確化すべく、CM-BEM の類似モデルであ
る GEM-TEB をトロントへ適用した先行研究⁴⁾に
おける屋外 WBGT の予測誤差を表 2 に併示した。

表 2 先行研究と比較した WBGT(°C)の結果

	RMSE	MBE	uRMSE
1階 (CM-BEM)	2.89	2.24	1.68
2階 (CM-BEM)	2.06	0.99	1.60
GEM-TEB 屋外	1.09	-0.09	1.08
CM-BEM 屋外	1.39	-0.65	1.22

また、uRMSE の比較のため、実測値の標準偏差
も算出した。表 3 に示す。

表 3 uRMSE と実測値の標準偏差比較

	1 階	2 階
uRMSE	1.68	1.60
標準偏差	0.89	1.30

7. まとめと考察

観測結果では昼間は川崎・永福ともに警戒を要
する 25°C 以上の WBGT は屋外の割合が高いが、
夜間では川崎市の戸建て 1 階以外と永福の室内
WBGT 25°C 以上の出現割合が高くなった。よって、
夏季の夜間は屋外より室内の方が熱中症のリス
クが増加することが示唆された。

計算結果は GEM-TEB と比べ CM-BEM はラン
ダム誤差にも増して系統誤差の増大が見られた。
先行研究は 2 日しか検証しておらず、その影響で
uRMSE が低くなった可能性がある。系統誤差の増
大は CM-BEM の物理モデルとしての何らかの問
題を示唆している可能性がある。加え、2 階と比
べ 1 階の系統誤差の増大も認められた。また、
uRMSE は実測値の標準偏差を上回っており、特に
1 階は 2 階と比べ差が大きい。よって 1 階は 2 階
と比べランダム誤差が大きいことを示唆してい
る。この原因を究明すべく WBGT を算出するた
めに必要な湿球・黒球温度の誤差を表 4 に示す。

表 4 室内熱環境 (°C) の解析結果

	RMSE	MBE	uRMSE
湿球温度 (1階)	2.21	1.47	1.47
湿球温度 (2階)	1.77	0.48	1.43
黒球温度 (1階)	5.39	3.90	3.53
黒球温度 (2階)	3.99	1.69	3.59

黒球温度の uRMSE 以外の誤差指標は 2 階と比
べ 1 階は過大評価している。室温についても実測
値とモデル計算値の比較を行っており、2 階と比
べ 1 階での誤差増大を確認済みである。誤差増大
した 1 階では湿球温度と比べ黒球温度は大きく過
大評価している。原因として CM-BEM で算出さ
れる黒球温度は部屋の天井温度・内壁面温度、室
温から導出される。室温は実測値とモデル計算値
での検証を行っているが、天井温度、内壁面温度
は検証していない。これらの温度を計測し、モデ
ル計算値と検証をすることが今後の課題である。

8. 参考文献

- 1) 環境省 web サイト：
<https://www.wbgt.env.go.jp/wbgt.php> (参照日
2024/9/24)
- 2) 総務省 web サイト：
[https://www.fdma.go.jp/pressrelease/houdou/items/
d7e69bd2038c29f307d3b517fe2ee80610badb63.pdf](https://www.fdma.go.jp/pressrelease/houdou/items/d7e69bd2038c29f307d3b517fe2ee80610badb63.pdf)
(参照日 2024/9/24)
- 3) 西原、2023 年度明星大学卒業研究論文
- 4) Leroyer, Sylvie, et al Urban Climate 25, (2018) pp.64-81