

都市表面温度の観測による都市気候・建物エネルギー連成モデルの検証

20T7-018 小林 拓渡

指導教官：亀卦川 幸浩

1. 研究の背景

近藤・劉¹⁾によって開発された多層都市キャノピーモデル CM(Canopy Model)と、亀卦川ら²⁾によって開発されたビルエネルギーモデル BEM(Building Energy Analysis Model)の2つを結合したモデルである CM-BEM は、亀卦川ら³⁾によって地上気温、日射量、電力消費量が、丸山⁴⁾によって都市キャノピー熱収支、建物排熱が検証されてきた。丸山⁴⁾では都市表面温度の検証が行われたが、衛星観測で得られた表面温度と CM-BEM の計算値で比較したため、現実の都市表面温度と比較したとは言い切れない。

さらに、都市表面温度を用いて算出される正味放射量や建物排熱において、観測値とモデルの不一致が認められた⁴⁾ことから、表面温度を観測し CM-BEM を再検証すべきと考えられた。

2. 研究目的

以上のような背景から、本研究では、都市部において道路面や建物壁面等の表面温度を観測し、その観測値と CM-BEM の計算結果を比較し、CM-BEM による表面温度表現の精度を検証すると共に、その向上に向けたモデルやパラメータの改良方策を明確化することを目的とした。

3. 研究手法

(1) 観測と解析

本研究では、都市部の表面温度を観測した後に同街区においてモデルでのシミュレーションを行い、比較・検証を行った。

観測は図 1 に示した東海大学渋谷キャンパス付近の典型的な集合住宅と戸建住宅の壁面と路面（各 15 か所）を対象として、2023 年 9 月 5 日の 9:00 から 19:30 まで 30 分間隔で行った。観測にはサーモカメラ (FLIR 社製 i7) を使用した。

建物表面温度の解析は、サーモカメラで撮影した画像を専用解析ソフト (FLIR Tools) で読み込み、CSV ファイルに変換し、建物の壁部分を範囲選択し、その範囲の表面温度の平均値と標準偏差を求めた。

また、CM-BEM を用いたシミュレーションは、代々木のグリッド(1km 四方)で助走期間を約 1 か月設け、8 月 8 日 0 時～9 月 5 日 20 時まで行った。その後、観測期間における表面温度の計算値を観測値と比較した。

(2) モデルの変更

現状の CM-BEM は、1 格子内に底面の形が正方形で底面積が同じ建物が格子状に配置しており、建物の側面が東西南北を向いている街区を表現している¹⁾ (図 2 左図)。しかし、現実には観測した建物壁は東西南北に正対せず傾いていた。本研究では、その傾きを図 2 (右図) に示した通り角度 θ で表現した。CM-BEM 内では、太陽の仰角を保存したまま太陽方位角を逆方向に θ 回転することで、疑似的に建物方位の傾きが壁面の放射収支にもたらす影響を模擬し、その時の壁面温度の計算値と観測値を比較した。また、この際、風速の上端境界条件も θ を考慮して変換を行った。



図 1. 東海大学渋谷キャンパス付近の観測場所 (図中の①～⑮は観測地点を示す)

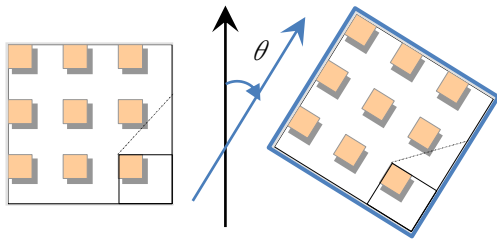


図 2. CM-BEM における街区と建物の傾きの表現

5. 解析結果

壁面温度の計測値については、各壁面部位における平均表面温度とその標準偏差を算出した上で、CM-BEM による計算値との比較を行った。標準偏差は壁面温度の計測における不確実性を表現する指標と位置付けた。一方、シミュレーションでは、全建物の θ の値域 (15 度~45 度、-30 度~-40 度) を踏まえ、太陽方位角を現実の値から角度 $\cdot \theta$ だけ上述値域にて 5 度間隔で変更する計算を行った。これにより建物方位が壁面温度の計算値にもたらす不確実性を模擬した。その上で各壁面の傾きに最も近い θ での計算値と上述の通り θ を操作した場合の計算値の変動域を定量化し、後者をシミュレーションによる壁面温度表現の不確実性と解釈した上で、計測値との比較を行った。その結果を観測地点ごとに図 4 に示す。

また本研究と先行研究における他モデル (TEB) の壁面温度の再現精度を、2 乗平均平方根誤差 (RMSE) を用い比較した結果を表 1. に示す。

表 1. 他モデルとの壁面温度の RMSE (°C) 比較

	CM-BEM (θ 考慮前)	CM-BEM (θ 考慮後)	TEB ⁵⁾
RMSE(°C)	3.06	3.11	2.4

6. まとめと今後の課題

CM-BEM に対し現実の建物壁面が東西南北に正対しない影響を放射計算過程に組み込む改良を行い、代々木地区で壁面温度の再現性を検証した。その結果、各方位の壁面温度は、壁面の東西南北からのずれ角 (θ) が計算値にもたらす不確実性、およびサーモカメラによる画素単位の計測表面温度の不確実性を考

慮した場合、計算値が実測値と概ね整合する事が確認された。一方で、 θ の考慮の有無が CM-BEM による壁面温度の再現精度に与える影響は小さく、先行研究での類似モデルの精度と概ね同等であった。

以上により、先行研究⁴⁾の課題として残された表面温度の再現精度が把握できた為、その誤差が建物排熱等に与える影響の解析を含め、さらに詳細なモデル検証を進めることが今後の課題である。

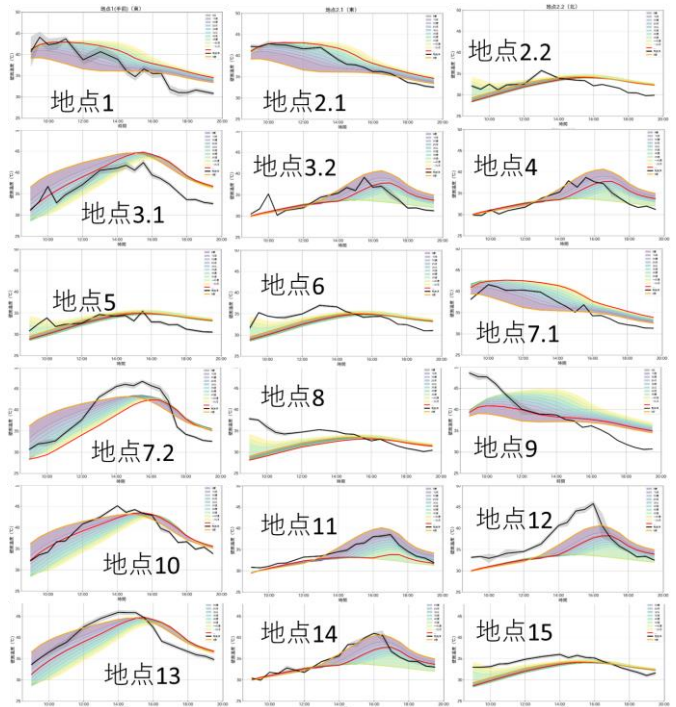


図 4. 地点ごとの壁面温度の観測値と計算値

(黒線が観測値、黒線に付随する灰色の帯は標準偏差、赤線が観測地の角度で計算した値、色付きの帯グラフは角度ごとの計算値を示す)

7. 参考文献

- 1) 近藤裕昭・劉發華, 大気環境学会誌, 33 巻 3 号 (1998):179-192
- 2) Kikegawa Y., et al, Applied Energy, Vol.76, pp.449-466, 2003.
- 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) 丸山直也, 明星大学大学院理工学研究科環境システム学専攻 2022 年度修士論文, 2023
- 5) V. Masson et al, Journal of Applied Meteorology, Vol41, pp1011-1026, 2002