

冷房電力需要気温感応度の都市気候モデルによる表現の不確実性の定量化

21T7-003 井内和佳

指導教員：亀卦川幸浩

1. 研究背景と先行研究

現在、IPCC 第 7 次報告書で都市に関する特別報告書の作成が計画されており、都市気候への注目が集まっている。関連して、計算機的能力向上により、数 km の高空間解像度での全球気候計算が可能となった。これは、従来無視されてきた都市効果を考慮すべき解像度への到達を示唆し、都市解像地球気候計算の本格化も近いとされている。しかし、都市の気候形成因子の 1 つである「気温上昇→冷房需要増→建物排熱増→更なる昇温」の Positive Feedback (以降 都市排熱 PFB) の都市気候への影響に関する研究は不十分な状況にある。特定の都市域のみを対象とした指導教員らの研究¹⁾に加え、地球システムモデルを用いて全球の PFB 効果を推計した最新の研究²⁾があるものの、後者の推計では空間解像度が低く、簡易的なモデルで計算しているため結果の信憑性が不明であるという課題が残されている。解決策として、先行研究¹⁾で用いられた高解像度の都市気候モデルによる計算結果を各種の実測データと比較し検証しつつ、より信頼性の高い推計を全球に拡張していく方法が有効と考えられる。その合理的手法としては、モデルバイアスの影響も加味したマルチモデルアンサンブルの実験手法が挙げられる。

2. 研究目的

本研究では WRF-CM-BEM と WRF-SLUCM-BEM に加え、同じく WRF に組み込まれている WRF-BEP-BEM、WRF-TEB-BEM を用いる。後述する電力需要フィードバックゲインを左右する冷房電力需要(E)の地上気温(T)に対する応答感度(以降 冷房電力需要気温感応度； $\Delta E/\Delta T(\%/^{\circ}\text{C})$)を推計する。得られた各モデルの推計値と観測値を比較し、 $\Delta E/\Delta T$ 推計の信頼性・不確実性を明らかにすることを目的とする。

電力需要フィードバックゲイン(以降 $EC-g_A$)とは、冷房需要が増加したときに都市排熱 PFB が電力需要を追加的に何%増加させるかを表す。

3. 研究手法

本研究では 4 つの都市気候モデルと各モデルに対応する入力パラメータ毎(街区形状や自動車排熱等のデータを 1km 格子毎に与える grid-wise、都市格子を 3 種の街区形状に分類する three-category、都市域を街区形状の視点から 10 種に分類する Local Climate Zone-category(以降 grid, three, LCZ))による東京圏の 2018 年 7 月から 8 月の 2 ヶ月間の数値実験を行う。計算結果から $\Delta E/\Delta T(\%/^{\circ}\text{C})$ の推計を行い、観測値と各モデルの値を比較する。

$\Delta E/\Delta T$ の解析方法は指導教員らの研究¹⁾での $EC-g_A$ を求める以下の式から(3)式を用いる。

$$\Delta EC-g_A [\%] = \Delta T_{ah} \times \frac{\Delta E}{\Delta T} \cdots(1)$$

$$\Delta T_{ah} [^{\circ}\text{C}] = \Delta T_{wd-we_urban} - \Delta T_{wd-we_rural} \cdots(2)$$

$$\frac{\Delta E}{\Delta T} [\%/^{\circ}\text{C}] = \frac{100 \times (\Delta EC/\Delta T)}{EC - EC_0} \cdots(3)$$

ここで、 $EC(\text{W}/\text{floor-m}^2)$ は夏季のある地区の建物の床面積当たりの冷房電力量、 $T(^{\circ}\text{C})$ は地上気温である。 $EC_0(\text{W}/\text{floor-m}^2)$ は季節に左右されない空調以外の電力量を表すが、本研究では夏季の冷房電力データのみ扱っているため EC_0 は 0 とする。

4. 研究結果

平日の業務街区、集合住宅、戸建住宅における観測値と各モデルの $\Delta E/\Delta T(\%/^{\circ}\text{C})$ の時系列折れ線グラフをパラメータ毎に図 2 に、RMSE、relative RMSE(以降 rRMSE)を表 1 に示す。

rRMSE は以下の式により求めることが出来る。

$$\text{rRMSE}[\%] = \frac{\text{RMSE}}{\text{観測値の平均値}} \times 100 \cdots(4)$$

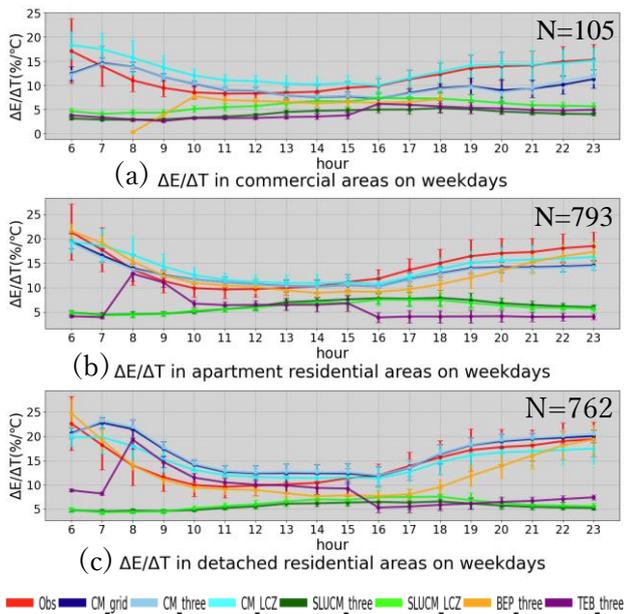


図 1. 平日の観測値と各モデルの $\Delta E / \Delta T (\% / ^\circ C)$
 表 1. 平日の各モデルの RMSE($\% / ^\circ C$) rRMSE($\%$)
 上段: RMSE($\% / ^\circ C$), 下段: rRMSE($\%$)

RMSE rRMSE	WRF-CM-BEM			WRF-SLUCM-BEM		WRF-BEP-BEM	WRF-TEB-BEM
	grid-wise	three	LCZ	three	LCZ		
業務	4.13 35.66%	4.17 36.00%	4.02 34.67%	8.46 73.01%	7.05 60.81%	4.94 42.58%	8.27 71.30%
集合	3.66 26.10%	3.78 26.98%	4.03 28.71%	9.21 65.70%	7.05 60.81%	4.12 29.39%	10.34 73.75%
戸建	4.66 32.18%	4.92 33.96%	4.61 31.87%	10.43 72.04%	10.17 70.25%	4.95 34.16%	10.34 71.42%

5. 考察

図 1、表 1 から入力パラメータ間での精度の違いよりもモデル間での精度の違いが顕著であった。全街区を通して WRF-CM-BEM の精度が最も高く、次いで WRF-BEP-BEM であった。対して、WRF-SLUCM-BEM、WRF-TEB-BEM は過小に予測していた。これはモデルの違いによる影響が大きいと考える。表 2 より、精度の高い WRF-CM-BEM と WRF-BEP-BEM は都市キャノピーモデル(UCP)、建物エネルギーモデル(BEM)共に現実に近い物理モデルを使用している。一方で WRF-SLUCM-BEM、WRF-TEB-BEM は大気表現や街区表現に単層・2次元モデルを使用しているため、他 2つのモデルに比べて単純化されたモデルということが誤差を大きくした要因の 1つと考える。また、図 2 の冷房電力気温感応度である $\Delta EC / \Delta T (W/m^2/^\circ C)$ のグラフより、観測値に比べて WRF-SLUCM-BEM が過小に、WRF-TEB-BEM が過大に予測していること

が分かる。これは BEM 部分の違いによる結果だと考察する。WRF-SLUCM-BEM は窓・換気が未実装であるため、建物内が外気温変化の影響を受けにくい。そのため、 $\Delta EC / \Delta T$ が過小に予測され、結果的に $\Delta E / \Delta T$ も過小になったと考える。次に、WRF-TEB-BEM は全館空調を採用している。これは建物を 1つの空調室と見做すため電力消費が過大に予測されている。その結果、 $\Delta EC / \Delta T$ も大きくなり、過大に予測された電力消費で除算する((3)式より)ことで $\Delta E / \Delta T$ は過小になったと考える。

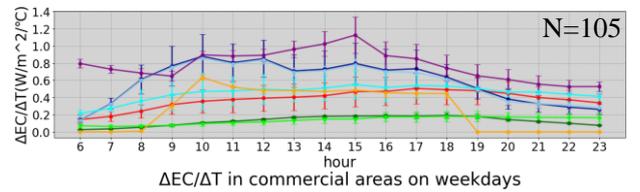


図 2. 平日の業務街区における観測値と各モデルの $\Delta EC / \Delta T (W/m^2/^\circ C)$

表 2. 各モデルの違い³⁾

		CM-BEM	SLUCM-BEM	BEP-BEM	TEB-BEM
		大気表現	多層	単層	多層
UCP	街区表現	3次元	2次元	3次元	2次元
	交通排熱	固定値	固定値	—	固定値
	建物排熱	動的に計算	動的に計算	動的に計算	動的に計算
BEM	電力消費	動的に計算	動的に計算	動的に計算	動的に計算
	建物空調	部分空調	部分空調	部分空調	全館空調
	COP	固定値	固定値	固定値	固定値
	冷却塔	実装済み	実装済み	—	—
	窓・換気	実装済み	未実装	実装済み	実装済み
	平日休日の違い	実装済み	—	—	実装済み

6. まとめ

表 1 の rRMSE から各モデルの $\Delta E / \Delta T$ の誤差範囲は約 26~74%となった。精度に関しては、現実に近い物理モデルを使用しているモデルほど精度が高く、単純化されたモデルの精度は低かったためモデルの違いが誤差に影響を与えていると考える。

7. 参考文献

- 1) Kikegawa Y et al., Applied Energy, 307 (2022): 118227.
- 2) Xinchang C L et al., nature climate change 2024.
- 3) Takane Y, et al. Geoscientific Model Development, 17, pp.8639-8664, 2024.