

マルチモデル実験を通じた都市気候システムにおける排熱フィードバックゲインの推計

20T7-013 影山侑汰
指導教官：亀卦川幸浩

1. 研究背景

熱波による健康被害や豪雨水害など、地球の気候変動とそれに関連し頻発化しつつある極端気象災害のリスクは、ヒートアイランド効果も相乗し、人類の過半が居住する都市への集中を呈しつつある。

また、都市域では夏季の気温の変化に伴う空調エネルギー需要増加が人工排熱の排出量を強化させるポジティブフィードバック（Positive Feed Back、以下 PFB）による影響が懸念されているが、これまでの気候予測モデルでは PFB が考慮されていないという問題がある。アジアでは今世紀中葉までに 10 億人超の都市人口の増加が予測されており、それに伴う冷房需要増加は排熱フィードバックの悪影響を増長させる危険性がある。

2. 先行研究における研究手法

前述の問題点に着目した先行研究¹⁾では、都市気温（T）の上昇→冷房エネルギー消費量（E）の増加→人工排熱（AH）の増加→更なる昇温の PFB 効果をフィードバックゲイン（以降 g_A ）にもとづき定量化された。同研究では、PFB 効果を表現できる独自開発の都市気候モデルである WRF-CM-BEM によるシミュレーションによって g_A が推計された。その結果、夏季大阪の休日に対する平日のエネルギー消費と排熱の増加に伴う気温上昇が追加的に何%の冷房電力消費増を平日に誘発するかを表す E に対する g_A （以降 $E-g_A$ ）が約 10%（図 1）に達する事が推計された。しかし、その結果は一つの気候モデルによる推計に過ぎず、モデルバイアスの影響の可能性を否定できない。

3. 研究目的

前述の PFB 効果を考慮できる代表的モデルとして、指導教員らが開発した都市キャノピー気象モデルと建物エネルギーモデル（BEM）の結合モデルである CM-BEM¹⁾に加え、類似モデルとして BEP-BEM²⁾、TEB-BEM³⁾が挙げられる。また、産業技術総合研究所の高根雄也博士と指導教官らが前述記載のモデルを

改良し、開発中の SLUCM-BEM⁴⁾がある。以上の都市気候モデルは、世界標準の研究用地域気象モデル WRF への組み込みがされているため、都市スケールの解析が可能である。

先行研究¹⁾では、WRF-CM-BEM を用いて g_A を推計した。本研究では、夏季東京での各モデルによる g_A の推計値を比較し、マルチモデル実験による g_A 推計の信頼性と不確実性を明らかにする事を目的とする。

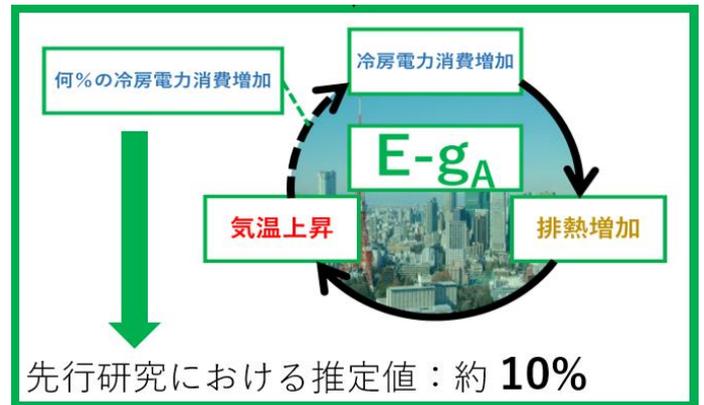


図 1. PFB 効果（冷房電力消費）

$E-g_A$: E に対するフィードバックゲイン

4. 研究手法

WRF-CM-BEM 及び WRF-SLUCM-BEM を用い、2018 年 7 月・8 月の数値実験を行い、東京での $E-g_A$ を左右する冷房エネルギー消費量（E）の地上気温に対する応答感度（以降 $\Delta E/\Delta T$ ）を定量化し、実測値との比較も通じモデル間の差異を解析した。なお、都市の地上気温（T）に対する g_A を左右する指標として、T の人工排熱（AH）に対する応答感度（ $\Delta T/\Delta AH$ ）も解析予定であったが、 $\Delta E/\Delta T$ の解析に後述する信頼性の疑義が生じた関係で、その解析を断念した。

5. 先行研究との整合性

平日 15 時の WRF-CM-BEM による $\Delta E/\Delta T$ を先行研究と比較すると、図 2 となった。先行研究と約 2 倍違い、今後検討しなければならない。

先行研究(Nakajima et al. 2²⁾)との整合性

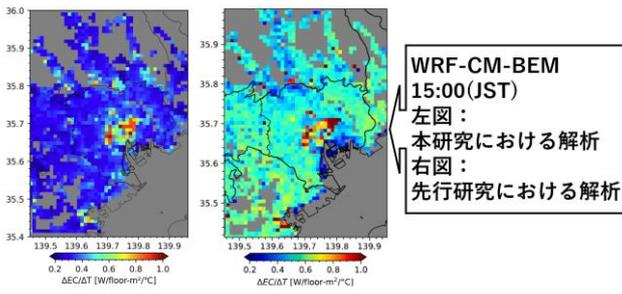


図 2. 先行研究との $\Delta E/\Delta T$ の比較 (平日 15 時)

6. 研究結果

平日 15 時の $\Delta EC/\Delta T$ をマップ化したものを図 3 に、休日 15 時の $\Delta EC/\Delta T$ をマップ化したものを図 4 に示す。ただし、Obs は観測値を用いたデータとする。また、各モデル別の時間毎の RMSE 及び rRMSE を図 5,6 に示す。それらをグラフ化したものを図 7 に示す。ただし、平日を wd、休日を hd とする。研究結果において各モデルの名称を、WRF を除いた名称を用いるものとする。

各モデルにおける平日休日間を比較すると、CM-BEM は平日休日間を区別することができるシミュレーションであるため平日休日間でも差異がみられた。SLUCM-BEM は、沿岸部沿いは高い数値を示し、平野部にかけて数値が低くなっている。CM-BEM では 9 時以降、SLUCM-BEM では、平日は 9 時以降、休日は 12 時以降の時間で若干の精度改善が認められる。

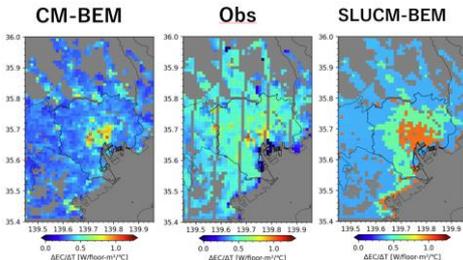


図 3. 15 時の比較 (平日)

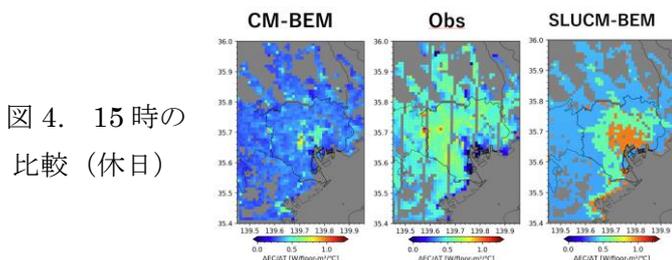


図 4. 15 時の比較 (休日)

研究結果(RMSE&rRMSE)			wd
時間	CM-BEM	SLUCM-BEM	
3	0.194[104.0]	0.150[111.0]	
6	0.190[104.2]	0.151[112.5]	
9	0.362[102.6]	0.288[109.2]	
12	0.428[102.4]	0.360[106.7]	
15	0.468[102.3]	0.389[106.3]	
18	0.456[102.4]	0.378[105.9]	
21	0.418[102.4]	0.349[105.5]	

※単位は[W/floor-m²/°C]とする。[]内の単位は[%]とする。

図 5.
RMSE&rRMSE
(平日)

研究結果(RMSE&rRMSE)			hd
時間	CM-BEM	SLUCM-BEM	
3	0.229[104.6]	0.183[110.9]	
6	0.198[104.1]	0.157[111.4]	
9	0.363[102.7]	0.286[111.0]	
12	0.469[102.6]	0.375[109.6]	
15	0.493[102.7]	0.397[108.7]	
18	0.454[103.2]	0.363[107.8]	
21	0.420[102.8]	0.344[106.4]	

※単位は[W/floor-m²/°C]とする。[]内の単位は[%]とする。

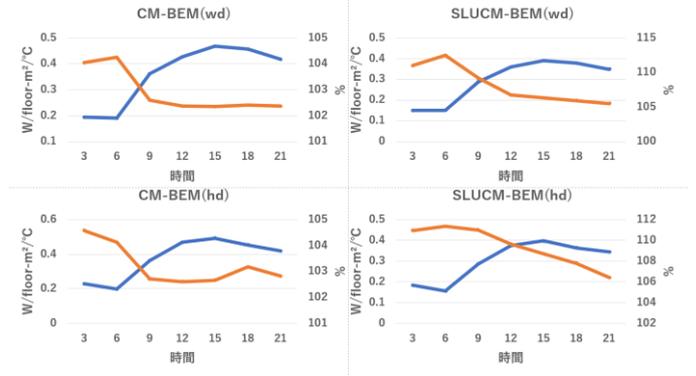


図 7. モデル別の RMSE と rRMSE の日変化
(青色 : RMSE、橙色 : rRMSE)

$$rRMSE = \frac{RMSE}{\text{観測値の平均値}}$$

7. まとめと今後の展望

15 時の先行研究との CM-BEM の解析を比較すると、約 2 倍の差が生じた。今後、検討していかなければならない。

今後の展望として、マルチモデル実験のサンプル数を増やすために他のシミュレーションである TEB-BEM や BEP-BEM を WRF でオンライン計算を行い、推計する。

8. 参考文献

- 1) Kikegawa, Y., et al. Applied Energy, Vol. 307, 118227, 2022
- 2) Ko, Nakajima., et al. Energy & Buildings, Science Direct
- 3) Salamanca F., et al. J Geophys Res Atmos 2014;119(10):5949–65.
- 4) Bueno B., et al. Geosci. Model Dev., 5, 433–448, 2012
- 5) Takane Y., et al. EGU General Assembly 2023, EGU23-4305.
- 6) 竹中雅二、排熱フィードバックに対する都市気候応答感度の定量化、2022 年度明星大学卒業研究論文