

都市気候と空調エネルギー需要の相互作用感度の定量化に向けた 数値モデルWRF-CM-BEMの改良と検証

明星大学 理工学部 環境・生態学系 4年 13T7-048 中嶋 一紗
指導教員 亀卦川 幸浩

1. はじめに

国連により2050年までに世界人口の約2/3が集中すると推計されている世界の都市域では、地球温暖化に加えヒートアイランド効果により今世紀末までに1~2°Cの昇温の上乗せが予測され、熱中症や睡眠障害の被害が増加するとされている。

特に冷房を必要とする都市では気温上昇の結果としての冷房需要・排熱の増加が都市昇温を強化するポジティブフィードバック (PFB) 効果が問題視されているが、IPCC第5次評価報告書の気候予測でも考慮されていない。しかし都市人口の増加はアジア等の低緯度帯に位置する冷房需要都市の膨張を伴うため、PFBの研究が重要である。

2. 先行研究

指導教員らの先行研究¹⁾では東京・大阪での2007年8月の観測を通じ、以下の事が判明した。

- ・都心オフィス街区では100W/m²の人工排熱量につき1°C程度の気温上昇が生ずる。
- ・1°Cの気温上昇はPFB効果により東京都心の電力消費に対し2~2.5%の上乗せ効果をもたらす。

一方、先行研究²⁾では、大阪にて2013年度の通年での気象計測がなされ、電力実需要量データが収集された。この測定データとの比較を通じ、指導教員らが開発した都市気候と建物エネルギーの連成数値モデル(WRF-CM-BEM)による日射量や電力需要等の再現精度が定量化された。結果として地域電力需要が業務街区にて10%前後の誤差で再現可能である一方、住宅街区では40%程度の電力需要の過大評価が見いだされた。

3. 研究目的

本研究は、PFB効果が都市気温や冷房エネルギー需要に与えるインパクトのWRF-CM-BEMによる定量化を目指す指導教員らの研究プロジェクトの一環として実施するものである。その目標に向け、WRF-CM-BEMによる気象・エネルギー需要の予測精度を改善するためのモデルの改良と検証を行う。本研究では特にビルエネルギーモデル (BEM) について改良を行うこととする。

4. 研究手法

4-1 研究の流れ

本研究ではWRF-CM-BEMの性能改善の為、BEMの改良を試みた。改良後のBEMを組み込んだWRF-CM-BEMを用い、先行研究²⁾の測定データ等との比較の為の数値実験を行った。その結果から気温等の気象要素や電力需要の実測値の再現性について、改良後のWRF-CM-BEMによる精度向上を検証した。

4-2 数値モデルWRF-CM-BEMとは

以下に述べるWRF、CM、BEMの三つのサブモデルから成るモデルシステムである。

WRFは米国で開発され公開されている次世代の高精度気象予測のための気象モデルである。一方、CMは都市キャノピー層における気温、湿度、風速の時間変動を建物による力学抵抗や人工発熱源の分布等を考慮し計算可能な鉛直1次元の街区スケール気象モデルである。建物周りの気象条件を求めることが出来る。CMによる建物周りの気象条件を境界条件とし、建物の熱収支を計算するモデルがBEMである。BEMは建物を一つのBOXと近似し、空調熱負荷を含む建物の熱収支計算を行う。窓面透過日射、壁体貫流熱、換気侵入熱、内部発熱量を計算することで空調熱負荷を求める。この熱負荷を冷房排熱としてキャノピー層に排出することによりCMで計算される気温や湿度の変化へと反映される。

以上の3つのモデルを結合することにより気温・湿度・風速・風向等の気象要素と建物エネルギー需要を同時にシミュレート可能である。

5. BEMの改良

先行研究²⁾のシミュレーションでは住宅街区の電力需要が40%程度過大評価された。原因として、全ての住宅が同じスケジュールで空調設備を使用している事、加えて建物内の全館空調を仮定している為だと考えられた。実際には住民の不在により空調設備を使用しない住宅も現実の街区には混在する為にスケジュールは多様である。また、住宅には廊下等の非空調部も含まれ部分空調をシミュレーションする必要がある。以上の問題点を解消する為に次の改良を行った。

(1) BEMの二単室化 (住宅街区のみ)

計算対象となる街区内の建物を空調単室、非空調単室の二種類に分類する。空調単室、非空調単室の存在比を設定し、両者は街区内にランダムに混在すると仮定した。これにより空調の運転スケジュールは建物毎にばらつく影響を表現した。

(2) BEMの鉛直多層化 (全ての街区)

今まで建物を一つのBOXとして仮定していたが、天井・床の存在を考慮し階別に層を作ることによりフロアを表現した。フロア間での貫流熱のやり取りを考慮することにより室温と建物内湿度の計算時に階別の熱負荷を考慮した。

6. 解析手法

CM-BEMではグリッド毎に建物用途の構成を分析し、総延べ床面積ベースで支配的な構成比を有する単一用途の建物により街区が構成されていると仮定する。その仮定に照らし、以下の方法で解析を行った。

- ・単一用途の建物構成に近い変電所電力供給エリアが概ね一個の計算格子に対応する場合、当該電力供給エリアでの実測電力需要量との比較により電力需要の再現性を検証した。業務系、住宅系建物の構成比がそれぞれ最大のC2とR7エリア(図1)が、このケースに該当した。
- ・建物用途が混在する変電所電力供給エリアが複数の格子に跨る場合、当該変電所エリア内の各格子における電力需要の計算値を面積ベースで加重平均し、実測の電力需要量と比較した。C2とR7以外の全エリアがこのケースに該当した。

7. 検証

改良したBEMを組み込んだWRF-CM-BEMを先行研究²⁾と同じ大阪市とその周辺域(図1)に適用し、2013年7月1日から8月31日までの再現計算を行った。

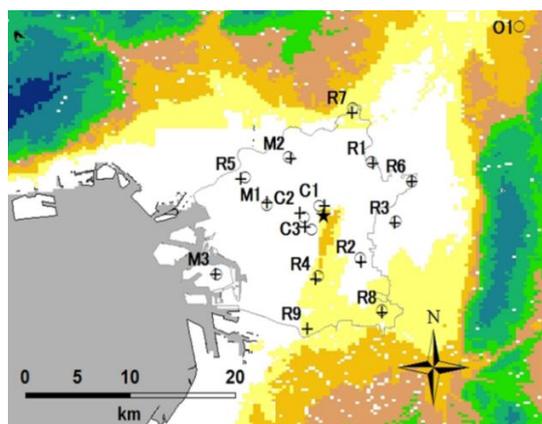


図1 計算対象とした変電所エリアの分布

7-1 好天日における検証

計算期間の連続好天日である8月1日から10日までの電力需要量について、R7(住宅街)とC2(事務所街)エリアの検証結果を図2と図3に示す。またR7エリアのフロア毎の平均室温の計算結果を図4に示す。

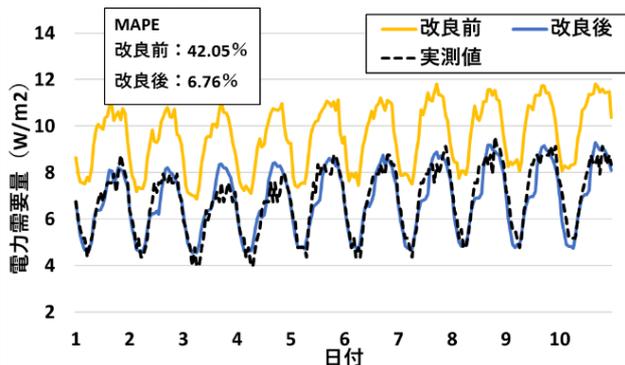


図2 改良前後の電力需要量 (R7)

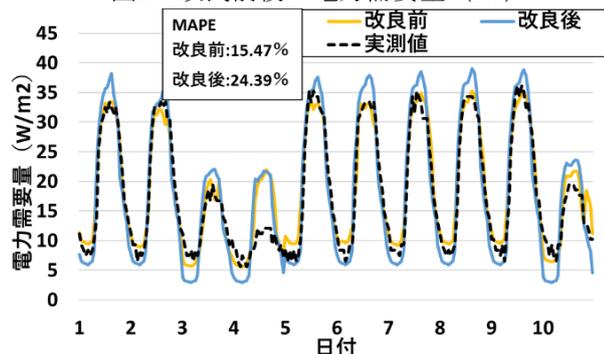


図3 改良前後の電力需要量 (C2)

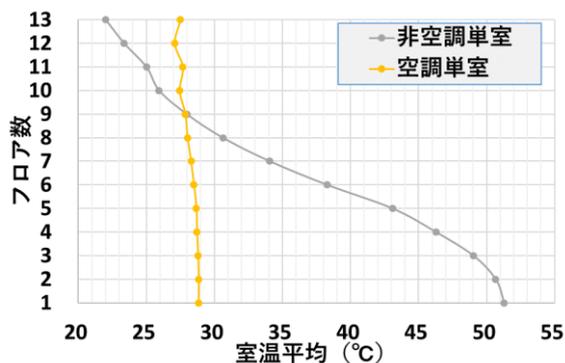


図4 フロア毎平均室温

図2よりR7は誤差(MAPE)が約7%まで減少、図3よりC2はMAPEが24.39%まで上昇。原因として、多層化が関係していると考えた。また図3より日別のMAPEを解析すると4日(日曜)が最も高いことが分かった。

図4より空調単室は設定温度付近を示している。非空調単室においては1階ほど室温が高く、上の階になるほど下がる。この理由としては上空での外気温の低下や風速増大等との関連性が推察される。但し、上空での気温降下は100m上昇につき1°C程度に過ぎず、図4の非空調単室の上層階での気温降下は人工排熱による下層階の加熱等の他の要因が関係していると考えられた。

7-2 夏季2ヶ月間の検証

季節毎に解析する必要があるため、期間を2ヶ月とし解析を行った。結果、R7ではMAPEが11.27%となったが、M1(混合街区)では63.01%となった。

建物用途が混在するM1では、電力需要の実測値は住宅街区型の挙動を示す一方、計算値においては事務所街区型の挙動をしていた。この誤差は、各計算格子を単一の用途の建物構成と近似した際、格子内の変電所エリアがそれと異なる建物構成であったことが関係したと推測された。すなわちM1の変電所エリアに属する格子は格子単位では支配的用途が事務所としてシミュレーションされる格子が多い一方、それらの変電所エリア内の建物構成は住宅が支配的であるため以上の誤差が生じていた。

8. まとめと今後の課題

BEMを改良した結果、モデルの仮定と整合する単一用途の建物より成る格子では事務所街にて若干の精度低下が起きたものの、住宅街区では電力需要の再現精度の著しい改善が見られ、2室室化の有効性が確認できた。電力需要の実測値の収集エリアの建物用途が格子単位で想定した用途と一致しない用途混在エリアでは、モデルによる電力需要の再現性は著しく低下した。この改善策としては、格子の高解像度化により、建物構成を現実の電力供給エリアの実態に近づける方法がある。このことに加え、本研究で未検証である建物内の温度・湿度の再現性も定量化しWRF-CM-BEMの更なる性能改善を目指す。

9. 参考文献

- 1) Kikegawa, Y. et al., *Theoretical and Applied Climatology*, Vol.117(1-2), pp.175-193, 2014.
- 2) 亀卦川他6名, 日射と電力需要の再現性に着目した都市気象・建物エネルギー連成数値モデルの検証, 土木学会論文集G (2016年6月投稿、改訂中)