

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：32685

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24360218

研究課題名(和文) 都市気象・建物エネルギー連成数値モデルの熱環境・電力需給予測への実証的適用

研究課題名(英文) Corroborative application of a numerical urban weather forecasting model coupled with a building energy model to prediction of thermal environment and electricity supply-demand in an urban area

研究代表者

亀卦川 幸浩 (Kikegawa, Yukihiro)

明星大学・理工学部・教授

研究者番号：20409519

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,100,000円

研究成果の概要(和文)：研究代表者らが開発した都市気象・建物エネルギー連成数値モデルについて、都市域での気象と太陽光発電を加味した電力需給の同時予測性能の実証を試みた。大阪市の15街区域で気温と地域電力需要量、加えて太陽光発電量を支配する日射量を年間計測し、それらのモデルによる再現性を検証した結果、地上気温の再現精度は米国の類似モデルを上回り良好であった。電力需要では業務街区での実需要を概ね再現出来る一方、住宅街区では40%程度の過大評価となった。日射量では晴天時実測値を誤差10%以内で再現可能な一方、曇天時には日射の過大予測が認められた。以上の検証を通じ、更なる予測精度改善に向けたモデル改良の方向性を明確化できた。

研究成果の概要(英文)：The performance of the authors' numerical simulation system named WRF-CM-BEM was validated from the viewpoint of simultaneous prediction of urban weather and electricity supply-demand including photovoltaic power generation. For the validation, a yearlong field campaign was conducted in Osaka city. In 15 urban districts, the measurements on urban weather and areal electricity demand were obtained. The validation suggested the promising performance of WRF-CM-BEM in terms of reproducibility of the near-surface air temperature and electricity demand but with up to 40% overestimation on the latter especially in the residential districts. The observed solar radiations were well reproduced by WRF-CM-BEM within the errors of 10% under clear sky conditions, but with remarkable overestimations under cloudy sky on the other hand. Through the validation, a strategy was clarified for the improvement of WRF-CM-BEM toward more accurate predictions of solar radiation and urban electricity demand.

研究分野：気象・熱環境学

キーワード：都市気象 建物エネルギーモデル 電力需給 太陽光発電 都市エネルギーマネジメント 大阪

1. 研究開始当初の背景

都市域の気象・熱環境の複雑な形成機構の研究は、気象学や建築・土木工学等の分野で学際的に進められ、その成果を反映した都市気象数値モデルの発展へと結実してきた。1990年代後半より、領域気象モデルに建築群による地上気象への影響を表現する都市のキャノピーモデル(以降CM)が結合され、都市気象モデルとしての改良が進んだ。更に近年では、建物エネルギー消費に伴う人工排熱とその都市気象への熱的フィードバックを模擬可能な建物エネルギーモデル(以降BEM)と都市気象モデルの結合モデルも複数開発されるようになった。研究代表者らは、この種のモデル開発に世界で初めて成功した。具体的には、気象モデルに結合できる世界初のBEMを開発し、そのBEMと同じく独自開発したCMの結合モデルを米国で開発が進められている領域気象モデルWRFに組込むことで都市気象・建物エネルギー連成数値モデル(以降WRF-CM-BEM; 図1)を構築した。以降、都市気象と建物エネルギー消費の相互作用を考慮可能なWRF-CM-BEMをヒートアイランド対策の評価等の研究に適用してきた(雑誌論文)

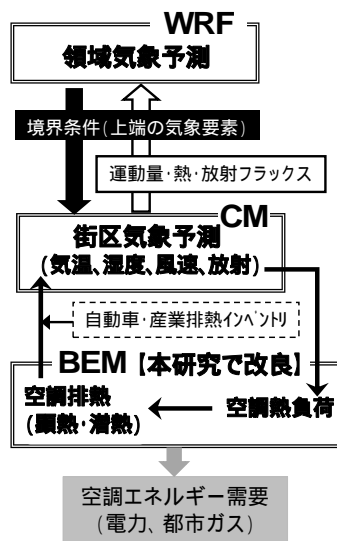


図1 WRF-CM-BEM の概念図

上述研究の一環として、研究代表者らは、2011年の東日本大震災後の電力不足に関連し、夏季東京の地上気象と電力需要分布の予測にWRF-CM-BEMを適用した。各種節電策による気温への影響と節電効果の推計結果を公表し、社会的にも大きな反響があった。しかし、その推計結果は現実の電力需要との比較検証が不十分であった。加えて、WRF-CM-BEMは、気象と太陽光発電(PV)を加味した電力需給の同時予測モデルとして、都市エネルギーマネジメントへの適用を想定し開発したモデルであったが、PV発電量を左右する日射量の予測精度也未検証であった。以上の課題認識のもと、電力会社との事前交

渉を行った結果、大阪域にて街区スケール解像度の電力需要データの入手が可能となった。この電力需要のモニタリングに日射量を含む気象要素の多点観測も同期させる事で、WRF-CM-BEM検証用の実測資料の収集の目途が立った。この事を受け、都市気象・エネルギー予測モデルとしてのWRF-CM-BEMの性能実証に向け本研究を開始するに至った。

2. 研究の目的

都市気象・建物エネルギー連成数値モデルWRF-CM-BEMについて、大都市の電力需給と地上気象・熱環境を同年・高解像度で予測する実用モデルとしての性能実証を目指し、以下5つのサブテーマからなる研究を実施した。サブテーマ毎の具体的な研究目的は次の通りであった。

- (1) BEMの改良
BEMを対象に、多数室モデルへの移行等の改良を行い、空調エネルギー需要予測の精度を向上させる。
- (2) 地上気象・日射量の高密度通年観測
大阪市とその周辺域に5km程度の間隔で従来にない高空間密度の日射観測網を独自に展開し、電力需要量と同期した全天日射量を通年計測し、併せて気温等の地上気象要素も測定する。これによりWRF-CM-BEM検証用の実測資料を得る。
- (3) 電力実需要の気象要素への依存性解析
電力会社より資料提供される街区スケール電力需要量を目的変数、電力需要との同期観測を通じ得られる日射量を含む気象要素を説明変数とし、重回帰分析を行う。その結果から電力需要の各気象要素に対する実態感応度を明らかとし、電力需要の気象依存性の視点からのWRF-CM-BEMの検証資料を得る。
- (4) WRF-CM-BEMの精度検証
(1)で改良されたBEMを含むWRF-CM-BEMを大阪へ適用し、電力需要と地上気象要素を街区スケール解像度で通年シミュレートする。その結果を(2)と(3)の実測ベースの検証資料と比較し、WRF-CM-BEMの都市気象・電力需要予測モデルとしての性能を検証する。
- (5) エネルギーマネジメントへの適用性検討
(4)のシミュレーションにて、WRF-CM-BEMに実装済みのPV発電量予測モデルも駆動し、PV発電量を加味した街区スケール解像度での電力需給解析や省エネ・ヒートアイランド対策に伴う節電効果の予測等を試みる。以上の試行を通じ、WRF-CM-BEMの都市エネルギーマネジメント支援ツールとしての有用性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 研究目的の(1)については、まず BEM に施すべき改良事項の明確化を次の方法で試みた。研究目的(4)の WRF-CM-BEM による電力需要の予測精度検証を先行させ、その結果から空調用途電力需要の予測誤差の発現要因と当該誤差を減ずるための BEM の改良事項の特定を試みた。その結果に基づき改良を行う事とした。

(2) 研究目的(2)については、大阪市とその近郊域より選定した地上レベルと屋上レベル、それぞれ 15 箇所の観測地点に独自に測器を設置し、気象観測を実施した(図 2)。公立小学校等の学校建物屋上の日向箇所に設定した屋上観測点にて、水平面全天日射量(global horizontal irradiance, 以降 GHI)に加え、気圧・気温・相対湿度を計測した。一方、市街地にあっても气象台露場と同程度のオープンスペースが確保された小規模公園内の広場に地上観測点を設け、地上 2.5~3 m の高度の気温・相対湿度も測定した。地上観測点については、屋上観測点がある各学校より距離 500 m 以内の近隣公園内に設定し、同じ地区内に屋上・地上の 1 組の観測点を含めるようにし、計 15 地区で計測を行った。15 地区はそれぞれが異なる変電所からの電力供給エリアに属した。その為、各変電所の電力供給エリア(平均面積 2.2km²)を電力需要データの収集範囲とし、気象観測と同期したエリア毎の毎時の電力需要データも取得し WRF-CM-BEM の検証に用いた。以上の 15 地区はオフィス等の業務系建物が過半を占める C(3 地区)、住宅が過半を占める R(9 地区)、それ以外の混合系の M(3 地区)の 3 種類の地区から構成された(図 2)。また、15 の屋上観測点は隣接地点間の平均距離が 3.8km であり、都市域での従来にない高空間密度の日射計測データが取得できた。なお以上の観測の期間は、2013 年 3 月 14 日から 2014 年 3 月 17 日までの 369 日間であった。測定データのうち、日射量については 5 分毎平均値を更に 1 時間平均した各地点での GHI 値を WRF-CM-BEM の検証資料とした。その他の気圧・気温・相対湿度については、10 分間隔の瞬時計測値の毎正時値を検証に用いた。

(3) 研究目的(3)に関わる重回帰分析では、(2)の実測資料を用い、研究代表者らの既往研究における気温と湿度を説明変数とする重回帰モデルを改良した。具体的には、気温・湿度に加え GHI を説明変数として用いる電力需要の新たな重回帰予測モデルの構築を試みた。

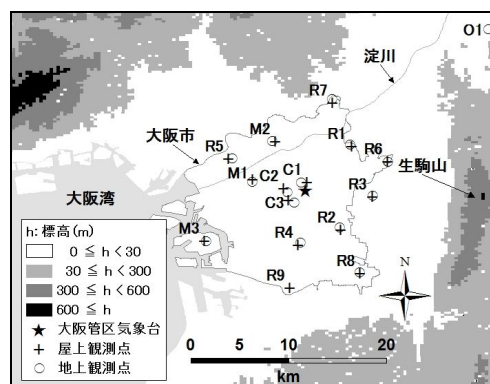


図 2 気象観測地点(屋上・地上)と電力需要データ収集エリア(C:業務系、R:住宅系、M:混合系)

(4) 研究目的(4)については、大阪市とその近郊域を水平格子間隔 1km で解像する WRF-CM-BEM による通年数値実験を行った。その結果を実測資料と比較し、WRF-CM-BEM による GHI、地上気温、電力需要量等の再現精度を検証した。検証に際しては、WRF-CM-BEM を用いる基準ケース(以降、CTRL)に加え、都市キャノピーや人工排熱の効果を考慮せず、都市域を人工被覆の平板(スラブ)として扱うケース(以降、3.0SLAB)の数値実験も行った。この 2 ケースの計算結果を比較する事で、都市効果の考慮の有無が GHI や地上気温等の再現性に与える影響も解析出来るようにした。更に、WRF 部分について CM-BEM と結合済みのバージョン 3.0.1.1 (2008 年 8 月公開版)に加え、最新のバージョン 3.7.1 (2015 年 8 月公開版)の WRF も用い、同モデル上で日射計算への影響が大きい雲微物理モデルの選択を変化させた場合の数値実験も行った。これにより、WRF のバージョンと雲微物理モデルの相違が、特に GHI の再現性に与える影響についても解析した。

(5) 最後に研究目的(5)に関連し、WRF-CM-BEM に実装済みの PV 発電量予測モデルを改良した。建物屋上への PV パネルの設置形態について、従来モデルにおける水平設置だけでなく、屋上に対し任意の傾斜角度で設置された PV パネルのエネルギー収支も表現できるようモデルを改訂した。更に、パネルの表面温度が PV システムの発電効率に及ぼす影響も考慮可能とした。以上の改良後のモデルを用い、都市域での PV 発電量シミュレーションを試行した。

4. 研究成果

(1) 研究目的(1)については、本章(4)で後に詳述する通り、WRF-CM-BEM による夏季電力需要量の再現精度を検証した結果、業務系街区では精度良好である一方、住宅系街区では誤差 40%程度の過大評価が判明した。

その誤差要因を解析した結果、BEM の基本構造に依る事が判明した。具体的には、建物を空調室として単室近似する BEM は、実態が全館空調に近い事務所系建物に比し、部分空調が主の住居ではその空調熱負荷を原理的に過大評価していた。現行の BEM は、建物の非空調スペースの熱負荷を空調機器による処理量から減ずる簡易処理を行っているものの、空調室と非空調室の系の熱収支を考慮しておらず、この点を考慮出来る 2 室熱負荷計算モデルへの改良が必要と考えられた。しかし、以上の住宅系街区での空調電力需要量の再現精度向上に向けた BEM の改良は未完に止まり、今後の研究課題とした。

(2) 研究目的(2)については、前章の研究方法(2)で述べた大阪での通年観測を通じ、WRF-CM-BEM 検証用の実測資料を計画通り収集出来た。実測資料のうち、屋上観測点での気温を解析した結果、東京を対象とした研究代表者らの既往研究と同様、夏季昼間には都心の業務系街区を中心に休日比し平日に最大 1 超の気温上昇が検出された。一方、冬季昼間には反対に観測対象とした全街区で休日比し平日に最大 0.4 程度の気温低下が検出された。以上の結果は、冷暖房を中心とする都市エネルギー消費とその帰結としての人工排熱の平日と休日間の差異が都市気温にもたらした人為的影響と推測された。特に冬季平日の気温低下は、エアコン等の空気熱源ヒートポンプの暖房時における大気からの採熱(負の人工排熱)による気温影響を示唆する興味深い初の観測結果であると結論付けられた(雑誌論文)。以上の他、日射量も解析した結果、大阪市域での GHI の地点間差異の標準偏差は、晴天時や全天曇りの際には減少し、天空が部分的に雲で覆われた曇天時には雲の通過や生成・消滅の影響で増大する特徴が見出された。以上の傾向は、観測点間の距離が増すほど顕著であり、大阪市域での GHI の空間不均一性の統計量について、WRF-CM-BEM 検証に用いる実態値を把握できた。

(3) 研究目的(3)に関しては、まず既存の気温・湿度重回帰モデルから推定される電力需要量と実測需要量を街区単位で通年比較し、その推定誤差の GHI への依存性を解析した。その結果、日射量は照明や冷暖房の電力需要へ影響を与えている可能性が示唆された。この事を踏まえ、GHI を説明変数に追加した重回帰モデルを適用した結果、既存の気温・湿度重回帰モデルに比し、電力需要をより高精度に再現可能であることが判明した。これにより日射も考慮した新たな電力需要重回帰モデルが構築された。加えて、以上の解析を通じ、電力需要の気温・湿度・GHI に対する街区毎の

実態感応度を定量化出来た(雑誌論文)。

(4) 研究目的(4)の数値モデル検証では、まず、WRF-CM-BEM を 2013 年夏季(7 月・8 月)の大阪市域に適用し、多地点の GHI と地上気温、並びに変電所供給区域毎の地域電力需要量のモデルによる再現性を実測資料との比較により検証し、以下の成果を得た。初めに大阪市域の屋上観測点での地点別毎時実測日射量の絶対的再現性を検証した(図 3)。その結果、WRF-CM-BEM は晴天時の GHI を 7% の誤差で再現可能であった。一方、曇天時には雲量の過小予測による日射の過大評価が顕著となり、夏季二ヶ月通期の地点別 GHI の再現誤差は約 40% に達した。しかし、曇天時には日射量そのものが減少する為、地域の PV 発電可能量の総量を左右する GHI 積算値で見た場合、曇天時の GHI 再現精度低下が及ぼす影響は減少し、WRF-CM-BEM は全観測点の積算 GHI を 2 割程度の誤差(過大評価)で再現可能であった。次に、実測日射量の地点間差異の統計量に着目し、GHI の相対的再現性を検証した結果、曇天時の GHI 過大予測に依り統計量の定量的再現性には一部問題が認められた。しかし、晴天時に比し曇天時に GHI 地点間差異の平均と標準偏差が共に増加し、その傾向は基準観測地点から遠い観測地点でより顕著となる点で、WRF-CM-BEM は実測 GHI に見られた空間不均一性を定性的には再現可能であった。以上の検証は、都市域での従来に無い高空間解像度の日射分布について、実測に見られるその空間不均一性の特徴と気象モデルによるその再現性を明確化した点で意義深いものであった。また、検証では、Overcast を除く晴天と部分的曇りの天空条件下で WRF のバージョンと雲微物理モデルの選択に依らず安定した GHI の再現性が確認され、曇天時の精度低下の度合いを含め、気象モデルの GHI 予測精度を検証した多くの先行研究と概ね整合的な結果が得られた。本研究でも確認された曇天時の雲量過小予測には、多くの先行研究と同様、領域気象シミュレーションの初期・境界条件に雲無し(水蒸気凝結無し)の条件を用いた事が関係したものと推察された。この点に関し、近年の研究では、人工衛星データを利用し雲の 3 次元分布を初期条件に反映させる雲データ同化も試みられつつある。当該手法の導入は、曇天時の GHI 再現性の向上に寄与する可能性があり、今後の研究課題と位置付けられた。

以上に加え、GHI の再現性が良好であった 2013 年 8 月上旬を対象に、地上気温と電力需要量の再現性も検証した。その結果、WRF-CM-BEM による大阪市域の地上気温の再現性は、米国の類似モデルである WRF-BEP+BEM による先行研究に比し、良好である事が確認された。一方、電力需要量につ

いては、研究代表者らの既往研究における東京での検証と同等の再現性が確認された。WRF-CM-BEMによる地域電力需要量の現段階での再現精度は、業務地区にて誤差10%前後と良好である一方、住宅地区では誤差40%程度の過大評価であり(雑誌論文)

住居に多い建物部分空調を陽に考慮する方向へBEMを改良し、更なる精度改善が今後必要と結論付けられた。

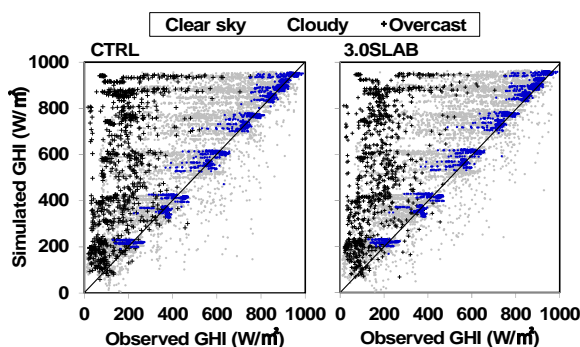


図3 GHIの実測値と計算値の天空分類の比較(計算値は左図がCTRLケース、右図が3.0SLABケース。屋上観測点での2013年7月・8月のデータをプロット。)

上述の夏季に加え、2013年度の他の季節についても同様にWRF-CM-BEMの検証を行った。その結果、日射量については晴天時の良好な再現性や曇天時の精度低下の点で、WRF-CM-BEMは概ね夏季と同様のGHIの再現性を示した。地上気温と電力需要量についても、前者では誤差が1強に収まる良好な再現性、後者では業務地区で高精度である一方で住宅地区では電力需要の過大評価を示す点で、やはり夏季と同様の結果が得られた。

以上、本研究での検証を通じ、日射量と電力需要量の更なる予測精度改善に向け、WRF-CM-BEMの改良の方向性を明確化出来た。その改良の実施を今後の研究課題として残したものの、WRF-CM-BEMの都市気象・電力需要予測への適用ポテンシャルの視点での将来性を明らかにすることが出来た。

(5) 研究目的(5)に関連し、前述の研究方法(5)の改良を施したPV発電量予測モデルによる数値実験を試行した。街区内部での隣棟ビル影も反映されたモデル予測日射量を建物群屋上に想定したPVパネル面のエネルギー収支において考慮する方法で街区スケールのPV発電量をWRF-CM-BEMによりシミュレートした。しかし、発電量ベースの検証は実測資料を入手出来なかった故に未実施であり、この為、WRF-CM-BEMによる予測電力需要量も加味した電力需給の解析も未実施に終わった。これにより、WRF-CM-BEMの都市エネルギーマネジメント支援ツールとしての有用性については、

(4)の気温・日射量と電力需要量の予測精度検証を通じそのポテンシャルを示すに止まった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計12件)

橋本侑樹・鍋島美奈子・重田祥範・亀卦川幸造・井原智彦, 業務および住宅街区の気温・湿度に対する電力感応度の解析と考察 2013年・大阪市内の観測を通して, 日本建築学会環境系論文集, 査読有り, 掲載決定(2016年5月31日).

Y. Ohashi, T. Ihara, Y. Kikegawa, N. Sugiyama, Numerical simulations of influence of heat island countermeasures on outdoor human heat stress in the 23 wards of Tokyo, Japan, *Energy and Buildings*, Vol. 114, pp.104-111, DOI: <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.027>, 査読有り, 2016.

Y. Ohashi, M. Suido, Y. Kikegawa, T. Ihara, Y. Shigeta, M. Nabeshima, Impact of seasonal variations in weekday electricity use on urban air temperature observed in Osaka, Japan, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 142(695), pp.971-982, DOI: <http://doi.org/10.1002/qj.2698>, 査読有り, 2016.

高根雄也・青木翔平・亀卦川幸造・山川洋平・原政之・近藤裕昭・飯塚悟, 領域気候・都市気候・建物エネルギー連成数値モデルを用いた名古屋市内における夏季の電力需要および温熱快適性の将来予測, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 80(716), pp.973-983, DOI: <http://doi.org/10.3130/aije.80.973>, 査読有り, 2015.

亀卦川幸造, 都市気候・建物エネルギー連成数値モデルの開発と適用, 環境科学会誌, Vol.28(1), pp.37-44, 査読有り, 2015.

Y. Kikegawa, A. Tanaka, Y. Ohashi, T. Ihara, Y. Shigeta, Observed and Simulated Sensitivities of Summertime Urban Surface Air Temperatures to Anthropogenic Heat in Downtown Areas of Two Japanese Major Cities Tokyo and Osaka, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol.117(1-2), pp.175-193, DOI: <http://doi.org/10.1007/s00704-013-0996-8>, 査読有り, 2014.

Y. Ohashi, Y. Kikegawa, T. Ihara, N. Sugiyama, Numerical Simulations of Outdoor Heat Stress Index and Heat Disorder Risk in the 23 Wards of Tokyo, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol.53(3), pp.583-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-13-0127.1>, 査読有り, 2014.

重田祥範・高岡利行・大橋唯太・亀卦川幸浩・平野勇二郎, 都市内の大規模緑地もたらす大気冷却効果 大阪城公園の事例, 日本生気象学会雑誌, Vol. 50(1), pp.23-35, DOI: <http://dx.doi.org/10.11227/seikisho.50.23>, 査読有り, 2013.

引地裕基・加藤晏明・亀卦川幸浩・大橋唯太・重田祥範・井原智彦・鍋島美奈子, 大阪都市圏での通年・高密度日射観測にもとづく都市気象・太陽光発電量予測システムの検証, 第41回環境システム研究論文発表会講演集, pp115-120, 査読無し, 2013.

[学会発表](計21件)

高根雄也・亀卦川幸浩・井原智彦・大橋唯太・山川洋平・原政之・近藤裕昭・飯塚悟, 都市気候・建物エネルギー連成数値モデルによる電力需給予測へ向けた取り組み, 日本気象学会 2015年度秋季大会, 2015年10月30日, 京都テルサ(京都府・京都市).

山川洋平・徳武衿也・亀卦川幸浩・大橋唯太・井原智彦・重田祥範・鍋島美奈子, 日射空間偏差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, 日本気象学会 2015年度秋季大会, 2015年10月30日, 京都テルサ(京都府・京都市).

橋本侑樹・井原智彦・大橋唯太・鍋島美奈子・重田祥範・亀卦川幸浩, 街区スケールでの気象要素に対する電力感応度モデル—日射を考慮した新たなモデルの考案—, 第10回日本ヒートアイランド学会全国大会, 2015年8月29日, 日本工業大学(埼玉県・宮代町).

Y. Kikegawa, Y. Ohashi, T. Ihara, M. Nabeshima, Y. Shigeta, Comprehensive validation of a simulation system for simultaneous prediction of urban climate and building energy demand, 9th International Conference on Urban Climate, 24 Jul 2015, Toulouse (France).

Y. Hashimoto, T. Ihara, Y. Ohashi, M. Nabeshima, Y. Shigeta, Y. Kikegawa, Sensitivity of electricity consumption to air temperature, air humidity and solar radiation in city-block scale - Based on 2013 Osaka city observation -, 9th International Conference on Urban Climate, 24 Jul 2015, Toulouse (France).

大橋唯太・出納誠・亀卦川幸浩・井原智彦・重田祥範・鍋島美奈子, 平日と休日の人間活動の違いが都市熱環境に及ぼす影響 大阪平野における気温の年間測定から, 日本気象学会 2015年度春季大会, 2015年5月22日, つくば国際会議場(茨城県・つくば市).

Y. Kikegawa, Y. Ohashi, T. Ihara, M. Nabeshima, Y. Shigeta, A Japanese

validation project of a numerical model for simultaneous prediction of urban climate and building electricity demand, 14th EMS Annual Meeting & 10th European Conference on Applied Climatology (ECAC), 9 Oct 2014, Prague (Czech Republic).

亀卦川幸浩・近藤裕昭・大橋唯太・井原智彦, 都市気候・建物エネルギー連成シミュレーション, 第54回大気環境学会年会・都市大気環境モデリング分科会(依頼講演), 2013年9月18日, 朱鷺メッセ(新潟県・新潟市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

亀卦川 幸浩 (KIKEGAWA YUKIHIRO)
明星大学・理工学部・教授
研究者番号: 20409519

(2) 研究分担者

井原 智彦 (IHARA TOMOHIKO)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授
研究者番号: 30392591

大橋 唯太 (OHASHI YUKITAKA)
岡山理科大学・生物地球学部・准教授
研究者番号: 80388917

鍋島 美奈子 (NABESHIMA MINAKO)
大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 90315979

高根 雄也 (TAKANE YUYA)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・その他部局等・研究員
研究者番号: 80711952