

2024 年度堀内賞の受賞者決まる

氏名：

亀卦川幸浩

所属：

明星大学理工学部

研究業績：

空調の排熱が引き起こす都市の高温化を加速するメカニズムのモデル化とその応用
選定理由：

ヒートアイランド現象をもたらす要因の一つとして、人間活動による都市への排熱（人工排熱）がある。これまで気象モデルを用いて都市域の気象を計算する際、人工排熱データは時折使用されてきた。この人工排熱データは、燃料や電力の使用に関する統計データを空間的に人口分布等で重みをつけて作成され、時間別・月別程度には整理されていたものの、気象条件に応じて排熱量が変化することは考慮されていなかった。

亀卦川氏は、一辺が 0.5～2km 程度の範囲に異なる高さのビルが存在する街区を対象とした多層都市キャノピーモデルの開発に貢献した（業績 1、2）。一般にメソスケール気象モデルでは数 km 間隔の格子内の地表面は一様な粗度が仮定されるが、亀卦川氏は新たに、都市に特徴的な建物の存在による放射、風、気温に対する影響や人工排熱の効果、すなわち都市キャノピーの熱的・力学的な作用を表現する運動量・熱・水蒸気の鉛直 1 次元拡散方程式を基本とした鉛直多層のモデルを開発した。街区模型として、建物高度の非均一性が考慮された 3 次元模型とすることで、太陽光の入射方位が、4 方向を向く建物の側面に対して時間的に変化することを考慮した。

これに加え、亀卦川氏は、建物の空調エネルギー消費量や空調排熱、及び建物の換気・漏気に伴う外気への放出熱量等を予測する Building Energy Model (BEM) を開発した（業績 3）。このモデルは、工学分野で単体の建築を対象に空調設計等に広く実用されてきた詳細な建物エネルギー収支モデルをキャノピーモデルの解像度に合わせ単純化したものであり、都市スケールの建築群へ適用可能な気象モデル用の世界初の BEM として評価されている。BEM では建物から外気への放出熱は空冷式と水冷式の空調を考慮して顕熱・潜熱別に計算され、キャノピー層の気温・比湿予測式の発生・吸収項を介してキャノピーモデルへフィードバックされる。これに対し、メソスケール気象モデルは都市上空の境界気象条件を供給する。この結合モデルは、都市気候モデルの今日的な標準構成として受け入れられ、排熱がもたらす都市気温へのフィードバックを動的に模擬できる世界初のモデルシステムとしての評価を得ている。

亀卦川氏は、開発したモデルを東京大手町の 500m 四方の領域に適用し、人工排熱による気温上昇の影響評価や、ビルの空調エネルギーおよび室温の時間変化の再現、気温 31℃以上での電力需要の気温感応度の再現に成功した。空調排熱を対象とした緩和技術の影響の幅を定量的に示すとともに、比較的簡単なモデルで空調システムやビル構造、人の流れ、地球温暖化に対するエネルギー需要の変化とそれに伴う都市の外気温・湿度の変化などを予測することが可能であることを示した（業績 4）。また計算対象を東京 23 区全体に広げ、建物が密集し空が見える割合が 0.8 以下の場合は壁面・屋上にヒートアイランド対策を打つ方が効果的であり、逆に建物が少なく空が見える割合が 0.8 を超える場合は地面に対策を打つ方が効果的である

こと、さらに、空が見える割合が小さいほど対策の効果が高いことを示した（業績5）。また、建物の断熱性等を考慮して全街区をオフィス街区、中層住宅街区、低層木造住宅街区の3つに分け、街区毎の空調装置の違いや配置場所を考慮した計算を実施し、東京23区のヒートアイランド対策技術の評価に成功した。

さらに亀卦川氏は、開発した都市モデルをメソ気象モデルWRF(Weather Research and Forecasting)に組み込み、東京・大阪の街区における人工排熱量と気温上昇の関係を定量的に評価した（業績6）。このように比較的単純なモデルで都市の排熱対策と、排熱が外気温に与える影響を定量的に求めることができることを示したことは世界的に大きなインパクトを与え、その後世界的にも類似のモデルの開発が進み、比較用のデータを提供することで国際的な発展にも寄与した（業績7、8）。

亀卦川氏が開発したモデルは都市における街区の特徴と人工排熱の差異を考慮して都市内の気温・湿度・長短波放射を高分解能かつ高精度で予測し、都市を中心とする気象モデルの高精度化に寄与してきた。この特徴を生かして、ヒートアイランドが人体やエネルギー消費にもたらす影響とその対策を評価するためによく用いられている（業績9-18）。亀卦川氏は世界に先駆けて都市の空調設備による排熱を中心とし、都市街区の構造や人工排熱にかかわるエネルギー保存を考えたモデルを構築し、空調排熱による温度上昇や排熱と気温のポジティブ・フィードバックを定量的に評価する手法を確立した。以上の一連の手法は気象モデルの高精度化を通して将来の都市域の温熱環境、エネルギー消費、CO2削減や人体への影響評価、都市降水の予測精度向上などの各分野に広く応用されるに至っており、気象学および気象技術の発展・向上に大きな影響を与えている。

以上の理由により、日本気象学会は亀卦川幸浩氏に2024年度堀内賞を贈呈するものである。

堀内賞を贈呈するものである

業績一覧：

- 1) Kondo, H. Y. Kikegawa, 2003: Temperature variation in the urban canopy with anthropogenic energy use. *Pure Appl Geophys*, 160, 317-324.
- 2) Kondo, H., Y. Genchi, Y. Kikegawa, Y. Ohashi, H. Yoshikado, H. Komiyama, 2005: Development of a multi-layer urban canopy model for the analysis of energy consumption in a big city: Structure of the urban canopy model and its basic performance. *Boundary-Layer Meteorol*, 116, 395-421.
- 3) Kikegawa, Y., K. Nakajima, Y. Takane, Y. Ohashi, T. Ihara, 2022: A quantification of classic but unquantified positive feedback effects in the urban-building-energy-climate system. *Appl Energy*, 307, 118227.
- 4) Kikegawa, Y., Y. Genchi, H. Yoshikado, H. Kondo. 2003: Development of a numerical simulation system toward comprehensive assessments of urban warming countermeasures including their impacts upon the urban buildings' energy-demands. *Appl Energy*, 76, 449-466.

- 5) Kikegawa, Y., Y. Genchi, H. Kondo, K. Hanaki, 2006: Impacts of city-block-scale countermeasures against urban heat-island phenomena upon a building's energy-consumption for air-conditioning. *Appl Energy*, 83, 649-668.
- 6) Kikegawa, Y., A. Tanaka, Y. Ohashi, T. Ihara, Y. Shigeta, 2014: Observed and simulated sensitivities of summertime urban surface air temperatures to anthropogenic heat in downtown areas of two Japanese major cities, Tokyo and Osaka. *Theor Appl Climatol*, 117, 175-193.
- 7) Mohan, M., Y. Kikegawa, B. R. Gurjar, S. Bhati, A. Kandya, K. Ogawa, 2012: Urban heat island assessment for a tropical urban airshed in India. *Atmos Clim Sci*, 2, 127-138.
- 8) 亀卦川幸浩, 石坂泰斗, 保刈和也, M. Mohan, B. R. Gurjar, 2011: 乾季デリーにおける気温分布構造とヒートアイランド対策ポテンシャルに関する研究. *土木工学論文集 G*, 67, II-315-II-326.
- 9) Ihara, T., Y. Kikegawa, K. Asahi, Y. Genchi, H. Kondo, 2008: Changes in year-round air temperature and annual energy consumption in office building areas by urban heat-island countermeasures and energy-saving measures. *Appl Energy*, 85, 12-25.
- 10) Ohashi, Y., Y. Kikegawa, T. Ihara, N. Sugiyama, 2014: Numerical simulations of outdoor heat stress index and heat disorder risk in the 23 wards of Tokyo. *J Appl Meteorol Climatol*, 53, 583-597.
- 11) Ohashi, Y., T. Ihara, Y. Kikegawa, N. Sugiyama, 2016: Numerical simulations of influence of heat island countermeasures on outdoor human heat stress in the 23 wards of Tokyo, Japan. *Energy Build*, 114, 104-111.
- 12) Takane, Y., Y. Kikegawa, M. Hara, T. Ihara, Y. Ohashi, S. A. Adachi, H. Kondo, K. Yamaguchi, N. Kaneyasu, 2017: A climatological validation of urban air temperature and electricity demand simulated by a regional climate model coupled with an urban canopy model and a building energy model in an Asian megacity. *Int J Climatol*, 37, 1035-1052.
- 13) Hashimoto, Y., Y. Ohashi, M. Nabeshima, Y. Shigeta, Y. Kikegawa, T. Ihara, 2019: Sensitivity of electricity consumption to air temperature, air humidity and solar radiation at the city-block scale in Osaka, Japan. *Sustainable Cities Society*, 45, 38-47.
- 14) Takane, Y. Kikegawa, M. Hara, C. S. B. Grimmond, 2019: Urban warming and future air-conditioning use in an Asian megacity: importance of positive feedback. *npj Clim Atmos Sci*, 2, 39.

- 15) Takane, Y., Y. Ohashi, C. S. B. Grimmond, M. Hara, Y. Kikegawa, 2020: Asian megacity heat stress under future climate scenarios: impact of air-conditioning feedback. *Environ Res Commun*, 2, 015004.
- 16) Nakajima, K., Y. Takane, Y. Kikegawa, Y. Furuta, H. Takamatsu, 2021: Human behaviour change and its impact on urban climate: Restrictions with the G20 Osaka Summit and COVID-19 outbreak. *Urban Clim*, 35, 100728.
- 17) Takane, Y., K. Nakajima, Y. Kikegawa, 2022: Urban climate changes during the COVID-19 pandemic: Integration of urban-building-energy model with social big data. *npj Clim Atmos Sci*, 5, 44.
- 18) Nakajima K. Takane, Y. Kikegawa, K. Yamaguchi, 2023: Improvement of WRF-CM-BEM and its application to high-resolution hindcasting of summertime urban electricity consumption. *Energy Build*, 296, 113336.