

# 人工的な増風による都市境界層内の上向き熱フラックスの減少 Reduction of Upward Heat Flux in Idealized Urban Boundary Layers by Artificially Generated Winds

○丹治星河、竹見哲也  
○Seika Tanji, Tetsuya Takemi

Increase in upward heat flux due to the urban heat island effect plays a role in enhancing ascent that will lead to cumulus clouds and thereby can cause heavy rainfall in urban areas. We propose a method of reducing upward heat flux in the heated urban boundary layer by installing wind boosters mounted on high-rise buildings in urban areas. This study investigated the effects of the wind booster on reducing upward heat in ideal urban areas flux using a building-resolving large-eddy simulation model and a wind booster model which represented artificially increasing wind speed within a limited area at elevated heights. The simulation results indicated that wind boosters reduced vertically integrated upward heat flux within the boundary layer by more than 20% compared to the no-booster condition. Sensitivity tests in which the velocity of the boosters were systematically varied revealed nonlinear relationships with the reduction ratio of upward heat flux. The sensitivity experiments revealed that there were optimal values for the velocity and angle for maximum reduction.

## 1. はじめに

都市ヒートアイランド(UHI)に伴う地表付近の加熱は、上昇流を強化し、都市における局地的な降水の原因になる。先行研究では、都市部の顕熱フラックスを 20%削減すると、都市部で発達する孤立積乱雲による降水量は 20%減少するということが示された<sup>[1]</sup>。実際に都市部の上向き熱フラックスを操作する方法としては、都市部の建物構造を変更すること<sup>[2]</sup>や都市部の熱源や熱輸送を人工的に制御することが挙げられる。本研究では、後者の一例として、人工的に都市部の地表付近を増風することで、都市区域内で顕熱や排熱として放出された熱の輸送がどのように変化するか調べることを目的とする。そのために、建物解像 Large-eddy simulation (LES)モデルと増風機モデルとを組み合わせ、理想的な建物群での乱流の数値シミュレーションを行う。本研究では、人工的に増風させる装置を増風機と呼ぶことにする。また、シミュレーションの結果は、孤立積乱雲の原因となる上向き熱フラックスに注目する。

## 2. シミュレーションの内容

本研究では、建物解像 LES モデルとして PALM<sup>[3]</sup>を使用した。初期場として主風向へ  $0.6 \times 10^{-3} \text{ Pa m}^{-2}$  の圧力傾度を与え、温位は 300 K で一様とした。モデルの水平格子間隔は 2 m、鉛直方向は最小格

子間隔を 2 m としてモデル上端高度 491.7 m まで計算した。UHI 効果として、建物表面から  $0.02 \text{ K m s}^{-1}$ 、地表面から  $0.06 \text{ K m s}^{-1}$  の熱放出があるものとした。積分時間は 3600 秒である。計算領域である都市区域の大きさは、500 m × 212 m である(図 1)。この領域内に高さ 20 m、40 m、60 m の 3 種類のブロックを 10 m 間隔でランダムに並べた。ブロックの縦横の長さは 20 m である。都市区域の周囲には粗度ブロックを配置した。

増風機による強風効果は、ある領域における風速を変更することで再現した。主風向方向を  $x$ 、スパン方向を  $y$ 、鉛直方向を  $z$  とすると、風速変更領域は  $(x, y, z) = (88 \text{ m}, 64 \text{ m}, 80 \text{ m}), (80 \text{ m}, 124 \text{ m}, 80 \text{ m}), (88 \text{ m}, 184 \text{ m}, 80 \text{ m})$  の 3 か所を中心とし、 $y$ - $z$  方向に 22 m × 22 m の大きさとした。増風機の風速は  $u_b = -w_b = 5 \text{ m s}^{-1}, 10 \text{ m s}^{-1}, 15 \text{ m s}^{-1}, 20 \text{ m s}^{-1}, 25 \text{ m s}^{-1}$  とした 5 種類とし、実験を行った。ただし、 $u_b, w_b$  はそれぞれ  $x, z$  方向における増風機による風速である。つまり、いずれの実験においても増風機は主風向かつ鉛直下向き  $45^\circ$  の斜め下を向いている。また、比較のために増風機の設置なしの実験も行った。

## 3. 結果

図 2 は、 $u_b = -w_b = 15 \text{ m s}^{-1}$  の実験における主

風向風速および上向き熱フラックスの時空間平均を鉛直分布で示している。増風機の効果により、高さ 100 m 以下で風速が強まっている。上向き熱フラックスは、増風機の有無にかかわらず高さ 60 m 付近にピークを持つが、値は増風機を設置した場合のほうが小さい。図 3 は、増風機を設置した 5 種類の実験それぞれの上向き熱フラックスの鉛直積算量について、設置なしの場合との比を示したものである。この散布図より、いずれの実験においても積算熱輸送量は 15% 以上減少し、 $u_b = -w_b = 15 \text{ m s}^{-1}$  のときに積算熱輸送量は最小値を持つことが示された。以上より、増風機には上向き熱フラックスの削減に対して適切な風速があるということが分かった。

#### 4. まとめ

本研究では、極端に熱がたまらないように人工的に都市部の地表付近を増風させて換気を即すことで、孤立積乱雲の発達の原因となるような上向き熱フラックスが減少するということを数値シミュレーションによって示した。また、上向き熱フラックスを効率よく減少させることに対して、増風機の風速の最適値があることが分かった。しかし、本実験設定で増風機を設置することは地表付近における災害級の強風の原因となるので、都市部の上向き熱フラックスの減少と地表付近の安全とを両立できるような増風機の大きさや風速を見積もる必要がある。

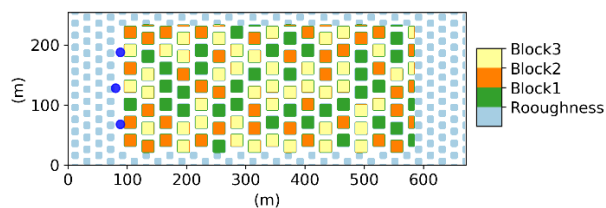


図 1 計算領域. 高さは、Block1 が 20 m, Block2 が 40 m, Block3 が 60 m である。青丸は増風機の

中心位置。

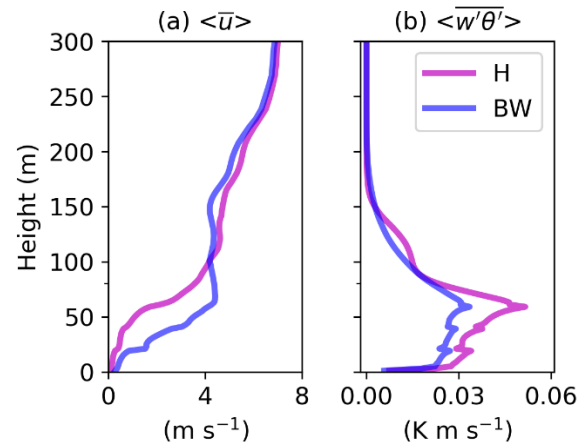


図 2  $u_b = -w_b = 15 \text{ m s}^{-1}$  の実験における (a) 主風向風速および (b) 上向き熱フラックスの時空間平均の鉛直分布。H が増風機なし、BW が増風機ありの結果である。

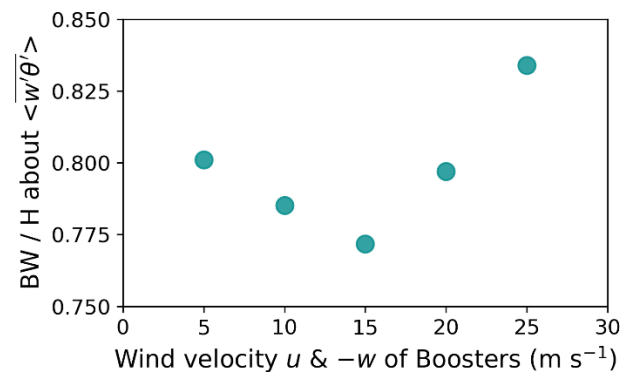


図 3 上向き熱フラックスの鉛直積算量の減少割合と増風機の風速との関係。

#### 参考文献

- [1] Irie, K., and T. Takemi, 2025, Theor Appl Climatol, **156**, 308.
- [2] Tanji, S., et al., 2024, Wind Eng Ind Aerodyn, 254, 105906.
- [3] Maronga, B., et al., 2020, Geosci. Model Dev, **13**(3), 1335–1372.