

大阪中心部における夏季午後の降雨に対する熱フラックス改変実験

Heat Flux Modification Experiment for the Summertime Afternoon Precipitation in Central Osaka

○入江 健太・竹見 哲也

○Kenta IRIE, Tetsuya TAKEMI

This study aimed to investigate the impact of suppressing sensible heat fluxes (HFX) on precipitation patterns. The Weather Research and Forecasting (WRF) model simulated precipitation events over the central Osaka region. In an experimental setting with a 50% reduction in HFX, an approximately 78% decrease in temporal cumulative precipitation in the region was observed when compared to the control experiment where HFX remained unrestricted. This result highlighted the potential for controlling precipitation through the suppression of HFX.

1. 背景と目的

都市と降水の関係は 1970 年代から研究が始まり、近年はヒートアイランドとの関係が調査されている。アメリカでは METROMEX や ATLANTA など大規模なプロジェクトが行われてきた (Bornstein and Lin, 2000; Shem and Shepherd, 2009)。日本国内でも東京などの大都市における調査がこれまでに行われてきた。今回、解析対象となる大阪は、統計的に降水が少ない (竹見・土田, 2014) ことに加え、都市降水の研究がほとんどないため、本研究では大阪を対象として解析を行った。

ヒートアイランドの効果を評価するために、土地利用を変化させた感度実験 (例えば都市から水田など) や都市キャノピーモデルを用いた実験が現在の主流である。現在までの知見として都市の熱が増加することによる降水増加が示唆されており、将来気候における擬似温暖化条件下の実験でも降水量の増加が示されている (Doan et al., 2022)。このように顕熱フラックス (Sensible Heat Flux; HFX) が降水量増加に寄与することは多くの知見が蓄積されている一方で、HFX を減少させる実験は多くない。そのため本研究では、HFX を減少させることで降水にどのような影響が生じるかについて調査することを目的とする。

2. 事例選定手法

本研究で対象とする現象は、都市で夏季の日中に急速に発達する積乱雲である。初めに事例選定方法について紹介する。抽出期間は 2020 年から 2023 年の 7 月から 9 月である。使用したデータは京都大学生存圏研究所データベースから取得した全国合成レーダー-GPV である。大阪中心部の降水を対象とするために、アメダス大阪観測所 (34.68°N, 135.52°E) を中心とした 1°×1°の領域を設定した。アメダス大阪を中心とした半径 10 km と半径 20 km の円領域を設定し、それぞれの領域を内側領域、外側領域と呼ぶ。積乱雲抽出に用いた条件は以下の通りである：

- ① 時刻 T において内側領域に 10 mm h⁻¹ を超えるシグナルがある。
- ② 時刻 T の 30 分前に外側領域に 1 mm h⁻¹ 以上のシグナルがない。
- ③ 時刻 T から 30 分後まで内側領域でシグナルが強くなっている。
- ④ 抽出時刻が 12 時から 17 時 JST の間であり、前線や台風が緯度経度 5°以内に存在しない。

以上の条件を用いて抽出された 2023 年 8 月 27 日が積乱雲を発生させるポテンシャルを持つ環境場であるとし、実験を構成した。

3. モデル設定

本研究で用いたモデルは Weather Research and Forecasting Model Ver. 4.1.3 (Skamarock et al., 2019) である。計算領域（ドメイン）を入れ子構造（ネスティング）で設定し、3 段階ネスティングにより計算を行った。設定したドメインは日本域を完全にカバーする領域 (D01, 図 1a 黒枠)、九州から東北をカバーする領域 (D02, 図 1b 青枠)、アメダス大阪を中心とする近畿地域をカバーした領域 (D03, 図 1b 赤枠) である。水平解像度は D01 で 4.5 km、D02 で 1.5 km、D03 で 500 m と設定した。また、降水の再現には鉛直解像度も関係することから、下層ほど密な鉛直座標系を設定した。初期値・境界値には欧州中期予報センターが作成した、ERA5 再解析データ (Hersbach et al., 2020) を用いた。今回の実験で都市キャノピーモデルは使用していない。解析時刻は 9 時から 21 時 JST である。

対象とする短時間で発達する積乱雲は、発生に対するランダム性が高く、単一実験ではカオス性を見ている可能性が高いため、計算初期時刻を変化させて 8 つのメンバーを作成し、その平均を見ることが不確実性を多少軽減した。HFX を改変した実験 (HFX50) として、計算で出力される HFX を D03 で 50% に減少させたメンバーを 8 つ作成し、それらの平均をコントロール実験 (CTL; 改変なし) と比較し調査した。また、上述のランダム性を考慮し、実験では降水位置の誤差は許容した。

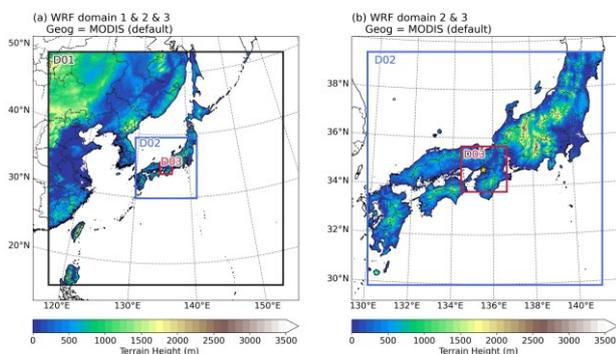


Figure 1. The region of the simulation. (a) All domains (D01, D02 and D03), (b) D02 and D03. Shading indicates the terrain height (m) and the yellow star indicates AMeDAS Osaka station (34.68°N, 135.52°E).

4. 改変前と改変後の降水

図 2a には CTL (黒線) と HFX50 (青線) の、外側領域の都市グリッドで平均した HFX ($W m^{-2}$) をそれぞれ示している。どちらの実験も HFX の日変化が再現され、昼にピークをもつ。改変後の HFX50 では、HFX を 50% カットしたものの、他の計算・物理過程の影響で HFX の値は 50% を前後している。このように HFX を改変したことで、大阪中心部における午後の降水にどのような影響があったかを次に示す。

図 2b には CTL と HFX50 の外側領域で平均した降水量 ($mm h^{-1}$) をそれぞれ示している。CTL の降水量は 12 時過ぎに増え始め、15 時にピークを持ち、夜になるにつれて減少している。一方で HFX50 の降水量は増え始めが CTL よりも遅く、CTL と同様に 15 時にピークをもつものの、CTL よりも小さい値となった。外側領域の都市グリッドにおける CTL と HFX50 の解析期間で積算した領域平均降水量を比較すると、HFX50 ($5.3 mm h^{-1}$) は CTL ($23.8 mm h^{-1}$) の約 22% となっており、HFX を減少させることで都市部の降水量が減少することが示された。

今回は D03 全域で HFX を 50% 改変する実験の結果を示した。今後は現実的な介入方法を模索するために、HFX の改変領域や改変割合を変えながら調査する予定である。また、HFX 改変による降水量変化の物理メカニズムについても調査を進めていく。

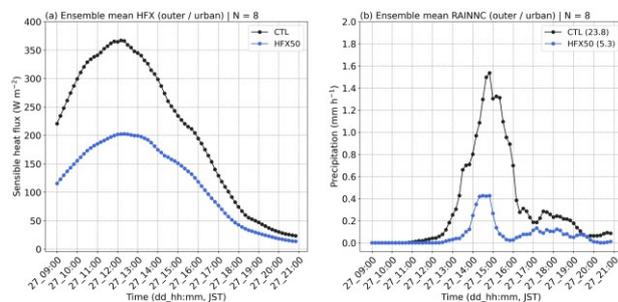


Figure 2. Time series of (a) HFX ($W m^{-2}$) and (b) precipitation ($mm h^{-1}$) averaged over the outer region where land use is urban. The CTL (HFX50) plot is the black (blue) line.