

京阪神地域における都市が夏期降水に与える影響の数値解析

Numerical analysis of the impact of urbanized land cover on summertime precipitation in Keihanshin area

○笠本 健士朗 (大阪大学) 嶋 寺 光 (大阪大学)
松尾 智仁 (大阪大学) 近藤 明 (大阪大学)

Kenshiro Kasamoto*¹ Hikari Shimadera*¹ Tomohito Matsuo*¹ Akira Kondo*¹

*¹ Osaka University

The urban heat island may affect rainfall frequency and intensity. This study utilized the Weather Research and Forecasting model (WRF) to estimate the impact of urbanized land cover on rainfall in Keihanshin area. The impact of urban land use was estimated by comparing two simulation cases with the present land use data and no-urban land use data in which “urban area” was replaced by “grassland”. The urbanized land cover increased rainfall by enhancing the formation and development of convective clouds under unstable atmospheric conditions. While both rainfall frequency and intensity increased because of the urbanized land cover, there was a remarkable enhancement in the intensity of short-term strong rainfall.

はじめに

ヒートアイランド現象は、猛暑や熱帯夜の原因となるだけでなく、局地的降雨にも影響していると言われている¹⁾。日本の主要都市の一つである大阪では、ヒートアイランド現象によって気温が上昇し、観測データから短時間強雨が増加傾向にあることがわかっている²⁾。これまでに、限定された都市域において降雨頻度が増加していること³⁾、土地利用を変更することで都市化が局地気象に影響を与えていること⁴⁾がわかっているが、日本の主要都市において発生する都市化によるヒートアイランド現象と降雨の関係およびその降雨強度への影響については明確になっていない。また、数値モデルを用いた数値計算においては、観測データの分析のみによる評価では取り除くことが困難である広域的な気候変動をはじめとする様々なほかの要因による影響を排除し、都市化の影響だけを切り出した解析を行うことができる。したがって、本研究では、都市化の降雨に対する影響を評価するために、日本の主要都市の一つである大阪市を含む京阪神地域を対象に、数値モデルを用いた数値解析を行った。

1. 計算条件

1.1 気象モデル

本研究では気象モデルに Weather Research and Forecasting model (WRF)⁵⁾ のバージョン 3.5 を使用した。本研究で使用した WRF の設定を Table.1 に示す。

Table.1 WRF configurations

Parameter	Setting
Topography	USGS (30 sec)
Land use	GIA of Japan (100 m)
Initial and boundary	NCEP FNL, REG-SST-HR, MSM-GPV
Nesting	No feedback
Cumulus	Off
Microphysics	WSM6
Radiation	Dudhia / RRTM
PBL	YSU
Land surface	Noah LSM (without UCM)
Analysis nudging	Off

1.2 計算領域・計算期間

本研究で使用した WRF の計算領域および地域気象観測所の位置を Fig.1 に示す。計算領域は近畿地方を対象とする D01 と京阪神地域を対象とする D02 とした。計算期間は 2006～2015 年の各年の 6 月 24 日～6 月 30 日を助走期間、7 月～9 月の 3 ヶ月間を評価対象期間とした。

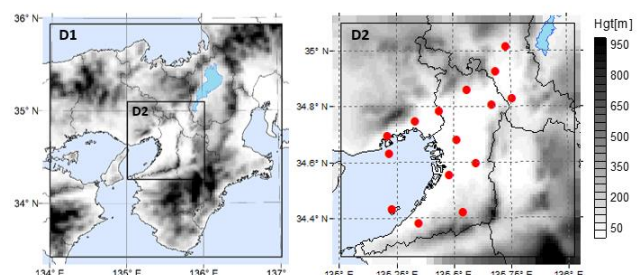


Fig.1 Modeling domain and locations of meteorological observatories

1.3 解析ケース

本研究では、ヒートアイランド現象が降雨に及ぼす影響を評価するために、現況土地利用を用いた URBAN ケースと、D02 の「都市域」を「草地」に変更した土地利用を用いた NOURB ケースで計算を行った。URBAN ケースと NOURB ケースの土地利用分布を Fig.2 に示す。

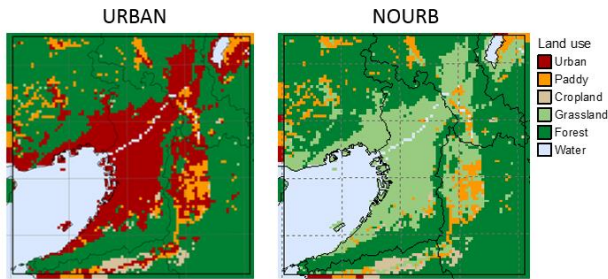


Fig.2 Land cover of URBAN case and NOURB case

2. 計算結果と考察

2.1 再現性評価

対象期間である 2006 年から 2015 年各年の気温、風速の日平均値の月平均値、および月積算降水量の平均値についての縦軸を URBAN ケースの計算値、横軸を観測値とした地点別散布図を Fig.3 に示す。気温は全体的にやや過大評価しているが、地点・期間による違いを良好に再現できていると言える。風速は、観測値が小さい地点で過大評価、大きい地点で過小評価の傾向があるが、平均では観測値と計算値が概ね一致している。降水量は、気温・風速に比べるとばらつきが大きいものの、計算値は概ね観測値の半分～倍に収まっている。以上より、全体的には気象場をよく再現できていると言える。

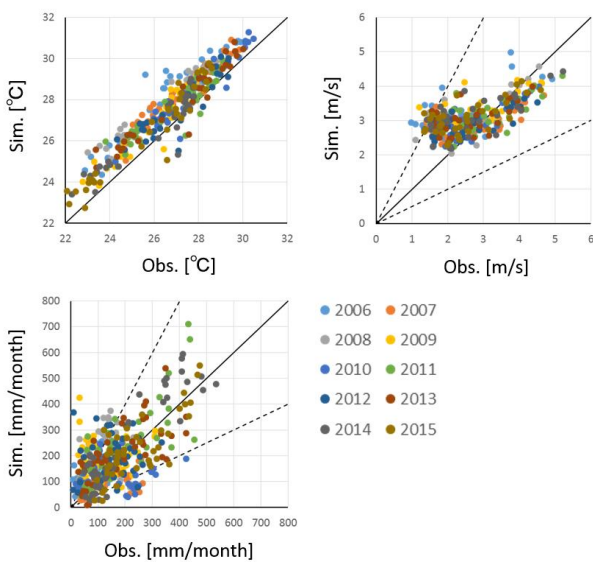


Fig.3 Scatter plots of temporal mean observed versus simulated temperature, wind speed and precipitation in each month.

2009 年と 2015 年の全地点の値を平均した気温、風速、

降水量の時系列変化を Fig.4, Fig.5 に示す。2009 年, 2015 年における気温、風速は、やや過大評価しているが、計算値が観測値の時間変動をよく捉えられていた。また、2015 年における降水量は時間変動をよく捉えられていたが、2009 年における降水量は計算値と観測値の差が大きい日が多く見られた。これらの日は、対象領域に前線が近づいた日である。本研究では、後述するように、台風および前線が対象領域に近づいた日を解析対象から除外するため、これらの差は本研究の解析に影響しないと考えられる。よって、台風・前線の影響している日を除外した場合、2009 年における降水量は時間変動をよく捉えられていたと言える。

以上の結果から、URBAN ケースのシミュレーションは気象場をよく再現しており、WRF が、降雨に対する都市化の影響評価を行うのに妥当なモデルであることが分かった。

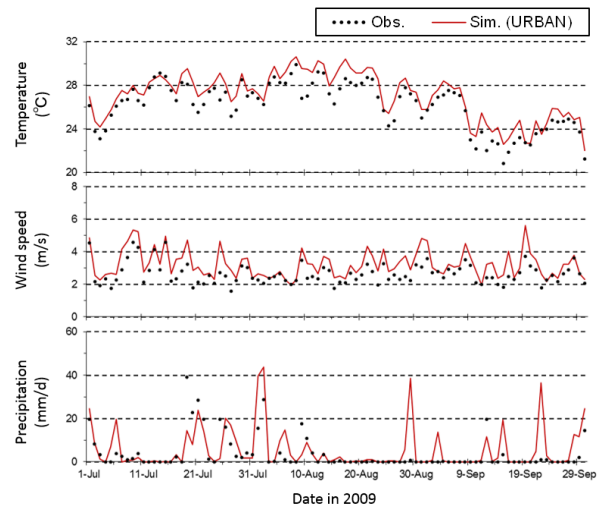


Fig.4 Daily time series of observed and simulated spatial mean daily average temperature, wind speed and precipitation in 2009.

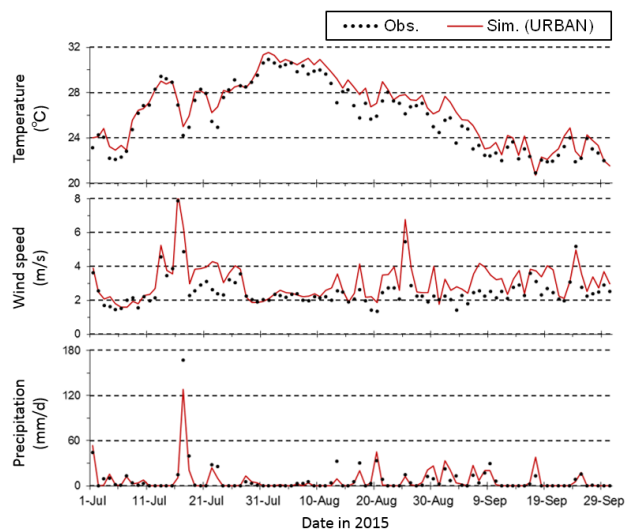


Fig.5 Daily time series of observed and simulated spatial mean daily average temperature, wind speed and precipitation in 2015.

2.2 解析対象日

本研究では、都市における局地的な降水を対象としていることから、台風・前線がD01に接近した日を解析対象から除外した。除外条件は、

- 1) 台風の中心がD01から300km以内に入った場合
- 2) 前線がD01を通過した場合

とした。その結果、対象期間全920日から333日が除外され、解析対象日は587日となった。

2.3 都市化の降水に対する影響

(1) 空間的变化について

D02について、全解析対象期間中の平均地上気温、湿度、風速および平均月降水量のURBANとNOURBの差分をFig.6に示す。平均地上気温は、都市域において上昇し、湿度は、都市域において減少した。このことから、モデルが、ヒートアイランド現象の特徴を捉えていることがわかる。土地被覆の変化に伴い、潜熱フラックスが都市域にて減少した。これにより、顕熱フラックスが上昇した。また、大気境界層高さは上昇し、降水量は増加した。

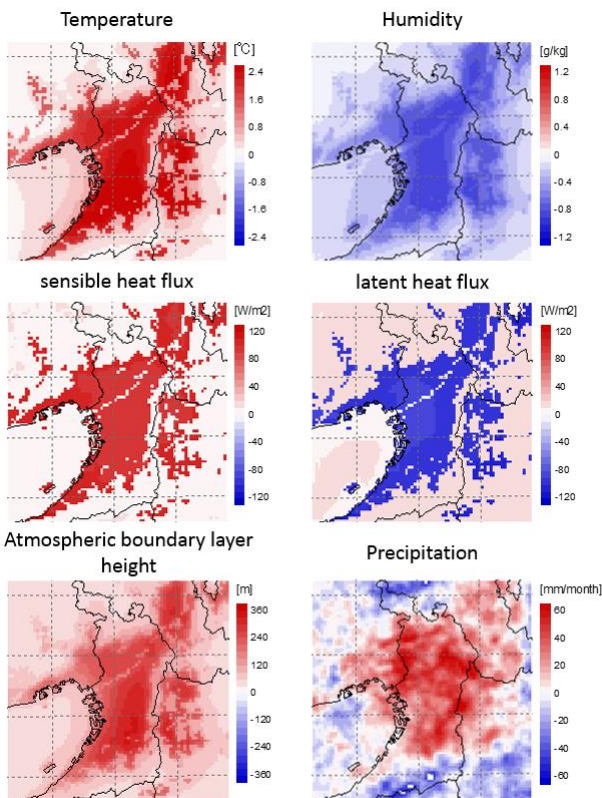


Fig.6 Spatial distributions of temperature, humidity, sensible heat flux and latent heat flux, atmospheric boundary layer height and precipitation (URBAN – NOURB)

(2) 降水量増加について

URBAN ケースで都市域となっている計算格子における降水量の平均日内変動をFig.7に示す。URBAN ケース

はNOURB ケースに比べて、降水量が夕方から夜間にかけて増加しており、19時における増加率が1.57倍と、日内で最も大きな差を示した。

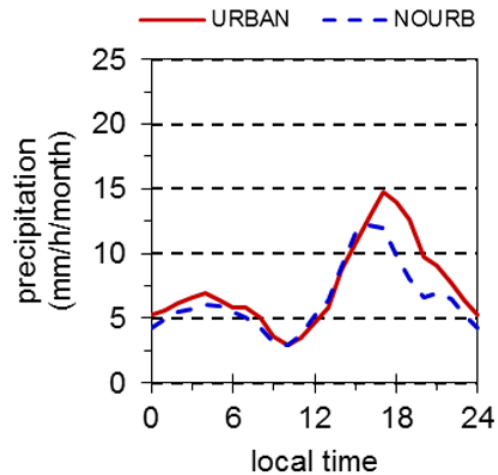


Fig.7 Diurnal variations of the simulated mean precipitation in URBAN and NOURB cases.

URBAN ケースで都市域となっている計算格子について、解析対象日で平均した潜熱フラックス、顕熱フラックス、気温、大気境界層高さの日内変動をFig.8に示す。URBAN ケースでは潜熱フラックスがほとんど0で、NOURB ケースに比べて平均で104.4W/m²の減少が見られた。顕熱フラックスは、潜熱フラックスが大きく減少している日中で上昇傾向が見られ、平均で90.4W/m²上昇した。気温は、顕熱フラックスの上昇によって、日没から明け方にかけて上昇傾向にあり、平均で2.1°C上昇した。また、大気境界層高さは、日中で上昇傾向にあり、平均で194.4m上昇した。大気境界層高さの上昇は、地上気温が上昇したことにより、大気がより不安定になったことが原因であると考えられる。

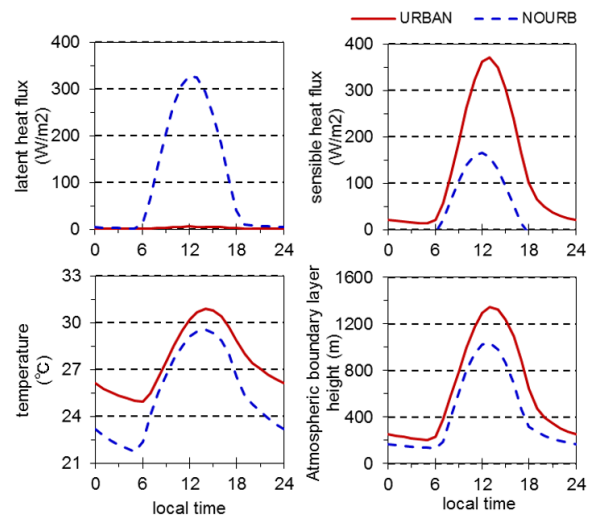


Fig.8 Diurnal variations of the simulated mean ground-level meteorological variables in URBAN and NOURB cases.

以上のことから、都市域における降水量の増加は、地上気温の上昇に伴い、大気がより不安定になったことで対流雲の形成が起りやすくなったことが原因であると考えられる。

(3) 降水強度に対する都市の影響

降水強度に対する都市の影響を評価するために、解析対象日を URBAN ケースの都市域で平均した日降水量によって分類した。分類は

- 1) 弱い降水： 1mm/d 以上 10mm/d 未満
- 2) 中程度の降水： 10mm/d 以上 25mm/d 未満
- 3) 強い降水： 25mm/d 以上

とした。

D02 について、各分類の日降水量の URBAN ケースと NOURB ケースの差分を Fig.9 に示す。また、各分類における一時間降水量の頻度と NOURB から URBAN への頻度増加比率を Table.2 に示す。全分類において、降水量が増加していることから、都市化が全強度の降水に影響を与えていることがわかる。また、強い降水において短時間強雨 (1 時間に 10mm/h 以上) の比率が大きいことから、都市化による強い降水の増加は短時間強雨の増加によるものであると言える。

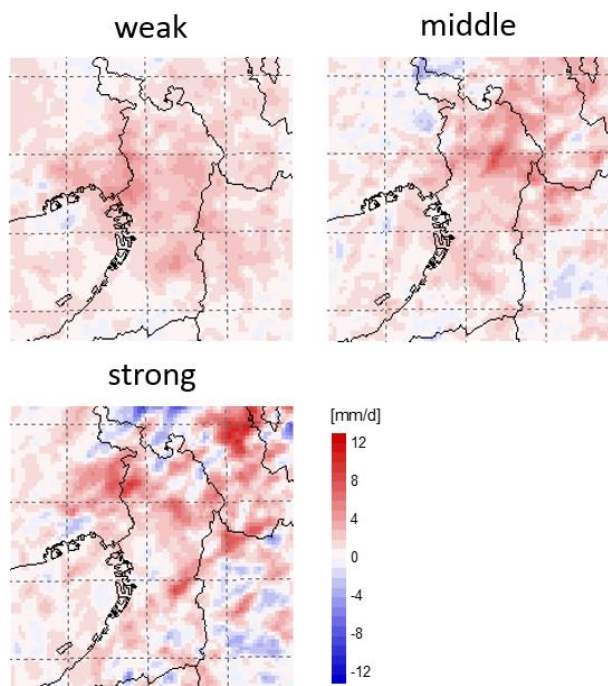


Fig.9 Spatial distributions of precipitation each classification (URBAN - NOURB)

Table.2 Frequency and increase ratio of hourly rain each classification

	intensity (mm/h)	URBAN (%)	NOURB (%)	ratio
Weak rain	(0.5, 10]	4.39	3.82	1.15
	(10, ∞]	0.30	0.24	1.28
Middle rain	(0.5, 10]	11.71	10.90	1.07
	(10, ∞]	1.47	1.21	1.22
Strong rain	(0.5, 10]	17.11	16.74	1.02
	(10, ∞]	4.86	4.34	1.12

3. 結論

本研究では、気象モデル WRF を用いて、現況の土地利用をもつ URBAN ケースとその都市域を草地に変更した土地利用をもつ NOURB ケースのシミュレーションを行い、その結果を比較することで、都市化が降水に与える影響を評価した。

本研究で得た結果を以下にまとめる。

- 1) 降水量の増加は、都市化による気温上昇に伴い、大気がより不安定になったことで、対流雲の形成が起りやすくなったことが原因である。
- 2) 都市化は、強い降水を含めた全強度の降水に影響を与えており、特に短時間強雨の頻度を増加させている。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所 ヒートアイランド現象とその影響
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0406pdf/ks0406005.pdf>
- 2) 大阪府河川整備審議会 近年の降雨を踏まえた取組みについて
http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/4127/00195550/04_h27bukai3_siryu2-2.pdf
- 3) 高橋日出男, 中村康子, 鈴木博人: 東京都区部における強雨頻度分布と建築物高度の空間構造との関係. 120.2, 359-381, 2011.
- 4) 佐藤友徳, 寺島司, 井上忠雄, 木村富士男: 東京都都市域における夏季の降水システムの強化, 53(6), 479-484, 2006
- 5) Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Baker, D.M., Duda, M.G., Huang, X.-Y., Wang, W., Powers J.G: A description of the advanced research WRF version 3. NCAR Technical Note. NCAR/TN-475+STR. DOI: 10.5065/D68S4MVH. 2008