

# 東南アジアの急発展する大都市の気候の将来予測：ホーチミンシティ都市圏を対象として

## URBAN CLIMATE PROJECTION IN A FAST-GROWING MEGACITY IN SOUTHEAST ASIA: CASE STUDY OF THE GREATER HO CHI MINH CITY METROPOLITAN AREA

非会員 ドアン グアン ヴァン<sup>\*1,2</sup>, アカデミック会員 ○ 日下 博幸<sup>\*1</sup>  
Van Quang DOAN <sup>\*1,2</sup>, Hiroyuki KUSAKA<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 筑波大学 計算科学研究センター, Center for Computational Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8577 Japan

<sup>\*2</sup> 現在 Centre for Climate Research Singapore, 537054 Singapore

Corresponding author: Hiroyuki KUSAKA, E-mail : kusaka@ccs.tsukuba.ac.jp

Future urban climates will be influenced by both global climate change and localized urbanization, especially in fast-growing cities. This study provides regional climate projections for the 2050s for greater Ho Chi Minh (HCM) City, a fast-growing megacity in Southeast Asia. These projections are generated through dynamical downscaling of three different CMIP5 global climate models driven with two different representative concentration pathway (RCP) emission scenarios. Furthermore, this study numerically evaluates the impacts of future urbanization and global climate change on the thermal environment of this city. The Weather Research and Forecasting (WRF) model is used to produce these projections, having first been updated with current and future (master plan-based) land-use data with a horizontal resolution of 1 km. The results show that, in rural areas, the spatially averaged monthly mean air temperature in April is projected to increase by 1.2 and 1.7°C by the 2050s under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, respectively. In newly urbanized areas, an additional warming of 0.5°C is expected under both scenarios, which corresponds to 20–30% of the global warming. In particular, the additional warming due to urbanization can exceed 0.8°C at night. The impact of future urbanization (0.5°C) is comparable to the difference in the temperature increases achieved under the different RCP scenarios. Thus, this impact should be considered in studies of the future urban climates of fast-growing cities in developing countries.

### 1. はじめに

都市の長期的な気温上昇は、ヒートアイランド効果と地球規模の気候変動（地球温暖化）の重ね合わせによって生じる。日本の大都市、たとえば東京の場合、過去 100 年間の年平均気温は 3°C 程度上昇しているが、そのうち、2°C 程度がヒートアイランド効果で、1°C 程度が地球温暖化の効果だと推定されている。しかしながら、将来においては、地球温暖化の効果の方がヒートアイランドの効果よりもずっと大きくなると予測されている<sup>(1)(2)</sup>。それは、東京が成熟した都市であるためだと考えられている。

しかしながら、現在でも都市が発展段階にある東南アジアの大都市では、東京などの成熟した大都市とは異なる。過去 20 年間で東京は大きく発展しなかったが、東南アジアの大都市は大きく発展し、ヒートアイランドの効果もまた非常に強くなった<sup>(3)</sup>。将来の気温変化に対してもヒートアイランドの効果は無視できないと思われる。

そこで、本研究では、東南アジアの大都市の一つであるホーチミン・シティを対象に、現在から将来までの都市化に伴う気温上昇量と地球規模の気候変動に伴う気温上昇量を比較解析する。ベトナムの大都市を選んだ理由は、この国が社会主義国であり、国が作成する将来都市のマスタープランの不確実性が他国の大都市に比べて小さいと考えられるためである。

本研究で得られた知見は、中緯度の先進諸国の大都市に比べて、圧倒的に少ない東南アジアの途上国の大都市のヒートアイランド研究に対する新たな知見を与えることが期待できる。また、気候変動の研究、とりわけ、来るべき超高解像度全球気候モデルを用いた将来予測研究や高解像度力学的ダウンスケールの研究時代に向けて、地域気候予測計算の際には将来の都市化の効果も気候モデルに反映させるべきであるという有用な情報を与えることができるだろう。

### 2. 手法

#### 2.1 領域気候モデルと予測実験の概要

本研究では、都市気候の予測を行う領域気候モデルとして、

米国大気研究センター（NCAR）で開発され、世界で最も広く利用されている領域気候モデルである Weather Research and Forecasting (WRF) モデルの都市気候計算用改良版（以下、WRF-urban）を用いた。WRF-urban は、著者らによって改良された WRF モデルで、公式版の WRF では扱えない緑被率や人工排熱の 2 次元マップを導入することできる。これにより、気温分布がより詳細に表現できるようになっている。WRF モデルの水平分解能はネスティング領域の 1~4 の順に 27km, 9km, 3km, 1km とした。現在気候の再現実験の初期値・境界値には、米国環境予測センター（NCEP）の最終解析値（FNL）を用い、将来気候の初期値・境界値には疑似温暖化データを用いた。疑似温暖化データは、3 種類の CMIP-5 の全球気候モデル（GCM）（すなわち、CNRM-CM5, CMCC-CM, MIROC-ESM）の将来予測データの温暖化差分と FNL の現在気候値から作成した。将来の社会経済シナリオとして、IPCC で利用されている RCP4.5 と RCP8.5 を採用した。対象年代は、現在が 2010 年代で将来を 2050 年代とした。また、対象月は、ホーチミン・シティの最暖月である 4 月とした。現在の土地利用は USGS データをベースに Landsat データを用いて独自に修正したものを使い、人工排熱データは統計値から標準的なトップダウンアプローチで推定した。将来の土地利用は、ベトナム政府で作成されたマスタープランをベースに作成し、人工排熱データは人口変化や経済予測を勘案して推定した。

### 3. 結果

図 1 は、現在（2010 年代）および将来（2050 年代）の 4 月の日平均人工排熱マップである。ホーチミン・シティの拡大と人口増加、経済成長に伴い、排熱量が大幅に増加していることがわかる。図 2 は、RCP4.5 および RCP8.5 に基づき CMIP-5 の GCM によって予測された気温の長期変化である。本研究では、WRF モデルを用いて、異なる 3 種類の GCM から力学的ダウンスケールリング（領域気候モデルを用いた地域気候の将来予測）を行い、それぞれの結果をアンサンブル平均した値を用いて現在お

よび将来のホーチミン・シティの気候を解析した。

現在の気候の再現計算の結果と RCP4.5 を採用した場合の将来予測計算の結果を図 3 に示す。図からはややわかりにくいだが、地球温暖化と都市化の影響によって、将来開発される地域の 4 月平均気温は 1.7°C 上昇すること、そのうち、地球温暖化の影響が 1.2°C で、都市化の影響が 0.5°C であった。この結果は、少なくとも疑似温暖化手法を用いた場合、地球温暖化とヒートアイランドの線形和で将来の都市気温を予測することが可能であることも示唆している。また、RCP4.5 と RCP8.5 による都心の気温の違いは、都市化を考慮した場合としない場合の違いと同程度であった。このことは、都市気候の将来予測を行う場合、将来都市シナリオの不確実性が地球規模の社会経済シナリオの不確実性と同程度に重要であることを示唆している。

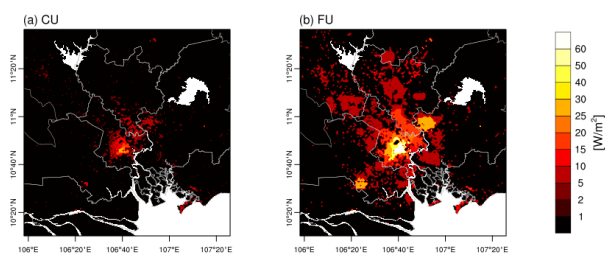


Figure 1 Anthropogenic heat map around Ho Chi Minh City at 2010 (Left) and 2050 (Right).

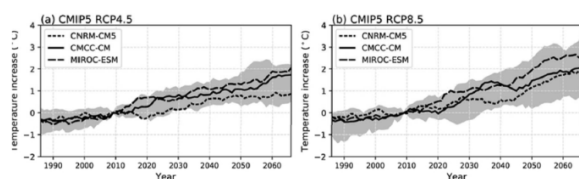


Figure 2 Projected annual mean temperature from the current to future under RCP4.5 Scenario (Left) and RCP8.5 Scenario (Right).

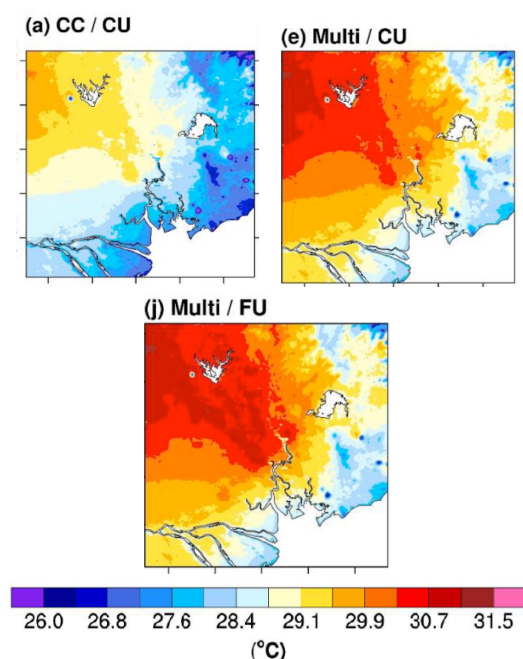


Figure 3 Distribution of April mean temperature around Ho Chi Minh City from the present simulation (Upper Left), future projection with the current urban scenario (Upper Right), and future projection with the future urban scenario (Lower Center).

#### 4. 結論

IPCC の RCP4.5 シナリオの下、領域気候モデル WRF を用いて、発展する都市「ホーチミン・シティ」の現在 (2010 年代) の気候再現計算と将来 (2050 年代) の気候予測計算を行った結果、今後開発される地域では、全球気候変動の影響によって、4 月の平均気温が約 1.2°C、都市化によって約 0.5°C 上昇し、両方の影響で約 1.7°C 上昇すると予測された。この結果は、東南アジアの発展途上国の大都市の一つであるホーチミン・シティでは、将来のヒートアイランド効果は依然として無視できないレベルにあること、そして、超高解像度の全球気候モデルや領域気候モデルを用いて都市気候の将来予測を行う場合、これまでに各種プロジェクトで行われてきた将来予測では不十分で、都市キャンピーモデルと将来の都市シナリオの導入が必要であることを示唆している。

#### 謝辞

本研究は、文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT: Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology)」の支援により実施された。また、本研究で実施した数値シミュレーションは、筑波大学計算科学研究センター学際共同利用プログラムで実施された。

#### 参考文献

- (1) Kusaka H., A. Suzuki-Parker, T. Aoyagi, S.A. Adachi, and Y. Yamagata, Assessment of RCM and urban scenarios uncertainties in the climate projections for August in the 2050s in Tokyo, Climatic Change, 137(2016), 427-438.
- (2) Adachi S.A., F. Kimura, H. Kusaka, T. Inoue, and H. Ueda, Comparison of the impact of global climate changes and urbanization on summertime future climate in the Tokyo metropolitan area, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 51(2012), 1441-1454.
- (3) Doan, Q. V., and H. Kusaka, Numerical study on regional climate change due to the rapid urbanization of greater Ho Chi Minh City's metropolitan area over the past 20 years, International Journal of Climatology, 36(2016), 3633- 3650.