

2019 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：屋外環境

研究期間：2019 年度

課題番号：192012

研究課題名（和文）：現在から 2050 年代に至る日中の主要都市の気候変化の予測と将来の都市温暖化の地域特性の比較

研究課題名（英文）：Prediction of urban climates in the 2050s and comparison of regional characteristics of urban warming in major cities in China and Japan

研究代表者：持田 灯

交付決定額（当該年度）：400,000 円

1. はじめに

①研究の背景

- 1) 地球温暖化と、これに伴う海面温度の上昇により、日本近辺で大型台風や集中豪雨の被害が増加している。さらに猛暑が頻発し、2018 年の夏は熱中症による救急搬送者数が 9 万人を超え、従来のヒートアイランド対策の枠組みとは異なる暑熱適応という観点からの検討が必要とされる状況になっている。
- 2) 日本建築学会の「気候変動モデリング WG」では、IPCC の温暖化シナリオを用いた全球気候モデル GCM(Global Climate Model)の解析結果を境界条件とした領域気象モデル WRF(Weather Research and Forecasting)での力学的ダウンスケーリングを行い、日本の主要都市における 2050 年代の標準気象データを整備した。申請者の持田、共同研究者の玄はこの活動の一環として 2050 年代の仙台、東京、名古屋等の日本の主要都市の気候予測を行った。
- 3) 我々の結果によれば^{文1)}、将来、東京や仙台沿岸部では熱中症との相関が高い WBGT(Wet Bulb Globe Temperature)が大きく上昇する。そして、その主因は海面温度の上昇により海上で湿度が上昇し、これが海風により沿岸部に輸送されることによると推定された。これは、沿岸都市では冷涼な海風の流入により気温が大幅に低下し暑熱快適性が改善するという、従来の考え方の再検討を迫るものであった。
- 4) 近年、持田は中国からの留学生を数多く受け入れ、広州^{文2)}、武漢^{文3)}の気候解析を実施するとともに、各都市を訪れる機会があり、主要都市の大半が沿岸部に立地し、人口減少過程に入った日本と、内陸にも多くの大都市が点在し、依然として拡大過程にある中国では、今後の都市気候変化の様相が異なるだろうと考えるようになった。そして、日中の都市気候変化の共通点と相違点を分析することは、各都市の特徴を踏まえた合理的な対策を考える上で非常に有益であると考え、本研究を企画した。

②研究の目的

- 1) これまで本拠点の助成を得て進めてきた地球温暖化の影響下における日本の主要都市の都市気候変化の将来予測の手法を中国の主要都市の気候変化の予測に用いるために必要な技術開発を行う。
- 2) これを用いて、上海、広州、武漢の 2050 年代の都市気候を予測し、既に代表者の持田や共同研究者の玄により実施済の日本の主要都市（東京、仙台、名古屋等）の都市気候の将来予測の結果と比較し、日中主要都市の将来の気候変化の共通点と相違点（日中間の相違点と各都市間の相違点）を洗い出し、各都市の特性から各々の都市に適した都市温暖化対策を検討する。

2. 研究の方法

1) 擬似温暖化手法による中国の2050年代の標準気象データの作成

共同研究者の玄の協力を仰いで、IPCCの温暖化シナリオ(第48回IPCC総会(2018年)で採択された「1.5度特別報告書」の目標に最も近いシナリオ(RCP2.6、厳しい緩和シナリオ)と緩和政策の導入時期や技術制約を考慮し、緩和程度が2番目に強い緩和シナリオ(RCP4.5))を用いた全球気候モデルGCMの解析結果を用いて、2050年代の標準的気象データを作成する。

2) Local Climate Zone (LCZ)の各区分の基準値の提案

Local Climate Zone (LCZ)とはSteward and Oke^{文4)}により提案された、都市微気候を特徴づける市街地形態、地表面被覆、排熱条件に基づく区分であり、市街地は10種類、市街地以外の土地利用は地表面被覆に基づいて7種類に分類される。我々は、既往研究において、領域気象モデルWRFの都市モデル・土地利用区分にLocal Climate Zone (LCZ)を用いた都市気候予測を実施した^{文1)}。

従来の研究では、LCZの各区分を分類するための基準値は研究者がそれぞれの主観によって決定しており、統一的な基準値というものは存在していない。これに対して、本研究では市街地形態を形状パラメータに基づいて分類するという新たな方法を提案する。この目的のため、様々な市街地形態(低層から高層、低密から高密)を有すると考えられる東京首都圏(東京都及び近隣5県)の形状パラメータ(グロス建蔽率、平均建物高さ等)を分析し、その基準値を決定する。また、この基準値に従い、都市をゾーニングし地図化したLCZマップを、東京、上海、武漢、広州について作成する。

3) LCZに基づく土地利用データを用いたWRF解析

項目2)で決定したLCZ区分及び基準値に基づき、各区分に対して空力抵抗や排熱条件を設定した土地利用データを整備し、これをWRF解析の都市キャノピーモデルに用いる。これにより、日本の都市は東京、仙台、名古屋、中国の都市は上海、武漢、広州を対象とした都市気候解析を実施し、各都市の、現在から2050年代に至る気候変化の特徴を分析する。

同時に、日本の都市と中国の都市の将来予測結果を比較し、各都市の特性を整理し、各々の都市に適した都市温暖化対策を検討する。特に、将来の湿度上昇を踏まえ、各都市における海風や川風の導入、緑地からの蒸散やドライミスト等の蒸発冷却型の暑熱対策の適否、利害得失を定量的に分析する。

3. 研究成果

1) 複数の温暖化シナリオに基づく2050年代の気象データ作成

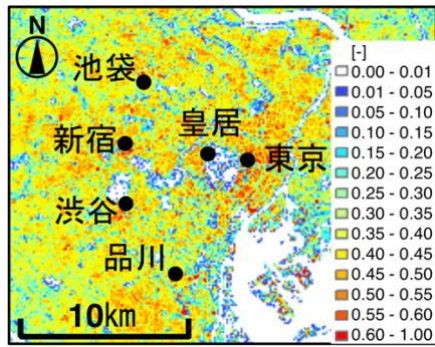
分析を行う地球温暖化シナリオとして、第48回IPCC総会(2018年)で採択された「1.5度特別報告書」の目標に最も近い地球温暖化シナリオ(RCP2.6、厳しい緩和シナリオ)、緩和政策の導入時期や技術制約を考慮した緩和程度が2番目に強い緩和シナリオ(RCP4.5)、最も気温上昇の高いシナリオ(RCP8.5)の計3種類のシナリオを選択した。それぞれの地球温暖化シナリオに基づく全球気候モデルGCMの解析結果を用いて、擬似温暖化手法により2050年代の標準的気象データを作成した。

なお、全球気候モデルGCMについては、東アジアモンスーンの経年変動と季節変動(夏季)に着目し、6月から9月における1時間平均降雨量と850hPaでの風速の再現度が良いことから、東アジア域における現在気候再現性が高いとされるCCSM4を用いた。

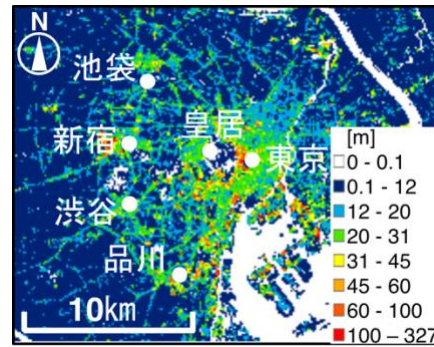
2) 客観データに基づく東京首都圏の市街地形態と地表面被覆の分析及びLocal Climate Zone (LCZ)の各区分の基準値の提案

様々な市街地形態(低層から高層、低密から高密)を有すると考えられる東京首都圏(東京都及び近隣5県)を水平方向100m×100mの格子に分割し、各格子におけるグロス建蔽率及び平均建物高さをGISデータから算出した。このデータを用いて頻度分布を作成し、東京首都圏の市街地形態の特徴を分析した。

図1には東京首都圏における市街地形態パラメータの空間分布、図2にはその頻度分布と累積度数を示す。図1(a)と(b)から、主要な駅周辺にグロス建蔽率40%以上の高密、また高さ60m以上の高層のエリアがみられる。また、郊外にはそれ以下の低密・低層なエリアが広がっている。さらに図2から、全格子の93.26%が平均建物高さ12m以下であることが確認された。

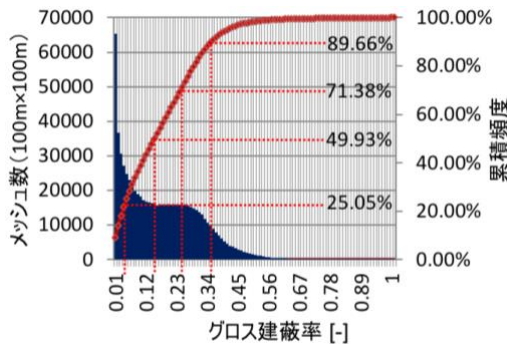


(a)グロス建ぺい率 λ_p

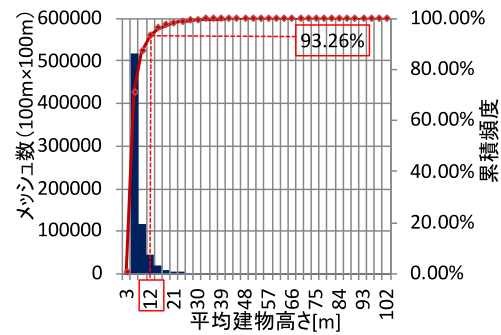


(b)平均建物高さ<BH>

図1 東京首都圏における市街地形態パラメータの空間分布
(各メッシュは水平方向 100m×100m)



(a)グロス建ぺい率 λ_p



(b)平均建物高さ<BH>

図2 東京首都圏における市街地形態パラメータの頻度分布と累積度数
(各メッシュは水平方向 100m×100m)

以上の分析に、さらに建築基準法・都市計画法における建築制限の閾値の調査、温熱快適性に強く影響する平均放射温度と市街地形態の関係に関する既往研究結果^{文5)}から、市街地形態を分類するための形状パラメータの基準値を決定した(表1)。具体的には、市街地形態を、密度について3種類(高密・低密・過疎)、高さについて4種類(超高層・高層・中層・低層)に分け、市街地の存在しない地表面被覆を7種類に分類した、計19の区分及びその基準値を提案した。各基準値は表1に示す通り。

表1 提案した市街地を対象としたLCZ区分と市街地形態パラメータの基準値

LCZ 区分	グロス建蔽率 λ_p [-]	平均建物高さ<BH> [m]
1 高密・超高層 (Compact Super High-rise)	0.40 <	45 <
2 高密・高層 (Compact High-rise)	0.40 <	20 < BH ≤ 45
3 高密・中層 (Compact Mid-rise)	0.40 <	12 < BH ≤ 20
4 高密・低層 (Compact Low-rise)	0.40 <	≤ 12
5 低密・超高層 (Open Super High-rise)	0.25 < λ_f ≤ 0.40	45 <
6 低密・高層 (Open High-rise)	0.25 < λ_f ≤ 0.40	20 < BH ≤ 45
7 低密・中層 (Open Mid-rise)	0.25 < λ_f ≤ 0.40	12 < BH ≤ 20
8 低密・低層 (Open Low-rise)	0.25 < λ_f ≤ 0.40	≤ 12
9 過疎・超高層 (Sparse Super High-rise)	≤ 0.25	45 <
10 過疎・高層 (Sparse High-rise)	≤ 0.25	20 < BH ≤ 45
11 過疎・中層 (Sparse Mid-rise)	≤ 0.25	12 < BH ≤ 20
12 過疎・低層 (Sparse Low-rise)	≤ 0.25	≤ 12

表1に示す各LCZ区分の市街地形態パラメータの基準値に基づき作成した東京首都圏のLCZマップを図3に示す。主要な駅周辺にいずれも「高密 Compact」に分類されるLCZ1、LCZ2、LCZ3が分布し、郊外には「低密 Open」に分類されるLCZ7、LCZ8や「過疎 Sparse」に分類されるLCZ11、LCZ12のエリアが広がっている。

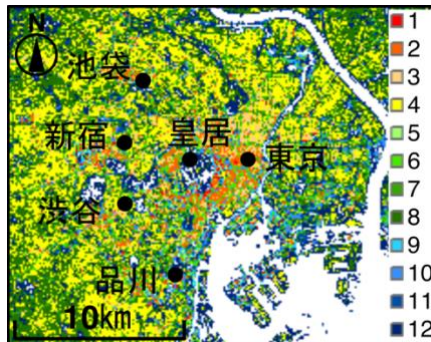
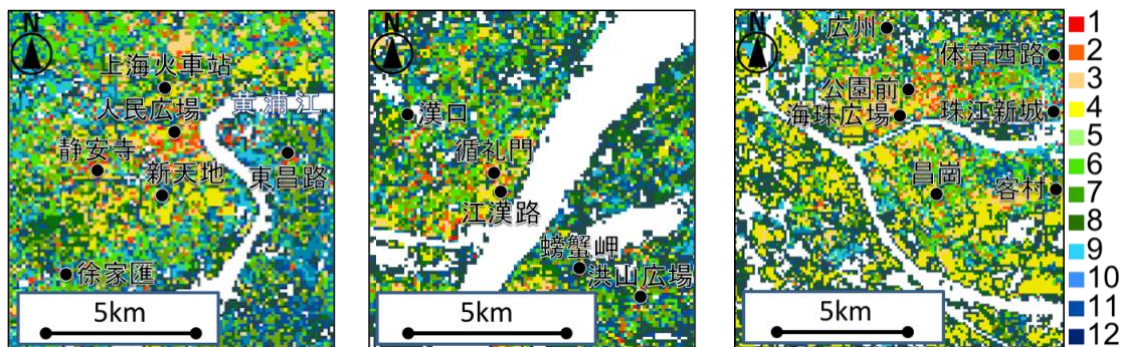


図3 提案した基準値に基づき作成した東京首都圏を対象とするLCZマップ
(凡例の番号は表1に対応)

3) 上海、武漢、広州のLCZマップ作成

本研究課題で提案した各LCZ区分の基準値を用いて中国の都市（上海、武漢、広州）のLCZマップを作成した。上海市（図4(a)）においては、地下鉄人民広場駅を中心に、静安寺駅、新天地駅などが位置する中心部に高密（LCZ1～4）の地域が集中しており、その周辺は主には低密の地域（LCZ5～8）が、徐家匯駅、東昌路駅周辺は低密から過疎の地域（LCZ5～12）が広がる。また、黄浦江の東側には主に「過疎 Sparse」の地域が広がる。武漢市（図4(b)）においてはLCZ1、2に分類される高層高密なエリアが見られた地下鉄江漢路駅、循礼門駅周辺を除き、低密若しくは過疎に分類されるエリア（LCZ5～12）が広がる。広州市（図4(c)）では、全体的にLCZ4（高密・低層(Compact Low-rise)）が広がり、地下鉄広州駅、公園前駅、海珠広場駅、体育西路駅、珠江新城駅周辺には高密な地域（LCZ1～4）が点在する。



(a)上海市中心部 (b)武漢市中心部 (c)広州市中心部
図4 中国3都市を対象としたLCZマップ（凡例の番号は表1に対応）

4. 今後の展開

今年度に継続し、2020年度は各種温暖化シナリオを想定した気象データと、今年度開発した各LCZ区分及びその基準値に基づく土地利用データを用いた、WRFによる都市気候解析を実施する。評価対象都市である上海、武漢、広州各都市の現在から2050年代に至る気候変化の特徴を分析し、日本の大都市（東京、仙台、名古屋）の将来予測結果と比較する。またこれを踏まえて、各都市の特性を整理し、各々の都市に適した都市温暖化対策を検討する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

1. Xilin Zhou, Tsubasa Okaze, Chao Ren, Meng Cai, Yasuyuki Ishida, Hironori Watanabe, Akashi Mochida, “Evaluation of urban heat islands using local climate zones and the influence of sea-land breeze”, *Sustainable Cities and Society*, Vol.55, 2020.
2. Xilin Zhou, Shuting Yan, Zheng Wang, Erina Chiba, “A Comparison study on the WRF performances using urban canopy parameters from GIS data and WUDAPT L0 data”, 日本建築学会大会(関東)学術公演梗概集, 2020. (投稿済)
3. 千葉絵理奈, 石田泰之, 王正, 周希霖, 持田灯, “領域気象モデル WRF の土地利用データのための LCZ マップの作成 (その 1) 客観データに基づく東京首都圏の市街地形態と地表面被覆の分析”, 日本建築学会大会(関東)学術公演梗概集, 2020. (投稿済)
4. Zheng Wang, Yasuyuki Ishida, Erina Chiba, Xilin Zhou, Yingli Xuan, Akashi Mochida, “Production of LCZ Maps for WRF land-use Data (Part 2) LCZ map based on a proposed classification in Wuhan, China”, 日本建築学会大会(関東)学術公演梗概集, 2020. (投稿済)

[学会発表] (計 3 件)

1. 王正, 布川啓徳, 山本ミゲイル, 石田泰之, 持田灯, 大風翼, 花岡和聖, “領域気象モデル WRF による都市の温熱環境の数値予測 (その 11) 地域特性及び年齢に着目した暑さに対する脆弱性の分析”, 日本建築学会大会(北陸), 2019.
2. 布川啓徳, 山本ミゲイル, 石田泰之, 持田灯, 大風翼, 花岡和聖, “領域気象モデル WRF による都市の温熱環境の数値予測 (その 12) 温暖化と高齢化によって増大する将来の熱中症リスクの予測とその要因分析”, 日本建築学会大会(北陸), 2019.
3. 山本ミゲイル, 持田灯, 渡辺浩文, 小林光, 周希霖, 石田泰之, “領域気象モデル WRF による都市の温熱環境の数値予測 (その 13) 2050 年代と 2000 年代の仙台都市大気部熱収支構造比較”, 日本建築学会大会(北陸), 2019.

5. 研究組織

(1) 研究代表者

持田灯 (東北大学・大学院工学研究科・教授)

(2) 研究分担者

1. 玄英麗 (東京工芸大学・建築学科・助教)
2. 石田泰之 (東北大学・大学院工学研究科・助手)
3. 周希霖 (研究当時、東北大学・大学院生)
4. 謝育全 (東北大学・大学院生)
5. 王正 (東北大学・大学院生)
6. 小野田真帆 (研究当時、東北大学・大学院生)
7. 布川啓徳 (東北大学・大学院生)
8. 高莞湖 (東京工芸大学・大学院生)
9. 杉浦一真 (東京工芸大学・学部生)

【参考文献】

- 文1) 山本ミゲイル, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp829-830, 2019
- 文2) Chen, Zhao, Mochida, Urban Heat Island Simulations in Guangzhou, China, Using the Coupled WRF/UCM Model with a Land Use Map Extracted from Remote Sensing Data, *Sustainability*, 8(7), 628, 2016
- 文3) Deng, Zhou, Mochida, Impact of Building Density on Urban Climate in Wuhan City, China, *Journal of Habitat Engineering and Design*, 6(1), pp53-59, 2014
- 文4) Stewart and Oke, Local Climate Zones for Urban Temperature Studies, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93 (12), pp1879-1900, 2012
- 文5) Xuan, Yang, Li, Mochida, Outdoor thermal environment for different urban forms under summer conditions, *Building Simulation*, 9, pp281-196, 2016

6. 要約(Abstract)

現在から 2050 年代に至る日中の主要都市の気候変化の予測と将来の都市温暖化の地域特性の比較

持田灯 (東北大学)

1. 目的

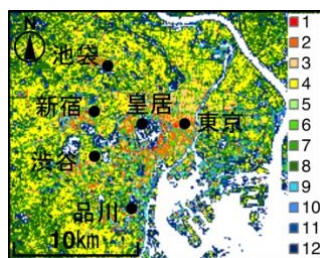
- 1) これまで我々が取り組んできた、地球温暖化の影響下における日本の主要都市の都市気候変化の将来予測の手法を中国の主要都市の気候変化の予測に用いるために必要な技術開発を行う。
- 2) これを用いて、上海、広州、武漢の 2050 年代の都市気候を予測し、既に代表者の持田や共同研究者の玄により実施済の日本の主要都市（東京、仙台、名古屋等）の都市気候の将来予測の結果と比較し、日中主要都市の将来の気候変化の共通点と相違点（日中間の相違点と各都市間の相違点）を洗い出し、各々の都市に適した都市温暖化対策を検討する。

2. 成果

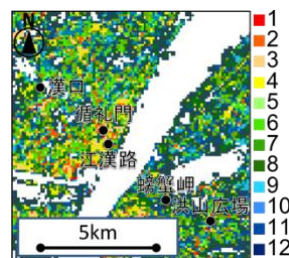
- 1) 地球温暖化シナリオとして、最も厳しい緩和が行われるシナリオである RCP2.6、緩和政策の導入時期や技術制約を考慮し、緩和程度が 2 番目に強いシナリオである RCP4.5、最も気温上昇の高いシナリオである RCP8.5 を用いた全球気候モデル GCM の解析結果を用いて、2050 年代の標準的気象データを作成した。
- 2) 東京首都圏の市街地形態の分析、建築基準法・都市計画法における建築制限の閾値の調査、及び既往研究結果^{文 1)}を参考に、LCZ の概念に基づく新たな市街地分類を提案し、都市を計 19 種に分類する区分を、表 1 の通り提案した。
- 3) 提案した LCZ 区分及びそれらの基準値に基づき、東京首都圏と中国の 3 都市（武漢市、広州市、上海市）の LCZ マップを作成した（図 1）。

表 1 提案した市街地を対象とした LCZ 区分と市街地形態パラメータの基準値

	グロス建蔽率 λ_g [-]	平均建物高さ $\langle BH \rangle$ [m]
1 高密・超高層 (Compact Super High-rise)	$0.40 <$	$45 <$
2 高密・高層 (Compact High-rise)	$0.40 <$	$20 < BH \leq 45$
3 高密・中層 (Compact Mid-rise)	$0.40 <$	$12 < BH \leq 20$
4 高密・低層 (Compact Low-rise)	$0.40 <$	≤ 12
5 低密・超高層 (Open Super High-rise)	$0.25 < \lambda_r \leq 0.40$	$45 <$
6 低密・高層 (Open High-rise)	$0.25 < \lambda_r \leq 0.40$	$20 < BH \leq 45$
7 低密・中層 (Open Mid-rise)	$0.25 < \lambda_r \leq 0.40$	$12 < BH \leq 20$
8 低密・低層 (Open Low-rise)	$0.25 < \lambda_r \leq 0.40$	≤ 12
9 過疎・超高層 (Sparse Super High-rise)	≤ 0.25	$45 <$
10 過疎・高層 (Sparse High-rise)	≤ 0.25	$20 < BH \leq 45$
11 過疎・中層 (Sparse Mid-rise)	≤ 0.25	$12 < BH \leq 20$
12 過疎・低層 (Sparse Low-rise)	≤ 0.25	≤ 12



(a)東京首都圏



(b)武漢市

図 1 提案した基準値に基づく LCZ マップ (凡例の番号は表 1 に対応)

3. 今後の展開

今年度に継続し、2020 年度は各種温暖化シナリオを想定した気象データと、今年度開発した各 LCZ 区分とそれらの基準値に基づく土地利用データを用いた、WRF による都市気候解析を実施する。評価対象都市である上海、武漢、広州各都市の現在から 2050 年代に至る気候変化の特徴を分析し、日本の大都市（東京、仙台、名古屋）の将来予測結果と比較する。またこれを踏まえて、各都市の特性を整理し、各々の都市に適した都市温暖化対策を検討する。

文 1) Xuan, Yang, Li, Mochida, Building Simulation, 9, pp281-196, 2016