

# 都市温暖化緩和のための都市環境デザインガイドラインの作成： MSSG モデルとクラスター分析を用いた横浜市の都市気候ゾーニング

課題責任者

田中 貴宏 広島大学 大学院工学研究科

著者

横山 真 広島大学 大学院工学研究科

松尾 薫 東京大学 大学院工学系研究科

田中 貴宏 広島大学 大学院工学研究科

杉山 徹 海洋研究開発機構 地球情報基盤センター

佐土原 聡 横浜国立大学 大学院都市イノベーション研究院

近年、我が国の都市域では地球温暖化と都市ヒートアイランド現象による都市温暖化現象が見られ、冷房用エネルギー消費の増大や屋外快適性の低下等の問題が生じている。本研究では、都市温暖化緩和を意図した都市づくりを進めるため、実際に都市づくりに携わる人々に対して「どのようなエリア」「どのような都市環境デザイン」を用いればよいかを簡易に示すガイドラインの作成を最終的な目的とする。なお、本稿では MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geo-environment) モデルとクラスター分析を用いて横浜市の都市域を気温変動傾向特性の観点から区分し、「どのようなエリア」に都市温暖化緩和策を施せば良いかを示す地図のベースとなるマップ（都市気候ゾーニングマップ）を作成した。

キーワード：都市温暖化, クラスター分析, 都市気候ゾーニング, MSSG

## 1. はじめに

近年、我が国の都市域では、地球温暖化および都市ヒートアイランド現象による都市温暖化現象が生じている。この都市温暖化は特に夏季において、冷房用エネルギー消費の増大、健康被害（熱中症や睡眠不足）、屋外快適性の低下といった様々な悪影響を引き起こしており、これらの緩和が喫緊の課題とされている。また、IPCC 第5次評価報告書によると世界平均地上気温は21世紀末までに最大4.8℃程度上昇するとされており、今後都市温暖化による影響がより深刻化すると考えられる。この都市温暖化緩和のためには、都市内の風通しの向上や緑化などの手法が多数存在し、先行研究ではそれらの効果が実測や数値シミュレーションを通して検証されている<sup>例えば1) 2)</sup>。このような状況の中、今後の都市づくりにおいては都市温暖化緩和を意図した都市環境デザインを積極的に導入していく必要があると考えられる。

都市温暖化緩和に寄与する都市環境デザイン手法は、対象とする場所の気候特性によって大きく異なる。例えば、沿岸部では海風を利用した「風の道」による都市内の熱環境の緩和が有効であるが、内陸では「風の道」の冷却源である冷涼な風そのものがあまり吹いていないため、緑陰の創出など、別の対策が必要となる。このように都市温暖化緩和に配慮した都市づくりを進める際には、対象エリアの特性を捉えた適材適所の都市環境デザインを選択することが重要である。

しかし現状では、都市環境デザインを担うステークホルダーにとって、対象エリアごとに適した都市環境デザインを知る術はほとんどなく、この点に都市温暖化緩和

のための都市環境デザイン導入が進まない一因があると考えられる。つまり都市温暖化緩和のための都市環境デザインを導入し、都市温暖化に配慮した都市づくりを進めるためには、「どのようなエリア」「どのような都市環境デザイン」を適用すれば良いかということ、都市環境デザインを担うステークホルダーに効率よく伝える必要があるものと考えられる。

以上のことから本研究では、横浜市の都市域を対象とし、都市温暖化を緩和するために「どのようなエリア」「どのような都市環境デザイン」を適用すれば良いかをステークホルダーに簡易に伝えるガイドラインの作成を最終的な目的とする。なお本稿では MSSG モデルとクラスター分析を用いて横浜市の都市域を気温変動傾向特性の観点から区分し、「どのようなエリア」に都市温暖化緩和策を施せば良いかを示す地図のベースとなるマップ（都市気候ゾーニングマップ）を作成した。

## 2. 研究概要

### 2.1 対象地概要

本研究の対象地は神奈川県横浜市とした。図1に横浜市の位置と地形的特徴を示す。横浜市は丘陵地が多く、「谷戸」と呼ばれる小さな谷が多数存在している。市全域で市街化が進行しており、気温実測調査結果によると、都市温暖化の影響が見られる<sup>3)</sup>。また横浜市は、東京湾に面した沿岸都市であり、南西約5kmには相模湾が位置しているため、これら2つの海域からの海風による気温低減効果が期待できる。



図1 横浜市の位置と地形的特徴

2.2 数値計算概要

本研究では、MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geo-environment) モデル<sup>4)</sup>を用いて横浜市の気候環境の数値計算を行った。表1に主な計算条件、図2に入力条件として用いた土地利用図をそれぞれ示す。計算期間は晴天日が連続した2015年8月4日0時(JST)～8月8日0時(JST)とし、水平解像度は約100mとした。なお、分析は計算領域の中で、横浜市内に位置するメッシュを対象とした。土地利用及び標高は、国土数値情報を基に作成した。なお、土地利用の中で、建物エリアを別カテゴリーとするために、神奈川県及び東京都の都市計画基礎調査のデー

表1 主な計算条件

計算期間	2015/8/4 0:00 JST ～ 2015/8/8/0:00 JST
格子数 (x, y, z)	400 × 400 × 96
水平解像度	約 100m
タイムステップ	約 0.7s (1時間平均値を出力)
土地利用分類	建物、建物用地、道路、草地、水面、森林
人工排熱	道路と建物からの排熱分を各メッシュから排出

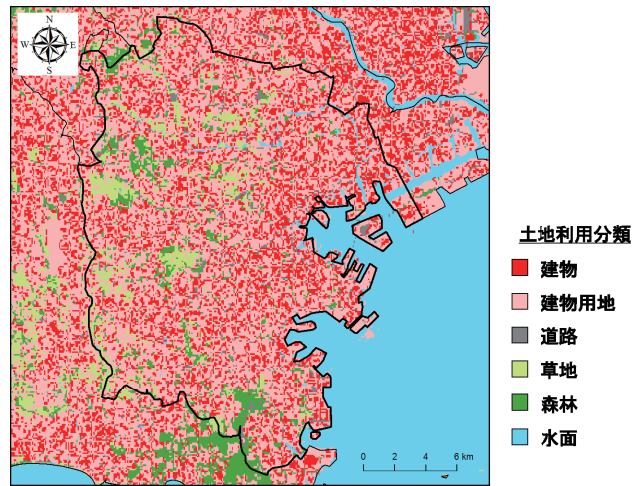


図2 土地利用図

タを用いた。また都市域には単層都市キャノピーモデルを導入した。人工排熱は横浜市内のみ1時間毎の建物排熱と交通排熱を各メッシュで算出し、計算に用いた。

3. 数値計算結果

図3、4に計算結果の一部として、2015年8月7日12時と5時の水平気温分布(地上2m)をそれぞれ示す。12時は相模湾沿岸部と東京湾沿岸部で気温が低く、内陸に向けて徐々に高い。横浜市内では北西部の気温が高く37℃以上であり、市内の気温差は4℃程度である。これは沿岸部で相模湾と東京湾からの海風の影響を受けているためと考えられる。一方、5時は沿岸部の気温が高く、内陸部で気温が低い。これは沿岸部で海水温の影響を受けているためと考えられる。また、沿岸部では工場からの排熱の影響により気温が上昇しており、発生源の風下でも気温の上昇が見られる。なお、市内気温差は工場の排熱が影響するエリアを除くと2℃程度であり、12時の気温差より比較的小さい。

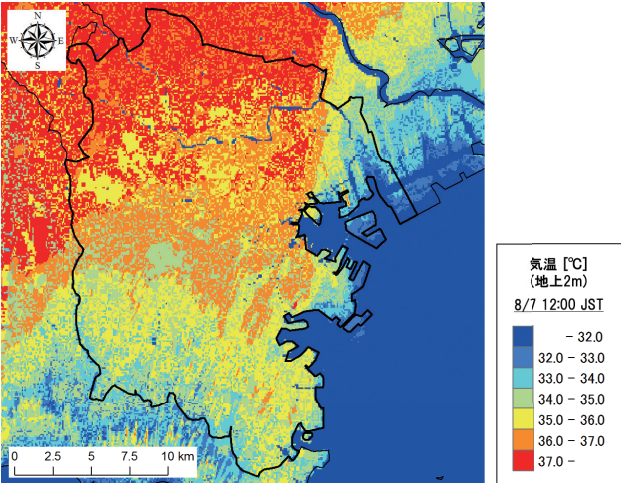


図3 地上2mの気温分布(2015年8月7日12時(JST))

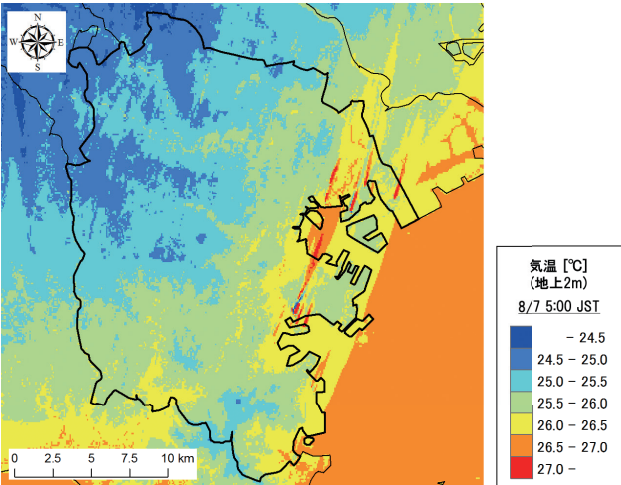


図4 地上2mの気温分布(2015年8月7日5時(JST))

4. クラスター分析による横浜市の都市気候ゾーニング

都市気候の観点から横浜市都市域のゾーニングを行うために、MSSGモデルによる数値計算結果を入力条件と



したクラスター分析を行った。具体的には、横浜市内に位置する 46,615 個の都市メッシュ（土地利用が建物、建物用地、道路）を対象に、2015 年 8 月 7 日の時刻別平均気温（0 時～23 時）を説明変数とし、Ward 法により全メッシュを 5 つのグループに分類することとした。なお、元の計算結果はばらつきが非常に大きいため、ここでは元の計算結果を周囲の 9 メッシュで空間平均化を行った値を用いて分析に入力した。

図 5 に分類結果から作成したゾーン区分、図 6 に各ゾーンの平均気温の時間推移をそれぞれ示す。図 5 より概ね相模湾と東京湾からの距離によってゾーンが区分されていることが分かる。また、ゾーンの一部は谷筋等の地形に沿って区分されており、ローカルな地形の影響を含んだゾーンが形成されていると考えられる。図 6 を見ると各ゾーンで最高気温が異なる。内陸の Zone5 で最高気温が最も高く、沿岸部の Zone1 と Zone3 で最高気温が最も低い。しかし、最高気温に達する時刻は概ね同じである。横浜市では午前中に東京湾からの海風、午後相模湾からの海風が卓越するため、最高気温の時刻など時間的な特徴が見られると推察される。しかし、今回の計算では領域の設定方法等の影響により風の時間変動を上手く再現できなかったため、各ゾーンの最高気温に達する時刻に違いが生じなかったと考えられる。風の時刻変動の再現

性については今後、ネスティング等の工夫による改善が必要と考えられる。

## 5. まとめ

本稿では、MSSG モデルとクラスター分析を用いて、「どのようなエリア」に都市温暖化緩和策を施せば良いかを示す地図のベースとなるマップ（都市気候ゾーニングマップ）を作成した。

今後は、数値計算精度の向上によるゾーニングマップの高精度化を行い、さらに各ゾーンの代表市街地を対象に都市スケールの高解像度計算を行うことで「どのようなエリア」に「どのような都市環境デザイン」を用いれば良いか示すガイドラインを作成する。

## 謝辞

本研究は、公益財団法人旭硝子財団の助成研究（代表：田中貴宏）及び JSPS 科研費（16J03661）による成果の一部である。神奈川県県土整備局及び東京都都市整備局からは、都市計画基礎調査にかかわるデータをご提供いただいた。ここに記して謝意を表す。

## 文献

- [1] 竹林英樹・山田俊明・森山正和：街区の空間特性が街路空間の風通し環境に及ぼす影響－気候資源としての風の利用を目的とした街路形態と街路空間の風通しの関係の分析 その 2－，日本建築学会環境系論文集，vol.76，No.670，pp.1087-1092，2011.
- [2] 成田健一・菅原広史・横山仁・三坂育正・松島大：皇居の冷気生成機能と周辺市街地への熱的影響に関する実測研究，日本建築学会環境系論文集，vol.76，No.666，pp.705-713，2011.
- [3] 松島由佳・小倉智代・山下理絵・内藤純一郎・関浩二：2013 年～2015 年夏季の横浜市内の気温観測結果－緑地による気温上昇緩和効果について－，横浜市環境科学研究所報 第 41 号，pp.25-32，2017.
- [4] K. Takahashi, R. Onishi, Y. Baba, S. Kida, K. Matsuda, K. Goto and H. Fuchigami：Challenge toward the prediction of typhoon behaviour and down pour，Journal of Physics: Conference Series，454-1，2013.

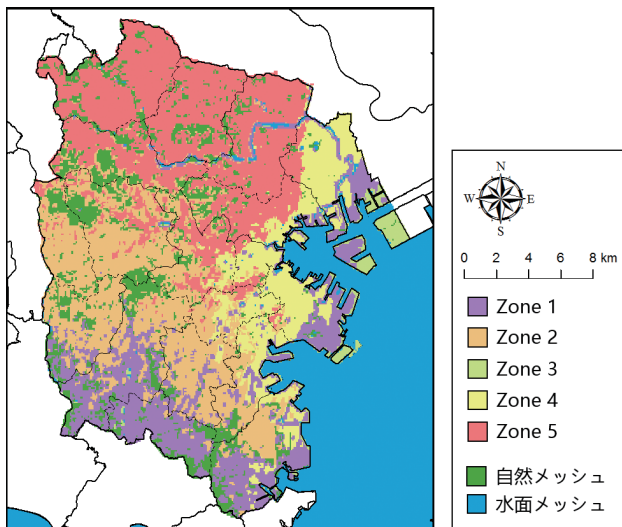


図 5 各ゾーンの水平分布

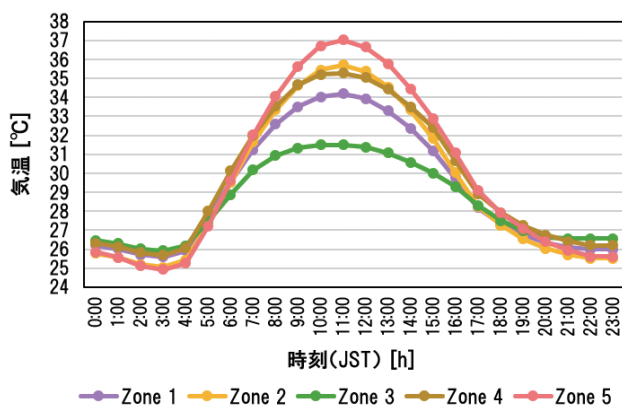


図 6 各ゾーンの平均気温の推移

# Making Urban Environmental Design Guideline for Urban Warming Mitigation: Urban Climatic Zoning of Yokohama Using MSSG Model and Cluster Analysis

Project Representative

Takahiro Tanaka      Graduate school of engineering, Hiroshima University

Authors

Makoto Yokoyama      Graduate school of engineering, Hiroshima University

Kaoru Matsuo      Graduate school of engineering, The University of Tokyo

Takahiro Tanaka      Graduate school of engineering, Hiroshima University

Toru Sugiyama      Center for Earth Information Science and Technology, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Satoru Sadohara      Graduate school of urban innovation, Yokohama National University

In recent years, the thermal environment in urbanized areas is becoming increasingly inhospitable for residents because of urban heat island effect and global warming. In recent years, the thermal environment in urbanized areas is becoming increasingly inhospitable for residents because of urban heat island effect and global warming. These phenomena are collectively regarded as urban warming. Many countermeasures against urban warming such as improving wind ventilation and increasing the green ratio in urban areas and its effects have been studied. However, these countermeasures should be introduced into suitable places for effective urban environmental planning. This study finally aims to make such guideline for Yokohama area. In this paper, urban climatic zoning map that shows "where" need urban warming mitigation in Yokohama is made by using MSSG model and cluster analysis.

**Keywords:** Urban warming, Cluster analysis, Urban climatic zoning, MSSG

## 1. Introduction

In recent years, the thermal environment in urbanized areas is becoming increasingly inhospitable for residents because of urban heat island effect and global warming. These phenomena are collectively regarded as urban warming. Many countermeasures against urban warming such as improving ventilation and increasing the green ratio in urban areas and its effects have been studied. However, these countermeasures should be introduced into suitable places for effective urban environmental planning.

However, there are few ways for a stakeholder who taking urban environmental design to know suitable urban environmental design for each place. This seems to be one of reason not to advance introduction of urban environmental design to urban planning. Therefore, it is necessary to tell "what kind of urban environmental design" should be used for "where" to a stakeholder efficiently.

This study finally aims to make such guideline for Yokohama area. In this paper, urban climatic zoning map that shows "where" urban warming mitigation is needed in Yokohama is made by using MSSG model and cluster analysis.

## 2. Research Outline

### 2.1 Target Area

For this study, Yokohama was selected as the target area. Urban areas extend throughout the whole city area; urban heat island effect has been reported there <sup>1)</sup>. However, Yokohama faces Tokyo Bay and is located near Sagami Bay. Therefore, it is considered that the sea breeze effect mitigates urban warming in this area.

### 2.2 Calculation Conditions

In this study, MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment) model is used for numerical calculation. The calculation period was from 0:00 JST on August 4 to 0:00 JST August 8. Land use categories are classified into six categories. As an original land use dataset, National Land Numerical Information is used. Furthermore, results of Basic Survey of City Planning in Kanagawa and Tokyo are used to identify building meshes. In addition, a single-layer urban canopy model is introduced. Anthropogenic heat is defined for every urban meshes including from housing, roads, and factories in Yokohama.

## 3. Calculation Results

Figure 1 and Fig. 2 show horizontal air temperature distributions at 12:00 JST and 5:00 JST on August 7 (2 m

above the ground). At 12:00 JST, air temperature is lower in the coastal area, becoming gradually higher toward inland areas. Additionally, air temperatures are highest around the northwestern part of Yokohama, reaching over 37°C. On the other hand, at 5:00 JST, air temperature is lower in the inland area, higher in the coastal areas.

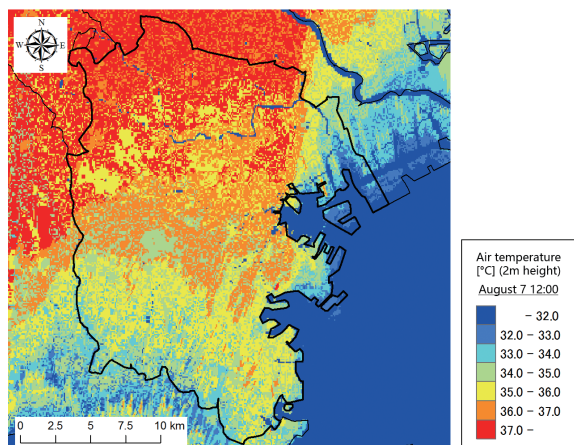


Fig. 1 Horizontal air temperature distribution at 12:00 JST, August 7 (2 m above ground).

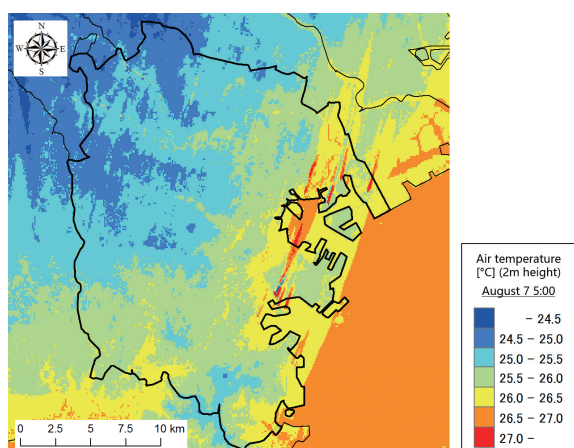


Fig. 2 Horizontal air temperature distribution at 5:00 JST, August 7 (2 m above ground).

#### 4. Classification of Urban Areas by Cluster Analysis

Here, cluster analysis is performed to classify urban area in terms of urban climate. As a classification method, Ward method is used. Samples are urban meshes (i.e. Building, building lot and Road) located in Yokohama. Actually, 46,615 meshes are used. For this analysis, we used averaged value by surrounding 9 meshes to reduce spatial dispersion. Cluster analysis used variables of 24 hourly air temperatures of August 7, 2015. Results show that all urban meshes are classifiable into five zones in this study. Figure 3 shows a horizontal distribution of each zone. Figure 4 presents the hourly average air temperature of each zone. From Figure 9, the distribution of each zone is classified mainly based on the distance from coastal line of Sagami and Tokyo Bay. Additionally, the shapes of respective zones are partly defined according to topography and natural areas such as valleys and downward slopes of green

areas. Figure 4 shows that the maximum air temperature is highest in Zone 5 an inland area. The maximum air temperature is the lowest in Zone 3, a coastal area of Tokyo Bay.

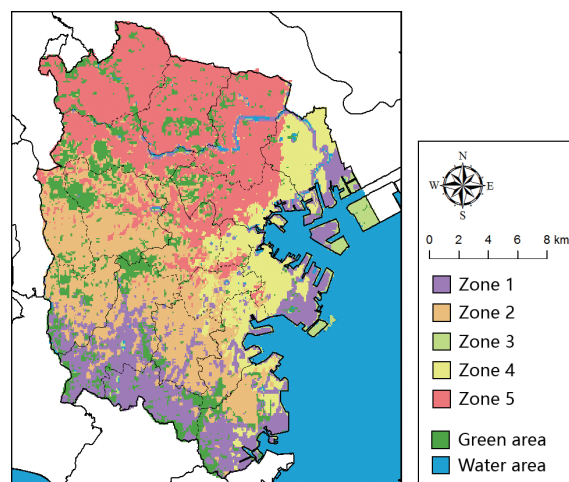


Fig. 3 Horizontal distribution of each zone

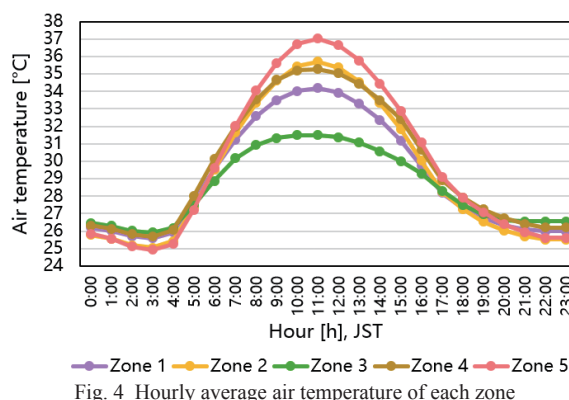


Fig. 4 Hourly average air temperature of each zone

#### 5. Summary

In this paper, urban climatic zoning map that shows "where" urban warming mitigation is needed in Yokohama is made by using MSSG model and cluster analysis. For the future work, high resolution calculation for some areas of each zone will be executed and guideline that shows "what kind of urban environmental design" should be used for "where" will be made finally.

#### Acknowledgements

This study was supported by JSPS KAKENHI grant number 16J03661. This study was also supported by a grant of the Asahi Glass Foundation

#### Reference

- [1] Y. Matsushima, T. Ogura, R. Yamashita, J. Naito and K. Seki, Results of air temperature in the summer of 2013-2015 in Yokohama -Mitigation effect on rise in air temperature by greenery area, Annual Report of Yokohama Environmental Science Research Institute, 41 (2017), pp.25-32.

