

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 による谷戸市街地およびその周辺地区における熱環境分析

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」に「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 による数値シミュレーションを用いて横浜市の典型的市街地の 1 つである谷戸市街地およびその周辺地区の熱環境特性を把握することを目的とする。特に昼間の熱環境・風環境と、夜間の斜面緑地からの冷気流について分析を行い、ガイドライン作成のために必要な基礎的な知見を得る。

キーワード：熱環境, 谷戸, 夜間冷気流, 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^{例え(ば)1)2)}。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」に「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」に「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 Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment (MSSG)³⁾ による数値シミュレーションを用いて横浜市の典型的市街地の 1 つである谷戸市街地およびその周辺地区の熱環境特性を把握することを目的とする。特に昼間の熱環境・風環境と、夜間の斜面緑地からの冷気流について分析を行い、ガイドライン作成のために必要な基礎的な知見を得る。

2. 研究概要

2.1 対象地概要

本研究は横浜市の典型的市街地の 1 つである谷戸市街地の内、横浜市保土ヶ谷区仏向町の谷戸地形およびその周辺地区を対象とした。図 1 に対象地の地形・建物用途等を示す。このエリアは横浜市のほぼ中央部に位置し、帷子川流域に含まれる。対象地周辺の土地利用は主に住

宅用地であり、谷戸の内部にも一部住宅が密集している。一方で斜面緑地や農地が多く残されており、横浜市の中では自然的土地利用が比較的多いエリアである。特に対象谷戸の南側斜面（北向き斜面）には多くの斜面緑地が残されている。

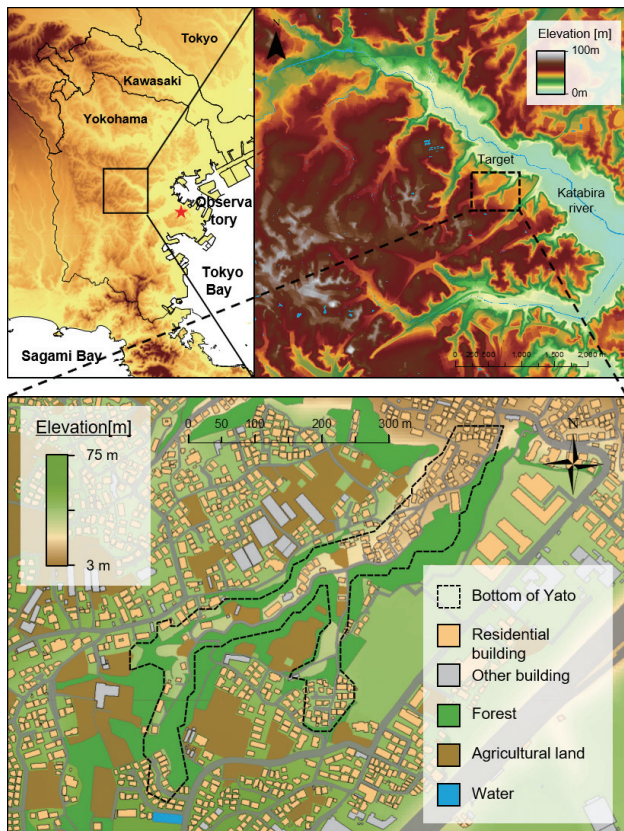


図1 分析対象地概要

2.2 数値シミュレーション概要

数値シミュレーションにはMSSGを用いた。MSSGは海洋研究開発機構が開発が続けられている大気海洋結合モデルであり、今回はその大気モデルを用いた。都市スケールにおいては3次元の放射計算や樹木の蒸散効果を取り込んだ非定常のLES (Large eddy simulation) として機能する⁴⁾。

計算条件を表1に示す。計算期間は昼間を2008年8月2日12時00分～13時10分、夜間を2008年8月3日3時00分～4時10分とし、分析にはそれぞれ最後の10分間の結果を用いた。なお解像度はxyz方向それぞれ5mとし、図2に示す約5.5km四方を計算領域とした。土地利

表1 計算条件

Period	Daytime	2008/8/2 12:00 - 13:10
	Nighttime	2008/8/3 03:00 - 04:10
Resolution	5m × 5m × 5m	
Number of grid	1088 × 1096 × 151	
Meteorological data	MSM data by Japan Meteorological Agency (3 hour interval, 10km resolution)	
Ground surface data	Elevation	DEM(Digital elevation map) 5m
	Land use	GIS data from basic survey of city planning of Yokohama (H25)
	Green area	Green coverage data from aerial photograph

用は横浜市都市計画基礎調査のGISデータをもとに図2に示す5分類に再分類し、入力に用いた。さらに樹木が存在するメッシュを航空写真から作成した緑被データを用いて特定し、入力に用いた。また地表面高さ（標高および建物高さ）は5m解像度のDigital Elevation Map (DEM) および横浜市都市計画基礎調査のGISデータを用いて作成した。

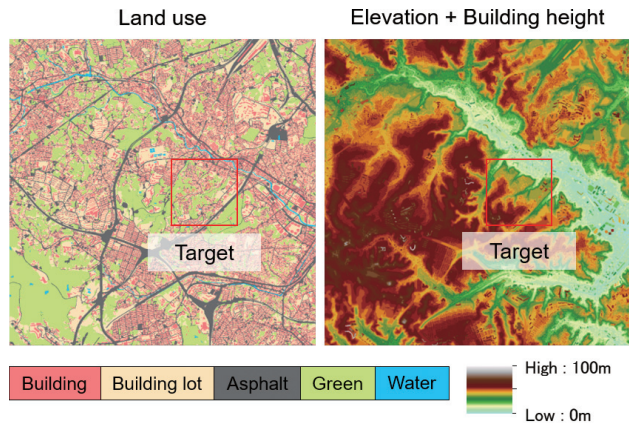


図2 計算範囲と入力条件

3. 微地形毎の昼間の熱環境・風環境比較

まず微地形毎の比較を行うため、対象地の分類を行った。ここでは標高、傾斜角、Topographical Position Index^{注1)} (TPI) を用いて分類を行った。分類結果を図4に示す。図3に示すように本稿ではFlatland(平地部)、Valley(谷部)、Slope(斜面部)、Plateau(丘陵上部)の4つに分類した。

図4に昼間の気温の水平分布図(13時00分～13時10分の平均値)を示す。図4から平地部と谷部で気温が比較的高く、谷部では谷戸の入口付近(図4中赤点線内)で気温が比較的高い。これは実測調査と同様の傾向であり、気温分布の傾向は概ね再現できていると考えられる。一方で丘陵上部では低温域が比較的存在する。

図5に微地形毎の平均気温と平均風速を示す。なお図5は図3の範囲に含まれる土地利用がBuilding lotのメッシュを対象としており、含まれる各微地形のメッシュ数は図5

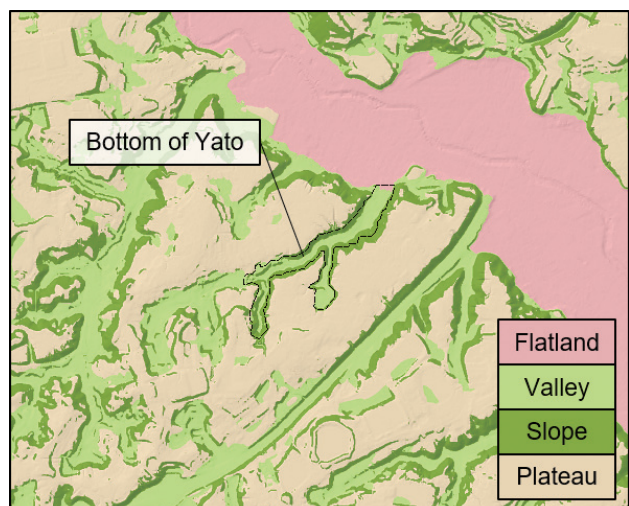


図3 対象地周辺の地形分類

に示す通りである。図5から平地部、谷部、斜面部、丘陵上部の順に気温が高く、逆に平地部、谷部、斜面部、丘陵上部の順に風速が小さいことが分かる。このことから丘陵上部では周囲のエリアに比べて風通しが良く、気温は比較的低いことが明らかとなった。

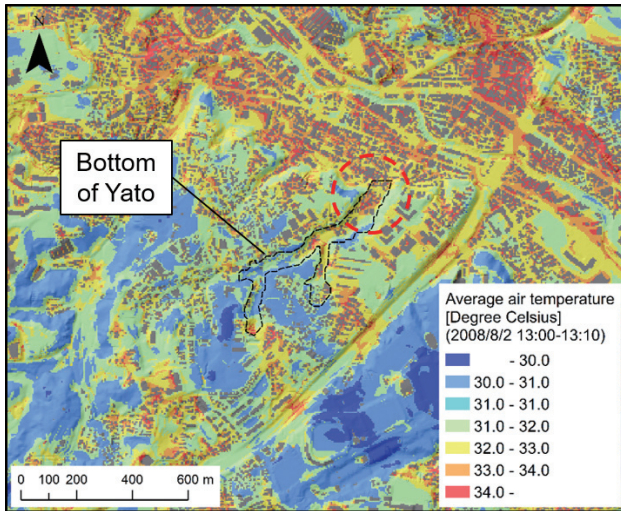


図4 気温の水平分布図（昼間）

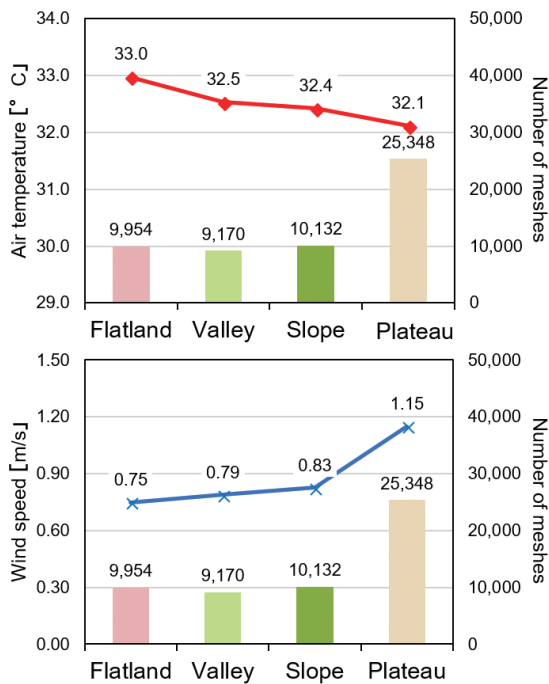


図5 微地形毎の気温・風速

4. 斜面緑地からの夜間冷気流

図6に夜間の気温の水平分布図（4時0分～4時10分の平均値）を示す。図6より図上部の平地部で気温が高く、谷部で気温が低い。その差は2.5℃程度で日中と比較して小さい。谷部では斜面緑地からの冷気流の影響を受けていると考えられ、熱環境としては良好であることが示唆された。一方で平地部の端部でも周囲よりも気温がやや低下しているエリアがみられる。これは斜面冷気流の影響が平野部に及んでいるためと考えられる。

図7に図6中のAA'断面における気温分布図（4時5

分0秒の瞬時値）を示す。図7から図の左部の斜面緑地（図中赤点線）で気温が低く、冷気が生成されている様子が分かる。しかし、冷気が下部の平地部にかけて広がる様子はあまり顕著ではない。これは建物の粗度や表面温度の影響によるためと考えられる。そのため、斜面緑地の冷熱源を熱環境の悪い平地部で活用するためには、斜面緑地からの冷気を誘導する風の道等を設ける必要があると考えられる。

図8に斜面緑地からの距離と気温の関係を示す。なお図8は4時0分～4時10分の10分間の平均値であり、

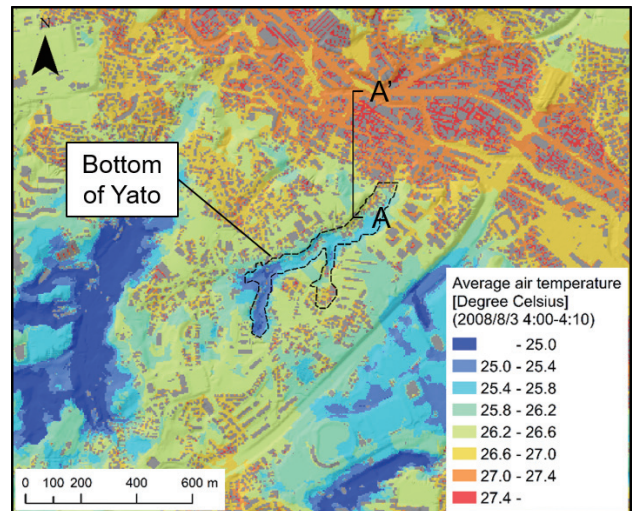


図6 気温の水平分布図（夜間）

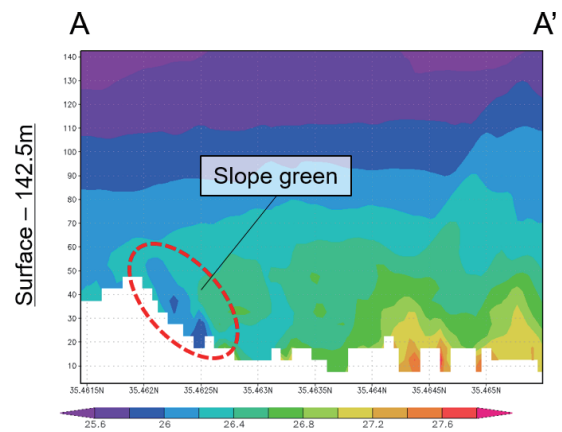


図7 気温の断面分布図

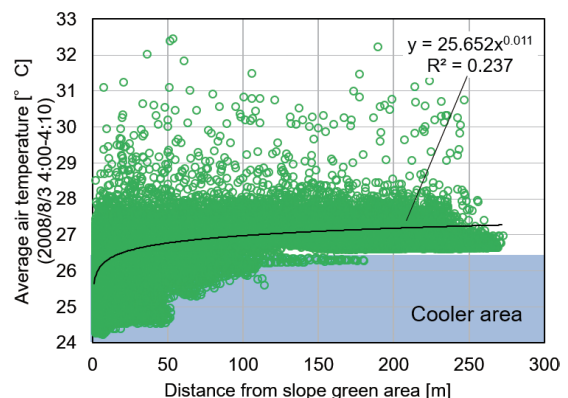


図8 気温と斜面緑地からの距離の関係

地形分類が Flatland（平地部）および Valley（谷部）であり、土地利用が Building lot および Asphalt のメッシュを用いた。図8より斜面緑地から距離の遠いエリア(180m～)の最低気温は概ね 26.7℃程度であり、斜面緑地から距離の近いエリア(～180m)では 26.7℃を下回るメッシュ(図8中青色部分)が存在している。図8は10分間の平均気温から作成しているため今回の結果は平均的なものではあるが、仮にこのエリアを冷気流が及ぶ範囲であるとすると斜面緑地から約180m以内のエリアでその効果が期待できることが推察される。

5. まとめ

本稿では横浜市保土ヶ谷区仏向町の谷戸地形およびその周辺地区を対象とし、MSSGによる数値シミュレーションを用いて横浜市の典型的市街地である谷戸市街地およびその周辺地区の熱環境特性の把握を行った。結果として、昼間に谷部と平地部で高温化し、丘陵上部で比較的冷涼であること、夜間に谷部で気温が低く、斜面緑地からの冷気流の影響範囲は平均的には斜面緑地から180m程度であること等が示唆された。

今後は横浜市の典型的市街地である沿岸部の中高層市街地を対象にMSSGによる数値シミュレーションを行い、これらのシミュレーション結果を用いて専門家協働のワークショップを行い、「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。

注

注1) Topographical Position Index (TPI) = A - B …(1)

A=DEMの当該セルの標高値 (m)、B=周辺セルの平均標高値 (m)

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] 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.
- [4] K. Matsuda, R. Onishi and K. Takahashi : Tree-crown-resolving large-eddy simulation coupled with three-dimensional radiative transfer model, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, Vol.173, p.53-66, 2018.

Making Urban Environmental Design Guideline for Urban Warming Mitigation: Analyzing thermal environment in urbanized “Yato” and its surrounding area by using MSSG

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, thermal environment in urbanized Yato and its surrounding area is calculated by using Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment (MSSG). Difference of thermal and wind environment among each microtopography during daytime and cold air drainage from slope green during nighttime are especially analyzed to understand thermal characteristics in this area.

Keywords: Thermal environment, Yato, Cold air drainage, 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, thermal environment in urbanized Yato and its surrounding area is calculated by using Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment¹⁾ (MSSG). Difference of thermal and wind environment among each microtopography during daytime and

cold air drainage from slope green during nighttime are especially analyzed to understand thermal characteristics in this area.

2. Calculation condition

Numerical calculation by using MSSG is performed for Yato area in Bukkou-cho, Hodogaya ward, Yokohama city. For this scale, MSSG is nonstationary Large Eddy Simulation (LES) including three-dimensional radiation and transpiration effect from tree crown²⁾. Table 1 is calculation condition. Two calculations for daytime and nighttime are performed. Spatial resolution is 5m and target area is about 5.5km square around target area.

Table 1 Calculation condition

Period	Daytime	2008/8/2 12:00 - 13:10
	Nighttime	2008/8/3 03:00 - 04:10
Resolution	5m × 5m × 5m	
Number of grid	1088 × 1096 × 151	
Meteorological data	MSM data by Japan Meteorological Agency (3 hour interval, 10km resolution)	
Ground surface data	Elevation	DEM(Digital elevation map) 5m
	Land use	GIS data from basic survey of city planning of Yokohama (H25)
	Green area	Green coverage data from aerial photograph

3. Daytime thermal and wind environment for each microtopography

Figure 1 (a) and figure 2 shows horizontal distributions of average air temperature of 2008/8/2 13:00-13:10 JST and average air temperature and wind speed of each microtopography respectively. As shown in these figures, flatland and valley area is hotter. This is because wind is weak because of microtopography and high-density buildings. On the other hand, Plateau area has better thermal and wind condition compared to other area. It seems that plateau area is easier to be affected wide-area wind than other area.

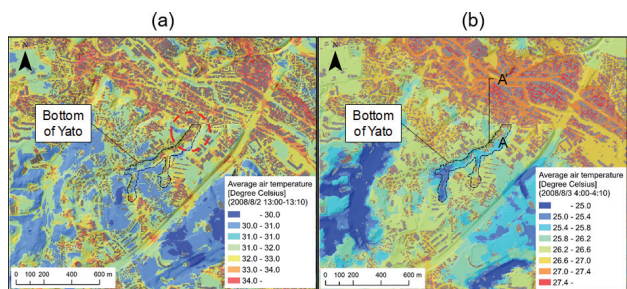


Fig. 1 Horizontal air temperature distribution (a) daytime, (b) nighttime

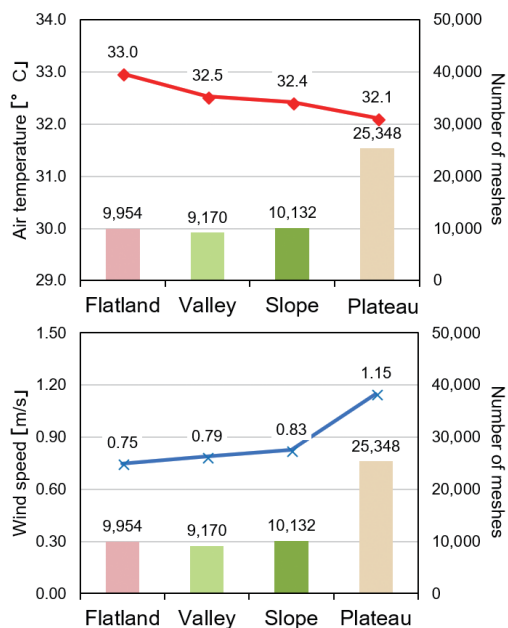


Fig. 2 Average air temperature and wind speed of each microtopography

4. Nighttime cold air drainage from slope green

Figure 1 (b) shows horizontal distribution of average air temperature of 2008/8/3 4:00-4:10 JST. Valley area is cooler and flatland area is hotter. It seems that cold air drainage from slope greens around valley area affects this distribution pattern. Figure 3 shows relationship between nighttime air temperature and distance from slope green. As shows in this figure, air temperatures rise according with distance from slope green in this time. In addition, minimum air temperature in far area from slope green (over 180m) is almost about 26.7 °C, but air temperature of some meshes is lower than this line in near area

from slope green (under 180m). If this cooler area is defined as effective area by cold air drainage from slope green, effective distance is about 180m in this area.

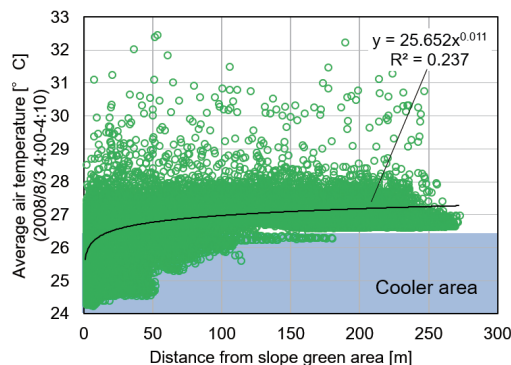


Fig. 3 Relationship between nighttime air temperature and distance from slope green

5. Summary

In this paper, thermal environment in urbanized Yato and its surrounding area is calculated by using MSSG. Difference of thermal and wind environment among each microtopography during daytime and cold air drainage from slope green during nighttime are especially analyzed to understand thermal characteristics in this area. As results, flatland and valley area are hotter and plateau area is cooler than other area during daytime. In nighttime, valley area is cooler than other area by cold air drainage from slope green and its maximum effective distance is about 180m from slope green. For future work, similar numerical calculation and analysis will be conducted for some typical urbanized area in Yokohama city. In addition, collaborative workshop with professionals of urban planning and urban climate will be held and guideline for mitigating urban warming will be made.

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] 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.
 [2] K. Matsuda, R. Onishi and K. Takahashi: Tree-crown-resolving large-eddy simulation coupled with three-dimensional radiative transfer model, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, Vol.173, p.53-66, 2018.