

令和7年度
修士学位論文

衛星データを用いた人工排熱推定における
粗度長設定の影響解析

Influence of Roughness Length Parameterization
on Estimation of Anthropogenic Heat Flux from Satellite Observation

指導教員 赤塚 慎
副指導教員 高木 方隆
副審査員 佐藤 理人

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻
建築・都市デザインコース

池田 陽

2026年3月9日

論文要旨

衛星データを用いた人工排熱推定における粗度長設定の影響解析

池田 陽

近年、都市部では人工被覆面の拡大やエネルギー消費の集中により、周囲よりも気温が高くなるヒートアイランド現象が顕著化している。人間活動に由来して大気中へ直接放出される人工排熱は、都市および地域の気象条件に大きな影響を及ぼすことが知られており、人工排熱の影響によりヒートアイランド現象が強化されることが報告されている。

本研究は、衛星観測データに基づく熱収支法を用いた人工排熱推定において、顕熱・潜熱フラックス算出に用いられる粗度長の設定方法が、人工排熱推定結果に与える影響を評価することを目的とした。人工排熱は都市の熱環境形成に影響を与えるが、熱収支法では人工排熱がエネルギー収支の残差として算出されるため、入力パラメータの設定方法が推定結果に大きく影響する。都市構造を熱収支式に導入するためのパラメータの一つである粗度長は、乱流輸送を規定する重要なパラメータであるにもかかわらず、その設定方法の違いが人工排熱推定に及ぼす影響については十分に整理されていないのが現状である。

本研究では、都市構造情報を反映した粗度長の代表例として Kanda 式に基づいて整備された粗度長、従来広く用いられてきた文献値粗度長、および衛星観測データを用いて構築した粗度長の、粗度長設定手法の異なる 3 種類を対象とし、それぞれを用いた人工排熱推定結果を比較した。解析対象として、都市規模や土地被覆構成の異なる関東地方および四国地方を設定し、2024 年の 1 年間を通じた時間変化および空間分布の差異を評価した。

衛星観測データを用いた粗度長推定では、数値表層モデル(DSM)と数値標高モデル(DEM)との差分を建物高さ情報とし、理論式の適用および重回帰分析による推定を試みた。その結果、理論式の適用では粗度長分布の再現性が悪く、一方で DSM, DEM, 夜間光(NTL), 植生指数(NDVI)といった衛星データを用いた重回帰分析によって推定した粗度長では、関東地方および四国地方において、既存の粗度長データベースと一定程度の強い相関を示すことが確認された。そのため、本解析では衛星観測データを用いて整備した粗度長として重回帰分析を用いて推定した粗度長を採用した。

3 種類の粗度長を用いて人工排熱を推定し比較した結果、建物用地では粗度長設定の違いが顕熱・潜熱フラックスを介して人工排熱推定値に反映され、特に日中帯においてその影響が顕著であることが示された。一方、非建物用地では、気象条件など粗度長以外の要因の寄与度が大きくなり、粗度長設定の違いが人工排熱推定結果に明確には反映されにくい傾向が確認された。また、衛星観測データに基づく粗度長は、建物用地、非建物用地の両方において、Kanda 式粗度長を用いた推定と人工排熱の空間分布や時間変化、既往研究との対応関係が類似する傾向を示すことが確認された。

以上より本研究は、人工排熱推定における粗度長設定の影響が地域特性および時間帯に

よって大きく異なることを明らかにするとともに、解析目的や範囲、データ整備状況に応じた粗度長設定手法の選択が重要であることを示した。

キーワード 都市気候，熱収支法，バルク式，粗度長

Abstract

Influence of Roughness Length Parameterization on Estimation of Anthropogenic Heat Flux from Satellite Observation

Haru Ikeda

In recent years, urban areas have experienced a pronounced intensification of the urban heat island phenomenon due to the expansion of urban surfaces and the concentration of energy consumption. Anthropogenic heat released directly into the atmosphere as a result of human activities is known to significantly affect urban and regional meteorological conditions, and its contribution has been reported to exacerbate the urban heat island effect.

The objective of this study is to systematically evaluate the impact of roughness length parameterization on anthropogenic heat flux estimates derived from a satellite-based surface energy balance approach. In the surface energy balance method, anthropogenic heat is estimated as a residual term of the energy budget, and therefore the choice of input parameters can strongly influence the estimation results. Roughness length, which serves as a key parameter for incorporating urban structure into the energy balance framework, governs turbulent heat transport; however, the influence of different roughness length parameterization methods on anthropogenic heat estimation has not yet been sufficiently examined.

This study compares anthropogenic heat estimates obtained using three types of roughness length: roughness length based on the Kanda formulation, representing an urban-structure-based approach; literature-based roughness length assigned according to land-cover categories; and roughness length estimated using multiple regression models based on satellite observation data. The analysis focuses on two regions with different urban scales and land-cover compositions—the Kanto region and the Shikoku region—and evaluates differences in temporal variation and spatial distribution over the year 2024.

For the satellite-based estimation of roughness length, building height information was derived from the difference between digital surface models (DSM) and digital elevation models (DEM), and both direct application of theoretical formulations and multiple regression analysis were examined. The results showed that roughness length distributions derived directly from theoretical formulations exhibited poor reproducibility, whereas multiple regression models incorporating DSM, DEM, nighttime light intensity (NTL), and the normalized difference vegetation index (NDVI) showed reasonably strong correlations with existing roughness length databases in both the Kanto and Shikoku regions. Based on these findings, this study adopted the roughness length estimated using multiple regression analysis based on satellite observation data.

A comparative analysis of anthropogenic heat estimates obtained using the three roughness length

datasets revealed that, in built-up areas, differences in roughness length parameterization are clearly reflected in anthropogenic heat estimates through sensible and latent heat fluxes, with particularly pronounced effects during daytime hours. In contrast, in non-built-up areas, the relative contribution of factors other than roughness length, such as meteorological conditions, becomes dominant, resulting in reduced sensitivity of anthropogenic heat estimates to roughness length parameterization. In addition, it was confirmed that roughness length based on satellite observation data can, even under conditions where detailed urban structural data are unavailable, exhibit similarities to estimates using Kanda-based roughness length in terms of the spatial distribution and temporal variation of anthropogenic heat, as well as consistency with previous studies.

Overall, this study demonstrates that the influence of roughness length parameterization on anthropogenic heat estimation varies substantially depending on regional characteristics and time of day, and highlights the importance of selecting appropriate roughness length parameterization methods according to analytical objectives, spatial scope, and data availability.

Keywords Urban climate, energy balance method, Bulk method, roughness length