

レイトレーシング法（光線追跡法）を採用した多層都市キャノピーモデルの開発

DEVELOPMENT OF MULTI-LAYAR URBAN CANOPY MODEL COMBINED WITH A RAY TRACING SCHEME.

非会員 ドアン グアン ヴァン^{*1,2} アカデミック会員 ○日下 博幸^{*1}
Van Quang DOAN^{*1,2}, Hiroyuki KUSAKA^{*1}

^{*1} 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

^{*2} 現在 Centre for Climate Research Singapore, 537054 Singapore

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

The present study provides a new multiple layer urban canopy model (ML-UCM) combined with a ray tracing algorithm to solve the radiative exchanges at each surface within an urban canopy layer. The performance of the model was examined against the real meteorological conditions observed at Kugahara, Tokyo, on September 01 of 2005. It was confirmed that our ML-UCM has sufficient accuracy for practical use.

1. はじめに

都市の建物が大気と与える影響を評価するモデルはCFDモデルと気象モデルに大別される⁽¹⁾. CFDモデルの多くは、数cmから数mメッシュで建物を解像し、建物周辺の気流や熱の3次元分布を直接計算する。

一方、気象モデルは、一般的に、数100mから数kmメッシュで大気を解像するため、個々の建物を解像することはない。1980-90年代の気象モデルでは、都市の建物群を地表面パラメータとして表現していた⁽²⁾。いわゆる平板都市モデルである。このタイプのモデルでは、都市の建物群が風に与える力学的な影響については粗度長を大きくする、建物群が放射と与える熱的な影響については地表面アルベドを小さくする、建物群による蓄熱効果については熱慣性（熱量と熱伝導係数）を大きくするといった方法によって都市が大気と与える影響を計算していた。2000年代になると、建物群が大気と与える影響をより陽に計算する都市キャノピーモデルが国内外で開発されるようになった。都市キャノピーモデルは、都市キャノピー層を1層で扱う単層都市キャノピーモデル⁽³⁾⁻⁽⁵⁾と鉛直方向に解像する多層都市キャノピーモデル⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾に大別される（図1）。これまでの都市キャノピーモデルでは、建物間の放射計算を行う際に、天空率と放射の建物間反射などを解析的に扱ってきた。

本研究では、CFD分野などでしばしば利用されるレイトレーシング法を適用した多層都市キャノピーモデルを開発する。キャノピーモデルの場合、メッシュ内の建物は一様に扱われるため、読者におかれては、レイトレーシングの長所はまったくないように思われるかもしれない。しかしながら、ビル影の計算時に太陽の位置の変化に応じて毎回計算する必要がないなど、レイトレーシングにはビル影の取り扱いが楽になるという長所がある。また、都市内に霧などが出現した場合、放射の吸収・散乱をより現実的に考慮できるという利点もある。日本においては都市で霧が発生することは少ないが、サンフランシスコやロンドン、上海のように霧が多発する都市もある。また、たとえ出現確率が低くても、都市の霧は交通や生活に大きな影響を与えるため、予報従事者の間では、霧の予測は重要視されている。レイトレーシングを採用した多層都市キャノピーモデルの開発は、将来を見据えると言えよう。

2. 手法

本研究で開発した多層都市キャノピーモデルの運動方程式や熱フラックスの式は、既存のモデル⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾におおむね準拠している。ただし、キャノピー層内での放射の反射計算やビル影

の計算にレイトレーシングを用いている点が異なる（図2）。

3. 結果

本研究で開発した多層都市キャノピーモデルの精度を検証するために、先行研究で行った方法⁽⁷⁾を採用した。すなわち、上部境界に東京タワーで観測された値を与え、その下の大気内での風や気温をモデルで計算させ、計算結果を地上付近の観測値と比較検証するという方法である。検証実験の結果の一部を図3に示す。キャノピー層内の風速分布や地上気温の日変化が良好に再現されていることがわかる。なお、図には示さないが、先行研究で開発された多層都市キャノピーモデルとほぼ同程度の精度を持つことがわかった。

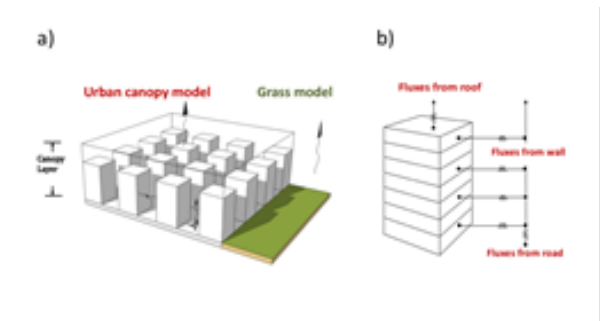


Figure 1 Schematic of multi-layer urban canopy model.

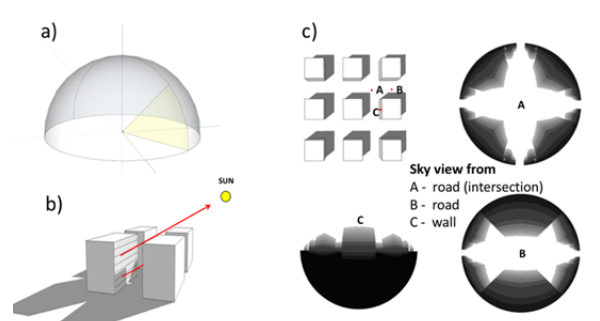


Figure 2 (a) Schematic of Ray-tracing method, (b) schematic of building's shadow calculated by the ray-tracing method, (c) sky view from the cross road, road center, and building wall simulated by our multi-layer urban canopy model.

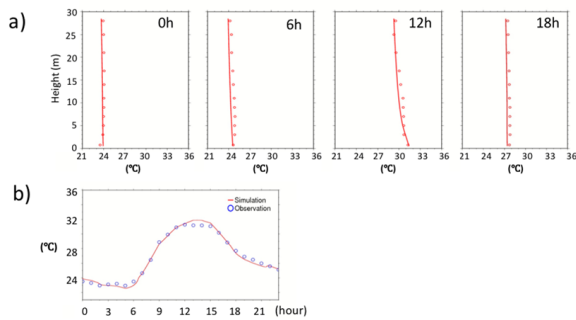


Figure 3 Validation of our multi-layer urban canopy model. (a) Vertical profile of wind speed, (b) diurnal cycle of surface air temperature. Solid lines indicate the simulation results and circles indicate the observations.

4. 結論

本研究では、CFD分野で用いられるレイトレーシング手法を気象モデル用に開発された多層都市キャノピーモデルに組み込むことで、新たな多層都市キャノピーモデルを開発した。

観測データとの比較検証の結果、多層都市キャノピーモデルが実用上十分な精度を持っていることがわかった。また、この精度は、先行研究で開発された多層都市キャノピーモデルと同程度であることもわかった。

本研究で開発したモデルは、ビル影を取り扱いやすい、霧発生時の放射計算がより現実的になるなどの長所がある。さらなる精度検証と気象モデルへの導入が今後の課題であろう。

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) 日下博幸, 都市の気象, 堀口郁夫ほか編, 局地気象学, 森北出版 (2004), 196-204.
- (2) Kimura and Takahashi, The effects of land-use and anthropogenic heating on the surface temperature in the Tokyo Metropolitan area: A numerical experiment, *Atmospheric Environment*, 25 (1991), 155-164.
- (3) Kusaka, H., H. Kondo, Y. Kikegawa, and F. Kimura, A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: Comparison with multi-layer and slab models. *Bound.-Layer Meteor.*, 101 (2001), 329- 358..
- (4) Kanda M., T. Kawai, M. Kanega., R. Moriwaki, K. Narita, A. Hagishima, A simple energy balance model for regular building arrays, *Bound.-Layer Meteor.*, 116 (2005), 423-443.
- (5) Aoyagi, T. and N. Seino, A square prism urban canopy scheme for the NHM and its evaluation on summer conditions in the Tokyo metropolitan area, Japan, *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 50 (2011), 1476-1484.
- (6) Kondo, H., Y. Genchi, Y. Kikegawa, Y. Ohashi, H.

Yoshikado, and H. Komiyama, Development of a multi-layer urban canopy model for the analysis of energy consumption in a big city: Structure of the urban canopy model and its basic performance, *Bound.-Layer Meteor.*, 116 (2005), 395- 421.

- (7) 萩島理・谷本潤・片山忠久・大原健志, 改良・建築-都市-土壌連成系モデル (AUSSM) による都市高温化の構造解析: 第1報 モデルの理論構成及び標準解, *日本建築学会計画系論文集*, 66 (2001), 79-86.
- (8) Ikeda, R. and H. Kusaka, Proposing the simplification of the multilayer urban canopy model: Intercomparison study of four models, *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 49 (2010), 902-919.