

CFD を用いた道路およびビル面素材の反射率の違いによる実在街区の温熱環境評価 CFD simulation of thermal Environment by surface material with different reflectivity

○高橋 陽介 (大阪大学)

近藤 明 (大阪大学)

池島 薫 (AKL)

井上 義雄 (大阪大学)

Yosuke TAKAHASHI*¹ Akira KONDO*¹ Kaoru IKEJIMA*² Yoshio INOUE*¹

*¹ Osaka University *² Advanced Knowledge Laboratory

Surface materials with high reflectivity could effectively mitigate urban heat island phenomena. In a real city block in Osaka City, the six cases of the 24-hour unsteady analysis for changing the reflectivity were simulated and the change of the buildings/roads surface temperature, air temperature and wind speed were discussed. The simulation results showed that the surface material with high reflectivity reduced air temperature as well as the surface temperature, but that the building surface material with high reflectivity raised air temperature near the roads compared with the building surface material with low reflectivity, and that the road surface material with high reflectivity was generally useful.

1. 序論

都市ヒートアイランド現象は、重要な環境問題の1つである。その要因として、地表面の変化、潜熱によるフラックスの減少、建物群による反射、輻射特性の変化、人工排熱などが考えられている¹⁾²⁾。このような要因を含むマクロモデルおよびミクロモデル (CFD) の研究も多く行われている。しかしながら、多くのマクロモデルの水平解像度は約 1km で、都市の詳細な構造を再現することはできない。都市の詳細な構造を再現し、日射および輻射の詳細は影響を考慮できる CFD³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾も研究が行われている。しかしながら、熱環境が最悪となる日中のある時刻の定常計算の実施であり、1日の非定常計算は実施されていない。

また、多くの都市は海岸沿いに位置しており、陸海風により顕著な風向の日変動⁷⁾がみられる。建物および道路は方向により、日射を受ける量の日変動は大きく、また蓄熱により大気と熱交換量に時間遅れが生じる。このようなことから、都市の温熱環境の検討を CFD において行うためには、1日の非定常計算を行うことが非常に重要である。

しかしながら、輻射や日射の影響を考慮した CFD 非定常計算は、設計レベルにおいてはまだまだ普及していないのが実情である。これは、輻射計算において必要な形態係数を求めるために、膨大な計算時間を要することが主要因となっている。また、日射の計算においても太陽高度と太陽方位と、解析地点の緯度経度、対象物の置かれた方位角等の関係によって日射の影響を受ける対象物の日射による吸熱量を時刻毎に求める必要があるため、膨大な計算時間をやはり必要としている。さらに、計算

対象領域外に支配される気温、風速、風向の境界条件を適切に設定する手法がないためである。そのため、屋外街区の気流検討において、日射の日向・日陰を計算要素単位で判定した上で3次元の非定常計算を実施することはほとんど無く、予め想定した熱負荷境界条件として平均的な値を事前に設定することが一般的となっている。

著者らは、先に開発した CG 法による高速輻射計算法 (PPM 法⁸⁾) および CG 法による日射計算法⁹⁾を用いることにより、日射・輻射の計算に要する時間を大幅に短縮することが可能であることを示した。

本研究では、大阪市の実在街区をモデルとして扱い、そこでの建物および道路の表面に高反射性素材を用いたことを想定し、表面反射率を変動させたときの表面温度、気温、気流の変化について評価した。

2. 計算条件

2.1 計算領域

計算対象領域は、Fig. 1 に示す大阪府中央区瓦町 1 の 400m×400m の 16 ブロック街区である。この実線で囲まれた 4 ブロックに対して、温熱環境の評価を行った。また、計算対象領域内の最も高い建物高さが 151m となるため、解析空間の高さは 350m とした。境界の影響を取り除くために、計算対象領域の外側に 300m の仮想空間を設定した。仮想空間を含む全メッシュ数は 103×104×50=535,600 である。

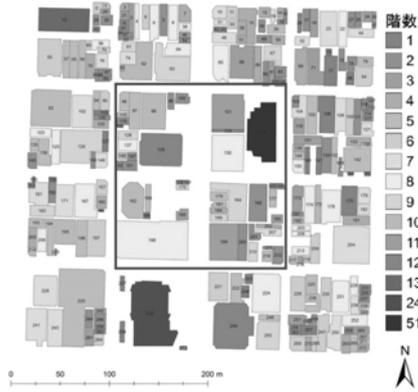


Fig. 1 Area of Calculation

2.2 境界条件

事前準備として気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting) を用いて、この計算領域を含む近畿圏を含む領域を対象に、2007 年 8 月 8 日から 14 日の 1 週間の計算を行い¹⁰⁾、気温の観測値と最もよく一致した 2007 年 8 月 11 日 7 時から 8 月 12 日 7 時までの 24 時間を計算対象期間とした。なお、助走計算は 8 月 11 日 5 時から 2 時間とした。

WRF の鉛直解像度は約 1km と CFD に比べて粗いので、WRF の異なる 2 つの高度 (約 30m と約 200m) の気温および風速データから、Monin-Obukhov の相似則¹¹⁾を用いて各時刻の気温と風速の鉛直分布を求め、CFD の全ての側面境界条件とした。例として、8 月 11 日の 8:00、12:00、16:00、24:00 における風速の uv 成分と気温の CFD 境界条件の鉛直分布を Fig. 2~Fig. 4 に示す。日中は西風、夜間は東風となり海陸風循環が生じている。また日中の大気は不安定、夜間は安定している。上端境界条件は、Monin-Obukhov の相似則から得られた高さ 350m の値を一様に与えた。また、CFD の各タイムステップに対する境界条件は、Monin-Obukhov の相似則から予め求めた正時における鉛直分布から線形補間を行った。

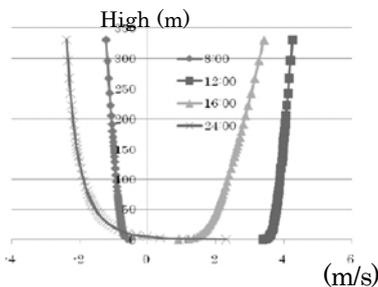


Fig. 2 vertical profile of wind velocity u

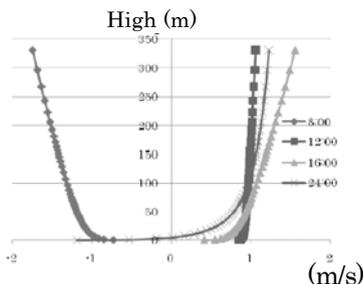


Fig. 3 horizontal profile of wind velocity v

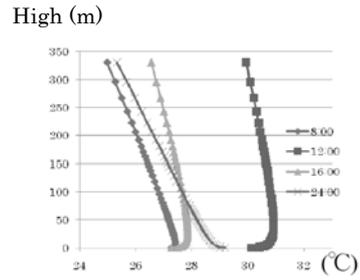


Fig. 4 vertical profile of air temperature

熱収支に用いた条件を Table 1 に示す。また建物および道路表面に高反射性素材を用いることを想定し、Table 2 に示すように 6 ケースの計算を行った。ここで文献値¹²⁾より Case2 を基本ケースとして設定し、実現可能なアルベドとしてコンクリートに関しては 0.40 を最大値、アスファルトに関しては 0.25 を最大値と設定した。

Table 1 Thermal Conditions

insolation calculation	reference ⁷⁾
Radiation(configuration factor)	reference ⁸⁾
building surface	concrete
road surface	asphalt
inside temperature of buildings	26°C
underground temperature	22°C at 0.6m depth

Table 2 Albedo at each case

case number	1	2	3	4	5	6
roof albedo	0.15	0.20	0.20	0.20	0.40	0.40
side of buildings albedo	0.15	0.20	0.20	0.40	0.20	0.40
road surface albedo	0.15	0.15	0.25	0.15	0.15	0.25

3. 計算結果

領域を真上から見た建物の表面温度及び道路面からの 1.5m 高さの気温分布を、屋上面アルベドだけが異なる case2 と case5 についての結果 Fig. 5 に示す。また太陽日射をよく受ける午前 8 時から 10 時について建物の東側側面の表面温度分布を、建物側面のアルベドのみを変更した case2 と case4 についてそれぞれ Fig. 6 に示した。また 1.5m 高さの気温推移を Fig. 7 に示す。次に道路面近傍気温として地表面から 50cm 高さの気温について、case2 を基準とし、他のケースとの差分を Fig. 8 に示す。

Temperature

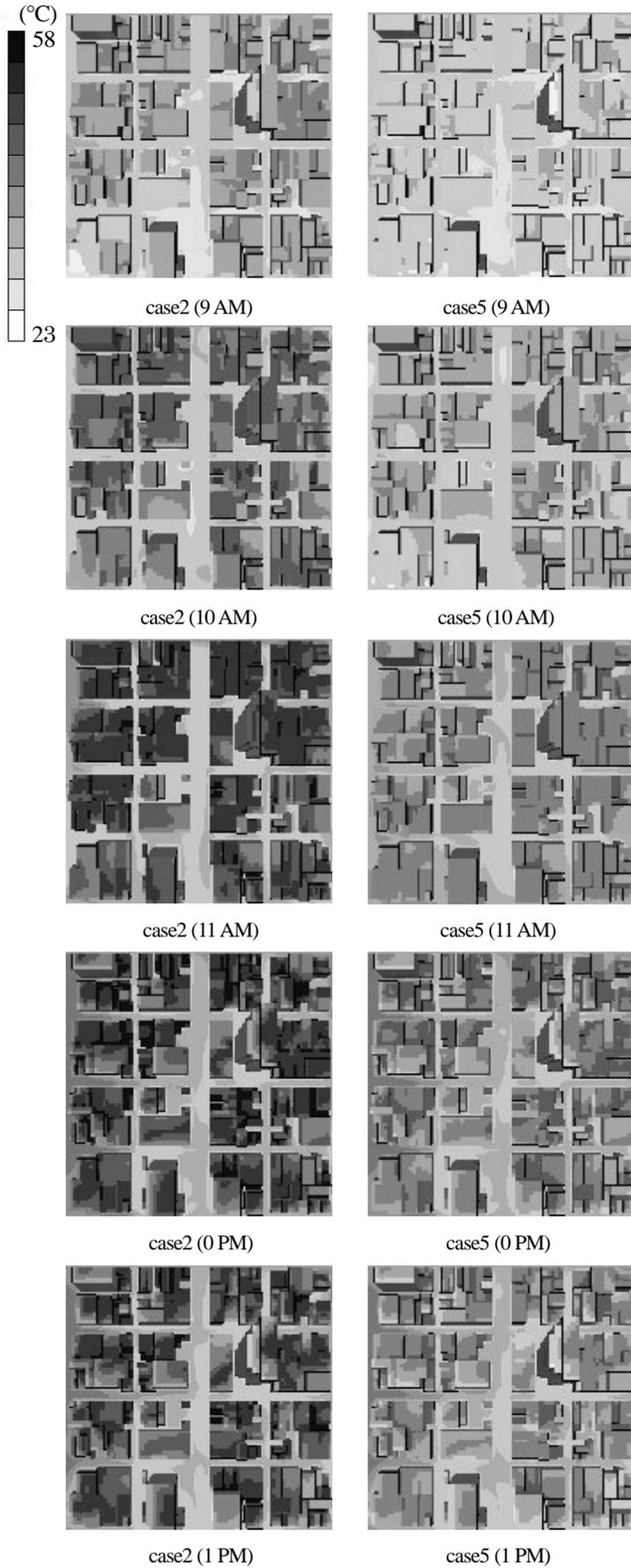


Fig. 5 Building surface temperature and air temperature at the height of 1.5m

Temperature

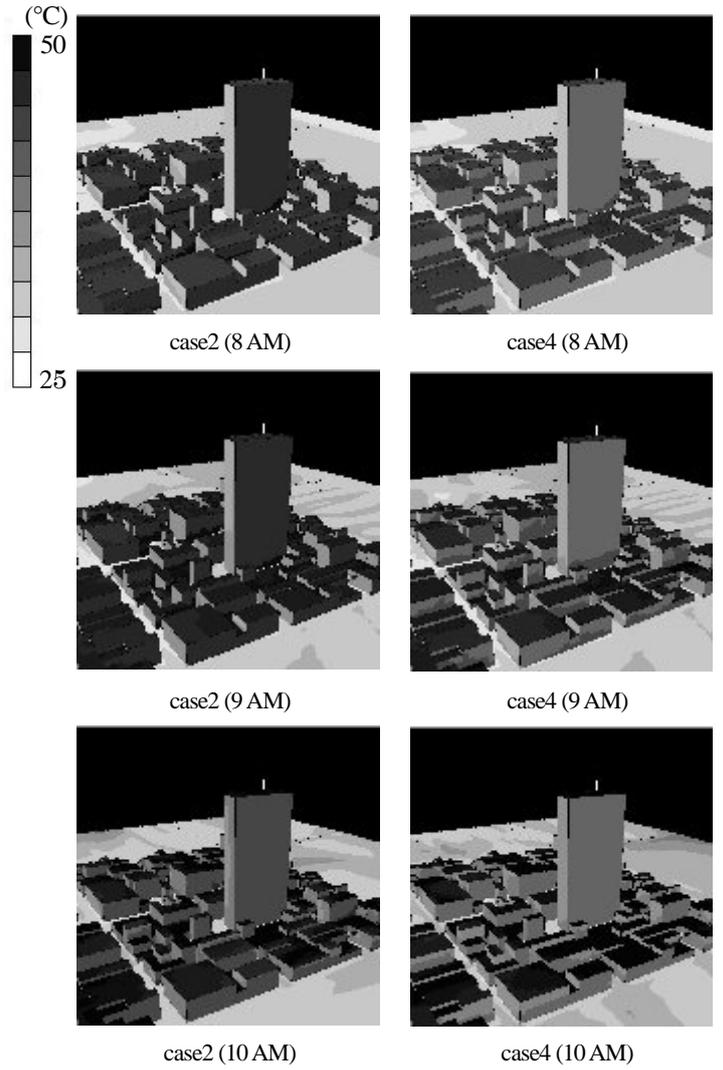


Fig. 6 Eastern surface temperature of buildings

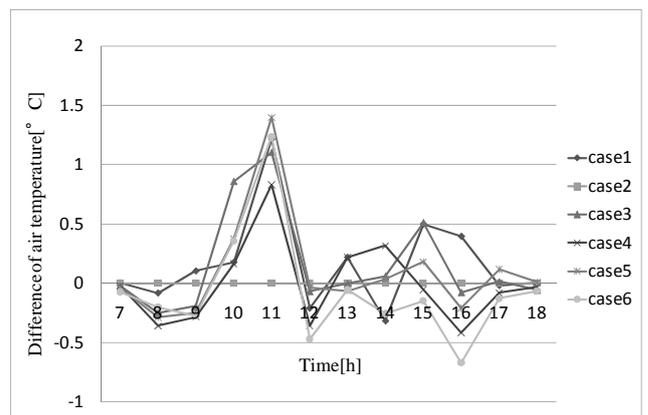


Fig. 7.1 Difference of air temperature from case2 at 1.5m height

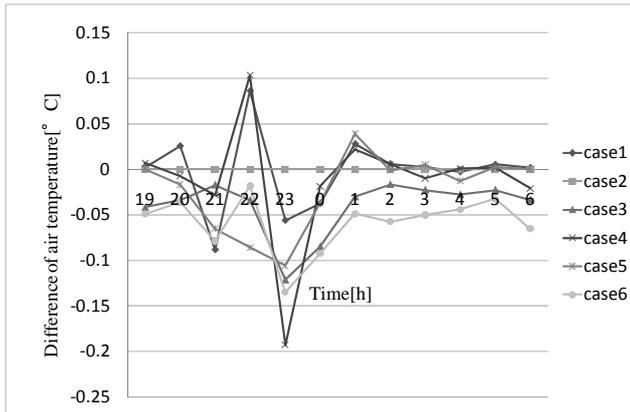


Fig. 7.2 Difference of air temperature from case2 at 1.5m height

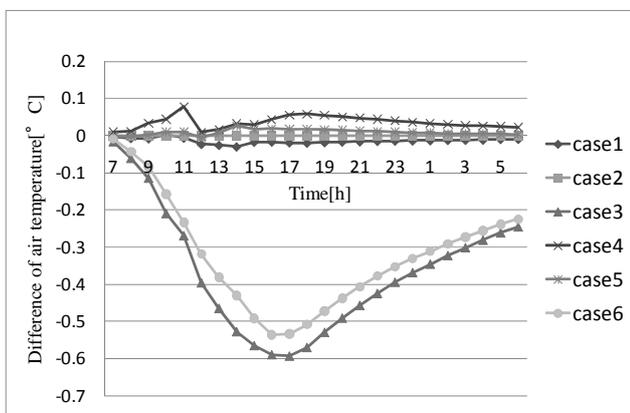


Fig. 8 Difference of air temperature from case2 at 50cm height

4. 考察と結論

Fig. 5 より屋根の表面アルベドを上昇させた case5 において太陽高度が高くなる時刻を中心に表面温度が著しく低下していることが確認できる。また 1.5m 高さの気温を Fig. 7 に示したが、今回用いたアルベド値の範囲では大きな気温の低下は確認できなかった。しかしながら Fig. 8 に示した case2 からの道路面近傍の気温の差分を見ると道路面アルベドを上昇させた case3 と case6 については大きく気温低下が確認できた。一方で建物側面のアルベドのみを上昇させた case4 については、建物側面アルベドだけを上昇させ、建物側面の反射量が増加し、その一部が道路面で吸収されるため、道路表面温度の上昇が生じることにより道路面近傍の気温が上昇したと考えられる。以上より、表面温度を低下させるには、表面アルベドを高くすれば良いことが明確となった。しかし、建物表面または道路表面アルベドのみを大きくすると、その表面温度は低下するが反射により他の表面温度上昇を招く危険性もある。屋上面アルベドの変化は、地上近傍の気温に与える影響はほとんどないが、街区の屋上面レベルがほぼ同一高さの場合、屋上面レベルでの気温に与える影響は無視することはできない。当然ながら、建物表

面と道路表面アルベドともに高くすると、都市ヒートアイランド緩和にもっとも有効となる。

参考文献

- 1) Kondoh A., Nishiyama J., "Changes in hydrological cycle due to urbanization in the suburb of Tokyo Metropolitan Area, Japan," *Advances in Space Research*, 26 (1999), pp. 1173–1176.
- 2) Saitoh T S., Shimada T., Hoshi H., "Modeling and simulation of the Tokyo urban heat island," *Atmospheric Environment*, 30 (1995), pp. 3431–3442.
- 3) Mochida A., Isaac Y.F. Lun, "Prediction of wind environment and thermal comfort at pedestrian level in urban area," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96 (2008), pp. 1498–1527
- 4) Hong Huang, Ooka R., Kato S., "Urban thermal environment measurements and numerical simulation for an actual complex urban area covering a large district heating and cooling system in summer," *Atmospheric Environment*, 39 (2005), pp. 6362–6375
- 5) Ashie Y., Vu Thanh Ca., Asaeda T., "Building canopy model for the analysis of urban climate," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 81 (1995), pp. 237–248.
- 6) Kanda M., Kawai T., Nakagawa K., "A Simple Theoretical Radiation Scheme For Regular Building Arrays," *Boundary-Layer Meteorology*, 114 (2005), pp. 71–90
- 7) D.K. Papanastasiou, D. Melas, I. Lissaridis, "Study of wind field under sea breeze conditions; an application of WRF model," *Atmospheric Research*, 98 (2010), pp. 102–117
- 8) Kaga A., Kondo A., Inoue Y., Ikejima K., "Fast Calculation Method Of View Factors Using CG Technique," (2008), 空調学会論文集
- 9) Ikejima K, Kaga A, Kondo A, 2009, Fast Calculation Method Of Direct Solar Radiation Using CG Technique, 空調学会論文集
- 10) Kundan Lal Shrestha, Kondo A, Maeda C, Kaga A, Inoue Y, "Investigating the Contribution of Urban Canopy Model and Anthropogenic Heat Emission to Urban Heat Island Effect using WRF Model," (2009), 日本冷凍空調学会論文集, 26
- 11) Roger A. Pielke, "Mesoscale Meteorological Modeling," (1984), Academic Press
- 12) Hashem A. Surabi M. Arthur R., "Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂," (2008)