

30. 東京都心およびその周辺地域における建物の存在が気温に与える影響について

Effect of Buildings on Temperature Variation in Urban and Suburban Areas in Tokyo

東海林孝幸*、近藤裕昭**

T. Tokairin*, H. Kondo**

ABSTRACT ; A numerical investigation of the temperature variation in urban and suburban areas due to the presence of buildings was carried out using a one-dimensional canopy model combined with a meso-scale meteorological model. Since temperature increases in an urban area are caused by sensible heat from building surfaces besides anthropogenic heat and reduction of wind speed due to buildings' drag, we estimated each cause separately to determine the contribution by each to the temperature variation. The simulation was performed for Kanda, an urban area, and for Nerima, a suburban area of Tokyo. Comparisons were made with actual temperatures before the estimation. The comparison indicated that the measured temperatures in the Kanda and Nerima areas were nearly reproduced by the model. The sensitivity analysis indicated that, in a comparison with the temperature in no building environment, the contribution of (i) sensible heat flux from building surfaces to temperature rise was 49% in Kanda and 20% in Nerima, (ii) wind reduction due to drag was 41% in Kanda and 59% in Nerima, and (iii) the effect of the interaction between (I) and (II) was +10% in Kanda and +20% in Nerima.

KEYWORDS ; urban heat island, urban canopy model, temperature measurement

1. はじめに

ヒートアイランド現象がもたらす大都市の熱環境の悪化および空調システムの稼働によるエネルギー消費の増大が指摘されて久しい。ヒートアイランドによる気温上昇の要因として大きく分けると、1) 人工廃熱、2) 地表面、建物壁面からの顕熱および、3) 都市の通気性の低下などが挙げられる。これらの各要素が複雑に作用しあい都市の気温上昇をもたらすと考えられるが、これら各要素がどの程度寄与しているか、観測から定量的に見積もるのは困難である。近年、数値モデルにより人工廃熱の存在が気温に与える影響が報告されている（たとえば Ichinose et al., 1999, Ohashi et al., 2005）。

本研究では上述した気温上昇要因のうち2) と3) を扱う。すなわち、建物の存在による顕熱放出と都市内における風速減少を独立に取り扱い、それぞれの要因がどの程度気温上昇に寄与するかをメソスケール気象モデル、都市キャノピーモデル(Kondo et al.,

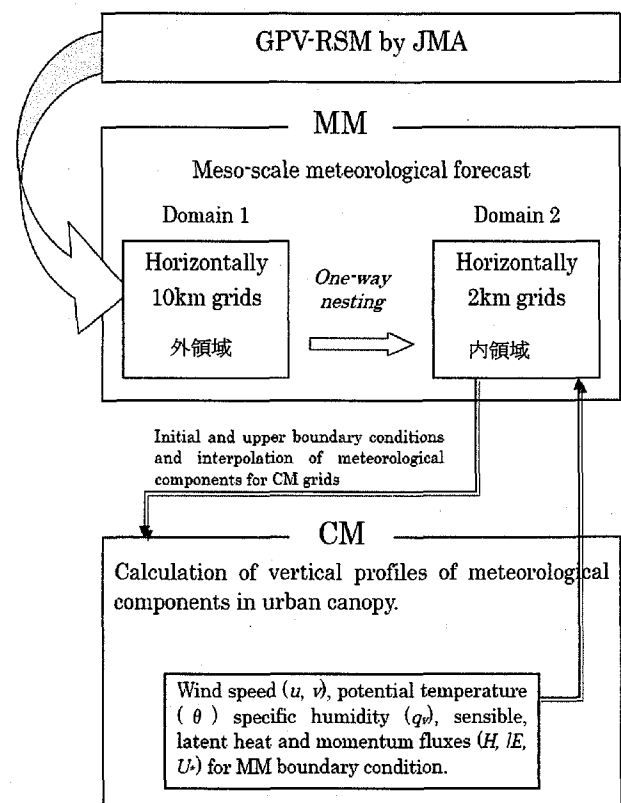


Fig. 1 Simulation system consists of two models (MM and CM). In MM, two types of computational domains are considered (outer domain: Domain 1 and inner domain: Domain 2). Domain 1 covers most of central part of Japan. Nested region (Domain 2) covers whole Kanto district (see Fig. 3). One CM is connected with one MM grid. CM receives initial and upper boundary conditions from MM and returns calculated results to MM (two-way nesting).

* (独) 建築研究所 Building Research Institute, Japan.

** (独) 産業技術総合研究所 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology(AIST), Japan.

2005) により評価する。計算対象地域は東京 23 区とした。また、各要素の寄与度を見積もる前に 2004 年 7 月に行った都内気象観測データを用いてモデル検証を行った。

2. モデルシステムの概要

図 1 にモデル構成を示す。システムは 3 次元メソスケールモデル (以下 MM) および鉛直 1 次元のキャノピーモデル (以下 CM) により構成されている。MM の外領域 (図 1 の 'Domain1') に対しては気象庁 GPV-MSM による予報値を使用している。1 つの CM は MM の 1 格子に接続されており、東京 23 区全域をカバーしている (図 2)。CM の上部境界条件は MM によって与えられる。また、CM で計算された各気象要素は MM に返される (双方向ネスティング)。

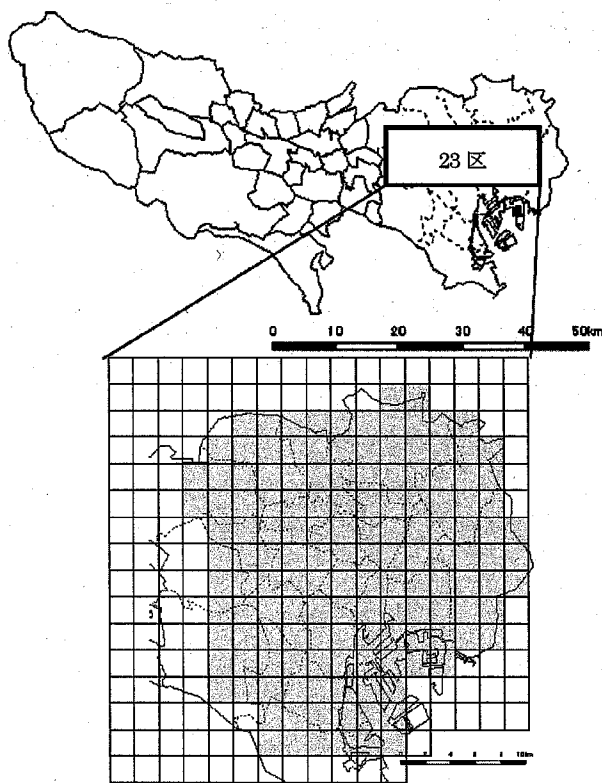


Fig. 2 CM applied grids (shaded part). The size of a grid is approximately 2km horizontally.

3. CM による計算値と実測値との比較

3. 1 観測概要

東京都千代田区神田錦町および練馬区下石神井において 2004 年 7 月 27 日正午から翌 28 日正午 (平日)、同年 8 月 7 日正午から翌 8 日正午 (休日) にかけて気温、表面温度および交通量測定を実施した。街区構造として、神田地区は高さ 10~20 数メートル程度のビルが立ち並ぶ事務所街区であり、練馬地区は低層および集合住宅が主に占める街区である。観測領域の広さは東西、南北方向に 200~300m 程度である。観測地点は神田地区については 11 地点、練馬地区では 15 地点とした。また、観測領域内の建築物屋上では風向・風速、気温、湿度および全天日射量、長波放射量の定点観測も同時に行った。

3. 2 CM の設定

図 2 に示したように CM は東京 23 区全域をカバーしている。本研究では CM の総数は 145 である。表 1 に CM における各種設定値を示す。

表 1 CM の設定 (W: 壁面、G: 地表面を表す)

	Average building width w [m]	Average distance between buildings b [m]	Volumetric heat capacity ($\times 10^6$) [$\text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$]	Density ρ ($\times 10^3$) [kgm^{-3}]	Thickness of the first layer δ [m]	Thermal conductivity [$\text{Jm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{-1}$]
Kanda (urban)	14.7	13.6	2.01 (W) 2.01 (G)	2.01 (W) 2.01 (G)	0.0133	2.28 (W) 0.73 (G)
Nerima (sub-urban)	10.1	7.9	0.60 (W) 2.01 (G)	0.50 (W) 2.01 (G)	0.0133	0.03 (W) 0.73 (G)

3. 3 両地区における実測値と計算値の比較

CM による計算値と実測値の比較を図 3~図 6 に示す。凡例中の数字は観測ポイントである。図より、

各ポイント間における気温差は日中は日向、日陰の存在によって大きくなるが、夜間では小さい。参考値として加えた大手町および練馬 AMeDAS データは昼夜ともに実測値を下回っている。建物の存在、人工廃熱が都市街区内の気温上昇に寄与していると考えられる。

CM による気温の計算値は両地区ともに比較的良く実測値を再現しているが練馬地区の夜間気温 (図 5) は若干過大評価となっている。壁面物性値、緑地割合等の適切な設定が必要と考えられる。図 4、6 にスカラー風速についての AMeDAS 実測値と計算値の比較を示す。風速についても CM による計算値は実測値をよく再現している。

4. シミュレーション

4. 1 シミュレーションケース

冒頭で述べた各要素 (風速の減少、壁面顕熱の放出) について気温変動に与える影響を調べるために以下に示す 4 通りの計算を行った (表 2)。なお、計算では人工廃熱は考慮していない。(a) Case0 (control run): 現実の気温、風速場 (図 3~図 6)、(b) Case1: ビルからの顕熱放出、放射のみを考慮し、ビル抵抗による風速の減少は考慮しない (風に対してビルは存在しない)。(c) Case 2: ビル抵抗による風速減少のみを考慮する。ビルによる熱的効果 (顕熱放出、放射) は考慮しない。(d) Case 3: 熱的効果、風速減少の双方が存在しないケース。すなわち、23 区全域にわたって建物が存在しない場合に相当する。計算期間は 2004 年 7 月 26 日正午から 29 日午前 0 時までとした。

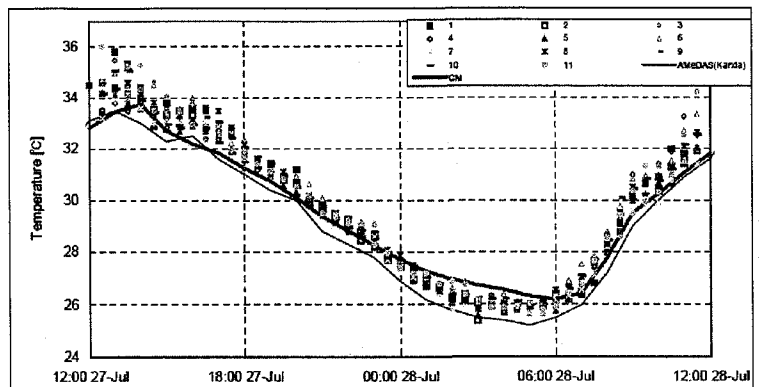


Fig. 3 Comparison between observed and calculated temperatures (MM and CM). AMeDAS data is also added. Observed temperature is higher than that measured at AMeDAS site. Measurement height at AMeDAS is 1.5m above the ground.

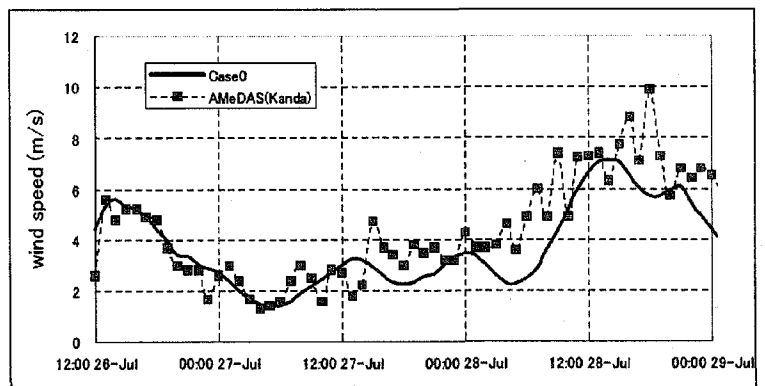


Fig. 4 Comparison between observed by AMeDAS and calculated absolute wind speed by CM and MM. Note that the wind speed of AMeDAS is measured at 75m high.

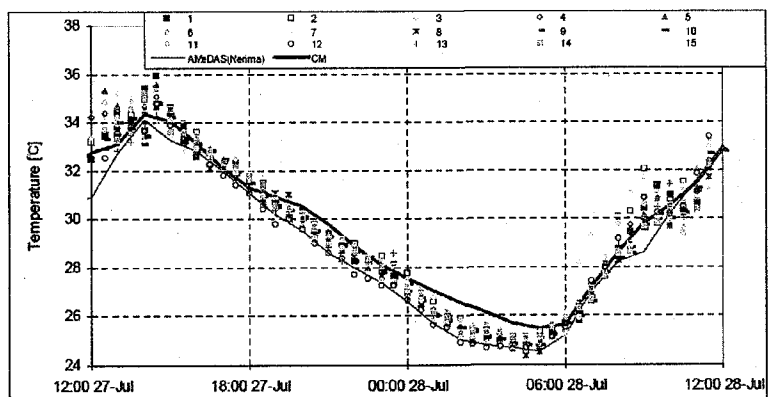


Fig. 5 Same as Fig. 3 but for Nerima area. Calculation by the CM well reproduces observed temperature during daytime, while calculated result in nighttime is slightly overestimated. Measurement height at AMeDAS is 1.5m above the ground.

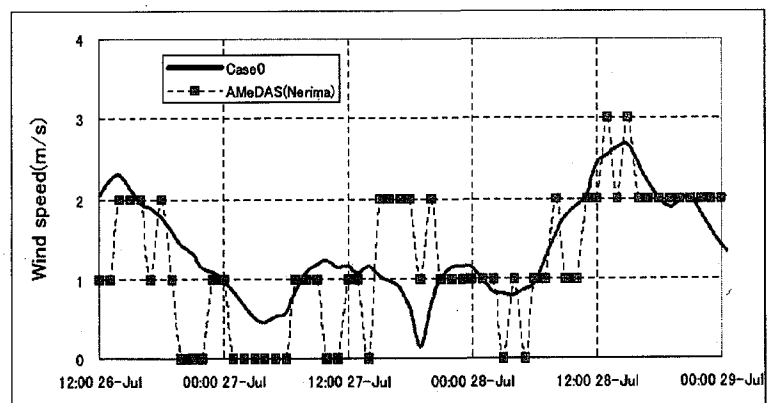


Fig. 6 Same as Fig. 4 but for Nerima area. Wind speed is measured at 6m above the ground at AMeDAS site. Note that wind speed is given as integer value.

表2 シミュレーションケース

	Case0	Case1	Case2	Case3
Wind reduction by drag of buildings	On	Off	On	Off
Heat release from building surfaces	On	On	Off	Off

4. 2 シミュレーション結果

図7、8に神田、練馬地区におけるケースごとの気温変動を示す。両地域とも同様の傾向が見てとれる。すなわち、早朝から正午付近まではケース間における気温差は小さく午後から翌朝にかけて気温差が広がっている。気温差が大きくなる時間帯に注目すると、ケース3（ビル無し）と比較して神田地区における気温上昇の平均は 1.02°C （Case0）、 0.50°C （Case1）、 0.42°C （Case2）、Case1 と Case2 の相互作用によるもの（Int.）（図には示していない）は 0.1°C であった。一方、練馬地区では 0.58°C （Case0）、 0.12°C （Case1）、 0.34°C （Case2）、 0.12°C （Int.）であり、神田地区に比べ各要素の気温上昇への寄与は小さい結果となっている。練馬地区は低層住宅が多数を占めるため壁面からの顕熱放出量が神田地区のそれよりも少ないことおよび、建物壁面を木材と仮定したことにより蓄熱量が小さく、それゆえ夜間の壁面からの熱放出も小さいことなどが理由として挙げられる。

図9に各要素の気温上昇に対する寄与度を示す。図より、熱的効果による寄与は49%（神田地区）、20%（練馬地区）、ビル抵抗による風速減少による寄与は41%（神田地区）、59%（練馬地区）、これら2つの要

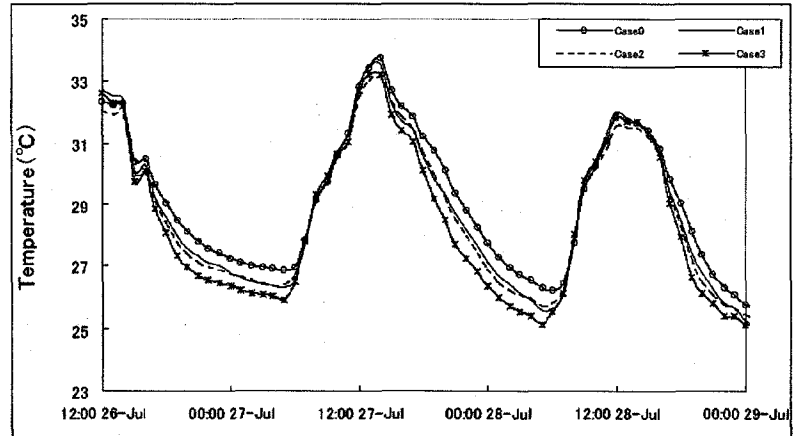


Fig. 7 Calculated temperature variations for all cases in Kanda area. The difference among the cases is appeared from every afternoon to early morning.

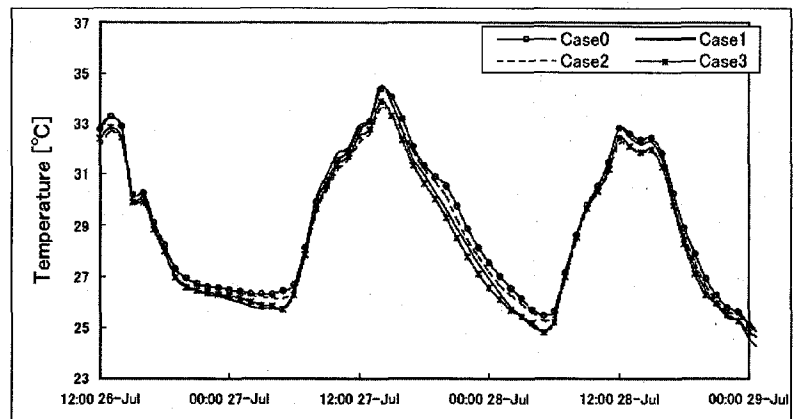


Fig. 8 Same as Fig. 7 but for Nerima area. The same tendency of temperature variation in Kanda was obtained. Contribution to temperature increase by considering only sensible heat release (Case1) is relatively lower than that by only considering the reduction of wind speed (Case2) during nighttime.

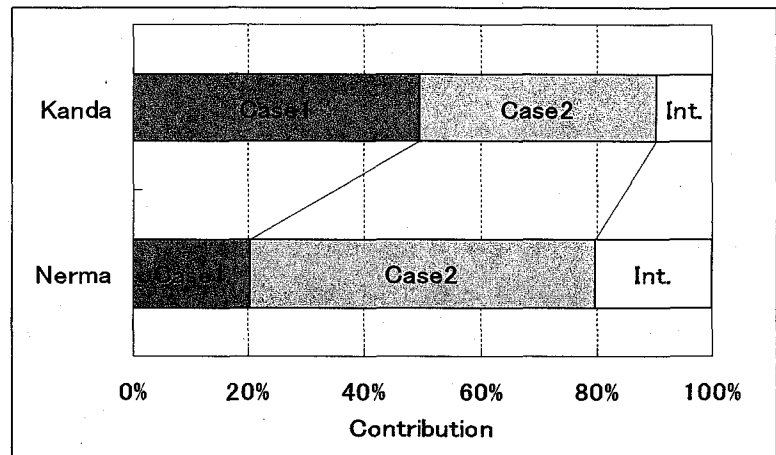


Fig. 9 Contribution of sensible heat release from building surfaces (Case1), wind reduction due to drag (Case2) and their interaction (Int.).

素の相互作用によるものは 10% (神田地区)、20% (練馬地区) であった。神田地区では相対的に高い建築物からの熱的効果が風速減少による効果と同等なのに対し、練馬地区では建物による熱的効果は小さくなり、風速の減少による効果が相対的に気温上昇に大きく寄与している。

5. 結論

ヒートアイランド現象による気温上昇要因 (ビルからの熱放出、放射およびビル抵抗による風速の減少) についてそれらがどの程度寄与しているかをメソ気象モデルに接続した都市キャノピーモデルを用いて見積もった。キャノピーモデルの計算対象領域は東京 23 区全域とし、その中で都市部 (神田地区) と周辺部 (練馬地区) について調べた。結果、都市にビルなどの建築物がない場合と比較したときの気温上昇の平均値は、1) 現実的なビルが存在する場合 1.02°C (神田地区)、0.58°C (練馬地区)、2) ビルの熱的効果のみによるもの 0.50°C (神田地区)、0.12°C (練馬地区)、3) ビル抵抗による風速減少によるもの 0.42°C (神田地区)、0.34°C (練馬地区)、2) と 3) の相互作用によるものは 0.1°C (神田地区)、0.12°C (練馬地区) であった。これらより、比較的高い建築物の多い神田地区ではビルの熱的効果と風速減少が同程度の寄与であるのに対し、住宅街区である練馬地区では低層住宅が多くを占めるため相対的に風速の減少による効果が高くなった。

参考文献

- 1) Ichinose, T., K. Shimodozono, and K. Hanaki, 1999: Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. *Atmos. Environ.*, **33**, 3897-3909.
- 2) Ohashi et al., 2005: Influence of air-conditioning waste heat on air temperature at the Tokyo office area during summer season –Numerical experiments using the urban canopy model coupled with the building energy model—. *J. Appl. Meteor.* (accepted).
- 3) Kondo, H., Y. Genchi, Y. Kikegawa, Y. Ohashi, H. Yoshikado, and H. Komiyama, 2005: 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-Lay. Meteorol.*, **116**, 395-421.