

熱赤外リモートセンシングを用いた東京都心部における 地表面温度と熱収支のシミュレーション

名古屋大学 正会員 平野 勇二郎
名古屋大学 正会員 井村 秀文
茨城大学 外岡 秀行

1. はじめに

近年, 都市ヒートアイランド現象による都市熱環境の悪化が指摘されており, 詳細な実態解明や有効な対策についての検討がなされている. その中で局地気象モデルが重要な役割を果たしており, 今後さらなる高精度化が求められている. 気象モデルを高精度化するためには, まずは地表面熱収支を精緻に把握することが重要である. 一般に海陸風などの局地循環は, まず地表面の物理特性に空間分布があり, このため日射を受けた時の表面温度の空間的なばらつきが生じ, これにより気圧の勾配が生じ, 風が生じるというメカニズムで生じる. したがって, 大気の流れ場を的確に再現するためには, 地表構成物の物理特性の設定や地表面熱収支の計算を高精度に行なうことが不可欠である. 実際, 著者らは既に衛星データから得られた植生分布を局地気象モデルの地表面に組み込む方法を提案し, 気象シミュレーションを高精度化できることを実証した¹⁾. ただしこの研究では, 土地被覆カテゴリーごとに地表面の物理特性を表現するパラメータを固定するという点は従来法と同様であり, シミュレーション結果は設定値に依存するという問題点があった. 一方, 衛星観測による表面温度データを用いて地表面熱収支を算定した既往研究は多いが (例えば, Kato and Yamaguchi²⁾など), その多くは表面温度と経験的なパラメータ等を用いた解析的な研究である. この方法では衛星データ取得時以外では算定ができないため, 時々刻々と変化する地表面熱収支や温度の動態を解明する上で必ずしも十分ではない. そこで本研究では, 1次元熱収支・熱伝導モデルによる表面温度を衛星観測データに合わせることで地表面のパラメータを取得し, 現実的な地表面温度と熱収支のシミュレーションを行うことを目的とした.

2. 研究方法

本研究では東京都心部から典型的な市街地, 緑地, 住宅地としてそれぞれ丸の内付近, 皇居, 板橋・練馬付近を解析対象地域として選択した. 本研究で構築した 1次元熱収支・熱伝導モデルの基礎方程式を次に示す.

$$(1 - \text{ref})S^{\downarrow} + \varepsilon(\sigma T_s^4 + L^{\downarrow}) + H + LE + G = 0 \quad (1)$$

$$H = c_p \rho C_H U (T_s - T_a) \quad (2)$$

$$LE = l \rho \beta C_H U (q_{\text{SAT}} - q) \quad (3)$$

$$G = -\lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial z} \quad (4)$$

$$\frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\lambda_g}{c_g \rho_g} \frac{\partial^2 T_g}{\partial z^2} \quad (5)$$

上記の表面温度 T_s およびアルベド ref は衛星データから得られる. また気温や日射量などの気象条件は, 本研究では気象庁による観測データを用いた. 本研究で用いた衛星観測による地表面温度データを図 1 に示す. ただし本研究の方法では蒸発効率 β とバルク輸送係数 C_H とを個別に同定することができない. そこで本研究では簡便法として, まず植生がほとんど存在しない市街地において $\beta = 0$ として C_H を算出し, 次に緑地と住宅地において, C_H は市街地と同じであると仮定して β を算出した. また本研究では地中熱伝導を表現するパラメータとして熱慣性 ($\sqrt{c_g \rho_g \lambda_g}$) を用いた.

3. パラメータ同定と熱収支解析の結果

衛星観測による表面温度と前述のモデルにより計算される表面温度とを合わせることでパラメータを決定した. この結果, 熱慣性は市街地では 2.643, 緑地では 3.074, 住宅地では 1.070 (いずれも $[\text{kWs}^{1/2}/\text{m}^2/\text{K}]$) を得た. また前述した条件下で市街地ではバルク輸送係数は $C_H = 0.00326$, 蒸発効率は緑地では $\beta = 0.25$, 住宅地では $\beta = 0.16$ を得た. この結果得られた地表面温度を図 2 に, 地表面熱収支を図 3 示す. 衛星観測による表面温度では日中は市街地と比較して住宅地の方が高温であったが (図 1 参照), 図 2 では日中のピークの表面温度がほぼ同程度となっている点が興味深い. これは市街地では熱慣性が大きいためタイムラグが生じ, 昇温時である衛星データ取得時は相対的に住宅地の方が高温であったためである. また, 図 3 において市街地や緑地では地中熱伝導が $300 \sim 400 [\text{W}/\text{m}^2]$ に及んでおり, 都市キャノピー

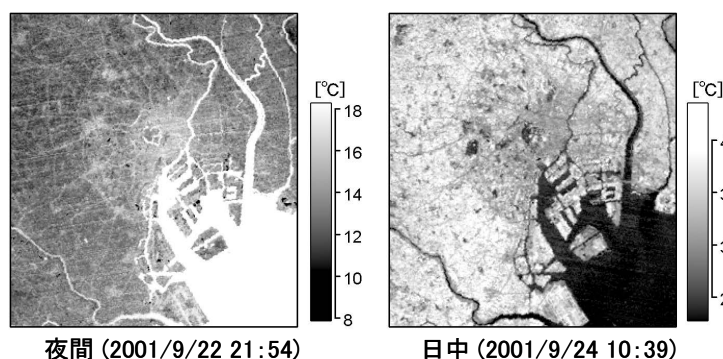


図1 衛星観測による地表面温度 (TERRA 衛星 ASTER データ)

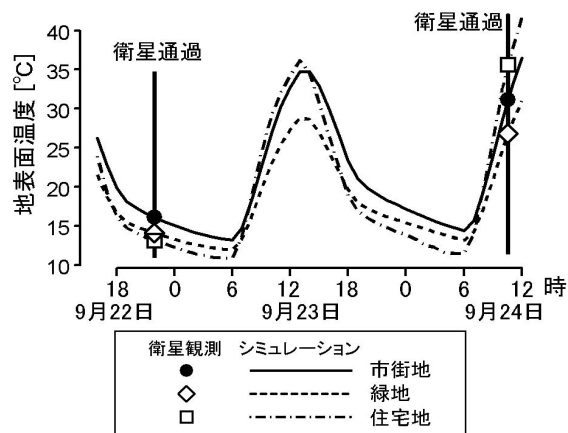


図2 衛星観測およびシミュレーションによる地表面温度の日変化

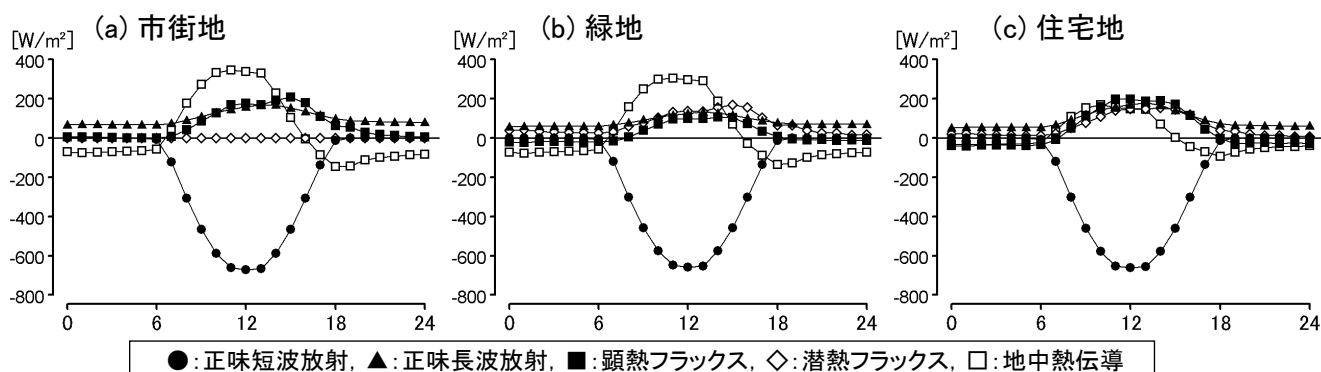


図3 地表面熱収支のシミュレーション結果 (2001 年 9 月 23 日)

モデルを組み込んだ地表面熱収支解析³⁾と比較しても整合性がある。ただし本研究では市街地において潜熱フラックスを無視しているため、ここで得られた $C_H = 0.00326$ は過大評価されている可能性がある。その場合、住宅地や緑地において β が過小評価されていると考えられるため、今後、検証が必要である。

4. まとめ

本研究では衛星観測による表面温度分布と 1 次元熱収支・熱伝導モデルとを結びつけることにより地表面の物理特性に関するパラメータを取得し、地表面温度と熱収支のシミュレーションを行った。とくに、多くの既往研究とは異なり、経験式ではなく物理的な計算に基づいてパラメータを取得した点に本研究の特徴がある。ただし、本研究では C_H と β とを分離することには課題が残されている。この点については、季節や気象条件によるボーエン比の違いを利用して C_H と β を分離できる可能性があると考えている。本研究では日中と夜間の衛星データをペアで用いる必要があったため利用可能なデータが限定されたが、本研究で得られた熱慣性を用いれば、単独の衛星データのみで同様の熱収支解析が可能

である。そこで今後はマルチテンポラルデータに本研究の手法を適用することを検討する予定である。

謝辞 本研究は平成 20 年度地球環境研究総合推進費 (課題番号: Hc-086), 「低炭素型都市づくり施策の効果とその評価に関する研究」(代表: 井村秀文) によるものである。ここに記して謝意を表します。

記号 $S^\downarrow$: 下向き短波放射 [W/m^2], $L^\downarrow$: 下向き長波放射 [W/m^2], ref : アルベド [-], σ : ステファンボルツマン係数 ($=5.670 \times 10^{-8}$) [$\text{W}/\text{m}^2/\text{K}^4$], ε : 地表面の射出率 ($=1$ と仮定) [-], T_s : 表面温度 [K], H : 顕熱フラックス [W/m^2], IE : 潜熱フラックス [W/m^2], G : 地中熱伝導 [W/m^2], c_p : 空気の定圧比熱 [$\text{J}/\text{kg}/\text{K}$], ρ : 空気密度 [kg/m^3], C_H : 顕熱のバルク輸送係数 [-], U : 風速 [m/s], T_a : 気温 [K], l : 水の気化潜熱 [J/kg], β : 蒸発効率 [-], q_{SAT} : 表面温度に対する飽和比湿 [kg/kg], q : 比湿 [kg/kg], T_g : 地中温度 [K], z : 深さ [m], $c_g \rho_g$: 地中の体積熱容量 [$\text{kJ}/\text{m}^3/\text{K}$], λ_g : 地中の熱伝導率 [$\text{W}/\text{m}/\text{K}$], t : 時間 [sec]

参考文献

- 1) Hirano, Y. et al.: *Theor. Appl. Climatol.*, 79, pp.175-184, 2004.
- 2) Kato, S. and Yamaguchi, Y.: *Remo. Sens. Environ.*, 99, pp.44-54, 2005.
- 3) Kusaka et al. *Boundary-Layer Meteorol.*, 101: pp.329-358, 2001.