

B-24 衛星観測データを用いた都市域の地表面物理パラメータの導出と表面熱収支シミュレーション

平野勇二郎^{1*}

¹独立行政法人国立環境研究所（〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2）

* E-mail: yhirano@nies.go.jp

1. はじめに

近年、都市ヒートアイランド現象や大気汚染の予測、風力発電の立地条件の評価、気候変動に対する適応策の評価などの様々な目的で局地気象シミュレーションが用いられている。こうした局地気象シミュレーションを高精度化するためには地表面における蓄熱や熱フラックスなどの熱収支計算を高精度化することが重要である。一般に海陸風循環やヒートアイランド循環などの局地循環は、地表面熱収支の空間的な不均一性に伴う気温分布から生じる。このため、地表面の熱収支やその基礎となる地表面の物理特性を的確に把握することは、地上の温熱環境だけでなく、大気シミュレーション自体の高精度化に結びつく重要な研究課題である。実際、著者らはこれまでにメソスケール気象モデルの地表面部分に衛星リモートセンシングによる緑被率データを導入することにより、地上気温の予測精度が格段に向上することを実証した¹⁾。また、より現実的なパラメータを得るため、熱赤外リモートセンシングにより観測した地表面温度データ（図-1）を用いて、経験式ではなく物理的な計算により地表面のパラメータを取得する方法の原型を提案した²⁾。本研究では、このパラメータ取得の方法に検討を加え、地表面物理特性のパラメータ取得と地表面熱収支シミュレーションを行った。また、得られたパラメータを用いてメソスケール気象モデルによるシミュレーションを行い、再現性について検討した。

2. 研究方法

本研究では前報²⁾と同様に1次元熱収支・熱伝導モデルを用いて、シミュレーションにより地表面の熱慣性や蒸発効率のパラメータを算出した。この方法では連続した日中と夜間の表面温度データを用い、熱収支シミュレーションにより算出された地表面温度と衛星リモートセンシングによる地表面温度が合うようにパラメータを設定

することにより、2パラメータの同定が可能である。手法の詳細は前報²⁾を参照されたい。

本研究では前報²⁾と同様に東京都心部における典型的な市街地、緑地、住宅地を解析対象エリアとして選択した。本研究の方法では地表構成物の体積熱容量と熱伝導率とを個別に同定することができないが、地表面の蓄熱特性を表現する上では熱慣性が得られれば必要十分である。また、顕熱フラックスと潜熱フラックスは類似した日変化パターンを示すため、本研究の方法では蒸発効率とバルク輸送係数とを個別に同定することは困難である。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蒸発効率を0としてバルク輸送係数と熱慣性を算出し、次に緑地と住宅地において、市街地におけるバルク輸送係数を用いて熱慣性と蒸発効率を算出した。

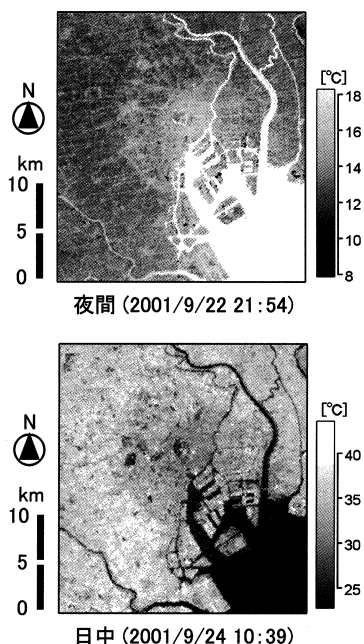


図-1 ASTER/TIRによる地表面温度²⁾

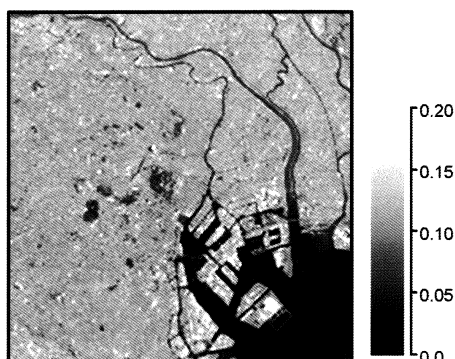


図-2 衛星データから算出されたアルベド

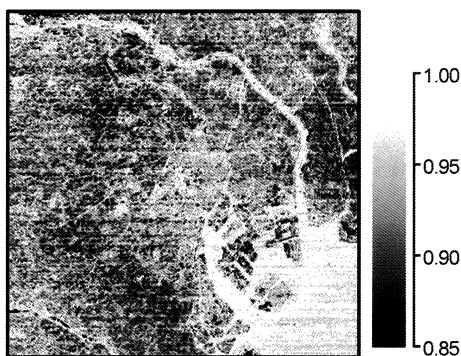


図-3 衛星データから算出された射出率

3. 1次元熱収支・熱伝導シミュレーション

まずTerra衛星ASTERデータを用い、1次元熱収支・熱伝導モデルのモデルの入力パラメータとなるアルベドおよび射出率を取得した。ただしASTERデータは分光して取得されているため、アルベドは標準的な日射スペクトルのデータと対応させて、可視・近赤外バンドの反射率から算出した（図-2）。射出率は、熱赤外バンドから温度－放射率分離により各バンドの分光射出率を算出し、これにOgawa et al.³⁾が示した式を適用することにより得た（図-3）。また、モデルの境界条件となる日射量や気温等の気象条件は気象庁による観測データを用いた。下向き長波放射はプラントの式⁴⁾を用いて算出した。

前述の条件下において1次元熱収支・熱伝導モデルに

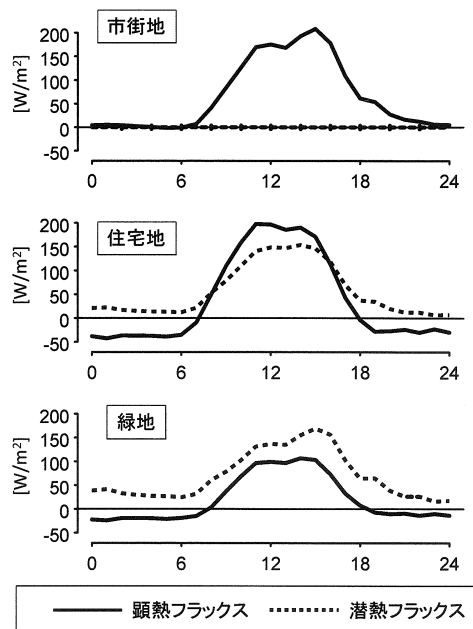


図-4 顕熱・潜熱フラックスの計算結果

よるシミュレーションを行った。顕熱・潜熱フラックスの計算結果を図-4、パラメータ同定の結果を表-1に示す。これらの計算結果は、タワー観測による東京の顕熱・潜熱フラックス⁹⁾とも整合性があることを確認済みである。本研究では市街地の蒸発効率を0としているため正味放射として取得した熱量の全てが顕熱フラックスとして大気に放出されることになるが、図-4から実際には市街地と住宅地とでは顕熱フラックスのピークには大きな差異が生じていないことが分かる。これは市街地の熱慣性の大きさによる蓄熱の効果が再現されたためである。また、緑地では終日、顕熱フラックスよりも潜熱フラックスが大きく生じ、とくに日中の顕熱フラックスのピークが市街地や住宅地の半分程度となっていることが分かる。これは緑地における蒸発効率の大きさによる顕熱フラックスの抑制効果であり、都市緑地によるヒートアイランド緩和効果が再現されていると考えられる。

表-1 衛星観測データおよびパラメータ同定の結果

	アルベド [%]	表面温度 (夜間) [°C]	表面温度 (日中) [°C]	熱慣性 [kWs ^{1/2} /m ² /K]	バルク輸送 係数 [-]	蒸発効率 [-]
市街地	12.20	16.1	32.45	2.964	0.00370	0.00
緑地	10.20	14.2	27.43	3.718	0.00370	0.30
住宅地	12.57	14.4	35.41	1.915	0.00370	0.03

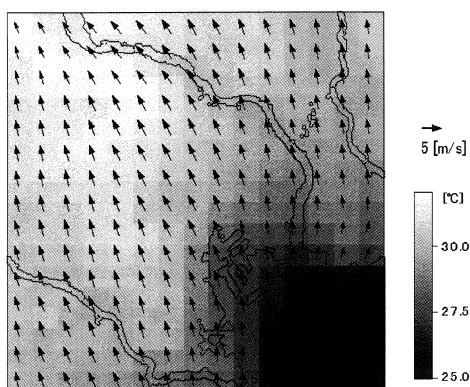


図-5 シミュレーション結果の例 (13時の地上気温および風ベクトル)

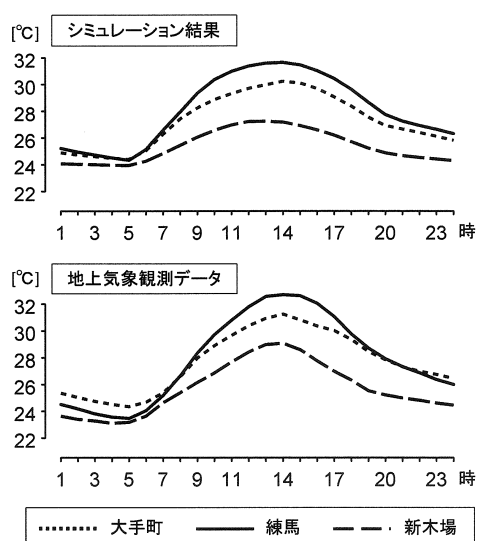


図-6 地上気温の計算結果と観測データ

4. 気象シミュレーションモデルへの適用

表-1に示したパラメータ同定の結果を用いて、メソスケール気象モデルによるシミュレーションを行った(図-5)。本研究では、メソスケール気象モデルは著者らの既報¹⁾と同様にCSU-MMを用いた。なお、本研究ではパラメータ取得は3か所のみであるため、土地利用別パラメータの設定値を表-1に基づいて更新し、土地利用データにより分布を得るという方法で気象モデルのパラメータを得た。今後は本研究の手法を各グリッドに適用すれば、衛星リモートセンシングにより地表面パラメータの空間分布が直接取得できると期待できるため、パラメータ取得を効率化することが今後の課題である。

計算結果の検証のため、気象庁による気温観測データと比較した(図-6)。この図から、日変化パターンにはシミュレーション結果と観測データの差異が見られるが、地点間を比較した場合に空間的な分布パターンは概ね再現されていることが分かる。日変化パターンの差異については、主に海風の侵入の再現性などの問題であると推察しているが、今後検討が必要である。

5. まとめ

本研究では、衛星リモートセンシングデータと1次元熱収支・熱伝導モデルを用いて地表面の物理特性を表現するパラメータを取得し、地表面熱収支シミュレーションを行った。また、得られたパラメータをメソスケール気象モデルに導入し、気象シミュレーションを行った。ただし、本研究では市街地において蒸発効率が0、また市街地、住宅地、緑地においてバルク輸送係数が均一といった仮定をしており、この点は今後改善が必要である。また、気象モデルに組み込む際に、多グリッドにおいて同様のパラメータ同定が必要となるため、自動化・効率化が今後の課題である。

謝 辞：本研究を進めるにあたり、国立環境研究所社会環境システム研究センターの藤田壮センター長、一ノ瀬俊明主任研究員、茨城大学工学部の外岡秀行准教授にご指導を頂きました。本研究は、科学研究費補助金(課題番号：24760438)の支援により実施されました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Hirano, Y., Yasuoka, Y. and Ichinose, T.: Urban Climate Simulation by Incorporating Satellite-Derived Vegetation Cover Distribution into a Mesoscale Meteorological Model, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol.79, pp.175-184, 2004.
- 2) 平野勇二郎, 藤田壮, 外岡秀行: 熱赤外リモートセンシングを活用した都市域の地表面熱収支シミュレーション手法. 環境工学研究論文集, 47, pp.537-544, 2010.
- 3) Ogawa, K., Schmugge, T., Jacob, F. and French, A.: Estimation of broadband land surface emissivity from multi-spectral thermal infrared remote sensing, *Agronomie*, 22, pp.695-696, 2002.
- 4) 田中俊六, 足立哲夫, 武田 仁, 土屋喬雄: 最新 建築環境工学[改訂2版], 井上書院, 317p, 1999.
- 5) Moriaki, R. and Kanda, M.: Seasonal and diurnal fluxes of radiation, heat, water vapor and CO₂ over a suburban area, *Journal of Applied Meteorology*, Vol.43, 1700-1710, 2004.