

II-540

熱収支モデルによる都市大気のシミュレーション

東京大学大学院 学生員 川又孝太郎
 東京大学工学部 正 員 河原 能久
 東京大学工学部 正 員 玉井 信行

1. はじめに

ヒートアイランド現象を解明するためには詳細な3次元都市気候モデルの開発が必要である。地表面の熱の出入りを解く熱収支モデルはその下部での境界値を得るために用いられる。既報¹⁾では熱収支モデル構築の第一歩として Myrup のモデルの改良を行った。本報ではさらに改良を加え、大気の安定度を考慮し、底層スタントン数、底層ダルトン数を導入した。そして、このモデルを用いて接地境界層内の計算を行い、東京タワーでの観測値との比較による検証を行った。

2. 熱収支モデルの概要

接地層内では、運動量、熱及び水蒸気の各フラックスは一定であり Monin-Obukhov の相似則が成り立つと考えられる。普遍関数 ϕ 及び無次元高さ ζ により各物理量の勾配は以下のように決定される²⁾。

$$\frac{\partial U}{\partial z} = \frac{u_*}{\kappa z} \phi_m(\zeta), \quad \frac{\partial \Theta}{\partial z} = \frac{\theta_*}{\kappa z} \phi_h(\zeta), \quad \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{q_*}{\kappa z} \phi_e(\zeta), \quad \zeta = \frac{z}{L}, \quad L = \frac{\Theta u_*^2}{\kappa g \theta_*}$$

接地層内の大気は、 $\zeta = 0$ のときに中立、 $\zeta < 0$ の時に不安定、 $\zeta > 0$ の時に安定となる。普遍関数 ϕ には以下に示される竹内・近藤の式を使用した。

$$\begin{aligned} \zeta < 0 \text{ の場合 } \quad \phi_m(\zeta) &= (1 - 16\zeta)^{-1/4}, & \phi_h(\zeta) &= (1 - 16\zeta)^{-1/2}. \\ \zeta \geq 0 \text{ の場合 } \quad \phi_m(\zeta) &= 1 + 6\zeta & (\zeta \leq 0.3), & \phi_h(\zeta) = \phi_m(\zeta). \\ &= (1 + 22.8\zeta)^{1/2} & (\zeta > 0.3). \end{aligned}$$

地表面における非定常熱収支式は次式のように表される。

$$C_t \frac{dT_s}{dt} = R + (L^1 - \epsilon \sigma T_s^4) + A - (H + LE + S).$$

ここで、右辺第1項は太陽からの放射、第2項は大気放射、第3項は地表面からの放射、第4項は人工熱、第5項は顕熱輸送、第6項は蒸発に伴う潜熱輸送、第7項は地中への熱伝導を表す。また、顕熱輸送、潜熱輸送は次のように表される。

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\rho C_p \kappa^2 U_a}{\Psi_m (\Psi_h + \kappa B_h^{-1})} (T_s - T_a), & LE &= \frac{\rho L \kappa^2 U_a}{\Psi_m (\Psi_e + \kappa B_e^{-1})} (q_s - q_a). \\ \Psi_m &= \int_{z_0}^z \frac{\phi_m(\zeta)}{\zeta} dz, & \Psi_h &= \int_{z_{0h}}^z \frac{\phi_h(\zeta)}{\zeta} dz. \end{aligned}$$

ここで、 B_h^{-1} 、 B_e^{-1} はそれぞれ底層スタントン数、底層ダルトン数と呼ばれる地表付近の熱と水蒸気の拡散を支配する無次元数で、Kondo³⁾ より、

$$B_h^{-1} = 0.54 \left(\frac{u_* z_0}{\nu} \right)^{0.45}, \quad B_e^{-1} = 0.47 \left(\frac{u_* z_0}{\nu} \right)^{0.45}$$

と書ける。これらを導入することにより地表面温度と粗度高さの気温を区別することができる。

3. モデルの検証

3-1 計算条件

上空の境界条件として東京タワーの気温(103m)・風速(107m)を用いて、地上4mの気温を求め、観測値との比較を行った。地下は東京での測定値を基に定めた地中65cmにおける地温を一定として与えた。都市を構成する材料はコンクリート、表面は完全に乾燥と仮定してパラメータを表-1のように設定した。夏は1986年7月29日から、冬は1987年1月28日からの3日間を解析対象日とした。人工熱は夏に70W/m²、冬に100W/m²と仮定し、東京電力管内時間帯別供給電力量を指標として時間変化させた。気温の計算は蓄熱の影響を考慮して3日間連続して行ったが、初期値の影響を除くため初日を3日分繰返し計算した。

3-2 計算結果

図-1 に高さ 4m の気温の計算値と観測値および高さ 103m の気温の観測値を示す。全体的な日変化は観測値とほぼ一致している。ただ、冬の夜間で逆転層が現れるときにはあまり一致していない。逆転層の成因は複雑であり、本モデルで考慮していない移流の影響が大きいと考えられる。図-2 に各熱輸送過程の時刻変動を示す。なお、正味の短波放射と人工熱は地面への入力を正、その他の項は出力を正にとっている。夏も冬も日中に伝導熱が最も大きい。この熱は伝導層に蓄えられ、夜間に長波放射として放出されていることがわかる。これが都市の夜間気温が郊外に比べ高くなっている原因であろう。また、冬の図から、冬期の人工熱の寄与の大きさが分かる。

4. おわりに

熱収支モデルに安定度及び底層スタントン数、底層ダルトン数を考慮することにより、かなり現実的な結果を得ることができた。今後は都市キャノピー層を取り入れるなど、より詳細なモデル化を行っていきたい。

表-1 計算に用いたパラメータ

アルベド	0.12	大気の透過率(夏)	0.60
粗度長(m)	1.0	大気の透過率(冬)	0.65
相対湿度	0.05	地面の熱容量(MJ/m ² K)	2.2
C _t (MJ/m ² K)	5.0	地中の熱伝導度(W/mK)	1.8

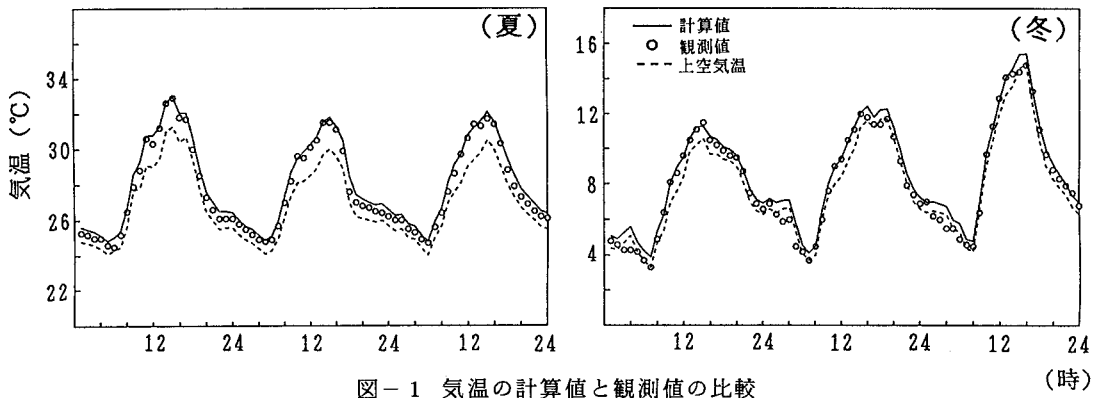


図-1 気温の計算値と観測値の比較

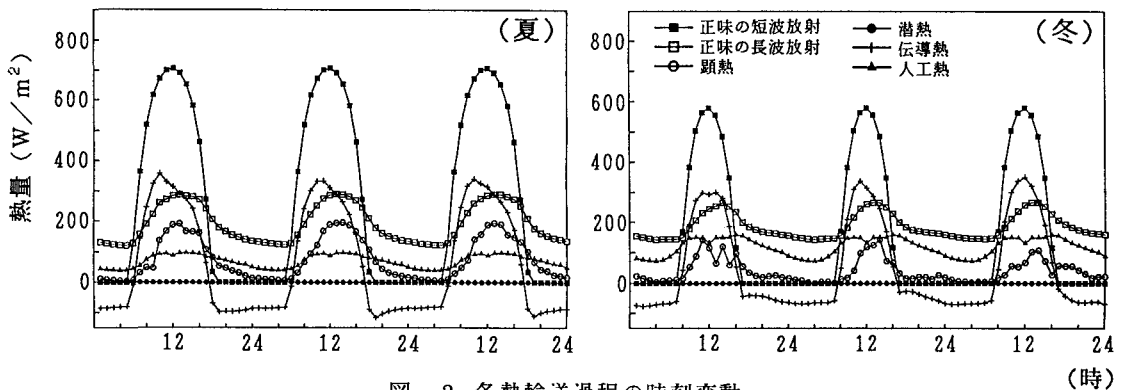


図-2 各熱輸送過程の時刻変動

- 参考文献 1) 川又ら:環境システム研究,vol.20,1992. 2) 竹内・近藤:大気科学講座1,東京大学出版,1981.
3) Kondo, J.: Boundary-Layer Meteorol., vol.9, 1991.