

第II部門 屋根面高度分布を考慮した都市域熱収支モデル

京都大学工学部 学生員 ○ 中村忠則
京都大学工学部 正員 田中賢治
京都大学工学部 正員 高棹琢磨

1 諸言 近年、人間活動が地球環境に及ぼす影響についての関心が高まっており、気象システムを構成している複雑な物理現象を解明する上で、数値気象モデルは非常に有効な手段となっている。炭酸ガスの増加による地球温暖化の影響評価等の全球的な気候変動予測から、都市キャニオン内の微気象構造の解析まで、対象とする現象の時空間スケールに応じて様々なモデルが構成されている。数値気象モデルは地表面境界条件に対して極めて敏感であるため、多様な地表面条件を適切に表現し、各種フラックスを正確に算定できる陸面過程モデルの開発が求められている。田中ら[1]は植生モデル(SiB)に都市、水体のモデルを組み込んだモデル(SiBUC)を開発し、多様な地表面条件を含む陸域からのフラックスを精度良く算定するための方法論を検討してきたが、SiBUCにおける都市のモデル化は、植生に比べて非常に簡略化されている。そこで本研究では、様々な高さのキャニオンが存在する都市域の放射過程、乱流輸送過程をモデル化し、SiBUCの都市モデルを改良することを目的とし、さらに、都市の幾何学的形態が都市熱環境に与える影響について検討を加える。

2 SiBUC の都市モデル 田中らが開発したSiBUCモデルの都市モデルの最大の欠点は、屋根面(主に顕熱フラックスに関係する)と壁面(路面との相互作用をする)を同一の温度で表現していることである。したがって、本研究ではSiBUCの中で都市部をより詳細に表現することを目的として、以下のよう

1. 都市は建物と道路の2つで表現され、建物を屋根面と壁面に分ける。予報変数は屋根面温度(T_r)、壁面温度(T_w)、路面温度(T_g)、地中温度(T_{du})の4つである。
2. 都市キャニオン内に入射する光の路面と壁面との間での多重散乱の影響を考慮する。ただし2回以

上の反射は無視し、反射面は完全拡散面とする。

3. 都市という非常に複雑な幾何学形状をもつ場において、各構成要素間での反射のやりとりを正確に取り扱うことは非常に複雑であることから、日射があたる断面で都市を区切り、2次的に考える(方位は無視する)。

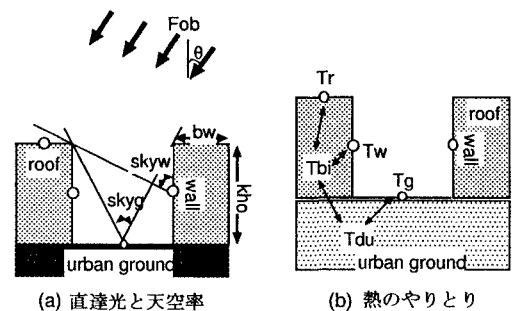


図1

図1(a)は、本研究で扱う都市モデルの基礎的構造となる都市キャニオンを示したものである。ここでは幅 bw 、高さ kh_0 (k 階)の建物と路面からなるキャニオンを想定しており、建蔽率 V_{uc} を用いると、キャニオン空間の幅は $bw(1 - V_{uc})/V_{uc}$ で与えられる。

都市には様々な高さのキャニオンが存在するが、まず同じ高さ(k 階)のキャニオンを一まとめにして考え、 k 階のキャニオンに関して3つの構成要素の放射収支を求めた後に、屋根面高度分布 $r(k)$ を用いて積分し、都市全体として屋根面、壁面、路面に配分されたエネルギー量を計算するというのが基本的な考え方である。

地表面温度の予報方程式は強制復元モデルで表現する。本モデルでは屋根面、壁面、路面の3つの表面温度をそれぞれ予報するが、屋根面温度と壁面温度の復元項には建物内部の温度(T_{bi})を、路面の復元項には地中温度(T_{du})を用いる。また、都市においては通常の外力項(地中伝導熱=純放射-顕熱-潜熱)に人工排熱量(Q_m)を加える。ただし人間活動の影響を大きく受ける建物内部温度は予報せず、一定値とす

るかまたは外力として与える(その効果は人工排熱量に含まれていると考える)。

温度の予報方程式は、以下ようになる。

$$\begin{aligned} C_r \frac{\partial T_r}{\partial t} &= Rn_r - H_r - \omega C_r (T_r - T_{bi}) + Q_m V_{uc} \\ C_w \frac{\partial T_w}{\partial t} &= Rn_w - H_w - \omega C_w (T_w - T_{bi}) + Q_m A_w \\ C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} &= Rn_g - H_g - \omega C_g (T_g - T_{du}) + Q_m V_{ug} \\ C_{du} \frac{\partial T_{du}}{\partial t} &= Rn_g - H_g - \omega C_{bi} (T_{du} - T_{bi}) + Q_m V_{ug} \end{aligned}$$

Q_m : 人工排熱量 (Wm^{-2})、 ω : 日周変動の角速度 $= \frac{2\pi}{86400(s)}(s^{-1})$ 、 A_w : 都市の中で壁面の占める割合、 $Rn_i(i=r,w,g)$: 熱の純放射 (Wm^{-2})、 $H_i(i=r,w,g)$: 顕熱フラックス (Wm^{-2})、 $C_i(i=r,w,g,du,bi)$: 熱容量 ($Wsm^{-2}K^{-1}$)、 $T_i(i=r,w,g,du,bi)$: 温度 (K)、 $V_{ug} = 1 - V_{uc}$ とする。

添字-r,-w,-g,-du,-biは、それぞれ屋根、壁、道路、土壌内、建物内部を表す。

また、これらの温度の予報方程式を時間積分する際には、時間振動を抑える後方差分スキームを用いる。

3 適用と考察 本研究で使用するデータは、琵琶湖プロジェクト 96 の一環として長浜市で取得されたものである。図 2 は、建蔽率 ($V_{uc} = 0.4$) 屋根面高度分布 ($r(2) = 1.0$) を与えてモデルを実行し、屋根面温度・路面温度の実測値とモデルの出力を比較したものであり、モデルの実行性能がほぼ確認された。

次に、建蔽率を 4 通り、屋根面高度分布を 6 通り設定して、感度分析を行なった。図 3 は、建蔽率を 0.4 に固定して屋根面高度分布を変化させた場合の屋根面の表面温度、純放射と顕熱である。屋根面温度のピーク値は 4 階建て以下の場合に最も低くなっており、この時乱流輸送が最も盛んになることがわかる。6 階建て以下から屋根面高度が増すにつれて空気力学的抵抗が大きくなっているのは、低層 (2 階) 屋根面の寄与が大きい ($r(2)=0.4$) ためである。

4 結語 本研究により、SiBUC モデルの都市部をより詳しく表現することができた。今後は、SiBUC モデルに本モデルを移植し、さらにマクロな視点から、都市とそれを取り巻く周辺部との都市熱環境について考えていく。

参考文献

- [1]: 田中賢治・池淵周一: 都市域・水体をも考慮した蒸発散モデルの構築とその琵琶湖流域への適用, 京大防災年報、第 37 号,b-1,pp299-313,1994.

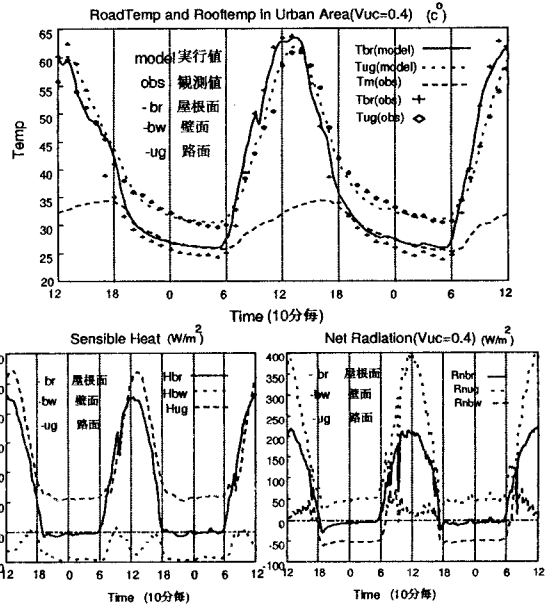


図2: 屋根面温度と路面温度の観測値との比較、純放射と顕熱

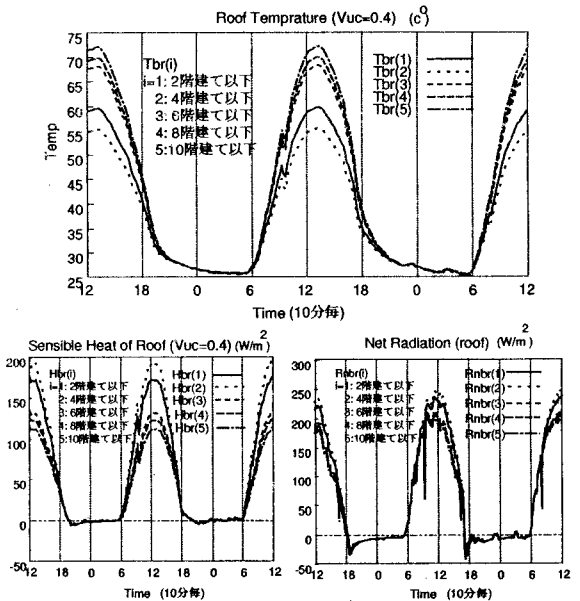


図3: 屋根面温度、純放射と顕熱(Vuc=0.4)