

京都大学 大学院 学生員 ○ 田中賢治
京都大学防災研究所 正員 池淵周一

1 はじめに 地球規模での環境問題が深刻になってきているが、特に地球温暖化、酸性雨等の問題に対処する為には、全球規模の大気(水、熱)の循環機構を解明することが必要であり、GCM が現在稼動中である。陸面水文過程モデルとして植物の生理的機構を取り込んだ SiB (生物圏モデル) が現在 GCM に取り込まれつつあるが、陸面は GCM の格子スケール(～100 km)で見ると、非常に異質な被覆(土地条件)から成り立っており、スケールアップが現在問題となっている。そこで、本研究では陸面水文過程モデルの抱えているスケールアップの問題に取り組むために、特に蒸発散現象に焦点をあてて、流域スケールから検討を始めるが、流域スケールにおいては SiB では扱っていなかった都市域や水体の影響は無視できないため、これらを取り込んだモデル SiBUC (Simple Biosphere including Urban Canopy) を提案する。SiBUC は、都市域・水体・植生地が混在した複合場に適用できる現実的なモデルである。

2 SiBUC モデルの概要 本モデルの特徴としては以下のことが挙げられる。

・ Sellers ら¹⁾の SiB モデルをベースにして、鉛直 1 次元的な取扱いをしている。

・ 地表面の状態を大きく 4 つ(都市キャノピー、都市カバー、水面、緑地)、緑地をさらに 3 つ(植物キャノピー、グラウンドカバー、土壌表面)に分類し、これらの面積率を各メッシュ毎に与えるが、1 km のスケールにおいては、メッシュ内の土地利用の配置の違いは考慮しない。

・ 12 個の主な予報変数(温度 T 5 つ、遮断水量 M 4 つ、土壌水分量 W 3 つ)があり、これらの支配方程式は次式で表される。

$$c_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = Rn_i - H_i - \lambda E_i + Q_M \quad (i=uc, ug, wb, c, gs)$$

$$\frac{\partial M_i}{\partial t} = P_i - D_i - \frac{E_i}{\rho_w} \quad (i=uc, ug, c, g)$$

ただし、サフィックス uc, ug, wb, c, gs はそれぞれ、都市キャノピー、都市カバー、水面、植物キャノピー、グラウンドカバーと土壌表面に関するものであることを表している。

$$\frac{\partial W_1}{\partial t} = \frac{1}{\theta_s D_1} \left[P_1 - Q_{1,2} - \frac{1}{\rho_w} (E_s + E_{d,1}) \right]$$

$$\frac{\partial W_2}{\partial t} = \frac{1}{\theta_s D_2} \left[Q_{1,2} - Q_{2,3} - \frac{1}{\rho_w} (E_{d,2}) \right]$$

$$\frac{\partial W_3}{\partial t} = \frac{1}{\theta_s D_3} \left[Q_{2,3} - Q_3 - \frac{1}{\rho_w} (E_{d,3}) \right]$$

- c_i : 熱容量
- Rn_i : 純放射フラックス
- H_i : 顕熱フラックス
- λE_i : 潜熱フラックス
- Q_M : 人工熱源項(都市域のみ)
- P_i : 降水遮断強度
- D_i : 排水強度
- E_i : 遮断蒸発強度
- ρ_w : 水の密度
- D_i : 第 i 層の厚さ
- θ_s : 土壌の空隙率(飽和含水率)
- $Q_{i,i+1}$: 第 i 層から第 $i+1$ 層への流量
- P_1 : 表層への降水の浸透
- Q_3 : 最下層からの重力排水
- E_s : 土壌表面からの直接蒸発
- $E_{d,i}$: 蒸散による土壌水分の第 i 層からの吸い上げ

・ 太陽放射の吸収を SiB よりも簡潔なアルベドモデルで取り扱っているが、太陽光の入射角や地表面の凹凸構造等を考慮している。

・ 都市域において赤外放射交換係数を導入し、ビルと路面の熱放射の交換による都市域の熱貯留効果を表現している。

・ 各メッシュからの流出として、降水遮断モデルにより表面流出を、地中モデルにより地下水流出を出力しているが、それらの動きは追跡していない。

・ 水温モデルにおいて水温の及ぶ深さとして表層を考え、この表層に対する熱収支式から表層平

均温度変化を求め、表層内の温度変化プロファイルのある関数（本研究では直線）で与え、表面温度に変換している。

3 SiBUC のテストラン SiBUC を大気モデルと連結する前に、大気側の境界条件として気象観測データを与え、SiBUC をテストした。図1(a-e)は純放射(R_n)、潜熱(LE)、顕熱(H)フラックスの18日間の平均の日変化(同時刻のデータの18日分の平均)を表している。気象条件として雨、気温、日射も同時に示されている。

・植物キャノピーでは日中に蒸散が起こっており、日射の影響がよく反映されているが、顕熱フラックスが朝方に負の大きな値を示し、10時ごろまで正にならない。通常日射が当たると葉面温度は(気温より早く)上昇するため、顕熱フラックスは純放射フラックスとほぼ同じ位相になる。ところが、この計算では朝方に温度がたいへん低くなったものの、夜明けとともに蒸発散が始まり、温度の上昇が遅れてしまったのであろう。朝方に温度が低くなった理由としては、降水のほとんどが夜間に起こり、通常は結露により潜熱フラックスが負になる時間帯(深夜～朝方)に遮断蒸発があり葉面の熱を奪ったことが考えられる。

・グラウンドカバーでは日中ほとんど温度が上らず顕熱フラックスは負になっているが、夜間にはキャノピーからの熱放射の影響もあり、それほど温度は下がらないため、顕熱はほとんどゼロである。朝方をのぞき潜熱は純放射を上回っているが、エネルギーの不足分は負の顕熱により補われている。夜間に降水があるため、グラウンドカバーにおいても潜熱は夜間でも負にならない。

・都市キャノピーでは位相のずれがはっきりと現れており、昼間に蓄えた(純放射より顕熱が少ない)エネルギーを夜間に放出(純放射より顕熱が多い)していることがよくわかる。夜間でも純放射がかなり大きな値を示しているのは、都市カバーからの熱放射の影響である。都市カバーでも都市キャノピーと同様の傾向が見られる。都市域では昼間に蓄えた熱が夜間の熱放射の増加をもたらしているが、その一部を他方が受け取るという意味で導入した赤外放射交換係数はこのような都市の

高温化を引き起こす要因となる。

・昼間は純放射フラックスが大きく、また顕熱フラックスは負(水温が気温よりも低い)であるため蒸発のエネルギーが過剰に投入されているが、この余ったエネルギーが夜間の蒸発(水温が気温よりも高いため水蒸気圧は高い値を示す)にまわされるため、水面では一日中蒸発が起こる。このような水面蒸発のメカニズムをよく再現しているといえる。

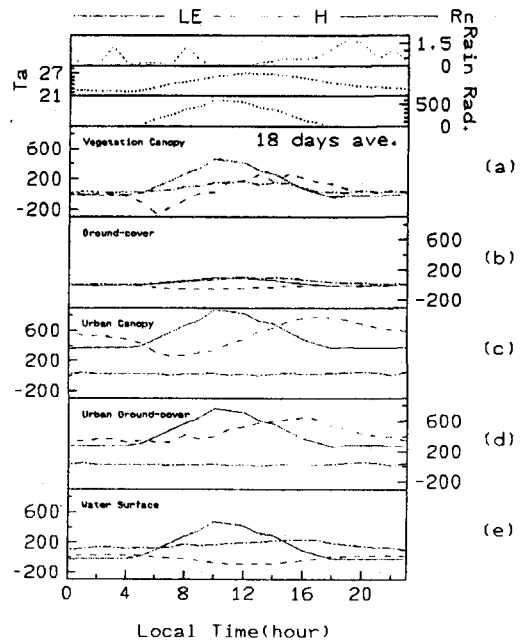


図1 Daily variation (18 days average) of net radiation(R_n), latent heat (LE) and sensible heat (H) for vegetation canopy (a), ground-cover (b), urban canopy (c), urban ground-cover (d), water surface (e).

4 おわりに 本研究では、都市域・水体を考慮した流域スケールの蒸発散モデル SiBUC を構築した。今後は本モデルを用いて、陸面水文過程モデルが抱えているスケールアップ問題について検討していきたい。

参考文献 Sellers, P. J., Y. Mintz, Y. C. Sud and A. Dalcher, 1986: A simple biosphere model(SiB) for use within general circulation models. *J. Atmos. Sci.*, **43**, 505-531.