

都市の熱環境における植物蒸発散の役割

九州大学 学生員 ○大濱隆司 上野賢仁 森圭太郎
正員 井村秀文

1. はじめに

都市の熱環境は地表面の物理的被覆状態に大きく左右される。特に、都市内の緑地は水の蒸発散を通して、地表面熱バランスに大きな役割を果たしている。本研究では、SiB モデル(Simple Biosphere Model)によって緑地の物理的特性と都市の温度の関係について解析する。

2. SiB モデルの概要

SiBモデルは、地表面植生と大気の間を移動するエネルギーや運動量を計算するモデルである。本モデルでは、緑地を図1のような上下二つの異なった層によって表す。上層は多年生の木やスラブによって構成される「キャノピー」で、下層は主に一年生の草に覆われた地表面の部分「グランドカバー」である。植物層について考慮すべき物理的、生理的な特性は、①可視光線や熱、赤外線放射、反射、伝導、②降雨の妨害や、それによる葉の表面からの蒸発、③土壌中の降雨の貯蔵や浸透、排水、④植物の気孔の機能による土壌水分の大気への放出(蒸散)⑤土壌や植物からの水蒸気、熱、運動量の空力的な移動、などである。以下にこれらの要素をモデル化した計算方法を示す。

地表面：キャノピーと地表面における熱収支式は式(1),(2)で表される。

$$C_c \frac{\partial T_c}{\partial t} = R_{n,c} - H_c - \lambda E_c \quad (1) \quad C_{gs} \frac{\partial T_{gs}}{\partial t} = R_{n,gs} - H_{gs} - \lambda E_{gs} - S \quad (2) \quad C_c, C_{gs} : \text{熱容量}$$

$R_{n,c}$, $R_{n,gs}$ は長波放射を差し引いた正味の太陽入射で、キャノピーの緑被率 V_c に左右される。

また、図1に示されている様々な抵抗定数(r_a , r_b 等)は、それぞれの関連部位ごとに

ポテンシャル差 = 抵抗係数 × 熱フラックス

の関係で定義されるものである。ここで r_a , r_b , r_d は空力的な抵抗で、風速によって変化する。 r_c , r_g , r_{surf} は、表面抵抗で植物の生理的、形態的特性によって決定されるべき性質のものである。

空気中：次の流体方程式によって、上空までの温度 T と比湿 q を計算する。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left\{ K_1 (R_i Z) \left(\frac{\partial T}{\partial Z} + \Gamma \right) \right\} \quad (3) \quad \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left\{ K_2 (R_i Z) \left(\frac{\partial q}{\partial Z} \right) \right\} \quad (4)$$

ここで、風速は $H = 2000 \text{ m}$ から高さ d まで対数分布をしていると仮定する。渦拡散係数 K_1 , K_2 は(5)式を用いる。ここで、 d は文献に基づき

$$d = 0.6 Z_2 \text{ とした。} \quad K_1 = K_2 = \kappa \frac{U}{\log((H-d)/Z_0)} \quad (5)$$

地中：次の熱伝導方程式によって地中 20 cm までの温度 T を計算する。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K_s \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \quad (6) \quad Z: \text{高度} \quad Z_0: \text{粗度長} \quad U: \text{高度} 2000 \text{ m} \text{ での風速} \quad K_s: \text{熱伝導係数}$$

以上の式に基づいて数値計算を行う。計算上の仮定を以下にまとめる。

- (1) 全ての気象条件と地中パラメータは水平方向に一定とする。
- (2) 蒸散は土壌の状態に関係なく、常に行われるものとする。
- (3) 大気は中立状態であるとする。

3. 感度解析

計算温度に大きな影響を持つ地表面パラメータ (Z_1 , Z_0 , V_c , V_g) を変化させた場合の温度変化を計算した。境界条件はリモセンデータの観測日の気象台のデータにより求めた(表1)。地表面パラメータは $Z_2 = 5.0 \text{ m}$, $Z_1 = 1.0 \text{ m}$, $V_c = 0.5$, $V_g = 0.5$ を基本値とした。

(1) キャノピーの緑被率 V_c 。

V_c が増すにつれキャノピーの温度は徐々に低下する。これは植物からの蒸散が増加するからである。一方、地表面温度の日変化を見ると、最高温度は急激に低下し変化の幅が小さくなる。これは太陽入射がほとんど0になるかためと考えられる(図2)。

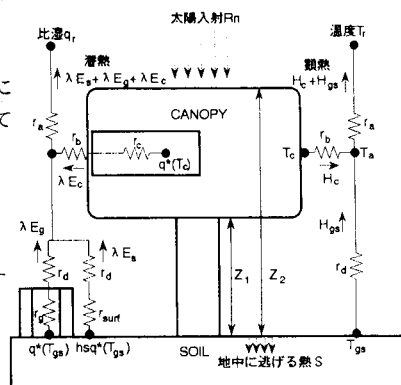


図1 モデルの構造

表1 境界条件 (1988年4月15日)

上空 (2000m)	風速 (m/s)	14.35
	比湿	8.37×10^{-4}
	温度 (°C)	0.5
地中 (20 cm)	地温 (°C)	15.4

(2) グラウンドカバーの緑被率 V_g

地表面の温度は、蒸発能が増すため最低温度、最高温度ともに低下する。キャノピーの温度は抵抗 r_g が大きいいためそれほど影響を受けないことがわかる (図3)。

(3) キャノピー上部の高さ Z_2

上部の高さが増すにつれ最初は蒸散が増し、どの温度も急激に低下する。 Z_2 が6mを越すと最低温度、最高温度ともに上昇してしまう。これは、熱容量が増すため温度が日変化をしなくなるためと考えられる (図4)。

(4) キャノピー下部の高さ Z_1

下部の高さが増すにつれ、どの温度も上昇している。これは蒸散が減少するため、地表面の影響も少なくなり、 Z_2 の場合とは効果が異なる (図5)。

4. 計算温度とリモセン輝度温度との比較

SiBモデルで計算した温度の意味を調べるため、被覆分類カテゴリーごととLANDSAT TMの輝度温度の頻度分布 (中央値及び有意水準10%限界値) と計算温度の最低値、最高値との比較を行った (図6)。各パラメータは (表2) のように設定した。リモセンによる温度データの問題点は、上空からの観測であるため、地表面付近の鉛直分布については何らかの平均的値しか観測できないことである。これは、SiBモデルによって与えられる各温度のいずれか、又はそれらの平均値に対応するものと考えられる。

5. 考察

感度解析の結果、植生の影響で温度が大きく変化することがわかった。また、リモセン輝度温度と地表面温度との比較について、植生の立体構造を考慮した対比が可能となった。今後、光合成や気孔の日変化の影響を取り入れる等、さらにモデルを改良したい。

<参考文献>

- (1)上野賢仁ら：
環境システム研究、
Vol.20, pp.262~269, 1992。
(2)P.J.Sellers, Y.Mintz：
"SiB for Use within General
Circulation Models",
J.Atmospheric Science, Vol.43,
No.6, pp.505~530, 1986。

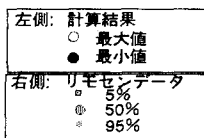


図6 計算結果とリモセンデータの比較

表2 パラメータ表

Location	NO.	種類	V_g	V_c	$Z_1(m)$	$Z_2(m)$
城の山	1	針葉樹林	0.5~1.0	0.5	9	3~7
能古島	2	広葉樹林	0.7	0.5	7	1~3
網取	3	針葉樹林	0.3~1.0	0.5	6~8	3~5
安徳	4	果樹園	0.3~0.7	0.5	3	1
宮地岳麓	5	広葉樹林	0.5~1.0	0.5	4~8	1
井原山	6	植林中	0.1~0.2	0	0.5	0.2~0.3
金山	7	伐採中	0.05	0.5	0.5	0.3~0.4
三瀬峠	8	荒地	0.1~0.2	0.5	1.5	0.5~1.0
背振山	9	植林中	0.1~0.2	0	0.5	0.2~0.3
松ノ尾	10	伐採中	0.05	0.5	0.5	0.3~0.4
免が原	11	竹林	0.3~0.5	0.5	6~8	5~7
雁ノ巣	12	人工林	0.1	0	1.5~2.0	0.5~1.5

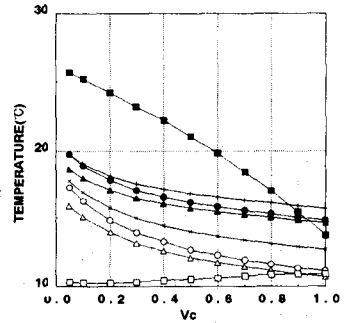


図2 1日の最低温度と最高温度 $V_g=0.5$

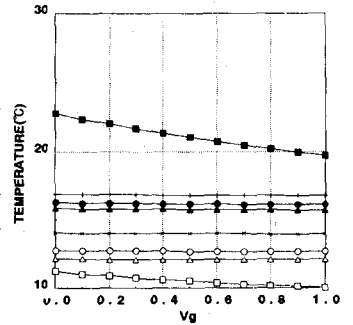


図3 1日の最低温度と最高温度 $V_c=0.5$

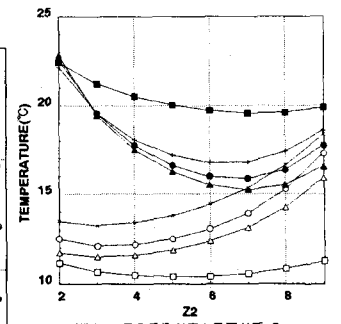


図4 1日の最低温度と最高温度 $Z_1=1.0m$

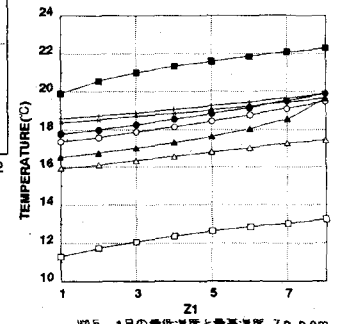


図5 1日の最低温度と最高温度 $Z_2=0.0m$

