

福岡市周辺における熱環境特性に関する研究

九州大学 ○学生員 永嶋聰志 学生員 上野賢仁
正員 井村秀文 正員 楠田哲也

1. はじめに

人口や経済活動の集中とともに、都市域におけるエネルギー消費はますます高密度化し、また、高層ビル化、コンクリート化、緑地の減少など、地表面の改変が進んでいる。この結果、気温上昇、乾燥化などの都市気象の変化が生じ、これがさらに都市におけるエネルギー需要を増大させ、都市気象の変化を加速させるという悪循環が生じている。今後、都市が持続的に発展していくためには、このような都市のエネルギー構造を改善し、熱環境的に住みやすい都市をつくりあげねばならない。このためには、都市の物理的構造と熱環境との関係を明らかにし、都市構造の改変を通じて都市の熱環境を工学的に制御していく手法を確立することが重要である。本研究では、このような観点から、都市構造と温度分布との関係を分析することを目的に、LANDSAT TMデータによって福岡市周辺の地表面輝度温度分布を求め、Myrup の一次元熱収支モデルによってこれを解析した。

2. 一次元熱収支モデル

Myrup のモデル¹⁾によれば、地表面温度 T_o 、大気の温度 T_a 及び地中の温度 T_s は、地表面におけるエネルギー収支式、空気・地面の熱伝導を表す次の方程式の組で与えられる。このモデルでは、熱環境を支配する都市構造の特性は、対象地域の相対湿度RH（緑地率の関数）、粗度長 Z_o （建物の高さの関数）及びアルビド α （土地の被覆状態の関数）の3つのパラメータで表される。

地表面におけるエネルギー収支：

$$H_o = H + LE + S \quad \dots \dots (1)$$

太陽からの正味の放射量：

$$R_o = (1-\alpha)T_r R_o |\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos r| - IR_o \quad \dots \dots (2)$$

温度勾配による地表面から空気中への熱の輸送量：

$$H = - \frac{\rho C_p k^2 U}{\ln(z/z_o)} \frac{\partial \theta}{\partial \ln z} \quad \dots \dots (3)$$

水の気化、凝結による潜熱の輸送量：

$$LE = - \frac{\rho L k^2 U}{\ln(z/z_o)} \frac{\partial q}{\partial \ln z} \quad \dots \dots (4)$$

温度勾配による地表面から土中への熱の輸送量：

$$S = - k_s \frac{\partial T}{\partial z} \quad \dots \dots (5)$$

地中での熱伝導方程式：

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k_s}{\rho_s C_s} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad \dots \dots (6)$$

ここに、

- α ：アルビド、 T_r ：大気中の透過率、
 - R_o ：太陽常数、 ϕ ：緯度、 δ ：赤緯、
 - γ ：時角、 IR_o ：赤外線放射量、
 - ρ ：空気の密度、 C_p ：空気の熱容量、
 - k ：フォン・カルマン定数、 U ：風速、
 - L ：水の潜熱量、 z ：地表面からの距離、
 - Z_o ：粗度長、 k_s ：土の熱伝導率、
 - C_s ：土の熱容量、 ρ_s ：土の密度
- なお、地表面付近の比湿 q_o は、
 $q_o = RH (3.74 + 2.64(T_o/10)^2) \times 10^{-3}$
 と近似する。

表 1. 土地被覆の状態によるパラメータ値と温度

カテゴリーNO.	粗度	RH	ALBEDO	T_o	T_a	T_s
1. 森林	500	1.0	0.10	24.2	25.4	17.0
2. 水域	-	-	-	-	-	-
3. 裸地	150	1.0	0.30	25.1	25.1	17.1
4. 低密度高層集落	800	0.5	0.25	27.3	30.2	18.9
5. 低密度低層集落	300	0.5	0.30	30.0	31.3	19.3
6. 高密度高層集落	2000	0.3	0.20	28.7	35.3	20.0
7. 高密度低層集落	500	0.3	0.30	32.8	36.0	20.6

注) 粗度長の単位はcmである。

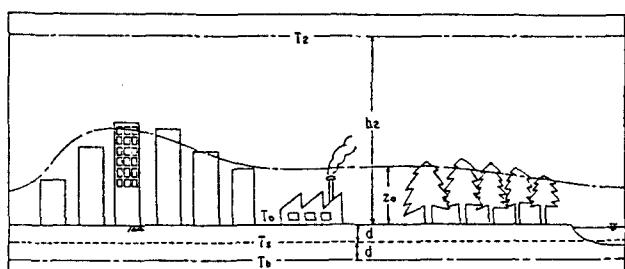


図1. モデルの模式図

3. 解析結果

LANDSAT TM (1984年5月22日) のBAND 1~5 及び7から土地被覆分類を、またBAND 6から地表面の輝度温度分布を求めた。土地被覆は、教師付分類により表1のように7つのカテゴリーで分類した。

大濠公園、市内中心部、空港、東平尾公園等を通る断面で求めた表面温度分布が図2である（a図が一次元熱収支モデルによる計算値、b図がリモセンによる輝度温度）。数値計算に用いたパラメータ値は表1に示す。ここで、 Z_0 は、森林・裸地の場合には植物キャノピーの高さ、集落の場合には建物の高さから各々決めた。RHは土地被覆分類に対応させて与えた。アルビドは、各種文献データに基づいて設定した。

リモセンデータについては、土地被覆分類図と温度分布図との間に、森林、水域で温度が低く、集落地で高いなどの一般的な相関が見られた。また、計算結果については、 T_o 及び T_s については現実的な値が算出されたが、 T_a に関しては当日の気象台の観測データに比べるとかなり高い値となった。

土地被覆分類ごとに、リモセンで求めた温度と計算結果の相関を見ると次の通りであった。①森林：鶴与丁池付近、大濠公園、愛宕山等のデータからわかるように 24°C 付近で一致。②裸地：今宿や空港付近のデータからわかるように 25°C 前後で一致。③低密度高層集落：今回の分類では対象物は学校や下水処理場等であったが、西南大や大濠高校等からわかるように 27°C 付近で一致。④低密度低層集落：図の断面ではこの分類に該当する地域はほとんど無し。⑤高密度高層集落：博多駅周辺、天神付近において、 29°C 前後で一致。⑥高密度低層集落：分類の中で最も高い計算値 32.8°C となつたが、リモセンデータによれば、一般的には他より高い値が得られたものの、最高値で 31°C 程度で、一致は良くない。なお、水域については、このモデルでは解析不能なので一律 15°C に設定した。

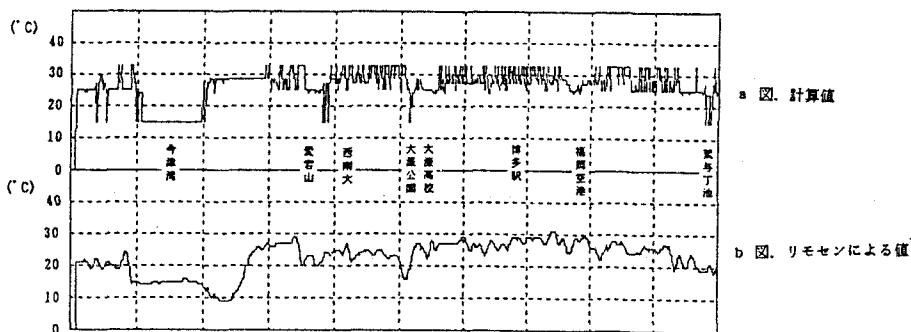


図2. 地表面温度の断面図

4. 考察

リモセンデータによる温度分布図より、福岡市中心部や郊外の高密度集落地域におけるヒートアイランドの生成が確認できた。また、土地被覆分類ごとに、パラメータの値を定め、一次元熱収支モデルから地表面温度を算出した結果、リモセンデータによる温度分布図と比較的良い一致を見た。本モデルにおいて操作可能なパラメータはRH, Z_0 , α である。これらの値の変化によって温度分布がどう変化するかの感度解析を行ったところ、緑地率の増大は一日中における最大温度、最小温度と共に低下させるが、アルビドの増大は主に最大温度の低下に寄与すること、粗度長の増大は最大温度と最小温度の差を小さくし、熱環境的な変動を小さくする一種のクッションの役割を果していることがわかった。今後、これらの解析から、都市内の中高層ビルによる粗度長の変化、透水性舗装の導入による相対湿度の変化などが都市の熱環境構造に及ぼす効果について、定量的な分析を進めたい。

気象台の周辺地点について計算から求めた大気温度 T_a を求めるところ、気象台の実測値とかなり違うという問題が生じた。これは、本モデルでは、地表面からキャノピーの高さまでの温度を一定と仮定し、森林や高層集落のようにキャノピーの高さが高いときには地表面温度を大気の温度とするために生じたものと思われる。また、このモデルでは鉛直方向の熱輸送しか考えていないので、より現実的なモデルとするためには、水平方向の大気の動きを考慮したモデルを用いる必要がある。²⁾

《参考文献》

- 1) L. O. Myrup : J. Appl. Meteor., vol. 8, pp908-918(1969)
- 2) 河村 武 : 「都市の大気環境」(大気環境の科学 第3巻, 東京大学出版会), pp139-157(1979)