

都市における熱的環境に関する研究 (その3)

—関東地方の土地利用と熱環境調査—

岡 建 雄

Research on Thermal Environments in Urban Areas (Part 3) —Survey of Land Uses and Thermal Environments in Kanto Area—

Tatsuo Oka

Abstract

In the Kanto Area, the surface of the ground has been greatly changed (the first destruction system) and most of the area is covered by agriculturally cultivated, residential and urbanized lands. The Kanto Area is therefore the easiest area for obtaining a grasp of the relations between human activities and thermal environments as viewed as waste systems. These are analyzed in this paper using a map of 1/50,000-scale and meteorological data for the entire Kanto Area. Spectrum analyses are used mainly to quantitatively grasp groups of land uses. The relation between thermal environment in a wide area and land uses is studied for obtaining an empirical formula, while a thermal distribution map for the entire Kanto Area is prepared and spectrum analysis of the thermal distribution is made. The author believes this paper will serve as useful material in the future for environmental assessment in development of urbanized areas, industrial plants and mechanized agriculture.

概 要

地表面の変革(第1次破壊系)が進み、その大半は農耕地、宅地、都市で占有されている関東地方は人的活動とその廃棄系としての熱的環境を最も把握し易い地域と思われる。本報告では5万分の1地図と関東全域の気象データを用いて解析を行った。解析手法としては主としてスペクトル分析を用いて、各土地利用形態の群落を定量的に把握しようとした。また広域熱環境と各土地利用形態との相関を求め、実測式を導くとともに、関東全域の熱分布を描き、熱分布のスペクトル分析を行った。これらは今後の大規模な都市開発、工業施設、装置農業等に対する環境アセスメントの一資料になるとと思われる。

1. はじめに

本報告は都市環境あるいは環境デザインといった課題に対し、土地利用形態とその廃棄系としての熱的環境を調査により分析したものである。従来、土地利用形態や都市環境に対してはどの程度のスケールで扱うべきかといった根本的な位置づけはなされていなかった。これは立地計画、エネルギー等の需要構造の把握にそれ程大きなスケールを必要としなかったためもあるが、今後はいわゆる都市産業、環境アセスメント等広域を対象とした NEEDS に対する供給計画が必要といわれている。

関東の広域熱環境の分析および土地利用形態との相

関を解析するために気象月報、5万分の1(国土地理院)からデータを作成した。気象月報は1972年4月1日から1973年3月31日までの1年間、5万分の1地図は関東を2kmメッシュに分割し、各メッシュに対し15種類の土地利用形態を上位4番目までその面積を記入し、磁気テープを作成した(図—1参照)。

2. 土地利用形態の分析

関東地方の土地利用形態の面積は市街地、建物密集地が500km²、宅地が2471km²、農地が8278km²、広、針葉樹林が7106km²である。宅地は樹木のある宅地、ない宅地がほぼ同面積である。農地では水田が最も大きく4754km²である。図—2に代表的な土地

利用形態の分布を示す。樹木のある宅地はほぼ関東全域に分布するが、樹木のない宅地は東京を中心に集中している。水田、畑は山岳地帯を除き、ほぼ全域に存在するが、果樹園等は山岳地帯に多い。広、針葉樹林は東京地方を除く全域に存在し、特に山岳地帯に多い。

これらの土地利用形態の分布は一種のランダム変動と考えられるが、ランダム変動を統計的に分析する手法に自己相関分析、スペクトル分析がある。自己相関関数 $R(\tau)$ は次式で示される。

$$R(\tau) = \lim_{l \rightarrow \infty} \frac{1}{l} \int_{-l/2}^{l/2} x(l) x(l+\tau) d\tau \quad \dots\dots\dots(1)$$

スペクトル密度関数 $sf(l)$ は次式で示される。

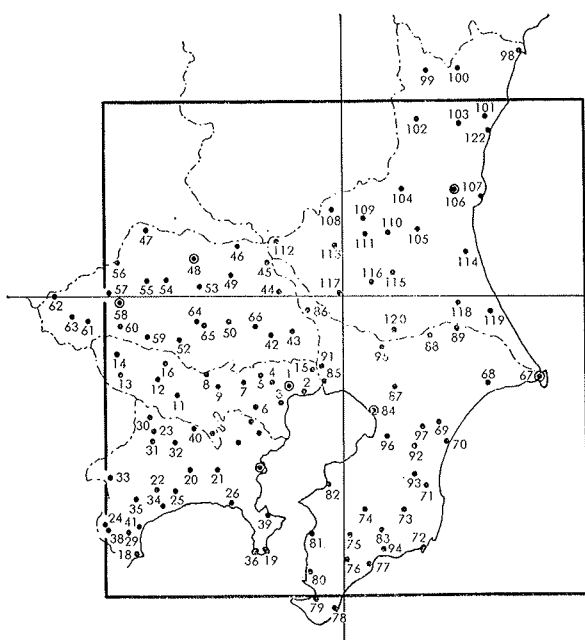
$$sf(l) = \int_0^{\infty} R(\tau) \cos 2\pi l \tau d\tau \quad \dots\dots\dots(2)$$

2次元の分布を解析する場合、自己相関関数を2次元として定義する場合もあるが、一般には各ラインで自己相関関数を算出し、全ラインの平均値をその分布図の自己相関関数としている。自己相関関数を算出する場合、対象は定常エルゴート過程でなければならぬし、また等方性でなければいけない。しかし一般には必ずしも厳密性は必要でないといわれている。本報告においては関東の横方向に沿って自己相関関数を導いたが、縦方向に沿って算出した場合と大差はなかった。データの数値としては0から10の値を用いた。すなわち各メッシュに対して1は10%、10は100%の宅地なり、水田があることを示している。

自己相関関数 $R(\tau)$ およびスペクトル密度 $sf(l)$ から各土地利用形態の変動特性を知ることができる。例えば $R(\tau)$ が単調減少であれば、その土地利用形態は周期性が乏しいと考えられる。またスペクトル分布からその土地利用形態がどのような周期を有し、どの程度の強度があるかを知ることができる。従ってこれらの解析結果は各土地利用形態に対する最適な供給網、あるいは施設立地等の一資料になると考えられる。

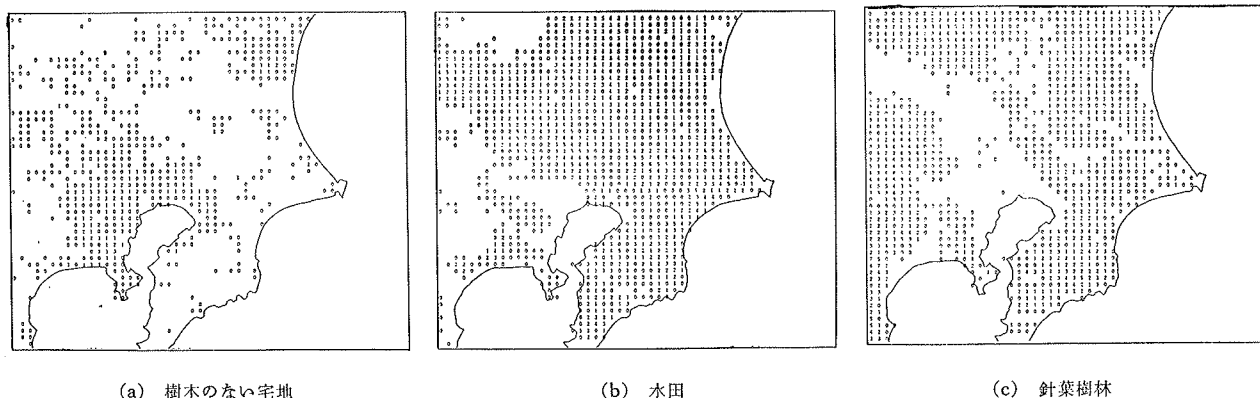
高層市街地、建物密集地は宅地等と比べて面積が少ないので、これらを単独に分析すると $R(\tau)$ は急激に単調減少し、 $sf(l)$ はホワイトスペクトルに近くなる。すなわち分析結果の応用範囲が狭くなり、航空写真等別のデータ収集が必要になると思われた。

図3(a)~(c)に人工物、農地、樹木林の自己相関関数とスペクトル密度関数を示す。人工物は面積から言えば宅地が圧倒的に大きい。これによると30km、50km、90km前後にピークが現れ、相当明瞭な周期性を示している。関東地方において宅地はいわば集落の



- 日最高、最低気温観測地点 (121地点)
- ⊙ 気象一般を観測 (7地点)
- で囲まれた地域を 2km 間隔のメッシュに分割し、土地利用形態をデータ化した。

図一 関東における気象観測地点



(a) 樹木のない宅地 (b) 水田 (c) 針葉樹林

図二 各種土地利用形態分布図の例

原型ともいえるし、都市化の反映でもある。

農地と樹木林では自己相関関数の減少がゆるやかであり、人工物に比べると集落として大きなスケールを有していることがわかる。農地は50kmと70kmと周期のピークが現れ、樹木林では70kmに弱い周期性がある。人工物、農地、樹木林はすべて120km前後で強い周期があるが、これは海洋に達する平均的な距離と考えられ、土地利用形態の周期性とは異なる。人工物の場合、50km以下の周期になると $sf(l)$ が上下しながらもゆるやかに減少していくのに比べ、農地、樹木林では急激に減少している。

当然ではあるが、人工物は緑地に比べ周期は短い。緑地に人的インパクトが加わり、緑地も人工物もある周期をもって出現するのであるが、これらはランダムな面と周期性を帯びた面があり、関東においては人的インパクトが相当強いことがスペクトル分析によりわかった。

本報告の分析データは2kmであり充分細かいとは言えず、地理的にも定常エルゴート過程とは言い難いため、分析結果も供給計画に必要な細かいデータまで得られなかった。今後はアーツ衛星写真や一般航空写真等を用いた画像解析システムが必要になると思われる。

3. 土地利用形態と熱環境の相関

熱分布、特に広域熱環境は土地利用形態により左右されると考えられる。土地利用形態と熱分布の相関が得られれば少なくとも関東スケールでの熱分布の実測式が得られることになる。この実測式を用いれば、地表面変革に対する熱的インパクトを計算できることになる。

ここでは各測定地点で得られたデータと土地利用形態との相関を回帰分析し、各土地利用形態の気温に与える影響を求めた。気温は*i*地点の気温を t_i とすると関東全域の平均気温を差し引いた値 Δt_i を用いた。 Δt_i は各土地利用形態の距離に対し、指数関数的に影響を受けると考えて次式を仮定した。B値は反復法により決定し、 $a_1 \sim a_5$ は最小2乗法を用いた回帰分析で求めた。

$$\Delta t_i = a_1 h_i + \sum_{j=1}^{100} \sum_{k=1}^{100} \sum_{n=2}^5 \{ a_n \cdot A_n(jk) \} \dots \dots \dots (3)$$

(但し h_i は *i* 地点の海拔 (m), $A_n(jk)$ は *j*, *k* メッシュにおける No. *n* の土地利用形態の面積化 (4km² を10として0~10の値で入力), $l_i(jk)$ は *i* 地点から *j*, *k* メッシュまでの中心距離 (km), メッシュ数は関東全域で100×100=10,000メッシュである。)

(3)式における $a_1 \sim a_5$ およびB値を重回帰分析で算出するが、B値は熱環境、あるいは土地利用形態の気温に与える影響の拡がりを示すことになる。B値の決定は10種類前後のB値で回帰分析を行い、回帰式から $\Delta T_1 \sim \Delta T_{121}$ を導き、標準偏差が最大になるB値を求めた。これは標準偏差が最大の場合、最もよく回帰分析ができたことを示すからである。土地利用形態の種類を多くすることは実測式の信頼性を危くすることになりかねないので、本報告では次の4種類にまとめた。人工物として市街地、宅地一般、工場等で全面積3505km²、農地として水田、畑、果樹園等で全面積8278km²、樹林として針葉樹林、広葉樹林、荒地で7523km²、水面として河川、湖、海洋、湾等でこれは図-1に示される範囲で計算に入れた。図-4は(3)式

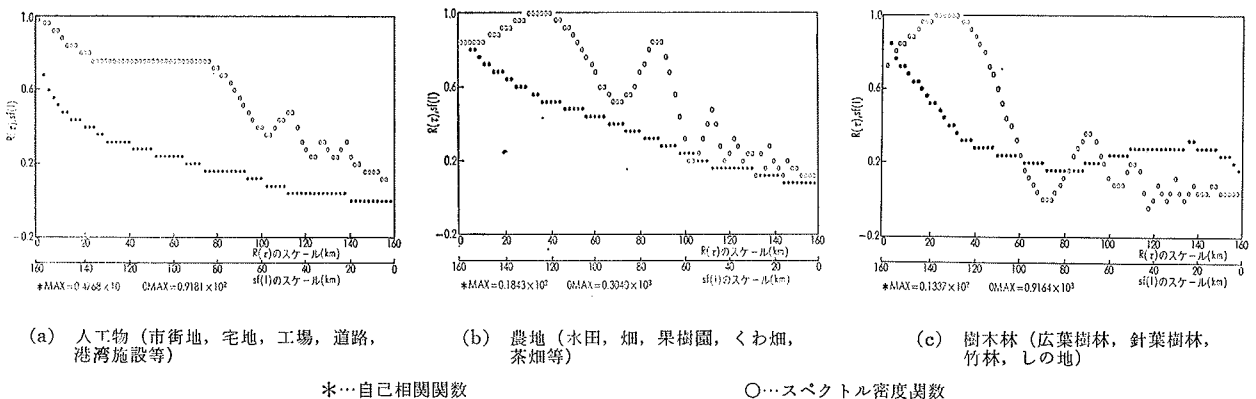


図-3 土地利用形態の自己相関関数とスペクトル密度関数

を用いて計算したB値および $a_1 \sim a_5$ の値を百分率で示している。 a_n は各土地利用形態の気温に与える相対的強さを表すことになる。これによると市街地、宅地等人工的な土地利用形態は年間を通して常に昇温側に働くことになる。これは地表面が平滑化され、水蒸気発生量が少くなるため太陽日射等の熱入力が顕熱として大気に放出されるためと考えられる。また冬季昇温側に働くもののその相対的強さが減少するのは農地、樹木林からの水蒸気発生量が少くなるため、総体的に人工物との差が小さくなるためと考えられる。農地、樹木林等は季節変動があるものの、一般に気温に対しては冷却作用がある。冬季は農地、樹木林共に同様の変動を示しているものの、夏季には相当な相異が見られ、主として耕作時期に関係するものと思われるが、夏季は太陽日射や降雨量等気象変化が大きいので、土地利用形態による影響が強く出ているとも考えられる。一方水面の気温に与える影響は夏季に冷却、冬季に昇温側に働くことになる。水面の気温に与える影響は大きいといわれているが、今回の分析では人工物の方がはるかに大きいという結果になっている。海拔高度に

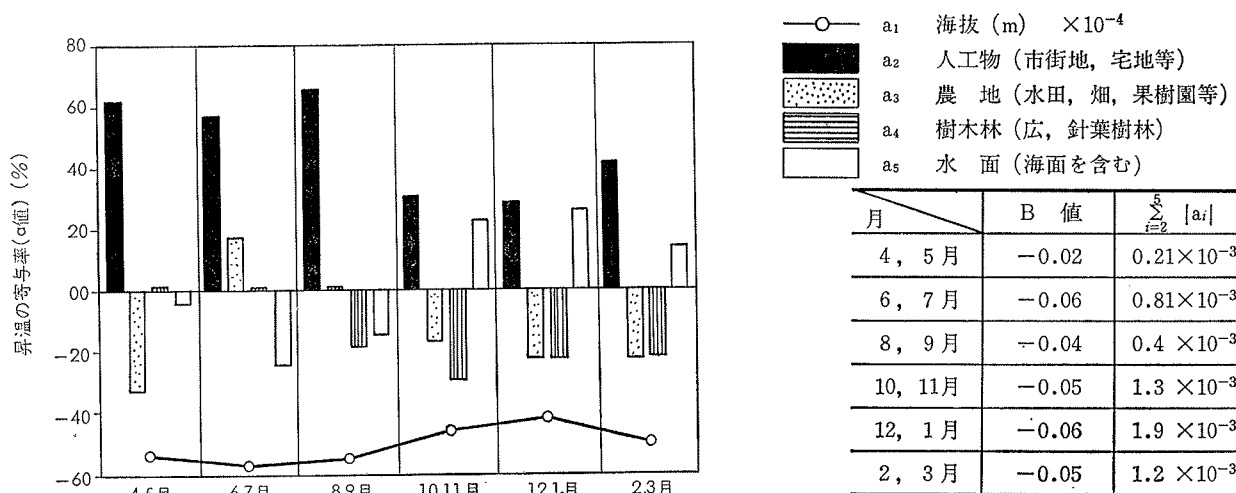
よる影響は年変動が見出されるが、これは冬季、夏季の大気安定度の相異と結びつけて考えれば納得のいくところである。

これらの分析手法の妥当性を検討するために、実測値と回帰式による相関を求めた。図一5に示されるように0.9前後の相関関数が得られ、また図一4の $a_1 \sim a_5$ および B 値も年間を通して安定した数値が得られているので、実測式として(3)式を用いても差しつかえないと思われる。またB値が予想以上に小さいことは広域熱環境が非常に遠距離にある土地利用形態の影響も受けていることを示している。

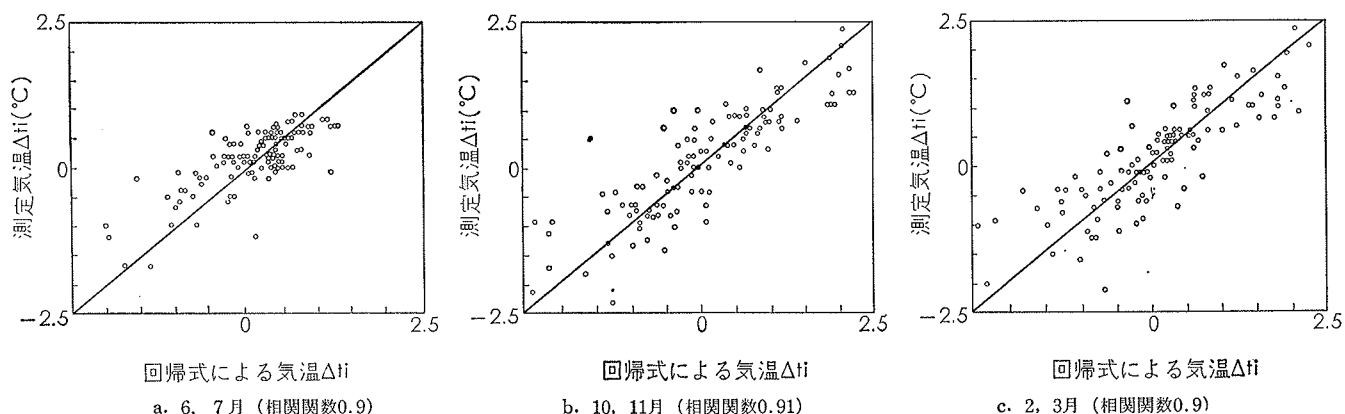
4. 熱環境の分析

関東全域の熱分布を知るために既報にある確率分布モデルを用いて、冬季(1月)と夏季(8月)の1か月平均の温度分布図を作成した(図一6参照)。

これによると一般に山岳地帯は低温であるが、東京を中心とする熱分布から強いヒートアイランド現象が見出される。東京におけるヒートアイランドの形態は既報とよく一致しており、冬季は都心部にヒートアイ



図一4 各種土地利用形態と昇温寄与率の年変化



図一5 実測値と回帰式による温度の対比

ランドが見出され、夏季には城東付近に見出される。しかし日最高、日最低ではヒートアイランドの形がかなり異なっており、最高気温は陸地に、最低気温では東京湾に形成される傾向がある。

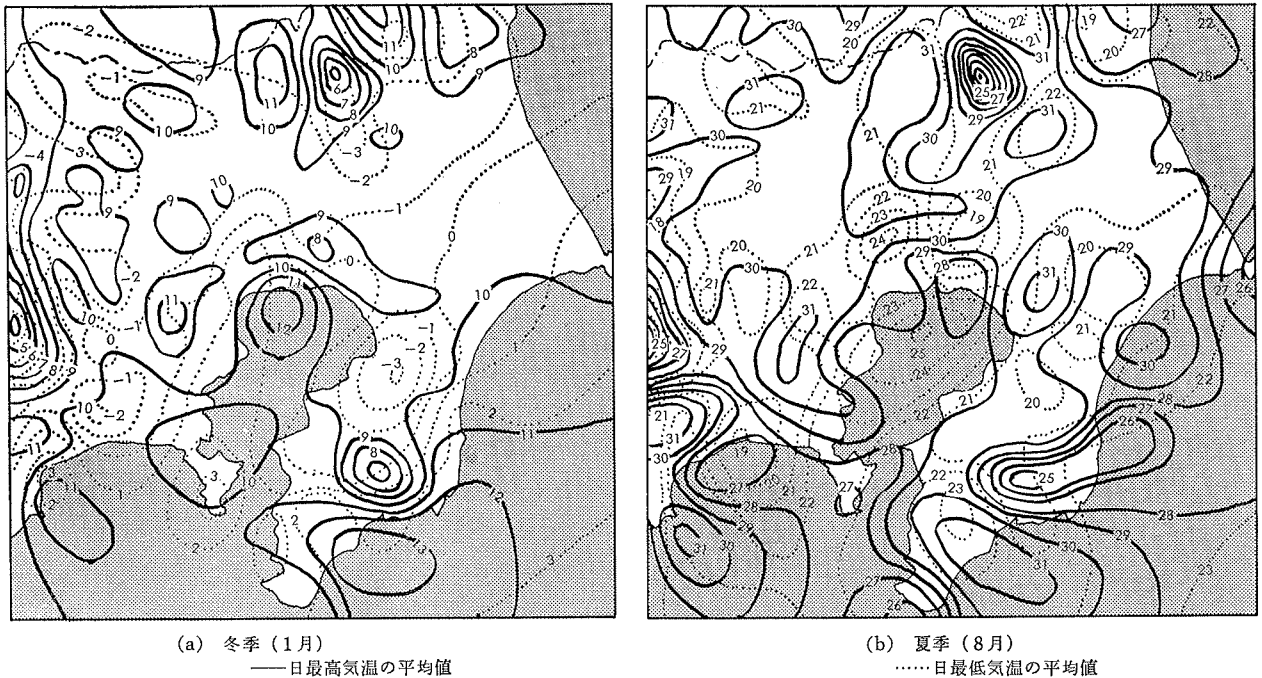
これらの熱環境を分析するために、土地利用形態の分析と同様に自己相関分析およびスペクトル分析を行った。これは確率分布モデルから得られた結果をデジタルとしてメッシュ状に組み直したものをを用いて行ったが、土地利用分析と同様にそれ程細かいデータではない。これにより広域熱環境の周期性や強度を知ることができると思われる。図一7に図一6に示される熱分布の自分相関関数、スペクトル密度関数を示す。波長として120kmと前後に強い周期性があるのは主として山岳地帯の影響と考えられる。30km~80kmの間でいくつかの山が見出されるのは熱環境の一般的スケ

ールと考えられ、土地利用分析と照らし合わせて考えられる。また20km以下の波長ではスペクトル密度関数が0に近づいているのはデータが充分細かくなかったためである。

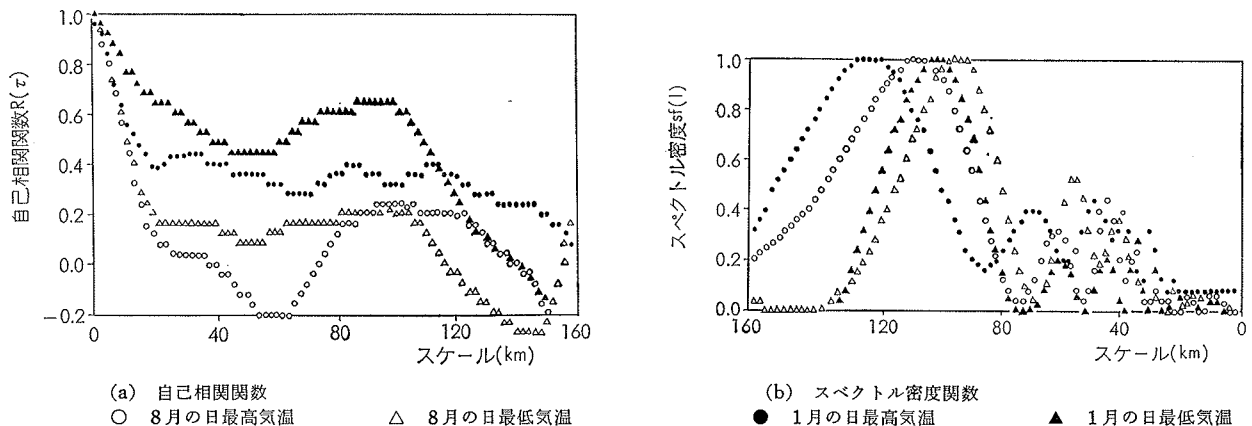
いずれにしても熱環境や土地利用形態の分析には充分細かいデータが必要で今後画像処理技術を用いて分析を行い、供給計画や施設立地計画に役立てることが必要と思われる。

参考文献

- (1) サーマルシステムモデルの作成(その1~その22) 建築学会大会梗概集 1972~74
- (2) 通産省産業エコロジー熱グループ資料
- (3) Dynamic Hydrology By Eagleson (McGraw-Hill 185967)



図一6 冬季（1月）と夏季（8月）における関東地方の温度分布図



図一7 冬季、夏季温度分布の自己相関関数とスペクトル密度関数