

# ランドサットTMデータによる首都圏 におけるヒートアイランドの解析

高 山 晴 光

## 1. はじめに

近年、都市域ではその周辺と比較し気温が高くなるヒートアイランド現象がおきている。これは、近代化が進むにつれ、人工的熱の放出や化石燃料の消費による排ガスのための温室効果の増加やコンクリート、アスファルト等の使用による影響であると言われている。

東京をはじめいろいろな都市のヒートアイランドに関する研究 (Oke, 1973、榊原ほか, 1998) は数多くなされてきた。また、都市以外の小領域でのヒートアイランドについての研究 (田宮ほか, 1981、藤野ほか, 1999) もある。これまでの研究でヒートアイランド強度は放射冷却の著しい晴天の夜間に大きくなること (山添ほか, 1994)、東京におけるヒートアイランドは特に冬季に顕著にあらわれることが報告 (伊藤ほか, 1994) されている。これらの研究における気温は移動観測や特定の地点での観測によるものである。一方、リモートセンシングの開発に伴い、広範囲で同時刻の気温を推定しようとする試み (Price, 1983、谷ほか, 1984、堀口ほか, 1990、近藤ほか, 1996、高村, 2000) がなされているが、いろいろな問題点が指摘されている。熱放射温度計を使用し表面温度の測定から気温を推定する場合、昼間は太陽光の反射による影響により誤差が

大きいとの報告 (谷ほか, 1984) もある。

そこで本論文は、ランドサットTMデータにより冬季夜間の首都圏におけるヒートアイランドについて解析を行った。

## 2. ランドサットTMデータ

気温を推定するために使用したデータは、高度705km、回帰日数16日で周回しているランドサット5号に搭載されたTMセンサーによるものである。このセンサーは7つの特定の波長帯域別に電磁波を感知できるものである。今回使用したバンド6の波長帯域は10.4~12.5  $\mu\text{m}$ 、分解能は120mである。観測幅は185kmであり、フルシーン画像データは地表面領域185km×175kmで提供される。

必要な画像データの観測地域はパス番号 (衛星軌道番号) とロウ番号 (南北を分割する観測列番号) でシーンセンターを指定する。今回は夜間の東京エリアのケースとして、パス番号 205、ロウ番号209を選定した。さらに、インターネットによりNASDA(宇宙開発事業団)の衛星画像データベース (<http://www.eoc.nasda.go.jp/~eusadmin/>) にアクセスしブラウザ画像で東京上空の雲量が1以下のものを選び、CD-ROMに記録されたデータ (BSQフォーマット) をRESTEC(財団法人リモ

トセンシング技術センター)より入手した。このデータはバルク補正 (ラジオメトリック補正および幾何学的補正) されたものである。地図投影法はユニバーサル横メルカートル図法による。ただし、大気中の水蒸気による吸収と散乱による影響を取り除く大気補正およびGCPによる補正はされていない。また、解像度は120mであるがキュービックコンボリューション法によりリサンプリングが行われ30mずつのデータが格納されている。夜間、東京上空の雲量1以下のデータは1984年から1999年までの期間で9件検索された。このうち次の観測日時 (4シーン) の解析を行った。

1986年12月26日20:50

1987年 1月27日20:51

1998年12月11日21:10

1999年 2月13日21:10

なお、今回使用したTMデータは米国政府所有のものであり、宇宙開発事業団の提供によるものである。

### 3. 画像処理

#### 3.1 画像の切り出し

画像処理には衛星画像ソフトOM-SAT (沢瀉電子株式会社) を使用した。フルシーンのイメージ画像を参考にして表1に示すアメダスの13地点が含まれるように、東西方向は139°18'30"Eから140°14'30"E、南北方向は35°17'30"Nから35°57'30"Nの範囲を間引き率4で切り出しを行った。この場合1ピクセルは地表面領域にして、120m×120mとなる。

地点名	経度	緯度	標高(m)
青梅	139°19'00"	35°47'12"	155
練馬	139°40'12"	35°44'00"	38
八王子	139°19'12"	35°39'48"	123
府中	139°29'12"	35°40'54"	58
東京	139°45'54"	35°41'12"	7
新木場	139°50'30"	35°38'00"	6
我孫子	140°02'00"	35°52'30"	20
船橋	139°59'48"	35°43'42"	24
千葉	140°06'24"	35°36'00"	4
浦和	139°35'24"	35°52'24"	8
越谷	139°47'36"	35°53'24"	5
海老名	139°23'12"	35°26'00"	18
横浜	139°39'24"	35°26'12"	39

表1 アメダス地点

#### 3.2 アフィン変換

次に画像上の海岸線や川の分岐点など位置が確認しやすい個所を選び国土地理院の25000分の1の地図によりその緯経度を読み取り、アフィン変換を行った。変換式は次のようである。

$$P = aX + bY + c$$

$$L = dX + eY + f$$

ここで、P、Xはそれぞれ変換前と後のピクセル座標、L、Yはそれぞれ変換前と後のライン座標を表す。

表2に変換のために使用したポイント(GCP)数、アフィン変換係数(a~f)、および変換二乗誤差を示す。

観測年月日	1986.12.26	1987.01.27	1998.12.11	1999.02.13
ポイント数	22	22	17	17
a	0.9019	0.9019	0.9025	0.9028
b	-0.1820	-0.1820	-0.1892	-0.1850
c	69.28	69.28	66.91	66.37
d	0.1591	0.1588	0.1575	0.1575
e	1.044	1.044	1.083	1.075
f	-51.40	-51.27	-51.09	-50.18
変換二乗誤差	ピクセル:0.6478 ライン:0.8235	ピクセル:0.6478 ライン:0.8264	ピクセル:0.7852 ライン:0.9031	ピクセル:0.7864 ライン:0.6084

表2 アフィン変換

## ランドサットTMデータによる首都圏におけるヒートアイランドの解析

図1.1、図1.2はそれぞれアフィン変換前と変換後の画像（1987年1月27日，20:51）である。



図1.1 アフィン変換前のTM画像

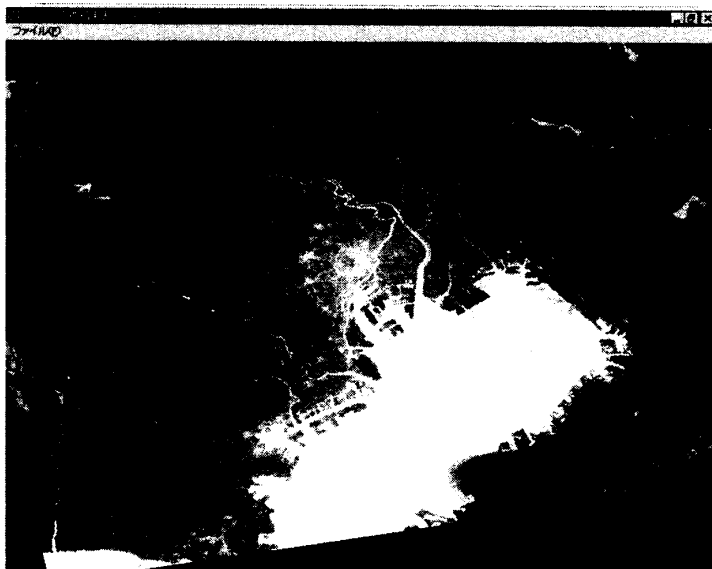


図1.2 アフィン変換後のTM画像

## 4. 地表面温度および気温の推定

### 4.1 観測輝度温度

TMで観測された放射輝度 ( $\text{mW}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr}$ ) より地表面温度を求めるには地球観測データ利用ハンドブックに記載されている次に示す式を使用した。

$$R = V(R_{\max} - R_{\min}) / D_{\max} + R_{\min}$$

$$R/L = 5.1292 \times 10^{-5} T^2 - 1.7651 \times 10^{-2} T + 1.6023$$

ここで、 $R$ は絶対放射輝度、 $V$ はCCTのデジタル値、 $D_{\max}$ はデジタル値の最大値でTMの場合は255、 $R_{\max}$ 、 $R_{\min}$ は検出器の最大および最小放射輝度で、ランドサット5号ではそれぞれ、1.64、0.04である。また、 $L$ はバンド幅、 $T$ は観測輝度温度 (K) を表す。

### 4.2 地表面温度と気温

地表面温度と気温との関係を調べるため、赤外放射温度計 (TR-0510) により、日没後のさまざまな地表面の温度と気温の測定を行った。赤外放射温度計による測定波長は  $8 \sim 13 \mu\text{m}$  であり約1mの距離からの測定である。気温は地上1.5mに設置された水銀温計により測定した。地表面への日照が完全になくなった3月18日18:00から最低気温を示した19日6:00までの結果を図2に示す。測定日の3月18日14:00から19日の9:00までの雲量は1以下で、観測地点に最も近いアメダス地点の気象データによると風速は、 $1\text{m/s}$  以下であった。特に観測時間内では20:00の $1\text{m/s}$ を除き、 $0\text{m/s}$ であった。

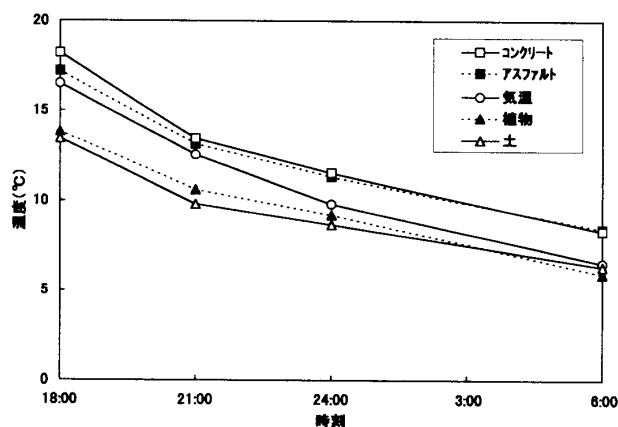


図2 地表面温度と気温

都市域を代表するコンクリートとアスファルトの表面温度は気温より高く、植物と土の表面温度は気温より低い値を示した。同じ条件の日射において日没後もコンクリートやアスファルトが植物や土に比べ温度が高くなること（姫野,1998）が知られているが、同様の結果であった。気温と表面温度に関してみると、18:00、21:00においては気温はコンクリートやアスファルトの表面温度に近い値を示している。観測地点は住宅地であるが植物や地表面部分が占める割合は30%以下であり、気温への影響はそれ以外の部分によるものが大きいと考えられるが、24:00以降はむしろ土や植物の表面温度に近い値を示しており、表面温度と表面の状態だけにより気温を推定することは困難と考えられる。

#### 4.3 気温の推定

上述の結果および大気補正も考慮し、TMデータから4.1で示した式で求めた観測輝度温度より気温を推定するには、観測地域内のアメダスの気温データとの回帰直線式から求める方法を採用した。使用したアメダスデータはTMデータの観測時刻に最も近い21時のものである。各観測日による結果を図3.1～図3.4に示す。これら全ての結果において正の比較的高い相関がみとめられた。それぞれのケースでの回帰直線式と相関係数は次のようである。

$$y = 0.72x + 4.42 \quad R = 0.82 \quad (1986.12.26)$$

$$y = 0.73x + 3.98 \quad R = 0.81 \quad (1987.01.27)$$

$$y = 0.69x + 4.91 \quad R = 0.81 \quad (1998.12.11)$$

$$y = 0.76x + 2.74 \quad R = 0.84 \quad (1999.02.13)$$

ここで、 $y$  は気温（℃）、 $x$  は観測輝度温度（℃）、 $R$  は相関係数を表す。

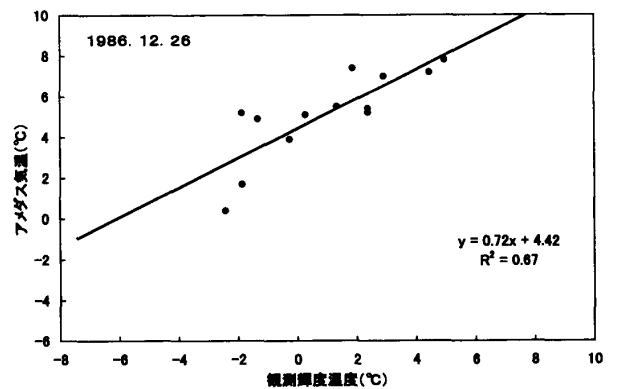


図3.1 観測輝度温度とアメダスの気温  
(1986.12.26,20:50)

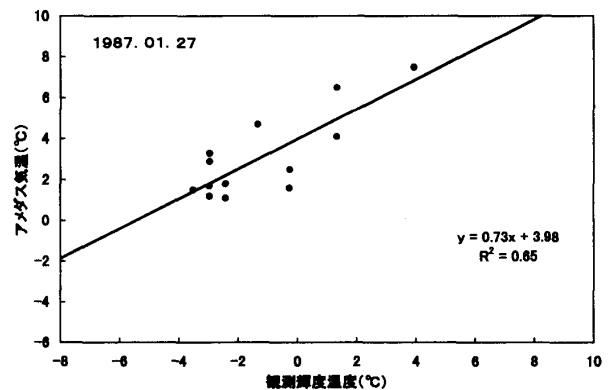


図3.2 観測輝度温度とアメダスの気温  
(1987.01.27,20:51)

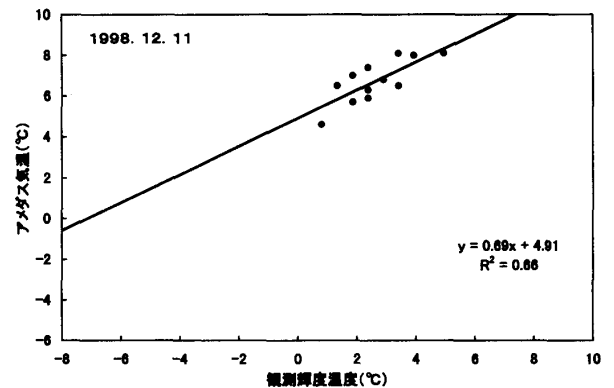


図3.3 観測輝度温度とアメダスの気温  
(1998.12.11,21:10)

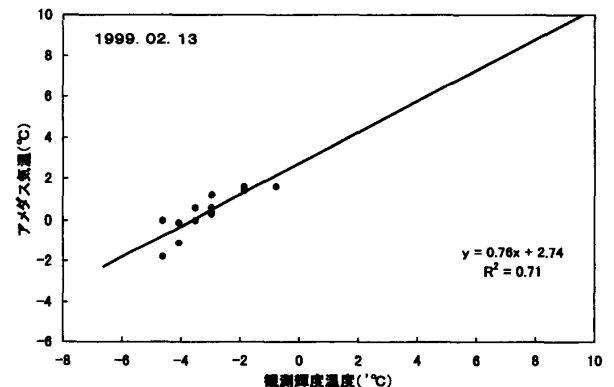


図3.4 観測輝度温度とアメダスの気温  
(1999.02.13,21:10)

## 5. 気温分布とヒートアイランド

上述の結果を元にして東京およびその周辺の温度分布図を作成した。表3に観測日の気象条件として、観測日の日照時間および観測時刻に最も近い21時のアメダスの風向風速を示す。1987年のケースは、全域において比較的風速が小さかったが、他の3ケースは都心部で風速が大きく、郊外

で比較的小さい状況であった。

観測日	気象要素	東京	練馬	青梅
1986年	日照時間(時間)	4.8	4.5	8.8
12月26日	風向, 風速(m/s)	NNW, 5	NNW, 1	0
1987年	日照時間(時間)	8.8	8.2	9.3
1月27日	風向, 風速(m/s)	SW, 2	0	W, 1
1998年	日照時間(時間)	6.2	6.2	6.7
12月11日	風向, 風速(m/s)	NNW, 5	N, 1	N, 1
1999年	日照時間(時間)	10.3	9.1	10.0
2月13日	風向, 風速(m/s)	N, 5	N, 1	0

表3 観測日の21時におけるアメダスデータ

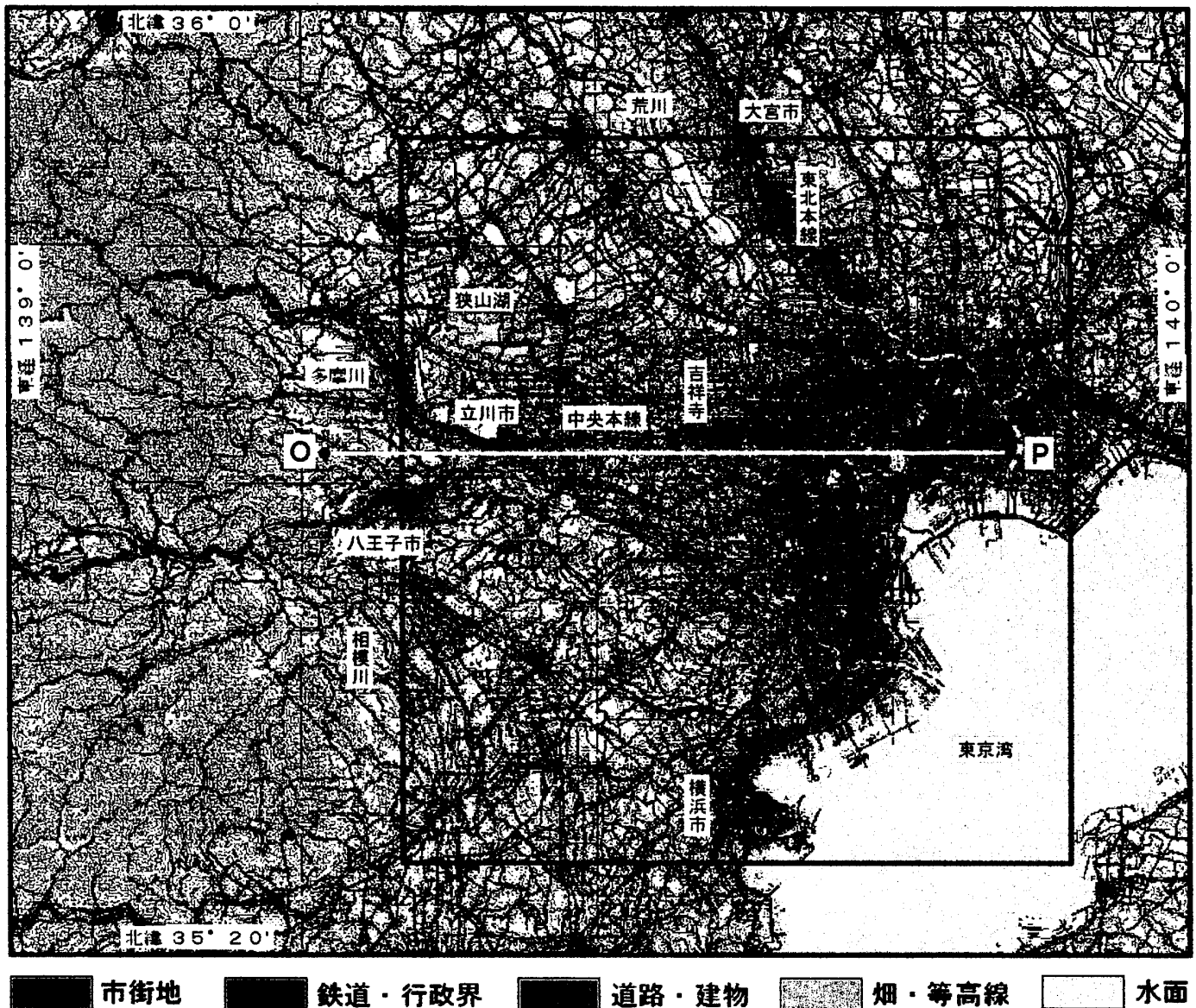


図4 東京およびその近郊の地図

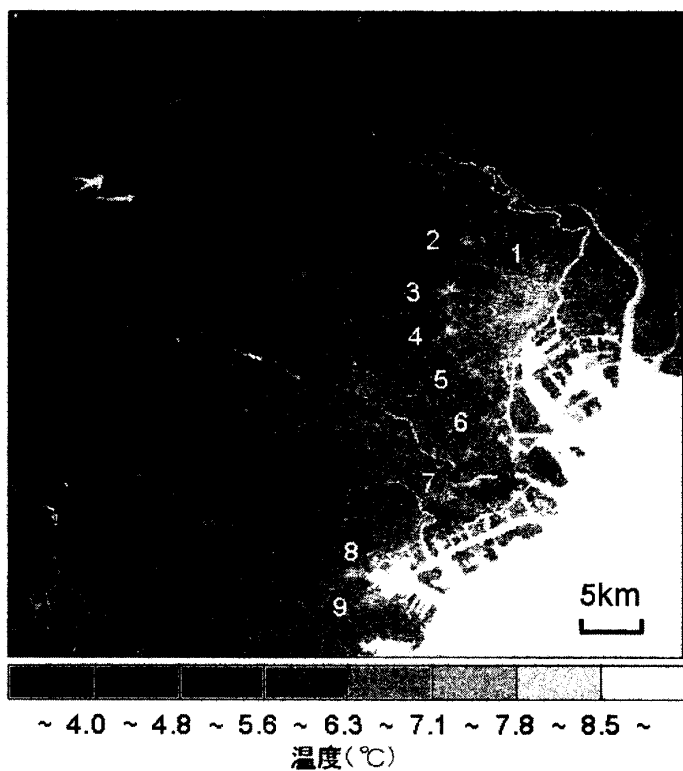


図 5.1 首都圏の気温分布 (1986.12.26,20:50)

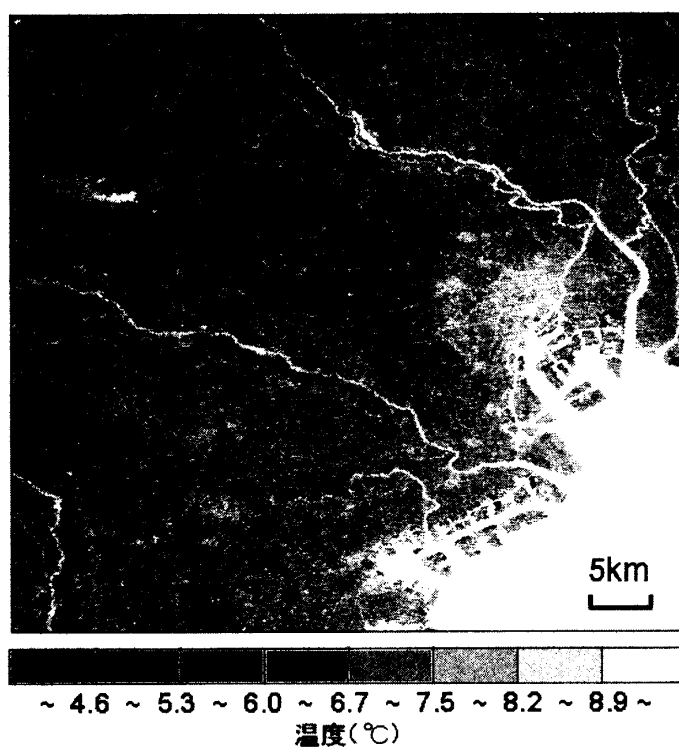


図 5.3 首都圏の気温分布 (1998.12.11,21:10)

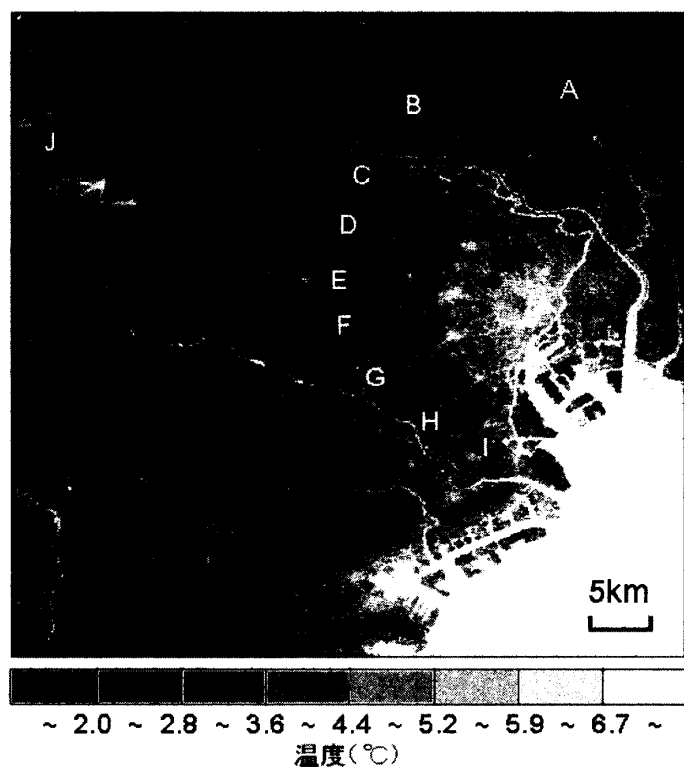


図 5.2 首都圏の気温分布 (1987.01.27,20:51)

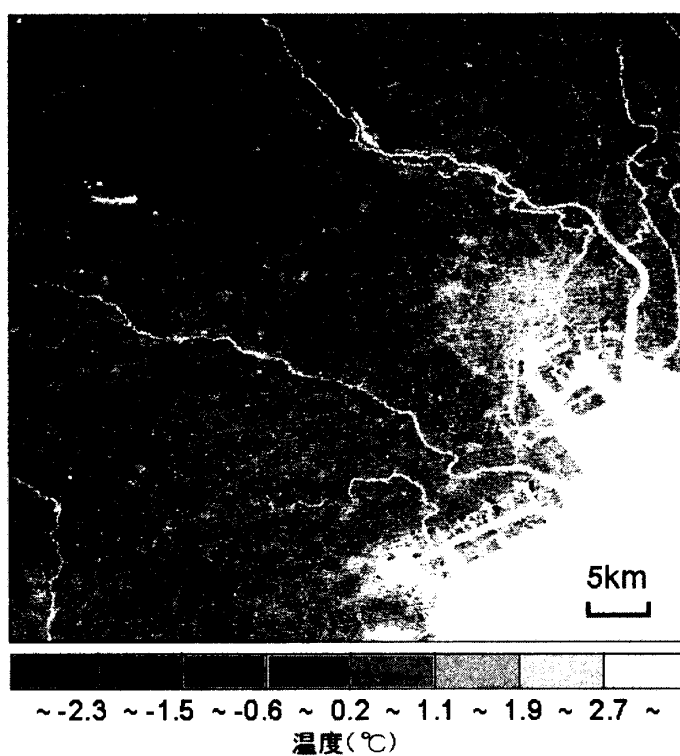


図 5.4 首都圏の気温分布 (1999.02.13,21:10)

## ランドサットTMデータによる首都圏におけるヒートアイランドの解析

図4（昭和55年編集・平成3年要部修正、国土地理院発行の20万分の1数値地図による）の地図上の枠で囲んだ領域の気温分布を図5.1～図5.4に示した。温度を8段階に色分けして表示した。本論文においてはモノクロ表示としたが、カラー表示にするとよりわかりやすい分布図になる。

図5.1～図5.4に見られる気温の高い領域（白っぽく表示されている部分）は、図4でわかるように都心部や市街地など都市化の進んでいる領域でヒートアイランドとなっていることが確認できる。なお、海や河川などの水面部も周囲に比べ高温域となっている。

図5.1に見られる都心の高温部（数字1の下側）は東京駅を中心に半径約3kmの部分である。最高气温は銀座の9.4℃である。一方、このなかで周囲に比べ黒っぽく見える部分は低温部で緑地が多い皇居周辺にあたる。特に低い部分は5.7℃とかなり低い値を示している。その外側に山手線に沿って点在している高温部が見られる。2, 3, 4はそれぞれ池袋, 新宿, 渋谷駅周辺, 5は目黒駅から五反田駅周辺にかけての地域, 6の右側は大森駅周辺, 6の下側は蒲田駅周辺である。さらに、京浜急行本線に沿って西に連なる高温域7, 8, 9は、それぞれ川崎、横浜、関内駅周辺にあたる地域である。

また、都心部から放射線状に高温部（白っぽい領域）が広がっている様子がわかる。これらは以下に示す路線に沿う地域である（図5.2）。

A：伊勢崎線、B：東北本線、C：東武東上線、  
D：西武池袋線、E：中央本線、  
F：帝王帝都京王線、G：国道246号線  
H：東急池上線から東急東横線、  
I：京浜急行本線

低温部は青梅市から入間市の西部にかけての地

域（図5.2のJ）にみられる。

1998, 9年のケースの方が1986, 7年のケースに比べ郊外と都心部との温度差が小さくなっている。

図6.1～図6.4は、八王子市の東経139° 16' 30"、北緯35° 41' 15"を基点（図4のO点）とし、中央本線の南側近傍を通る北緯35° 41' 15"上を江戸川区の東経139° 51'（図4のP点）までの45km間の温度分布を1km間隔で示したものである。また、その領域が含まれる1km四方の領域の昼間と夜間の人口を同一グラフ上に示した。この人口は観測日に最も近い国勢調査を元にして作成された

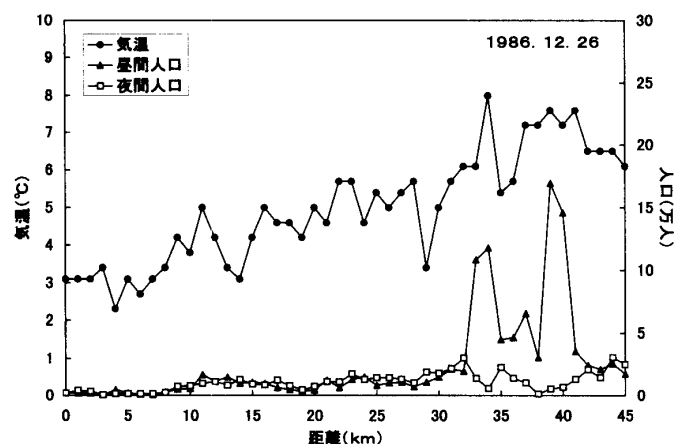


図6.1 東京の東西方向の気温分布(1986.12.26, 20:50)と1km<sup>2</sup>当りの人口

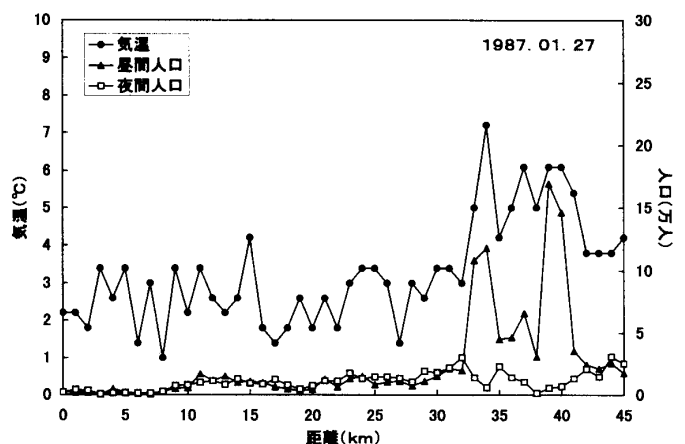


図6.2 東京の東西方向の気温分布(1987.01.27, 20:51)と1km<sup>2</sup>当りの人口

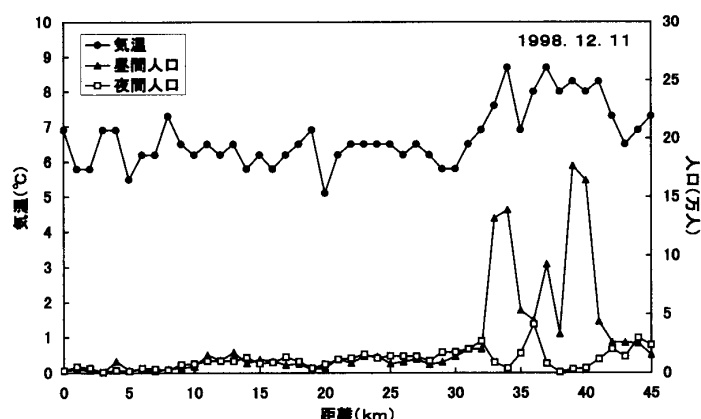


図 6.3 東京の東西方向の気温分布(1998.12.11, 21:10)と 1 km<sup>2</sup>当りの人口

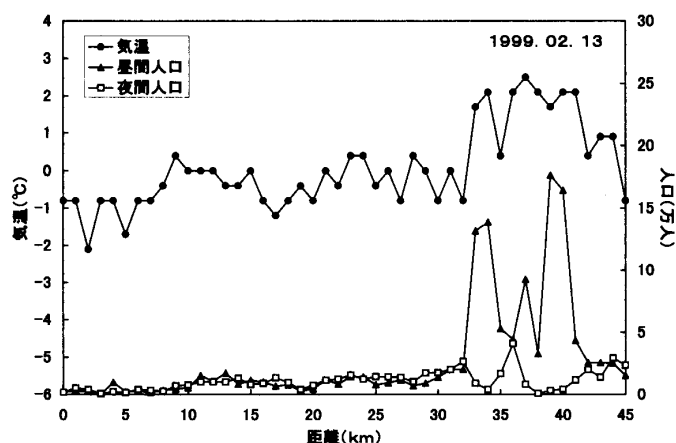


図 6.4 東京の東西方向の気温分布(1999.02.13, 21:10)と 1 km<sup>2</sup>当りの人口

地域メッシュ統計地図(総務省統計局、1985、1995)によるものである。

1986年12月26日のケースにおいては、気温が基点より32km付近まで上下変動を繰り返しながら緩やかに上昇しているが、そのほかの3ケースにおいては、郊外から都心に向かっての気温上昇はみられない。4ケースともに33km付近で急激な気温上昇がみられる。この付近は新宿駅周辺に相当する地域である。34km付近での気温の低下している部分は新宿御苑に相当する地域である。36km～41kmの高温域は四谷から神田にかけての地域である。都心部の高温域は昼間の人口の多い地域との相関

R (1986年:  $R=0.66$ 、1987年:  $R=0.79$ 、1998年:  $R=0.72$ 、1999年:  $R=0.73$ ) が比較的高い。夜の人口との相関(1986年:  $R=0.42$ 、1987年:  $R=0.13$ 、1998年:  $R=0.05$ 、1999年:  $R=0.15$ ) は非常に低い。

入間市南西部地域の最低気温と各地域との気温の差をヒートアイランド強度とし、都心部と東京近郊の市街地のヒートアイランド強度を求めた。結果を表4に示す。ヒートアイランド強度は各都市とも10数年間で数℃減少している。これは郊外の都市化によるものと考えられる。

	1986.12.26	1987.01.27	1998.12.11	1999.02.13
銀座	11.3℃	10.7	7.6	8.4
新宿	10.5	10.3	6.9	8.0
渋谷	10.5	10.0	6.9	8.0
横浜	10.5	10.0	7.3	8.0
吉祥寺	9.4	8.8	6.2	6.8
八王子	8.7	8.1	5.9	6.8
大宮	8.7	8.1	5.5	6.4

表4 都心部およびその近郊の市街地のヒートアイランド強度

都心部の最高気温を示す地域は4ケースとも銀座付近であった。各年における銀座におけるヒートアイランド強度とそのほかの地域におけるヒートアイランド強度の較差を図7に示す。

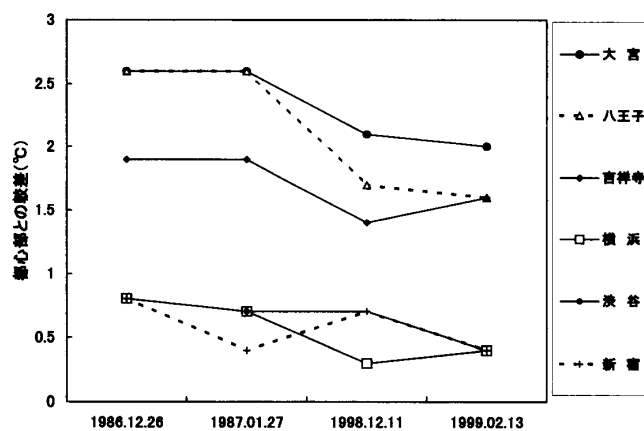


図7 東京近郊の市街地と都心部のヒートアイランド強度の較差



## ランドサットTMデータによる首都圏におけるヒートアイランドの解析

10数年間の各都市の銀座との較差の変化は、新宿、渋谷など都心部ではあまり見られないのに対し、八王子、大宮など東京近郊の各都市では小さくなってきていることが認められる。これは、東京近郊の各都市における都市化の変化が都心部に比べ大きいためと考えられる。

### 6. まとめ

ランドサットTMデータを使って首都圏の冬季夜間におけるヒートアイランドの解析を行い、次のような結果が得られた。

都心部に半径約3kmのヒートアイランドが存在し、その外側に山手線に沿ったヒートアイランドが点在する。さらに、都心部より放射状に延びる鉄道および道路に沿って郊外へと広がっている。

ヒートアイランド強度は夜間の人口より昼間の人口との相関の方が高かった。都心部の最高温度を示した地域は銀座付近で、ヒートアイランド強度は次のようであった。

1986年12月26日20:50: 11.3℃

1987年1月27日20:51: 10.7℃

1998年12月11日21:10: 7.6℃

1999年2月13日21:10: 8.4℃

都市部のヒートアイランド強度はここ10数年間で減少の傾向にある。また、大宮、八王子などの東京近郊の都市と都市部のヒートアイランド強度の較差が小さくなってきていることがわかった。これは都市化が郊外へ広がりつつあるためと考えられる。

TMデータを使う解析は、広範囲にわたる同時刻の情報を得ることができ、大変有用な方法である。今回の解析ではTMデータより得られた地表

面温度とアメダスの気温との間にかなりの相関が見られた。しかし、気温と表面温度の関係は表面や気象条件によって変動する。そのため、TMデータより求めた観測輝度温度から気温を推定するには、今後さらにTMデータと気温との関係を検討する必要がある。

### 謝辞

TMデータの入手にご協力いただきました財団法人リモートセンシング技術センターおよび資料の利用を許可していただいた総務省統計局に感謝いたします。

### 参考文献

Oke, T.R. (1973): City Size And The Urban Heat Island. Atmospheric Environment Pergamon Press. 7, 769-779.

榊原保志, 田中 忍, 伊藤由香 (1998): 長野市における夜間ヒートアイランド強度に対する風速と接地逆転の強さの関係. 天気, 45-2, 119-126.

田宮兵衛, 大山秀樹 (1981): 小集落に夜間発生するヒートアイランドの実態と成因について. 地理学評論, 54-1, 1-21.

藤野 毅, 浅枝 隆 (1999): 盆地内における湖岸の小都市ヒートアイランド特性について. 天気, 46-5, 317-326.

山添 謙, 一ノ瀬俊明 (1994): 東京およびその周辺地域における秋期夜間の晴天時と曇天時のヒートアイランド. 地理学評論, 67A-8, 551-560.

伊藤政志, 宇田川満, 三上岳彦 (1994): 東京都内の気温分布について (その1). 東京都環境科学研究所年報, 35-46.

Price, J. C. (1983) : Estimating Surface Temperatures from Satellite Thermal Infrared Data — A Simple Formulation for the Atmospheric Effect. Remote Sensing of Environment, 13, 353 - 361.

堀口郁夫, 谷 宏, 楊 桂清(1990) : リモートセンシングデータによる気温の推定. 日本リモートセンシング学会誌, 10-2, 229-237.

近藤昭彦, 栗原昭子, 三上岳彦(1993) : ランドサットデータによる関東平野諸都市のヒートアイランド強度の解析. 日本リモートセンシング学会誌, 13-2, 32-42.

高村利峰(2000) : 衛星データによる仙台市熱環境の評価, 東北大学修士論文.

谷 宏, 堀口郁夫, 元木敏博(1984) : 農業気象における人工衛星データの利用に関する研究 — GMS (ひまわり) 赤外データによる地表面温度とAMeDAS気温との関係 —. 農業気象, 40-2, 111-117.

姫野賢治(1998) : 都市における熱環境と舗装—ヒートアイランド現象と舗装—. セメント・コンクリート, 613, 26-34.

宇宙開発事業団地球観測センター編(1986) : 地球観測データ利用ハンドブック—LANDSAT編・改訂版—.

総務省統計局(1985, 1995) : 国勢調査地域メッシュ統計地図.

## ABSTRACT

### Analysis of the Heat Islands in the Metropolitan Area of Japan Using Landsat TM data

Harumitsu TAKAYAMA

The heat island in the winter night of the metropolitan area was analyzed using Landsat TM data which were collected on December 26, 1986, January 27, 1987, December 11, 1998 and February 13, 1999 and the following results were obtained.

The heat island with a radius of about 3km exists in a part in the center of Tokyo and on the outside it is dotted with the heat island along Yamanote Line. Furthermore, it has spread from the part in the center of Tokyo to the suburbs along with the railroad and the road which are prolonged in the shape of radiation.

The heat island intensity is related to the population of daytime rather than the population of night.

In this analysis, the heat island intensity of a part in the center of Tokyo was 7.6~11.3 °C and it tends to decrease recently .

The result of the comparison with latest data and data of about ten years ago shows that difference of the heat island intensity of a part in the center of Tokyo and the city of the environs becomes small. This is considered that urbanization spreading to the environs.

The analysis using TM data can obtain the information on this time over which it goes broadly, and is a very useful . In this analysis the remarkable correlation was seen between the earth surface temperature obtained from TM data and the air temperature of the AMEDAS. However, the relation of air temperature and earth surface temperature is changed according to the earth surface or weather conditions. Therefore, the relation of TM data and temperature needs to be examined further from now on to estimate air temperature from the luminosity value calculated from TM data.