用途地域指定が地域の熱環境に与える影響

- 神戸市長田区における熱画像の解析を通して -

A STUDY ON THE EFFECTS OF LAND USE ZONING REGULATION ON THERMAL ENVIRONMENT

- Analysis of thermal image in Nagata, Kobe -

山下卓洋*, 田中貴宏**, 森山正和***

Takuhiro YAMASHITA, Takahiro TANAKA and Masakazu MORIYAMA

This study aims at understanding the effect of land use zoning regulation on surface radiative temperature. Actually, we overlaid thermal image observed from sky (helicopter) with land use regulation zoning data (GIS vector data), and made radiative temperature histogram for each land use regulation zone. Major findings in this study are as follows. 1) In the area that designated as "Industrial Zone", radiative temperature is higher than any other area for all day. 2) In the area that designated as "Business Zone" and "Commercial Zone, radiative temperature is higher than "Residential Zone" in the night, because of much paved surface.

Keywords : Thermal Environment, Zoning, Thermal Image, Land Surface Temperature, GIS

熱環境, 用途地域, 熱画像, 地表面温度, GIS

1. はじめに

1. 1 研究の背景と目的

近年、都市熱環境の悪化に伴い、都市生活者の快適性の向上、建物の省エネルギーといった観点から、都市空間における熱環境緩和の必要性が指摘されている¹⁾²⁾。そのため環境工学分野では、都市の熱環境を対象とした様々な調査、研究がなされている³⁾。しかし、その多くは物理的な現象の解明に主眼をおいたもので、都市計画の各種規制等がその場所の熱環境に与える影響を扱った研究は従来ほとんど見られない。

しかし、用途地域制等、都市計画の地域制はその場所の土地利用や土地被覆を大きく規制しており、また土地利用や土地被覆がその場所の熱環境に大きく影響を与えていることは知られている⁴⁾。そのため、地域制がその場所の熱環境に与える影響は大きいものと考えられ、熱環境緩和を考慮した都市づくりを進めていく上で、その影響を把握しておくことは重要であると考えられる。

そこで本研究では、地域制がその場所の熱環境に与える影響を把握するための第一歩として、用途地域指定が、その場所の熱環境を構成する大きな要素である地表面温度に与える影響を把握することを目的とした。具体的には、神戸市長田区を対象に航空機搭載熱赤外センサーにより撮影された夏季の高解像度熱画像（地表面温度分布図）と用途地域図の重ね合わせにより、用途地域指定がその場所の地表面温度に与える影響について解析を行い、また、その結果に基づき各地域の地表面温度の上昇を緩和するための指針の試作を行った。なお本研究では、上空から撮影した熱画像を利用したため、上

空から観測可能な面の表面温度に解析対象は限られている。

1. 2 関連する既往研究

熱画像を利用した研究として、まず衛星リモートセンシングの熱画像を利用した研究が見られる。例えば、客野ら⁵⁾は LANDSAT7 号 ETM+の熱画像から地表面のアルベドを波長域別に推定し、土地利用とアルベドの関連について解析を行っている。また、近藤ら⁶⁾は LANDSAT5 号 TM の夜間熱画像を利用して、都市域の規模・構造とヒートアイランド強度との関係について解析を行っている。しかし、衛星リモートセンシングの熱画像は解像度が比較的大きい(例えば、LANDSAT7 号 ETM+の熱画像の解像度は 60m である)ため、広域の解析には適するが、都市内の詳細な解析を行うことは困難である。

熱画像を利用した都市内の詳細な表面温度分布の解析事例としては梅干野ら⁷⁾が、赤外線放射カメラで撮影した熱画像を利用して建物全表面からの顕熱流量の解析を行っている。また、梅干野ら⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾は航空機から撮影された熱画像を活用し、複数の住宅地を対象に熱環境の解析を行っている。さらに、田中や佐川ら¹¹⁾¹²⁾は、航空機搭載熱赤外センサーにより撮影された高解像度熱画像の解析を利用して、大阪市中心部を対象に道路や公園内、建物屋根面等の表面温度分布を統計的に解析している。しかし、これらの既往研究は環境工学的な観点から都市の物理的状態と表面温度の関係を論じたもので、都市計画的な視点から用途地域指定等の地域制と熱環境の関係を論じたものは見られない。

一方、用途地域指定が環境に与える影響について論じたものとし

* 神戸大学大学院自然科学研究科 大学院生・修士(工学)

** 神戸大学大学院工学研究科 COE研究員・博士(工学)

*** 神戸大学大学院工学研究科 教授・工博

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kobe Univ., M. Eng.

COE Researcher, Graduate School of Engineering, Kobe Univ., Dr. Eng.

Prof., Graduate School of Engineering, Kobe Univ., Dr. Eng.

ては、外間ら¹³⁾が衛星リモートセンシングを利用して用途地域指定と緑地量との関係を論じており、また Kyakuno ら¹⁴⁾が用途地域指定と地表面のアルベドとの関係を論じているが、用途地域指定がその場所の熱環境に与える影響について論じたものは現在のところあまり見られない。

2. 解析の概要

2. 1 対象地

図1に本研究の対象地である神戸市長田区を示す。長田区は他の阪神地域の都市同様、夏季の暑さが厳しく、また、各用途地域（住居系・商業系・工業系）が比較的狭いエリアの中に一通り揃っていることから、本研究の対象地とした。

対象地の南側には大阪湾、北部には高取山があり北部に向かって標高が高くなっている。また、対象地南部は商業用地や工業用地、住宅地が混在しており、北部は主に住宅用地となっている。なお、標高の高い場所では標高による温度低下の影響も含まれてしまうので、本研究では標高100m以下の場所を対象とした。

2. 2 使用データ^{注1)}

2. 2. 1 熱画像データ

本研究で利用した熱画像データは以下の手順で作成した。

(1) 熱画像の撮影

本研究では、表1のセンサーを航空機（ヘリコプター）に搭載し、対象地全体をカバーする形で飛行しながら、上空から熱画像の連続撮影（放射率は1に設定^{注2)}を行った。なお、撮影は3回（昼間、夜間、早朝）行った。撮影した熱画像の概要を表2に示す。

(2) 幾何補正

(1)で連続撮影した熱画像の各画像（320ピクセル×240ピクセル）は、地理座標参照されておらず、また広角レンズで撮影されたものなので、画像端部では歪みが生じている。そこで、各画像の中央部（176ピクセル×176ピクセル）のみを抽出し、幾何補正

図1 神戸市長田区（等高線 50m 間隔）

表1 センサーの概要

センサー名称	サーモトレーサーTS7302（広角レンズ） （NEC 三栄社製）
測定波長帯	8 μm ~ 14 μm
データ画素数	320（横） × 240（縦）ピクセル
温度測定範囲	-20°C ~ 100°C
熱画像保存形式	動画データとして保存

表2 撮影熱画像の概要

空間解像度	3m（飛行高度：600m）
撮影日時	①2004年8月25日14:45~15:30（昼間） ②2004年8月25日21:15~22:00（夜間） ③2004年8月26日5:00~5:45（早朝） ※①は一日の中で最も気温の高い時間帯、③は最も気温の低い時間帯、②は①から③に移る途中の時間帯として設定。
航空機の飛行方向	南北方向
撮影日の天候 （神戸海洋気象台）	2004年8月25日昼：曇時々晴 2004年8月25日夜：曇時々晴 2004年8月26日昼：晴時々曇 ※撮影前日の8月24日から撮影終了まで降水はなかった。
撮影日の気温・風速・全天日射量	図2に示す（気温・風速は対象地に最も近い神戸海洋気象台の観測データを用いている。全天日射量は神戸海洋気象台では観測されていないため、大阪管区気象台の観測データを用いている。）

表3 地上測定の概要

地上測定地点 （括弧内は温度測定を行った、地表面被覆）	I. JR新長田駅周辺（裸地、道路、樹木） II. 観音山公園（裸地、樹木） III. 長田港周辺（海面、アスファルト、裸地） ※各測定地点の場所は図1に示す。
測定時間帯	①2004年8月25日14:45~15:30（昼間） ②2004年8月25日21:15~22:00（夜間） ③2004年8月26日5:00~5:45（早朝）
地上測定方法	各被覆について10回ずつ測定を行い、それを測定時間帯の間くり返し続けた。そして、その平均値を測定値とした。
地上測定で使用した放射温度計の仕様	・測定波長帯：8~16 μm ・熱解像度：0.1°C ・測定可能温度：-50°C~500°C ・測定視野：24 $\pm$ 3mm/1m

図2 熱画像撮影日の気温・風速・全天日射量

図3 θ_r と θ_s の関係(昼間) 図4 θ_r と θ_s の関係(夜間) 図5 θ_r と θ_s の関係(早朝) 図6 昼間撮影の熱画像
(2004年8月25日 14:45 ~ 15:30) 図7 夜間撮影の熱画像
(2004年8月25日 21:15 ~ 22:00) 図8 早朝撮影の熱画像
(2004年8月26日 5:00 ~ 5:45)

を行った。幾何補正では神戸市都市計画図(縮尺 1/10000 レベル)を参照データとして利用し、平均二乗平方根誤差(RMSE)は 3m 以下となるようにした。また、最後に連続撮影された各画像をつなぎ合わせ、昼間、夜間、早朝それぞれ 1 枚ずつの熱画像を作成した。

(3) グラントゥールス

(1) で撮影した熱画像は、上空からの撮影であるため、その観測値は大气や水蒸気の影響を受けている。そこで、熱画像の補正を行うために、熱画像の観測時間帯に合わせて地上で表面温度測定を行った。なお、地上での測定では放射温度計を使用した。この地上測定の概要を表 3 に記す^{注3)}。

図 3、図 4、図 5 に地上での温度測定値 θ_s と、それに対応する場所のヘリコプターからの観測値 θ_r との相関を示す。これらの結果より以下の式を用いて、熱画像の補正を行った。

$$\text{昼間: } \theta_s = 0.6098 \theta_r + 10.99$$

$$\text{夜間: } \theta_s = 0.6575 \theta_r + 7.54$$

$$\text{早朝: } \theta_s = 0.4997 \theta_r + 9.97$$

最終的に作成した熱画像データを図 6、図 7、図 8 に示す。なお、これらはラスタ形式のデータで図中の白く抜けている箇所はデータのない箇所である。標準偏差を見ると昼間の地表面温度のばらつ

きが比較的大きい様子が伺える。

2. 2. 2 用途地域データ

本研究では、用途地域データを作成するために、まず神戸市の用途地域図(紙地図)をスキャンし、スキャンした画像データに対して地理座標登録を行った。その後、この画像データをトレースし、対象地区の用途地域データをベクターデータとして作成した。このようにして作成した対象地の用途地域データを図 9 に示す。なお、図 9 の凡例には用途地域の大分類(住居系、商業系、工業系)と小分類を示した。

2. 2. 3 NVI (正規化植生指標) データ

NVI は正規化植生指標と呼ばれる植生指標で、地表を覆う植生量の大小を表すとされている¹⁵⁾。本研究では衛星 TERRA の ASTER により取得された 2000 年 8 月 25 日のデータの Band2 ($0.63 \mu\text{m} \sim 0.69 \mu\text{m}$) と Band3 ($0.76 \mu\text{m} \sim 0.86 \mu\text{m}$) の値を用いて、以下の式より対象地の NVI を算出した。

$$NVI = \frac{\text{Band3} - \text{Band2}}{\text{Band3} + \text{Band2}} \times 1000$$

図 10 に対象地の NVI データを示す。なお、これはラスタ形式のデータでデータの空間解像度は 15m である。

2. 2. 4 土地利用データ

本研究では、土地利用データとして国土地理院発行の「数値地図 5000 (土地利用)」を利用した。これは、2001 年時点における近畿圏の土地利用区分状況 (15 区分) をベクター形式でデータ化したものであり、データの精度は 1/5,000 レベル (水平位置精度: 1m¹⁶⁾) である。

2. 3 解析の流れ

解析の流れを図 11 に示す。まず、解析の基礎資料とするために、土地利用図と熱画像を重ね合わせ、土地利用分類別の平均表面温度を算出した。次に、用途地域データと熱画像を重ね合わせ用途地域別の平均表面温度を算出するとともに、用途地域データと NVI データを重ね合わせ用途地域別の平均 NVI を算出し、これらの結果を元に用途地域と表面温度の関係について考察を行った。そして最後に用途地域ごとに表面温度と NVI のヒストグラムを作成し、各用途地域内の表面温度形成要因に関する考察を行った。なお、ここでは考察のための資料として、用途地域別の土地利用比率、および航空写真も併せて利用した。

3. 結果と考察

3. 1 土地利用分類別の平均表面温度

ここではまず解析の基礎資料とするために、土地利用図と熱画像データ (昼間、夜間、早朝) を重ね合わせ、土地利用分類別の平均表面温度を算出した。なお、平均表面温度の算出には、各土地利用分類領域に 1/2 以上入っている全熱画像ピクセルの値を使用した (以後、ベクター形式のデータとラスタ形式のデータの重ね合わせの際は同様の手法を用いることとする)。その結果を図 12 に示す。この図より分かる主な特徴を以下に記す。

- ・「山林・荒地等」と「畑・その他の農地」は他の土地利用に比べて、昼間、夜間、早朝を通じて表面温度が低い。これは緑等の自然被覆による影響であると考えられる。
- ・「道路用地」は他の土地利用に比べて、昼間、夜間、早朝を通じて表面温度が高い。特に夜間と早朝は最も高い (最も低い「畑・その他の農地」との表面温度差は夜間で 2.9℃程度、早朝で 2.4℃程度)。これは舗装面の蓄熱による影響であると考えられる。なお、ここでの「道路用地」の評価には自動車のボディの影響も含まれている。
- ・「一般低層住宅地」と「密集低層住宅地」は他の土地利用に比べて昼間の表面温度が高いが、夜間と早朝は逆に比較的低い。これは、瓦屋根による影響 (一般的に瓦は熱容量が小さく、昼間高温になるが、夜間は急激に冷えるという特徴をもつ¹⁷⁾) であると考えられる。

3. 2 用途地域別の平均表面温度と平均 NVI

用途地域データと熱画像データ (昼間、夜間、早朝) を重ね合わせ、用途地域別の平均表面温度を算出するとともに、用途地域データと NVI データを重ね合わせ用途地域別の平均 NVI を算出し、これらの散布図を作成した。その結果を図 13 に示す。この図より分かる主な特徴を以下に示す。

図 9 用途地域データ (標高 100m 以下のエリア)

図 10 NVI 分布図 (標高 100m 以下のエリア)

図 11 研究の流れ

- ・ 昼間、夜間、早朝、全てにおいて、工業系用途地域の表面温度が最も高く、続いて商業系、住居系という順で表面温度が高い。
- ・ 昼間、夜間、早朝を通じて、表面温度と NVI の間には高い負の相関が見られ、特に夜間と早朝はその傾向が強い。このことより、特に夜間と早朝では、各用途地域の平均表面温度形成における緑の量の寄与が大きいと言える。

3. 3 用途地域別の表面温度ヒストグラム

熱画像データ（昼間、夜間、早朝）と用途地域データを重ね合わせ、用途地域別の表面温度のヒストグラムを作成した。

その結果を図 15 に示す。次に、この図をもとに各用途地域内の表面温度形成要因に関する考察を行った。その結果を用途地域の分類ごとに以下に記す。なお、この考察のための参考データとして、用途地域別の土地利用比率算出結果（図 14）と航空写真も利用した。

3. 3. 1 住居系用途地域の表面温度に関する考察

3.2 で住居系の用途地域の表面温度が、一日を通して他の用途地域に比べて低いことを示したが、その中でも特に第 1 種低層住居専用地域（以下、1 種低層）の表面温度は最も低い。図 14 を見ると 1 種低層は「山林・荒地等」の占める割合が大きくなっており、また 3.1 でも述べたとおり「山林・荒地等」の表面温度が低く、このことが 1 種低層の表面温度の低さに起因しているものと思われる。

1 種低層および第 1 種中高層住居専用地域（以下、1 種中高層）のヒストグラムを見てみると、昼間 2 つのピークが見られる。航空写真で確認してみたところ、小さい方のピーク（29～30℃ 近辺）は樹林、街路樹、住宅の庭などの樹木であった。また、高い方のピーク（34～36℃ 近辺）は主に瓦屋根によるものであり、また 1 種中高層では道路による箇所も見られた。瓦屋根の箇所は夜間、早朝は温度が低くなっており、そのためピークは 1 つとなっているものと思われる。

第 2 種住居地域（以下、2 種住居）のヒストグラムでは、昼間の小さい方のピーク（29～30℃ 近辺）が見られない。これは 1 種低層、1 種中高層に比べ緑の量が少ないためであると考えられる。また、夜間と早朝のヒストグラムでは 2 つのピークが見られ、高い方のピークは（夜間 26～27℃ 近辺、早朝 22～23℃ 近辺）は主に道路であった。これに近い傾向は第 1 種住居地域（以下、1 種住居）にも見られるが、2 種住居ほど顕著ではない。

3. 3. 2 商業系用途地域の表面温度に関する考察

商業系用途地域の表面温度ヒストグラム（図 15）を見てみると、近隣商業地域（以下、近隣商業）と商業地域（以下、商業）ではほぼ同様の傾向が見られる。夜間と早朝のヒストグラムを見ると（特に早朝）、頻度の多い箇所が高温部（夜間 27～28℃ 近辺、早朝 23～24℃ 近辺）に偏っている。航空写真で確認したところこれは主に道路であった。住居系用途地域に比べ

と「道路用地」の面積が大きく（図 14）、舗装面の蓄熱の影響により大きく現れているといえる。

3. 3. 3 工業系の用途地域における考察

工業系用途地域の表面温度ヒストグラム（図 15）を見てみると、準工業地域（以下、準工業）と工業地域（以下、工業）では、商業系とほぼ同様の傾向が見られる。土地利用比率（図 14）も概して近隣商業に似ており、地表面の被覆状況も似ているためであると考えられる。

図 12 土地利用分類別平均表面温度

図 13 用途地域別平均表面温度と NVI 平均値との関係

図 14 用途地域別の土地利用比率

図 15 用途地域別の表面温度ヒストグラム
(各グラフ中の黒い縦の線は平均値を示す)

工業専用地域（以下、工業専用）のヒストグラムを見てみると、夜間と早朝に2つのピークが見られ、また他の用途地域に比べ鮮明にこれらのピークが見られる。これは地表面の被覆状態が比較的単純であるためだと考えられる。航空写真で確認したところ、低い方のピーク（夜間 25～26℃近辺、早朝 21～22℃近辺）は主に裸地で、高い方のピークは（夜間 27～28℃近辺、早朝 23～24℃近辺）工業用地内等の舗装面であった。

4. おわりに

本研究では、神戸市長田区を対象に航空機搭載熱赤外センサーにより撮影された夏季の高解像度熱画像を利用して用途地域指定が表面温度に与える影響について解析を行った。以下にその成果をまとめる。

- ・ 昼間、夜間、早朝、全てにおいて、工業系用途地域の表面温度が最も高く、続いて商業系、住居系という順で表面温度が高い。
- ・ 昼間、夜間、早朝を通じて、表面温度と NVI の間には高い相関見られ、特に夜間と早朝はその傾向が強い。このことより、特に夜間と早朝では、各用途地域の平均表面温度形成における緑の量の寄与が大きいと言える。
- ・ 住居系用途地域の1種低層と1種中高層の昼間の表面温度ヒストグラムでは2つのピークが見られる。低い方のピーク（29～30℃近辺）は樹林、街路樹、住宅の庭などの緑で、高い方のピーク（34～36℃近辺）は主に瓦屋根によるものであった。また、夜間、早朝は瓦屋根の箇所は低くなっており、そのためピークは1つとなっている。
- ・ 2種住居の夜間と早朝の表面温度ヒストグラムでは2つのピークが見られ、高い方のピーク（夜間 26～27℃近辺、早朝 22～23℃近辺）は主に道路であった。これに近い傾向は第1種住居地域（以下、1種住居）にも見られるが、2種住居ほど顕著ではない。
- ・ 商業系用途地域の表面温度ヒストグラムを見てみると、近隣商業と商業ではほぼ同様の傾向が見られる。特に夜間と早朝のヒストグラムを見ると、頻度の多い箇所が高温部に偏っており、これは主に道路の影響であった。住居系用途地域に比べると「道路用地」の面積が大きく、舗装面の蓄熱の影響がより大きく現れているといえる。
- ・ 準工業と工業では、商業系とほぼ同様の傾向が見られる。
- ・ 工業専用の表面温度ヒストグラムでは、夜間と早朝に2つのピークが見られ、低い方のピーク（夜間 25～26℃近辺、早朝 21～22℃近辺）は主に裸地で、高い方のピークは（夜間 27～28℃近辺、早朝 23～24℃近辺）工業用地内等の舗装面であった。

本研究より得られたこのような知見、および既往研究による知見をもとに、都市の表面温度上昇緩和のための指針を試作した。以下にその内容を記す。

【住居系用途地域に対する指針】

住居系の用途地域では、瓦屋根が昼間の表面温度を上げる大きな要因となっている。近年、日射反射率の高い瓦が開発されており、このような瓦の利用が有効であると考えられる。また、1種低層と1種中高層では既存の緑の保全、1種住居と2種住居では道路の蓄熱を防ぐ工夫（日影の計画的配置、保水性舗装など）が有効である

と考えられる。

【商業系用途地域に対する指針】

商業系用途地域では、道路の舗装面が、特に夜間と早朝の表面温度を上げる大きな要因となっているため、道路の蓄熱を防ぐ工夫（日影の計画的配置、保水性舗装など）が有効であると考えられる。また、商業系の用途地域は、緑地が非常に少ない傾向があり¹⁸⁾、一方多くの人が利用することから、街路樹や屋上緑化などの緑化が有効であると考えられる。

【工業系用途地域に対する指針】

工業系用途地域の準工業と工業では、商業系用途地域同様、道路の舗装面が、特に夜間と早朝の表面温度を上げる大きな要因となっているため、道路の蓄熱を防ぐ工夫（日影の計画的配置、保水性舗装など）が有効であると考えられる。また、工業専用では、民有地（工業用地）内等の舗装面が特に夜間と早朝の表面温度を上げる大きな要因となっているため、工業用地内の緑化等が有効であると考えられる。

また、工業用地には裸地が多い傾向があり⁹⁾、また裸地の昼間の表面温度が高い¹⁹⁾ことから、裸地の緑化も有効であると考えられる。さらに工業用地はアルベドが低い傾向があり⁹⁾、また建物屋根面の利用も一般的に少ないので、建物屋根面に高反射率塗料を塗ること（クールルーフ）²⁰⁾も有効であると考えられる。

最後に今後の課題を以下に記す。

- ・ 本研究は神戸市長田区を対象として行ったため、得られた成果はこの対象地に限られる。これらの傾向は他の地域でも同様であると考えられるが、他の地域でも同様の調査を行い、用途地域指定が表面温度に与える影響に関する知見をより一般的なものとする必要がある。
- ・ 本研究では、用途地域が表面温度に与える影響について、土地利用、土地被覆との関係から論じたが、建ぺい率、容積率と表面温度との関係も従来研究で指摘されている²¹⁾。この点については、引き続き解析を行う必要がある。
- ・ 本研究では、上空から撮影した熱画像を利用したため、建物壁面・窓面等は解析対象から外れている。しかし、都市計画の地域性が熱環境に与える影響を把握するためには、建物壁面・窓面等についても把握する必要がある。建物壁面・窓面等、都市の凹凸立面の物理的特性と表面温度の関係を論じた環境工学的な既往研究⁷⁾²²⁾は既に見られるので、これらを参考にしながら、地域性が都市の凹凸立面の表面温度に与える影響も解析する必要がある。
- ・ 本研究で得られたような知見を基に、都市の表面温度緩和のための指針を作成する必要がある。

謝辞

本研究は神戸大学 21 世紀 COE プログラム「安全と共生のための都市空間デザイン戦略」（拠点リーダー：重村力）の成果の一部である。また、本研究で使用した熱画像の撮影に際してはスカイマップ株式会社の協力を得た。

注

- 1) 空間スケールの異なるデータを重ね合わせて解析を行う場合、

その解析精度は小スケールの（空間解像度が低い）データのスケールに従う。本研究では、用途地域別の表面温度を論じることが目的であったため、用途地域データの空間解像度を基準とし、それと同程度、もしくはそれ以上の空間解像度を持つデータを選択し、利用した。また、本研究で利用したデータの観測・作成時期については、入手可能データの制限から 2000 年 8 月～2004 年 8 月と幅がある。そのため、この期間の土地被覆や土地利用の変化は本研究の解析に含まれている。しかし、阪神・淡路大震災（1995 年）後の人口増減も、この時期には落ちついており（図 16）、物理的なまちの変化もある程度落ち着いているものと考えた。

- 2) 本研究で利用した熱画像は放射率を 1 に設定し撮影を行ったものなので、本稿中の「表面温度」とは文献 11 および 12 における「放射輝度温度」と同じものである。そのため、本研究の解析は被覆素材による放射率の違いも含んだものとなっている。
- 3) 地上測定は熱画像撮影時間内に繰り返し行った。撮影時間内の最後の測定値と最初の測定値の差を図 17 に示す。昼間の観測時間内の温度変動が大きい様子が伺える。

参考文献等

- 1) 尾島俊雄：ヒートアイランド，東洋経済新報社，2002
- 2) 森山正和編：ヒートアイランドの対策，学芸出版社，2004
- 3) 大岡龍三：ヒートアイランドの研究の状況，空気調和・衛生工学，第 79 巻 第 5 号，2005.5
- 4) 渡辺浩文，依田浩敏，尾島俊雄：リモートセンシングと数値情報利用による広域都市の地表面温度分布図の作成に関する研究，日本建築学会計画系論文集，No.443，pp.21-29，1993.1
- 5) 客野尚志，宮崎ひろ志：熱環境に配慮した都市計画策定のためのリモートセンシングデータの活用に関する研究 - アルベド値の推定とその土地被覆及び土地利用との関連に関する研究 -，日本建築学会計画系論文集，No.562，pp.69-74，2002.12
- 6) 近藤昭彦，栗原昭子，三上岳彦：ランドサットデータによる関東平野の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，Vol.13，pp.51-56，1993.6
- 7) 梅干野晃，浅野耕一，金丸剛久：熱画像を用いた建物外表面からの顕熱流量の解析，日本建築学会計画系論文集，No.500，pp.43-50，1997.10
- 8) 梅干野晃：リモートセンシングによる住宅地の熱環境解析（Ⅰ）- 地上実測結果による考察とリモートセンシングデータの検討 -，日本建築学会論文報告集，No.303，pp.69-79，1981.5
- 9) 梅干野晃・乾正雄・龍谷光三：リモートセンシングによる住宅地の熱環境解析（Ⅱ）- 東京における夏季・晴日について -，日本建築学会論文報告集，No.309，pp.115-126，1981.11
- 10) 梅干野晃・浦野良美・小田建一・浜口典茂：住宅地における夏季・冬季の熱環境実態および土地被覆率との関係 - リモートセンシングによる住宅地の熱環境解析（Ⅲ） -，日本建築学会論文報告集，No.331，pp.38-44，1983.9
- 11) 田中貴宏，森山正和，佐川朋子，山下卓洋：夏季の大阪市中心部における放射輝度温度分布の詳細な特徴 - 熱画像と GIS データを用いた夏季の大阪市中心部における放射輝度温度の解析 - その 1 -，日本建築学会環境系論文集，No.599，pp.119-126，2006.1
- 12) 佐川朋子，田中貴宏，森山正和，笹川正：屋上面の実態調査と屋上緑化・クールルーフ化の可能性評価 - 熱画像と GIS データを用いた夏季の大阪市中心部における放射輝度温度の解析 - その 2 -，日本建築学会環境系論文集，No.608，pp.53-58，2006.10
- 13) 外間正浩，宮崎ひろ志，客野尚志，森山正和：用途地域が緑被率に与える影響に関する研究 - NVI と緑被率の相関性を用いて -，日本建築学会環境系論文集，No.569，pp.49-53，2003.7
- 14) T. Kyakuno, M. Sotoma, H. Miyazaki and M. Moriyama: An Evaluation of Urban Land Use Regulations from View of Urban Surface Albedo, Journal of Asian Architecture and

Building Engineering, Vol.4 No.2, pp.517-524, 2005.11

- 15) 長谷川均：リモートセンシング解析の基礎，古今図書，1998
- 16) 国土地理院：数値地図 5000（土地利用）近畿圏 2001 年（CD-ROM），国土地理院，2006
- 17) 宮野秋彦，大沢徹夫，稲葉一八，水野高信：屋根材料の熱特性に関する研究（第 2 報），日本建築学会東海支部研究報告，1985
- 18) 丸田頼一・阿部邦夫：都市計画における緑地の調査研究（Ⅰ）- 用途地域制と緑地の関連性に関する考察 -，第 12 回日本都市計画学会学術研究発表会論文集，pp.163-168，1977
- 19) 尾島俊雄・森山正和：地域環境アセスメントにおける地表面熱収支理論の応用研究 - 第 1 報・地表面温度の実測研究 -，日本建築学会論文報告集，No.245，pp.101-112，1976.7
- 20) 藤本哲夫・岡田朋和・近藤靖史：高反射率塗料の日射反射性能に関する研究，日本建築学会環境系論文集，No.601，pp.35-41，2006.3
- 21) K. Nakagawa, Y. Komatsu, A. Hoyano and T. Sasagawa: Characteristics of Urban Thermal Environment Using Thermal Images and GIS, Proceedings of the 8th International Symposium on Building and Urban Environmental Engineering (CD-ROM), 2006.7
- 22) J. A. Voogt and T. R. Oke: Complete Urban Surface Temperatures, Journal of Applied Meteorology, Vol.36, pp.1117-1132, 1997
- 23) 神戸市：第 83 回神戸市統計書（平成 18 年度版），2006

図 16 長田区の人口動態 (1995 年～2005 年) (文献 23 より)

図 17 熱画像撮影時間内の最後の地上測定値と最初の地上測定値の差

(2007年3月6日原稿受理，2007年9月4日採用決定)