

LANDSAT-TM データを利用した都市部の地表面温度とその影響要因に関する分析

An Analysis on the urban Ground Surface Temperature and its influence factors by using LANDSAT-TM Data*

石丸 裕史**・西村 昂***・山本 勝彦****

by Hiroshi Ishimaru, Takashi Nishimura, Katsuhiko Yamamoto

1.はじめに

近年、都市域では人口・産業の集中により、自動車公害問題、産業公害、生活排水問題、近隣騒音問題等様々な都市環境問題が起こっている。それらの事例の一つとして都市の温暖化も重要な問題となっている。

大阪では、熱帯夜日数が増加するなどの現象があり(図-1)、気象庁の平年値からも日本の都市の中でも、もっとも気温の高い都市と言われるようになった。これは、都市化の進展に伴い、地表面のコンクリート化の進行、緑の減少など都市構造の変化や、人工発熱の増加などにより、ヒートアイランド現象が出現することが要因となっている²⁾。

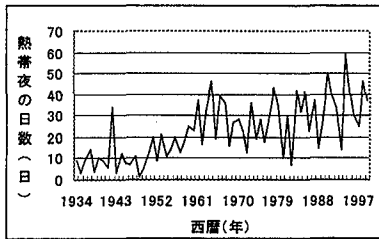


図-1 大阪の熱帯夜日数の経年変化

また、LANDSAT-TM データを用いた地表面温度に関する分析としては、植物活性度の指標 NDVI に関する研究や³⁾、土壌の状態を表す VSW 指標に関する研究⁴⁾等がなされているが、都市活動、都市の形状と地表面温度について検討した研究は数少ない。

そこで、本研究では、人工衛星 LANDSAT-TM データを利用して、気温との相関が高いとされている⁵⁾地表面温度とそれに影響を与える要因と考えられる緑被率、水域面積率、都市活動の指標、都市の形状の指標を用いて、都市熱環境の現況との関連を把握することを目的とし、大阪のデータより分析を試みた。

2.データの概要と分析方法

(1) LANDSAT-TM データの概要

LANDSAT5 号の TM データは7つの波長帯を観測することができ、その内のバンド6の地上分解能は120m、他のバンドは30mである。本研究で用いたデータは、1992年4月21日の朝10時

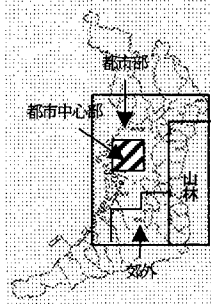


図-2 分析対象地域

頃のものであり、用いたデータの範囲は、図-2 に示す区域とした。

(2)分析方法と用いたデータ

分析対象地域は、都市域の中でも、高層ビルの多い都市中心部、高層ビルの少ない都市部に分け、それぞれについて、地表面温度に影響を与える要因と考えられる利用可能ないくつかの指標と地表面温度との関係を散布図で視覚的に示し、その後重回帰分析を行うことにより、指標間の複合的な効果について検討した。以下に用いたデータの概要を簡単に記す。なお、データのメッシュ単位は、すべて約500mメッシュに変換したものをを用いた。

1)地表面温度…BAND6 の放射輝度のデジタル値 V と地表面温度 T_c の関係は以下の式で表されている⁶⁾。500mメッシュへの変換は、まず約25mメッシュ(1ピクセル)に変換し、500mメッシュの平均値をとったものである。

$$T_c = \sqrt{780.74 + 107.53V} - 1.010 \times 10^2$$

T_c : 地表面温度(°C), V: 6バンド輝度値

2)NDVI データ

NDVI とは植物活性度(緑地量)を表す指標であり、森林繁茂の状況を評価するために、BAND3 と BAND4 を用いて求められた指標であり⁷⁾上式で表される。

$$NDVI = \frac{BAND4 - BAND3}{BAND4 + BAND3} - 1 < NDVI < 1$$

3)土地利用…大阪府により、1995年8月のLANDSAT-TM データから、実際の地図と照合し、最尤法により求められたものである。

4)緑被率…2)の土地利用において緑地と判断される地域の割合から求めたものである。

5)水域面積率…2)の土地利用において水域と判断される地域の割合から求めたものである。

6)工業統計調査データ…生産活動の指標として1990年の通商産業省による製造品出荷額、工業統計従業者数を用いる。

7)商業統計調査データ…消費活動の指標として1991年の通商産業省による小売業年間販売額、商業統計従業者数を用いる。

8)都市の形状のデータ…都市の形状を表すデータとして1992年の建物土地利用度調査(大阪府、大阪市)による容積率、建ぺい率、建物高さを用いる。

3. 植生による熱環境緩和効果について

大阪府域の都市部は、もともと樹林が少なくに加え、市街地の拡大に緑地計画がついていけなかった経緯があり、まとまった緑化の基盤となるオープンスペースに恵まれていない。

3.1 緑被率と地表面温度の関係

緑地による地表面温度緩和効果を知るために、都市中心部と都市部における緑被率と地表面温度の関係図を図-3、4に示す。

*Key words: リモートセンシング、土地利用
 ** 学生員、大阪市立大学大学院前期博士課程
 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 TEL&FAX (06)6605-2731)
 ***フェロー、工博、大阪市立大学工学部土木工学科教授(同上)
 **** 非会員、工修 大阪府公害監視センター
 (〒537-0025 大阪市東成区中道 1-3-62 TEL.06-6972-7666)

都市中心部においては、緑被率が小さい地点が多く、明確な相関は見られていないが、都市部では、 $R=0.55$ となり、やや負の相関が見受けられる。また、緑被率が低い地点については、地表面温度には大きなばらつきが生じている。この原因としては、後に述べる都市化による様々な影響を受けているためと考えられる。

3.2 植物活性度指標について

筆者らは、従来の研究より植物活性度を表す指標 (NDVI) と地表面温度との間には、水域を除くと強い負の相関が表れることを示している³⁾。図-5は、水域面積率5%以下のNDVIと地表面温度の関係を示したものである。

そこで本研究では、NDVIの有効性を検討するために、まず、緑被率とNDVIの関係を調べた。図-6よりNDVIと緑被率の間には、強い正の相関が見受けられる ($R=0.85$)。

次にOBP(Osaka Business Park)地域について着目した。

OBPとは、大阪市の東北にあたる大阪市中心区域見1~2丁目を新都心に再開発したもので、昼間人口約15万人の巨大なビジネス街であるが、街路樹など、緑地を効果的に配置している。OBPの実際の緑地状況とNDVIを照らし合わせると、かなり明瞭に緑地がとらえられていることがわかった(図-7)。

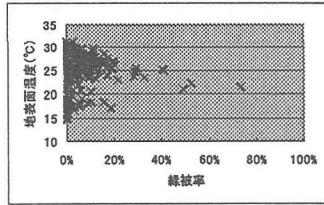


図-3 都市中心部

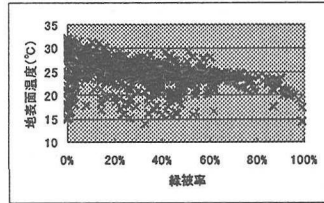


図-4 都市部

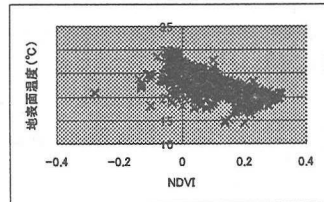


図-5 NDVIと地表面温度の関係

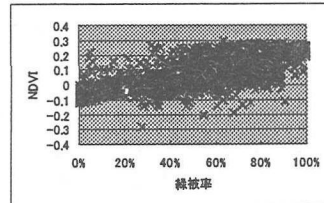


図-6 緑被率とNDVIの関係

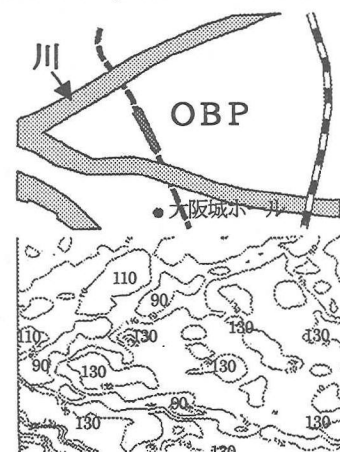


図-7 OBP周辺のNDVI値

3.3 屋上緑化について

次に川俣下水処理場(東大阪市)の屋上緑化について調べた。川俣処理場の屋上は、屋上緑化として大規模なものであり、合計面積は、4.2haである。この屋上緑化の地表面温度緩和効果を調べるために、図-8に示す処理場内と処理場外の東西線における地表面温度を求め、比較した(図-9)。

この結果処理場内では、処理場外よりも地表面温度が低く、屋上緑化による地表面温度緩和効果がみられた。しかし、この場合は、4haを超える巨大な建造物であり、通常の都市緑化の例と考えるには、無理がある。屋上緑化などの緑化空間をみるには、より小規模な緑化を判別できる必要がある。このことから、NDVI指標は有効であると考えられる。

4. 水域による熱環境緩和効果について

本節では、水域面積率と地表面温度との関係について分析を行った。都市中心部、都市部における地表面温度と水域面積率の関係図を図-10、11に示す。

この結果、水域面積率と地表面温度の間には、負の相関が見られる。

5. 都市熱環境の要因について

5.1 都市活動の指標と地表面温度の関係

都市域での人間活動については、生産、流通、消費の3つに大別して考えることができる。

この内、本研究では、生産に関する指標として工業統計調査データ、消費に関する指標として商業統計調査データを用いた。

5.1.1 工業統計調査データと地表面温度の関係

生産活動の指標として、工業統計調査の項目のうち、製造品出荷額と従業者数について関連分析を行った。都市中心部、都市部における出荷額と地表面温度の関係を図-12、13に示す。全体的にいずれにおいても、明確な相関は見られない。次に都市中心部と都市部における従業者数と地表面温度との関係図を図-14、15に示す。いずれにおいてもやや正の相関

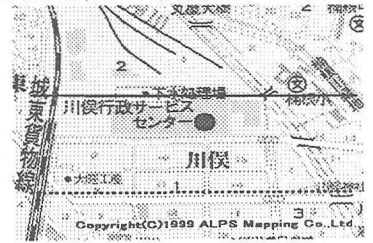


図-8 処理場周辺地図

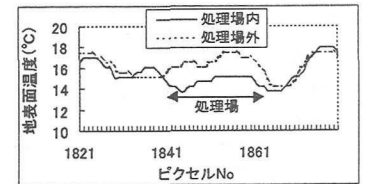


図-9 処理場内外における地表面温度

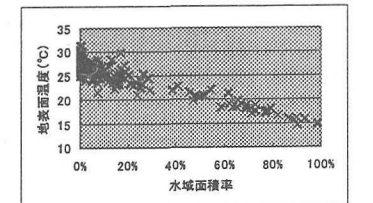


図-10 都市中心部

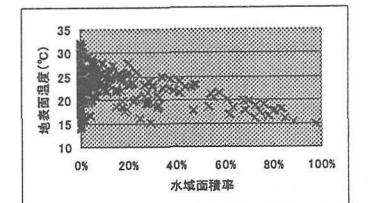


図-11 都市部

が見られる。

以上より、生産活動の指標として工業統計従業者数が適していると考えられる。

5.1.2 商業統計調査データと地表面温度の関係

消費活動の指標として、商業統計調査項目のうち、小売業の年間販売額と商業統計従業者数について関連分析を行う。

都市中心部と都市部における年間販売額と地表面温度の関係図を、図16、17に示す。

これらの図から販売額と地表面温度の間には、ほとんど相関が見受けられない。

次に都市中心部と都市部における商業統計従業者数と地表面温度の関係図を、図18、19に示す。

都市中心部においては、従業者数が6000人を超えたあたりから、地表面温度がやや低くなっていることがわかる。これは、後に述べるが、建物の影の影響だと考えられる。都市部においては、やや正の相関が見受けられる。

これらのことから、消費活動の指標としては、いずれも適当とは言えない。また、この原因として、消費活動により、都市構造に違いが生じることが少ないからとも考えられる。

5.2 都市の建物形状と地表面温度

都市の建物形状が地表面温度に影響を与えることについて、建築の容積率、建ぺい率、建物高さについて関連分析を行う。

5.2.1 容積率と地表面温度の関係

容積率とは、建物の延べ床面積の敷地面積あるいは地区面積に対する割合のことをいい、都市の密集度の指標として優れていると考えられる。

容積率と地表面温度の関係図を、図20、21に示す。

都市中心部においては、容積率の値が150を超えたあたりから、地表面温度は、ほぼ一定の値を示している。容積率が大きくなると建物の影の影響も大きくなると考えられ、その影響を受けていると考えられる。都市部においては、やや正の相関が見受けられる。これらの結果より容積率では、都市中心部における説明が難しいと考えられる。そこで、建物の影の影響を考慮するため、建ぺい率、建物高さに分けて分析を試みる。

5.2.2 建ぺい率、建物高さと地表面温度の関係

建ぺい率とは、建築面積の敷地面積あるいは地区面積に対する割合のことをいい、ここでは、建ぺい率の中でも、対象のゾーン全体の面積を分母にしたグロス建ぺい率をとることとした。

建ぺい率と地表面温度の関係図を、図22、23に示す。

いずれにおいても、やや正の相関が見受けられる。

次に平均の建物高さと地表面温度の関係図を、図24、25に示す。

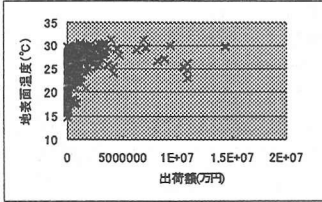


図-12 都市中心部

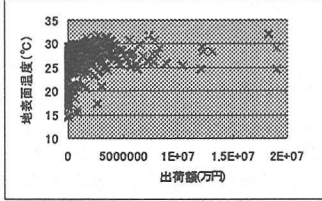


図-13 都市部

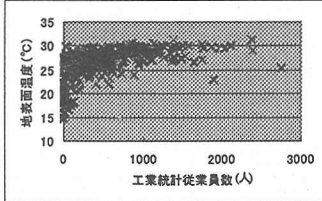


図-14 都市中心部

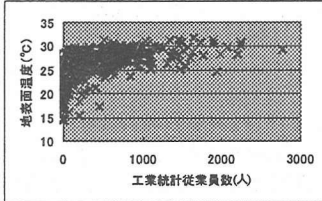


図-15 都市部

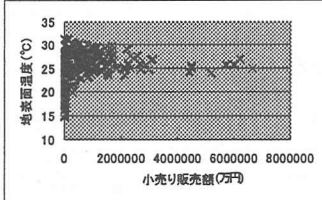


図-16 都市中心部

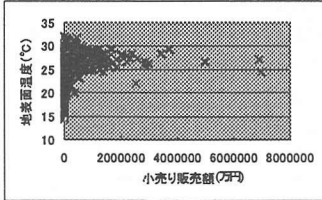


図-17 都市部

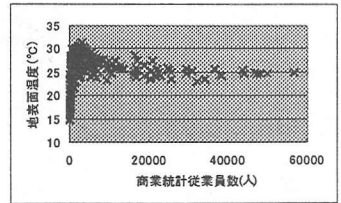


図-18 都市中心部

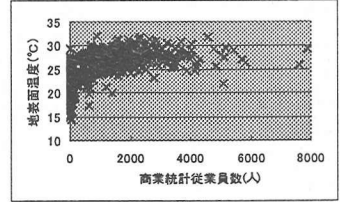


図-19 都市部

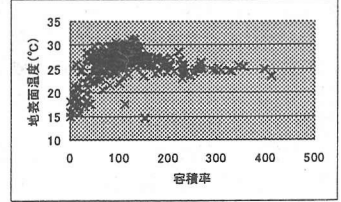


図-20 都市中心部

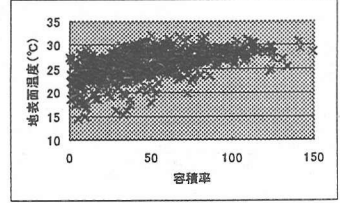


図-21 都市部

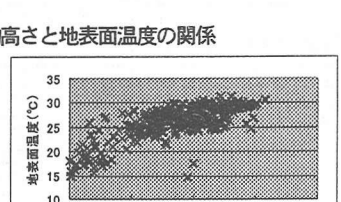


図-22 都市中心部

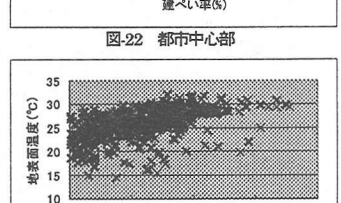


図-23 都市部

都市中心部においては、建物階数の低い値では、地表面温度にばらつきがあるが、やや負の相関があることが見受けられる。都市部においては、建物階数の値の高い地域が少ないため、相関はほとんど見受けられない。

6.都市熱環境の多要因分析について
前項までの分析により、地表面温度に影響を与える

要因として、緑被率、水域面積率、工業統計従業者数、建ぺい率、建物高さを選択することとした。ここでは、重回帰分析により、これらの指標の複合的な効果を見ることとする。対象地域としては、都市中心部、都市部、都市部と都市中心部を合わせた地域に分けて行った。

指標間の共線性のチェックを行うため、指標相互間の単相関係数を計算した結果を表-1 に示す。この結果指標間の共線性に問題はないと考えられる。

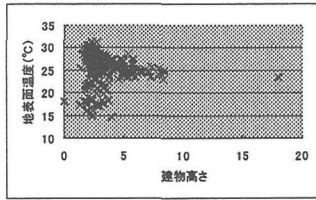


図-24 都市中心部

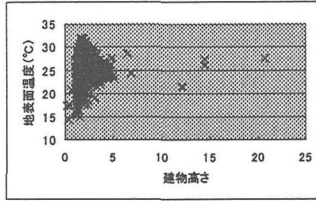


図-25 都市部

表-1 各指標間の相関係数

	緑被率	水域面積率	工業統計従業者数	建ぺい率	建物高さ
緑被率	1				
水域面積率	-0.226	1			
工業統計従業者数	-0.386	-0.074	1		
建ぺい率	-0.746	-0.058	0.519	1	
建物高さ	-0.304	0.037	0.129	0.327	1

次に、地表面温度を被説明変数、各要因を説明変数として重回帰分析をした結果を表-2、3、4 に示す。

表-2 重回帰分析の結果(都市中心部)

	平均	地表面温度との単相関係数	偏回帰係数	標準回帰係数	重相関係数
緑被率	0.129	-0.893	-4.925	-0.334	0.954
水域面積率	0.087	-0.881	-7.519	-0.477	
工業統計従業者数	503.28	0.444	5.45E-04	0.09	
建ぺい率	36.21	0.754	2.98E-02	0.131	
建物高さ	3.09	-0.199	-0.548	-0.259	

表-3 重回帰分析の結果(都市部)

	平均	地表面温度との単相関係数	偏回帰係数	標準回帰係数	重相関係数
緑被率	0.237	-0.785	-6.051	-0.554	0.863
水域面積率	0.027	-0.548	-6.819	-0.304	
工業統計従業者数	242.49	0.458	1.39E-03	0.230	
建ぺい率	22.54	0.577	1.44E-02	0.066	
建物高さ	2.09	0.021	-4.9E-03	-0.002	

表-4 重回帰分析の結果(都市部と都市中心部)

	平均	地表面温度との単相関係数	偏回帰係数	標準回帰係数	重相関係数
緑被率	0.1708	-0.460	-6.114	-0.465	0.886
水域面積率	4.10E-02	-0.648	-12.851	-0.674	
工業統計従業者数	303.31	0.456	1.14E-03	0.195	
建ぺい率	25.72	0.597	1.37E-02	0.069	
建物高さ	2.32	-0.029	-2.3E-01	-0.104	

すべての地域において、緑被率、水域面積率、建物高さにおいて負の標準回帰係数、工業統計従業者数、建ぺい率において正の標準回帰係数を示している。

7.本研究のまとめ

- 1) 緑被率、水域面積率と地表面温度の間には全体的に負の相関が見受けられる。
- 2) 植物活性度の指標 NDVI は、緑被率との相関が高く、また OBP 地域の分析で示したように比較的細かい緑地についても識別することができ、都市の緑地を識別するのに有効な指標であると考えられる。
- 3) 川俣処理場の屋上緑化部の分析により地表面温度緩和効果が見られた。
- 4) 生産活動の指標として、製造品出荷額と地表面温度においては、ほとんど相関が見受けられなかったが、工業統計従業者数と地表面温度の間にはやや正の相関が見られた。
- 5) 消費活動の指標として、年間販売額と地表面温度の間には、ほとんど相関が見受けられなかった。また、商業統計従業者数と地表面温度の間には、都市部ではやや正の相関が見受けられたが、都市中心部においては、従業者数の値が一定値を超えたあたりから地表面温度が低くなっており、一定傾向を有する指標として扱うには難しいと思われる。
- 6) 都市の密集度を表す指標として、容積率と地表面温度の間には、値の低い地点においてはやや正の相関が見受けられたが、値が高い地域についてはやや負の相関が見受けられた。これは、建物の影の影響と考えられる。そこで、建ぺい率と建物高さに分けて分析した結果、建ぺい率ではやや正の相関、建物高さについてはやや負の相関が見受けられた。
- 7) 地表面温度に影響を与える要因として、緑被率、水域面積率、工業統計従業者数、建ぺい率、建物高さを用いた重回帰分析では、0.9 前後の重相関係数が得られ、緑被率、水域面積率、建物高さにおいて負の、工業統計従業者数、建ぺい率において正の標準回帰係数を示した。

以上の結果より、建物の配置を分散させオープンスペースを配置すること、規模の大規模な緑化が望ましいが、できない地域については、屋上緑化、ビル間緑化などの小規模緑化を推進すること、緑化と同様に大規模な池等の水面を作ることが望ましいが、できない地域については、小規模な流水を配置すること、などが考えられる。また、大阪市においては、現在緑被率が 9.2% であるが、15% まで緑化を進めようとしている計画がある。本研究で緑化を把握するのに有効とされた NDVI 指標を用いて、緑被率 15% の NDVI 値を算出し、NDVI 値がその算出した値に満たない地域について緑化を進めるなどといった対策などが考えられる。

参考文献

- 1) 西村昂, 石丸裕史, 山本勝彦(1999): LANDSAT-TM データを利用した緑地の働きと地表面温度の関連分析 ~土木学会関西支部年次学術講演概要
- 2) 大阪市ヒートアイランド対策検討調査報告書(1994)
- 3) 森山正和, 徳永徹, 宮崎ひろ志(1994): リモートセンシングによる気温分布推定~大阪市における NVI と気温の相関について ~日本建築学会大会学術講演梗概集
- 4) 山形与志樹, 杉田幹夫, 安岡善文(1997): 植生・土壌・水(VSW)指数アルゴリズムの開発とその応用 ~日本リモートセンシング学会誌 Vol.17 No.1
- 5) 西村昂, 大杉朗雄, 山本勝彦(1996): ランドサット TM データを利用したオープンスペースの地表面温度の分析 ~土木計画学研究・講演集 18(1)
- 6) (財) リモート・センシング技術センター (1990): 地球観測データ利用ハンドブックランドサット編・改訂版
- 7) R.R.NEMANI and S.W.Running(1988): Estimation of Regional Surface Resistance to Evapotranspiration from NDVI and Thermal-IR AVHRR Data