ランドサット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*

Analysis of Land Surface Temperature in Open Space Using Landsat Data

西村 昂**・山本 勝彦***・大杉 朗隆****

By Takashi NISHIMURA, Katsuhiko YAMAMOTO, Akitaka OSUGI

1. はじめに

最近、都市部の局地的な温度上昇、いわゆるヒートアイランド現象は、様々な居住環境条件の悪化とともに、地球温暖化の要因となるなど、その問題は深刻化しつつある。そのため最近の都市計画、環境行政においては、その軽減策が課題となっている。ヒートアイランド現象の主要な原因には、都市部における過大なエネルギー消費、道路舗装、コンクリートなどの人工建造物による蓄熱、地表水の蒸発量の減少等が挙げられる。また、その軽減策としては、都市域にオープンスペース（緑地、空地、水面等）を増やすことが有効であると考えられるが、その効果は定量的に十分把握されるには至っていない。本研究では、ランドサットデータを用いて、地表面温度の面からオープンスペースの特性を分析し、オープンスペースの効果について考察することにした。

2. 分析方法

(1) 分析項目

本研究では、①地上の気温と、ランドサットにより得られる地表面温度との相関関係、②細密数値情報による土地利用分類毎の地表面温度、③大阪東西軸上の地表面温度の変化状況、④オープンスペースの規模や形態、住宅地区特性と地表面温度の関係、等を分析対象項目として取り上げた。

(2) 使用データの概要

(a) 地表面温度データ

本研究では、都市域の地表面温度の計測値として人工衛星（LANDSAT 5号）に搭載されたTM（Thematic Mapper）BAND 6のデータを用いる。TM-BAND 6は、遠赤外域の波長帯（10.4μm～12.5μm）で、熱バンドとも呼ばれ、地表の熱分布を把握するのに適している¹⁾。地上分解能は120mであるが、本研究で用いたものは、国土地理院の2万5千分の1の地図との整合性を図るためにデータ補正を行い、南北方向は24.6m、東西方向は28.0mを一画素（1ピクセル）としたものである。また本研究で用いたランドサットのデータはいずれも、北緯34度5分0秒～15分0秒、東経135度0分0秒～52分30秒（画素数：東西2800×南北4000）の範囲のものであり、京阪神地区全域がほぼ収まっている。本研究では、比較的観測状態が良く、しかも季節、時刻などを考慮して表-1に示す5つのデータを用いた。

表-1 本研究で利用したランドサットデータ

記号	年月日	撮影時刻
D1(D)	1987年 6月27日	午前10時00分
D2(N)	1990年 3月13日	午後 9時10分
D3(D)	1991年 3月18日	午前 9時56分
D4(D)	1992年 4月21日	午前 9時59分
D5(N)	1994年10月18日	午後 9時05分

本稿において、「朝のデータ」は(D)、「夜のデータ」は(N)を付して表している。

またTMで観測された放射輝度は、デジタル値で出力され、それらと地表面温度の関係は、式-1によって表される¹⁾。

地表面温度-TM_BAND 6放射輝度変換式

$$T_c = 1.40 \times 10^2 \times \sqrt{\frac{683 \times 10^{-3} \times V_c + 0.15}{1.24}} - 0.08 - 1.01 \times 10^2$$

T_c : 地表面温度 (°C) . . . 式-1

V_c : BAND 6の放射輝度のデジタル値

*キーワードズ: リモートセンシング、公園・緑地

**正員、工博、大阪市立大学工学部土木工学科

〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138 TEL/FAX06-605-2731

***大阪府公害監視センター

〒537 大阪市東成区中道1-3-62 TEL06-972-7666 FAX06-972-7665

****学生員、大阪市立大学大学院工学研究科土木工学専攻

ランドサットデータの欠点としては、①同じ地上位置では16日に1回しか観測できない、②雲があると観測不能である、等が挙げられる。

(b) 土地利用分類データ

本研究では土地利用状況を把握するために、国土地理院作成の細密数値情報データとランドサットデータを用いた土地利用分類データを用いる。

まず細密数値情報データは、都市計画基図を縮小して作った縮尺1万分の1の地図とカラー空中写真を用いて作成されており、都市域を詳細に区分するための土地利用分類が行われている。10mメッシュでデータが与えられているが、本研究では、これを地表面温度データと同様の形に補正したデータを用いる。データ範囲はランドサットデータと同様である。土地利用分類項目を表-2に示す。但し、表中の元々調査が行われていない17～19の区分は本分析の対象から除いた。

表-2 土地利用分類項目(国土地理院)
(18は土地利用データ無し)

コード	分類区分	コード	分類区分
1	山林・荒地地	10	商業・業務用地
2	田	11	道路用地
3	畑・その他の用地	12	公園・緑地等
4	造成中地	13	その他の公共公益施設用地
5	空地	14	河川・湖沼等
6	工業用地	15	その他(防衛、皇室)
7	一般低層住宅	16	海
8	密集低層住宅	17	対象地域分
9	中・高層住宅地	19	データなし

ランドサットデータを用いた土地利用分類データは、教師付き分類手法の一つである最尤法により得たデータである。ランドサットデータはBAND 6の他に6つのバンド(BAND1～6, 7:地上分解能は30m)を持ち、これらを用いて、いくつかの地上調査地域(グランドトルース)からのデータを教師として、他の判明していない点のデータをこれと比較して分類する²⁾。本研究では、ランドサットデータD4(D)(1992年4月21日)のBAND1～7を用いて分類されたデータを利用する。ランドサットデー

タを用いた土地利用分類項目は表-3に示すとおりである。このデータは調査地区(例えば公園)での内部のより細かな表面被覆状態(例えば池、森)を把握するために利用するものである。

表-3 ランドサットデータによる
土地利用分類項目

分類番号	利用分類	分類番号	利用分類
1	ビル	22, 24, 25, 36	雑木
2	商業地区	23, 37～41	裸地
3	一般住宅	26～28, 31, 32	杉・檜
4	密集住宅	29, 30	松
5～11	工場	33, 34	竹林
12	コンクリート	35	雲
13～15	田畑	42～44, 46～48	海
16, 17	草芝	45	河川・湖沼
18～21	疎林		

(c) 地上気温データ

大阪府内の公害監視局の中で、気温を観測している局等(41局)のデータを用いる。気温は、毎日1時間毎に自動測定されている。

3. 地上気温データとランドサットデータとの関連

図-1～5は、大阪府内の公害監視局の中で、気温を観測している局を中心点とし、局の最近点、および局を中心とした一辺125m、250m～3000m(250m間隔)の正方形の範囲内の全画素の地表面温度の平均と、それぞれランドサットデータと同じ年月日における、各局で観測された地上気温(朝のデータでは、午前10時、11時、12時、日平均、日最高、日最低気温、夜のデータでは、午後9時、10時、11時、日平均、日最高、日最低気温)との相関係数を、地表面温度採取範囲を横軸にとって示したグラフである。またこれ以降、例えば「1辺125mの正方形の範囲」を単に「採取範囲125m」と呼ぶ。なおサンプル数は合計n=41(局の数)である。

まず朝のデータ(図-1, 2, 3)をみると、どれも地表面温度と日平均気温との相関が一番高く、採取範囲1000mで1992年ではR=0.74、1991年ではR=0.58、

1987年では $R=0.75$ となっている。また日平均気温、午前10時、午前11時の気温と地表面温度との相関については採取範囲250m～1000mの間で値の変化が安定しない部分があるが、1000mをこえると、概ね採取範囲を大きく採るにつれて高くなっている。季節ごとに見てみると6月27日（1987年）のデータでは気温データと、表面温度の相関が全体的に高くなっており3月18日（1991年）のデータでは全体的に低くなっている。これらと他の研究成果³⁾から、夏のデータほど気温との相関関係が高くなると考えられる。

夜のデータ（図-4, 5）では、採取範囲を大きくとっても相関は、ほぼ一定か、わずかに上がる程度であることがわかる。しかし日最高気温を除けば、概ね高い相関を示している。採取範囲1000mでみると、1990年では日最低気温と地表面温度の相関

係数 $R=0.78$ 、日平均とでは $R=0.66$ 、1994年では日平均気温と地表面温度の相関係数 $R=0.74$ となっている。

図-3 採取範囲と相関係数（1987. 6. 27）

図-1 採取範囲と相関係数（1992. 4. 21）

図-4 採取範囲と相関係数（1994. 10. 18）

図-2 採取範囲と相関係数（1991. 3. 18）

図-5 採取範囲と相関係数（1990. 3. 13）

4. 土地利用分類毎の地表面温度

図-6は、今回用いたランドサットデータの範囲内での、土地利用分類別地表面温度の平均を示したものである。（朝のデータを実線、夜のデータを点線で表す。）これより細密数値情報に基づく各土地利用分類毎の地表面温度の概略の傾向を見てみる。

まず、朝のデータでは、道路、商業、住宅、工業の各用地の地表面温度が公園・緑地の地表面温度より高く、商業・業務用地で1.9～2.7℃高く、工業用地ではその傾向が顕著で2.5～3.5℃高くなっている。また、住宅地の3分類の公園・緑地との温度差を比べると、密集低層が一番大きく（公園・緑地との温度差1.3～2.3℃）、中高層、一般低層（公園・緑地との温度差0.6～1.5℃）ではほとんど変わらなかった。さらに山林、田、畑は公園・緑地より0.5～5.7℃低くなっている。一方夜のデータでは、海が他よりも10℃近く高く、河川・湖沼で2℃ほど高くなっている。工業用地、中高層住宅、商業・業務用地では、わずかであるが（0.1～0.4℃）公園・緑地より高い。いずれにせよ、公園・緑地や山林、田畑の地表面温度は都市的土地利用地域より低いことがわかる。

5. 大阪東西軸上の地表面温度の変化

実際の都市をある広がりでとらえると、種々の土地利用が組み合わさっている。本節では、2km×1km程度の規模で連続的に地表面温度の変化の様子を土地利用割合と関連づけて表した。

図-7は大阪の代表的な東西軸である大阪湾から淀川河口、此花区、福島区を通り、本町、大阪城公園を抜けて東大阪市、そして生駒山、東生駒までの軸（北緯34度40分30秒～41分30秒（南北幅約2km）、東経135度23分28秒～42分12秒（東西長さ約28km））の範囲で、東西方向に約1008m毎に区切り、それぞれその内部の地表面温度の平均値を算出し、その変化の様子を示したものである。また同様に対応する土地利用状況（国土地理院データ）を図-8に示す。

これらの図から、朝のデータで大阪湾、淀川河口付近、生駒山は、主に海、自然地（山林）で市街地より地表面温度が10℃前後低くなっている。また本町地区、大阪城公園付近でも地表面温度がかなり低下（3～4℃）している。1987年（夏）、1992年（春）のデータでも大阪城公園付近の地表面温度がやはり低い値を示している。本町付近が土地利用分類では商業・業務地区であるにもかかわらず、地表面温度が低く出ているのは、高い建物が密に立ち並び、

図-6 土地利用分類別地表面温度の平均値

午前10時の太陽高度と衛星との位置関係から日陰地点が測定された結果の影響とも考えられる。次に夜のデータでは生駒山付近で、他よりも地表面温度が3~10℃低い。商業地区、道路の占める割合が高い本町地区、川、お堀の水面を含む大阪城公園地区で地表面温度が5℃ほど高くなっている。海面は最も高く、昼夜の差は最も少ない。

積と各年度の地表面温度の平均値との関係を示したものである。面積は、都市公園資料や、公園管理事務所へのヒアリングによるものである。

この図より、全てのデータで、相関はそれほど高くないものの、負の相関関係が認められる。これは公園規模が大きいほど、地表面温度の平均が低下していることを示している。例えば1992年4月21日のデータの回帰式によれば、総面積が30ha増加すると、約0.5℃地表面温度が低下する傾向が現れている。

また図-10は、図-9の中から1992年4月21日のデータを抜き出し、各公園の総面積に対する自然地の面積の割合が70%以上の公園・緑地（6ヶ所）を□で示し、回帰直線（点線）を引いたものである。同様に図-11は、水面の割合が3%以上の公園・緑地を△で示し、回帰直線を引いたものである。また参考のため全体の点の回帰直線（実線）も同図中に示している。内部の被覆状態は1992年4月21日のランドサットデータ（BAND1～7）を元に水面、自

6. オープンスペースの規模、内部形態と地表面温度との関連

本節では地表面温度緩和効果が期待される公園・緑地の規模、内部の土地被覆状態と地表面温度の関係を調べた。

図-9は、大阪都市域内より選んだ規模別の各公園・緑地（万博（道路より北の部分）、服部、鶴見、大泉、大阪城、長居、浜寺、久宝寺、天王寺、住之江、住吉、大阪市平野区白鷺公園、計12ヶ所）の面

図-9 公園面積と地表面温度（平均値）の関係

図-10 自然地の割合から見た公園面積と地表面温度（平均値）の関係

然地（森林、疎林、草芝、裸地）、施設・その他、の3つに大きく区分し用いた。実際の公園内部の土地被覆についての資料は少ないが、表面被覆で大きな割合を占めるものは過大評価され、小さなものは過小評価される傾向にあることがわかったが、今回はこれをもって公園内部の表面被覆とした。

これらの図から、相関係数はそれほど高くないものの、傾きはどちらもほぼ等しく、別集計した方が全点を対象とするよりも、回帰線が下側にあることが分かる。これらから公園内の水面の割合、自然地の割合が高いほど、地表面温度の平均が低くなっていることが推察される。

7. 地表面被覆と地表面温度との関連

図-11 水面の割合から見た公園面積と地表面温度（平均値）の関係

図-12は、地表面被覆種別毎の地表面温度の違いを見るため、アスファルト、裸地、草芝、農地、森林、水面について2~3カ所の地点を選び出し、各年度毎に地表面温度の平均を調べたものである。国土地理院25000分の1の地図と現地調査からできるだけ広い単一の地表面被覆が得られるように調査地点を選んだ。

この図から、朝のデータではアスファルト、裸地、草芝、農地、森林、水面の順に地表面温度が高く、アスファルトは草芝や農地より5.0~6.9℃前後高い値を示した。夜のデータでは、水面、アスファルト、裸地、農地、森林、草芝の順に地表面温度が高く、アスファルトは草芝より3.8~5.8℃高い値を示した。また朝のデータで裸地と草芝や農地との地表面温度の差を調べてみると、1987.6.27で最も大き

く、次に1992. 4. 21で1991. 3. 18ではそれほど大きな差はない。このことは初春ではゴルフ場や農地が裸地と同様の土地特性を示すが、夏では農地の稲や、ゴルフ場の草芝が地表面温度を緩和していると考えられる。

図-12 地表面被覆と地表面温度

8. 住宅地区の地表面温度の比較

住宅地で土地利用状況の異なる地区の地表面温度の違いを見るため、公園・緑地がほとんどない密集低層住宅地区として神戸市長田、生野区新今里、一般低層住宅地区として川西市萩原台、仁徳天皇陵東地区、そして公園・緑地が多い中高層住宅地区として千里中央、泉北赤坂台を選び、地表面温度の平均値を調べた。図-13には地区別の地表面温度の平均を示す。

図-13 各住宅地区の地表面温度の平均

全般的に差は小さいものの、朝のデータでは、概ね密集低層住宅地、一般低層住宅地、中高層住宅地の順に地表面温度が高く、夏のデータ(1987. 6. 27)で最高4.1℃、春のデータ(1992. 4. 21)で最高5.5℃の差が見られた。

9. まとめと今後の課題

従来の研究では、そのほとんどが単一のランドサットデータで論じられていたが、本研究では5つのランドサットデータを用いたことで、季節変化の比較、朝と夜の比較が可能となり、気温と地表面温度の相関、オープンスペースの温度特性の定量的評価において分析を深めることができた。以下には、本研究により得られた主な知見を示す。

(1) 地表面温度と気温の関係

気温と地表面温度との関係は、季節、時刻によって異なるが、地表面温度のデータ採取範囲を広げると相関が高くなる傾向が見られた。

気温と地表面温度との相関は、日平均気温が全般的に高く、また夏のデータでは、他の温度指標も高くなっている。

(2) 土地利用分類と地表面温度の関係

住宅、商業、工業用地等の地表面温度は公園・緑地、農地、森林等の地表面温度より高い。この傾向は朝のデータの方が顕著であり、夜間はその差が縮小する傾向が見られる。

(3) オープンスペースの規模や形態と地表面温度の関係

公園規模が大きいほど地表面温度は低く、また公園内の自然地の割合、水面の割合が高いほど地表面温度が低下する傾向が見られる。

(4) 地表面被覆と地表面温度との関係

朝のデータでは、アスファルト、裸地、草芝、農地、森林、水面の順に地表面温度が高い。夜のデータでは、その差は小さくなり水面は他より高い。

ゴルフ場や農地の被覆状態が季節によって異なるため、その表面温度も季節により異なる。夏では農地の稲や、ゴルフ場の草芝が地表面温度を緩和していると考えられる。

(5) 住宅地区特性と地表面温度との関係

概ね、密集低層住宅地、一般低層住宅地、中高層住宅地の順に地表面温度が高く、その傾向は春、夏の朝のデータで見られるが、夜間はほとんど差がなくなる。

以上のように、公園・緑地の規模や地表面被覆種別等における地表面温度特性の分析から、人工的土地利用に比べて、自然的土地利用において、より低い温度傾向が観測され、オープンスペースの温度緩和効果が定量的に把握された。今回の分析では、緯度や高度の差の温度補正や、都市活動の差の影響などについて考慮していないので、その必要性を含めた検討が今後の課題となる。また、より小規模の緑地の効果の評価、およびブロック単位でオープンス

ペース量を評価する方法についても検討する必要がある。

参考文献

- 1)宇宙開発事業団地球観測センター、地球観測データ利用ハンドブック、6-1-6-2、1990年改訂版
- 2)山本勝彦、人工衛星JERS-1データの地表面分類への応用について、全国公害研会誌、第21巻1号、1996年
- 3)鈴木和弘ほか、リモートセンシングによる新都市開発に伴う熱環境変化シュミレーションに関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 1455-1456、1994年9月

ランドサット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

西村 昂・山本 勝彦・大杉 朗隆

本論文は、オープンスペースの地表面温度を分析することにより、その温度緩和効果を把握することを目的としたものである。1987年より1994年の間に得られた5回のランドサットデータを利用し、以下の分析を行った。

①地上気温データとの相関分析

②土地利用分類毎の地表面温度特性の分析

③公園の規模別、および内部状況別、地表面被覆種別、住宅地区別の地表面温度特性の分析

以上より気温と地表面温度の間に相関関係があることを見出し、人工地より自然地が地表面温度が低く、公園についても規模が大きいほど、またその内部の自然地の割合が大きいほど地表面温度が低いこと、等の結果を得て、緑地の温度緩和特性を定量的に把握した。

Analysis of Land Surface Temperature in Open Space Using Landsat Data

Takashi NISHIMURA, Katsuhiko YAMAMOTO, Akitaka OSUGI

BAND 6 data of Landsat/TM were utilized to know the characteristics of surface temperature reduction of open space types based on five times of observation data from 1987 to 1994.

Land surface temperatures have been summarized as to have some level of correlation with atmospheric temperatures, and open spaces have been shown to have considerable level of mitigation effect for surface temperature by size, type and surface materials. These effects have been measured quantitatively.