ランドサット TM データによる緑地の分布形状と表面温度との解析

Analysis on The Form of Open Space and Surface Temperature Using Landsat TM Data

入江彰昭* 平野侃三**
Teruaki IRIE Kanzo HIRANO

摘要：前回、東京北部地域を対象事例として夏季のランドサットTMデータの解析を行い、都市気象緩和に有効な緑地の種類、規模・緑地率までを検討することができた。本研究では課題としてあげられていた面的な解析を進め、緑地面積に比例して低温域面積も拡大すること、低温域内において単独分布の緑地構成より複数分布の緑地構成の方が有効な緑地の分布形状であること、その緑地間距離は約60m以内で分布していること、また1ピクセル（30m×30m）スケールにおいて市街地を低温化させるのに有効な周辺緑地構造を明らかにした。

1. はじめに

緑、植物はCO₂の吸収と蒸散作用により地球規模の温暖化の抑制と同時に、都市地域のヒートアイランド現象を緩和することは周知の事実となっている。

平成6年の都市緑地保全法の改正により、都市の緑全般に関する総合的な制度として創設された「緑地の保全および緑化の推進に関する基本計画」（「緑の基本計画」）制度では、緑地配置の方針における都市緑地の有する機能の4系統の1つ、環境保全系統の設定上の留意事項において、気温、湿度の調節、通風作用等に資する河川、水面等は積極的に取り組み、また冷涼な大気の溜まりとなる緑地、風の通り道となる緑地等、都市のヒートアイランド化の防止に資する緑地等を計画的に配置するとともに、河川、道路等の緑化によりこれらのネットワーク化に資するような緑地を配置するようにと強調されている¹⁾。

こうした緑の環境面からみた都市緑地計画の取り組みは、ドイツの各都市で試みられていることがよく知られ、カールスルーエ市、シュツットガルト市等では温度分布、風向風速等の調査からヒートアイランド現象を把握するとともに、公園、森林、道路、建築物などの都市整備計画が立案されている³⁾。

日本の大都市に限らず中小都市においてもヒートアイランド現象が起きており⁴⁾、都市計画への対応が重要視されている。ヒートアイランド現象の形成を阻止するには、都市内に市街地を分断するように緑地を導入するか、または市街地内の緑被率を高めることによって解決されと考えられている。しかし都市計画の実際を考えると、その規模とシステムが必要となる。都市気象緩和の側面から緑地配置を考える上で必要なのは、ヒートアイランド現象の形成阻止に効果的な緑地の種類、規模、分布形状等の緑地形態を明らかにし、その計画基準を設定することにある。

そこで、筆者らはこれまでの研究⁵⁾において東京北部地域を対象としてランドサットTMデータを用いて緑地形態と表面温度との解析を行った。その結果、水面・樹林地・草地・水田はそれぞれ気象緩和効果のある緑地であり特に河川等の水面は最も効果の大きい緑地であること、規模の大きい緑地ほど気象緩和効果があり幅員では100m以上、面積では1.0ha以上の緑地であれば気象緩和効果があらわれること、緑地率と表面温度との間には相関があり緑地率10%に対する温度の低減率は0.58℃程度あること等を把握した。

本論では緑地の分布形状と表面温度との面的な解析を行い、緑地の種類、規模と緑地の分布形状を絡めて検討しどれほどの規模の緑地がどのような分布状態であれば周辺地域への効果が大きいのか、あるいはどのような分布状態の時に周辺市街地に影響されるのかを探り、市街地の気象緩和に有効な緑地の分布形状を明らかにすることを目的とする。

2. 本研究の方法

本論では、TMデータを用いて面的な解析方法を追求し緑地の種類・規模を絡めての有効な緑地の分布形状について探ることとしている。そこで、次のような方法に従い解析を行った（図-1）。

図-1 研究のフロー

(1)対象地域とその時期

対象地域は内陸に位置し埼玉の一部地域を含んだ東京の北部地域である（図-2）。

*東京農業大学短期大学部環境緑地学科 **東京農業大学農学部造園学科

TM データの画像解析上の対象区域は荒川を中心とした縦横 1024 画素の 30.72×30.72km の区域であり、利用した TM データは 1987 年 7 月 24 日午前 9 時 30 分頃撮影のものである。TM データの入手可能な時間帯が日中では午前中に限られていることから、本研究は午前時における効果の解析と特定される。

なお、東京管区気象観測所によると 1987 年 7 月 24 日は天気快晴、平均気温 31.7℃、最高気温 36.6℃、最低気温 27.8℃、最大風速 5.0m/s、最多風向南という気象状況である。また、3 日前から晴天が続いており、水田は季節的に湛水の状態にある。

0 - 水面 1 - 樹林地 2 - 草地 3 - 芝生地
4 - 水田 5 - 畑地 6 - 裸地 7 - 宅地 8 - 市街地

図-2 現況土地被覆図

(2)これまでの解析の結果

これまでの解析により有効な緑地の種類、緑地の規模に対して表-1のような結果が得られた⁶⁾。しかし、表-1のように明確にその数値結果が得られたわけではなく、非緑被地である宅地・市街地であっても低温を示したり、面積1.0ha以下の小規模緑地であっても低温を示したりとかなりのばらつきがみられた。これらの要因には、図-3の数値データマップから比較的大きな緑地の場合は周辺への低温域のにじみ出しがあること及び小規模な緑地の場合は周辺市街地の温度に支配されていることが読みとれることから、周辺緑地からののにじみ出しや緑地の分布形状による違いが要因として考えられ本論ではここを分析することとしている。

表-1 これまでの解析の結果

項目	結果			
有効な緑地の種類(有効順)	水面	水田	樹林地	草地
市街地表面温度に対する温度差	-5℃	-4℃	-3℃	-2℃
有効な緑地の幅員	幅員約100m以上			
有効な緑地の面積	面積約1.0ha以上			

3. 分析結果

(1)TM データと航空写真による緑地抽出の相違

当該区域の航空写真(1992年11月15日撮影)を入手し、TM データ解析による現況土地被覆図とカラー航空写真(国土地理院発行)とを重ねあわせ、TM データによる緑地の抽出状況を確認した。対象を比較的緑被状況の変化の少ないと考えられる小石川後楽園、小石川植物園、六義園の3地域とした(表-2)。

TM データは観測スペクトル(波長帯)は7バンドであり、土地被覆、植物、表面温度などの観測が可能であり、空間分解能は30m(バンド6のみ120m)である。画像は数10万個の画素のデータで構成されたもので、その1画素は30×30mの区域でデ

ジタルデータ(256段階)で表示される。画素とはデジタル画像を構成している各ピクセルのことである。このTM データは幾何学的な歪みが残っているため、画像座標と地図座標とを対応させる上で修正が必要である。このため、地形図との位置のずれが1画素以下になるように、元の画像の値を壊さない方法である最近隣挿法により幾何補正を行った後、現況土地被覆図、緑被地分布図、表面温度分布図を個々の画素の分類により作成した。現況土地被覆図は元画像のバンド1~5及び7をもとにはじめ適当なクラスターを与え、そのメンバーをクラスター間において組み替えより分類精度の高いクラスターを求めていくISODATA法により作成した。ここでははじめ50のクラスターを設け各々のクラスターに対して、地形図・現存植生図を参照しながら9種類(図-2)の分類項目に組み替えた。なおここで分類された水面・樹林地・芝生地・草地・水田を「緑地」として検討を進める。

そこで、TM データと航空写真とのスケールを1万分の1に合わせて、TM データでは3対象地の緑地を現況土地被覆図から算出し、航空写真では対象地上空の写真から対象地域内の樹木、芝、草、池を直接目視判読により緑地を抽出し、その面積を算出した。

表-2 TM データと航空写真による緑被地の抽出の相違

対象地	航空写真による抽出面積	TMデータによる抽出面積	TMデータに対する航空写真による抽出の比率
小石川後楽園	73,700m ²	79,200m ²	0.931
小石川植物園	149,300m ²	176,400m ²	0.846
六義園	100,600m ²	116,100m ²	0.866

表-2より、TM データによる抽出では、航空写真によるものより多くの緑地が抽出される傾向にあることが読み取れる。

航空写真では、緑地の抽出は詳細に判読が可能であるが、秋の撮影のため樹木の落葉や建物の陰の誤判読の点、人の目視による図化という点で、抽出・図化・集計には個人差が出てしまうとの報告もある⁷⁾。これらを比較検討する上でTM データと同時期、同時刻の航空写真を用いることが最も望ましいと考えられるが、ここでは比較検討にとどめた。すなわちTM データによる抽出緑地面積1に対して航空写真では0.9とその抽出面積に違いがみられるが、TM データによる緑被地の抽出と航空写真によるものとはほとんど一致しているものと判断した。

(2)表面温度分布図と現況土地被覆分布図との重ね合わせた図(数値データマップ)の作成方法

図-3 数値データマップ(一部地域)

TM データはバンド毎に0~255段階のカウント値で表示されることから、表面温度分布図はバンド6(遠赤外線波長帯)のカウント値を用いて作成した。地球観測データ利用ハンドブック¹⁰⁾によると、バンド6のカウント値1に対して温度は0.54℃と置換できると言われており、一般的に分かりやすくするために解析対象範囲内の市街地の平均表面温度(以下、市街地平均表面温度)のカウント値154を基準値0とし、各図表にその温度差をバンド6のカウント値とともに併記して分析を進めることとした。すなわち市街地平均表面温度より1℃低いカウント値152以下のピクセルを低温としそのピクセルの集合を「低温域」と考え解析を進めた。

図-3では、1ピクセル毎に上段は表面温度のカウント値、下段は現況土地被覆の分類番号を表している。

(3) 低温域（クールアイランド）と緑地面積との関係分析

図-3から緑地を含めその周辺にカウント値152以下（市街地平均表面温度より -1°C 以下）の低温域が広がっていることが読み取れる。そこで緑地は周辺に低温域をどれほどにじみ出させているのかを検討するために対象地内の全低温域67箇所に対し低温域面積とその低温域内に存在する緑地面積をピクセル数（1ピクセル900 m^2 ）から算出し、緑地面積に対する低温域面積を分析した。その結果図-4のような相関のあることがわかり、

$$Ta = 1.447 \times Oa + 7.000 \quad R^2 = 0.914$$

（ Ta ：低温域面積 Oa ：緑地面積）

のような式が得られた。つまり緑地は図-5のようにその面積の1.477倍だけ周辺に低温域をにじみ出させていることがわかった。

しかしグラフ上で緑地面積が小さくても、その面積に対して1.477倍以上のにじみだしを示すものもいくつか見受けられる。

図-4 低温域（クールアイランド）と緑地面積

図-5 低温域と緑地との関係モデル

(4) 緑地の分布形状と低温域との関係分析

そこで、次にどのような緑地の分布形状が低温域に影響を及ぼしているのかを検討するために、数値データマップ上で全67低温域内の緑地箇所数とその緑地面積を調べ、低温域が1つの緑地で構成されているものを単独分布形状とし複数の緑地で構成されているものを複数分布形状として分類した。その結果、単独分布形状の低温域は46箇所（低温域面積158.58ha、緑地面積99.36ha）、複数分布形状の低温域は21箇所（低温域面積207.81ha、緑地面積120.06ha）あり、さらに2つのタイプ別に市街地面積を調べ低温域内の緑地に対する市街地率を算出した（図-6）。

その結果、複数分布形状の低温域の方が単独分布形状に比べて緑地に対する市街地率が高く、より多くの市街地を低温化させていることがわかった。つまり複数分布形状は市街地を低温化させるのに有効な緑地の分布形状といえる。

次に、緑地の複数分布形状では緑地がどれくらいの距離間で分布すればよいのかを検討するために、数値データマップ上で緑地の複数分布形状の低温域に対して低温域内に分散している緑地と緑地の間の緑地間距離をピクセル数から計測し、その頻度を算出した。その結果、

図-6 緑地の分布形状と低温域

図-7のように緑地間距離がほとんど30~90mで分布していることがわかり、その割合はおおよそ30m:60m:90m=4:2:1の傾向であった。つまり緑地間距離60m以内で複数分布の緑地形状は効果的な緑地の分布形状であると考えられる。

また、次に小規模緑地についてみてみることにする。面積1.8ha以下の比較的小規模な緑地で構成されている複数分布形状の低温域に限定して図-4同様に緑地面積に対する低温域面積を分析した。その結果、図-8よりほとんどの小規模緑地がその面積に対して1.477倍以上の市街地を低温化させる効果があることがわかった。つまり小規模緑地は緑地間距離60m以

図-7 低温域内の緑地間距離

図-8 小規模緑地で構成される複数分布形状の低温域と緑地

内で複数分布することによって、より多くの市街地を低温化させる効果があるといえる。

(5) 市街地表面温度と周辺緑地構造との関係分析

さてこれまでの解析結果から、緑地の種類、規模、分布形状によって、その効果に違いのあることがわかっている。では次にそれらを総合的に検討を進めるため、1ピクセル（30×30m）スケールの市街地において、周辺の緑地がどのような構造であれば市街地の中でどれくらい低温化させることができるかを検討した。1ピクセルスケールの市街地の周辺の60m範囲内の緑地の種類、その規模を調べ、有効な緑地の種類や距離に重みづけを加えた（図-9、表-3）。ここで、重みづけの方法であるが、表-1より緑地の種類では、水、水田、樹林地、草地の順で市街地平均表面温度に対して各々 -5 、 -4 、 -3 、 -2°C の低温化を示している。また、緑地が複数分布形状で形成される低温域内の緑地間距離は図-7より30m:60m=2:1の割合である。そこで、緑地の種類ごとに、水面、水田、樹林地、草地の緑地数に対して5倍、4倍、3倍、2倍の重みづけし、さらに中心市街地から30mの距離、60mの距離に存在する緑地数に対してそれぞれ2倍、1倍の重みづけをし、その種類と距離による重みづけで得られた数値のトータル値を周辺緑地構造換算値とし解析を進めた。

図-9 市街地周辺の緑地構造のモデル

表－3 市街地周辺の緑地の重みづけ

市街地からの距離	有効な緑地の種類			
	水面	水田	樹林地	草地
30mの距離の緑地数	×5×2	×4×2	×3×2	×2×2
60mの距離の緑地数	×5×1	×4×1	×3×1	×2×1

市街地周辺の緑地数からの周辺緑地構造換算値を算出し、算出された周辺緑地構造換算値に対して市街地表面温度ごとにまとめそこでの周辺緑地構造換算値の平均値を得た（表－4、図－10）。

表－4 市街地温度とその周辺の緑地構造と総データ数

市街地表面温度		周辺緑地構造換算値 の平均値	データ数
カウント値	温度℃		
146	-4.32	77.5	2
147	-3.78	54	10
148	-3.24	48.3	34
149	-2.7	41.9	81
150	-2.16	34.1	219
151	-1.62	23.9	880

図－10 市街地平均表面温度とその周辺緑地構造換算値

図－10 から市街地の表面温度が低温化するほど、周辺緑地構造換算値は高くなっており、次式のような関係が得られた。

$$T = -0.053G - 0.505 \quad (R^2 \text{ 乗} = 0.935)$$

T：市街地平均表面温度に対する温度差（℃）

G：周辺緑地構造換算値

これにより、周辺緑地構造換算値から市街地の表面温度を予測することが可能であり、つまりは市街地を低温化させる大きさによって周辺にどれほどの緑地構造があればよいのかを知ることができた。

4. 有効な緑地の分布形状についての考察・まとめ

上記の分析結果にしたがってその結果と考察をまとめると以下のようなになる。

1) 緑地面積に比例して低温域面積も拡大し、緑地面積に対して1.477 倍の低温域を形成することから、緑地は周辺地域へその面積の1.477 倍の低温域のにじみ出しがあると考えられる。

2) 低温域は緑地が単独分布形状よりも複数分布形状のほうが拡大しその緑地間距離は60m以内で分布していること。また、面積1.8ha 以下の比較的小規模緑地な緑地であっても緑地間距離60m以内で複数分布形状をするのであれば、低温域が形成させること。ここから緑地間距離60m以内で分布している緑地の形状は市街地の低温化に有効な緑地の分布形状であると考えられる。

3) 1ピクセルスケールにおける市街地に対して周辺緑地構造換算値からその表面温度を予測することができ、市街地を低温化させるのに有効な周辺緑地の構造が明らかになった。なお、ここでは低温化を示している市街地のみをその対象と限定してしまったが、このモデル式と同様の考えで他の土地被覆の種類別にその表面温度を周辺緑地構造から予測することが可能であろうと思われる、今後解析を進める上で有効な解析方法と考えられる。

本研究を進めるにあたり東京情報大学の原慶太郎教授にはご協力・ご助言を頂いた。ここに記して感謝いたします。

参考および引用文献

- 建設省都市局都市計画課・公園緑地課(1996)：緑の基本計画ハンドブック改訂版：(社)日本公園緑地協会
- 大後美保、長尾隆(1972)：都市気候学：朝倉出版
- 一ノ瀬俊明(1993)：シュトゥットガルトにおける「風の道」－都市計画で都市気候を制御する試み－：天気 40.9, 31-33
- 山田宏之(1995)：都市気温分布と緑地分布の関連についての都市間比較：ランドスケープ研究 58(5), 253-256
- 入江彰昭、平野侃三(1995)：ランドサット TM データ解析による都市の気象緩和に有効な緑地形態に関する基礎的研究－千葉市域を事例として－：第30 回日本都市計画学会学術研究論文集, 325-330
- 入江彰昭、平野侃三、原慶太郎(1997)：東京北部地域を事例としたランドサット TM データ解析による都市気象と効果的な緑地形態に関する研究：東京農業大学農学集報 Vol.41 No.4, 246-254
- 春田章博、井上忠佳(1989)：都市内緑地の把握手法に関する技術的問題について：造園雑誌 52(5), 271-276
- 村川三郎ほか(1988)：都市内河川が周辺の温熱環境に及ぼす効果に関する研究：日本建築学会計画系論文報告集第393 号, 25-34
- 本條毅、高倉直(1986)：リモートセンシングによる都市内緑地の温度分布の解析：造園雑誌 49(5), 299-304
- 近藤昭彦ほか(1993)：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：リモートセンシング学会誌 Vol.13 No.2, 32-42
- 古谷勝則ほか(1990)：人工衛星データによる緑地の把握に関する基礎的研究：造園雑誌 53(5), 221-226
- 横張真、福原道一(1988)：ランドサット TM データによる都市近郊での土地利用混在の把握：造園雑誌 51(5), 335-340
- 安田嘉純(1991)：リモートセンシング、土地利用開発地域等における自然環境への影響予測に係る基礎調査Ⅱ：千葉県環境部環境調整課
- 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ランドサット編：(財)リモートセンシング技術センター
- 佐俣満夫(1994)：都市での植生指標を用いたヒートアイランド現象解析のための NVI モデラー人工衛星データによるモデル化－：横浜市環境科学研究所報第18 号
- T.R.Oke(1973)：City Size and the Urban Heat Island, Atmospheric Environment 7.769-779
- Park,H.(1987)：Variations in the Urban Heat Island Intensity Affected by Geographical Environments. Environmental Research Center Papers11-79
- Ian C.Lauri(1979)：Nature in Cities：John Wiley&Sons
- Michael Hough(1984)：City Form Natural Process London and Newyork

Summary：Our last report was a study of the effective form (eg.type,shape or scale) of open space for urban climate control by Landsat TM data of Northern Tokyo areas.

This paper tried to analyze on the form of open space and surface temperature. Following results are obtained：

- 1)cool island area extend growing larger open space area,
- 2)cool island area with a plural open space is more low temperature than that with a independent open space, and showed effective form of open space for reducing the warming temperature in a pixel (30m×30m) scale.