

# リモートセンシングによる東京23区の緑被の増減の把握

樋口 知子

## 1. 研究の背景と歴史

東京区部全域の、個人住宅の緑地を含む緑被分布は、まだ十分に把握されていないが、広い範囲について緑の量を定量的に測ろうという試みは、1970年代頃から行われてきた。当時から、その目的のために緑被率が指標として使われている。ここで、緑被とは樹木や草本で覆われている部分、緑被率とは単位区域当りの緑被の占める割合をいう(田代, 1988)。実際に行われている代表的な調査方法として、空中写真によるものが挙げられるが、ベースデータに用いる空中写真の縮尺、緑被状況を書き入れるベースマップの大きさなどは解析者の判断に依存しており、緑被調査には決められた手法はまだない。また、空中写真による緑被抽出がかならずしも定量的な方法ではないことも明らかにされている。(春田・井上, 1988)

現実には、各区毎に「緑の実態調査」が行われ区内の小規模緑被の面積の把握が試みられている。これらの調査では、第1表に示すように各区毎に年度、回数、また調査項目や対象とする緑被の最小面積が10㎡～500㎡と調査により異なる等、調査方法に違いがあるため、東京区部全域について小規模緑被を含む分布を、均質な精度で把握することが難しい。経年変化の把握はさらに困難である。このような状況の中で、近年の人工衛星リモートセンシングの技術の向上により、従来の中空中写真を用いる方法と併せて、リモートセンシングデータを使用する研究段階に達してきた。

人工衛星を用いた緑被に関する研究は、1980年代に入ってからランドサットデータを用い、植生指数に基づいて緑被率を求めることが試みられるようになった。植生指数とは、植物が可視～近赤外域においてクロロフィルによる特徴的反射パターンを示すことを利用し、植物の活性度評価や土壌・岩石と植物を識別することを目的に考案されたスペクトル指数である。過去の研究により、

ランドサットMSSデータ(空間分解能:80m×80m)による植生指数から、都市域であれば1ピクセル(pixel; picture element; 画素)内の緑被率を推定できることが明らかにされている。その後、MSSデータに代わって1982年に打ち上げられたTMデータ(空間分解能:30m×30m)を使うことにより、比較的よい精度で緑被率を求めることが可能となり、小規模緑被の抽出の研究が行われている。本條・高倉(1987)は、港区の緑被分布図とTMデータから計算した植生指数を比較し、1ピクセル内の緑被率の推定を検討している。そして、緑被率のグランドトゥルースとランドサットデータの位置を完全に一致させるのが困難なためにピクセル毎に判断を行う方法よりも平滑化を行った結果の方がむしろ実態に近いことを明らかにしている(本條・高倉, 1989)。

## 2. 研究目的

植生指数による1ピクセル内の緑被抽出は特定の時期について行われてはいるが、異なる時期の比較は行われていない。従って、緑被の経年変化の把握が可能かどうかもわかっていない。また、植生指数による緑被率抽出は、植生指数がクロロフィルで地上が覆われている状態を示し被覆状態と植生活力度を含む指標であるため、従来の緑被の研究と整合させるためには、植生指数が含む植生活力度の影響を見積りそれを取り除かなければならないという問題が生じる。特に植生活力度は季節の影響を受けやすい。本研究の目的は、東京区部のような広い地域において小規模緑被を含む緑被を、同じ基準で調査が可能なりモートセンシングによるデータを用いて定量的に把握すること、また経年変化を把握することである。

## 3. 解析方法

1972年11月26日(MSS), 1984年11月4日

第1表 東京23区の「緑の実態調査」(その1)

区名	調査名称	発表年	調査年月/日	航空写真 撮影縮尺等	調査対象緑被
千代田	千代田区緑の実態調査	S50	S49 9/10	1/10000	
中央	中央区緑の実態調査	S61			
港	港区緑地・樹木の実態1次 調査 みどりの実態調査 2次 3次	S48 S55 S61	S54 9/5 S60 7/29,10/2	1/5000	25㎡以上
新宿	新宿区緑の実態調査 2次	S46 S60		1/5000	50㎡以上
文京	文京区緑の実態調査	S49 S55 S60	S52 9/11 S59 7/26	1/15000 1/5000	500㎡以上 50㎡以上
台東	台東区緑の実態調査	S50 S62	S48 10 S61 10/17	1/10000 →1/5000	50㎡以上
墨田	墨田区緑の現況調査	S48 S59		航空写真は用い ず	100㎡以上
江東	江東区樹木実態調査	S49 S56 H3 (予定)			
品川	品川区緑の実態調査	S56	S53 7/26	1/10000	10㎡以上
目黒	緑の実態調査	S47 S61	S47 9 S60 7/23	1/10000 2倍伸し 1/10000 2倍伸し	10㎡以上
大田	大田区緑化基礎調査報告書	S59 (S49)	S58 6/5	1/10000	500㎡以上 1000㎡以上)
世田谷	世田谷区緑の現況報告書	S50 S57 S61	S48 10/2-9 S56 10/2 S60 9/2	1/8000 1/10000 1/10000	500mメッシュ 250mメッシュ 250mメッシュ

第1表 (つづき)

区名	調査名称	発表年	調査年月/日	航空写真 撮影縮尺等	調査対象緑被
渋谷	樹木の実態調査報告書 渋谷区緑の実態調査	S54 S62	S61 8/4	1/5000	300㎡以上 25㎡以上
中野	中野区緑の実態調査	S53 S62	S61 9/11	1/10000	
杉並	緑化基本調査(5年ごと)	S47 S52 S57 S62			500㎡以上
豊島	豊島区緑の実態調査 (10年ごと)	S48 S58 H4 (予定)	S57 6/29		300㎡以上
北	北区緑の実態調査	S59 H1	S63 8	1/5000	300㎡以上 50㎡以上
荒川	荒川区緑の実態調査	S54 S63	S62 10/13	1/5000	300㎡以上 100㎡以上
板橋	板橋区緑地・樹木の実態調査	S50 S55 S60	S53 11 S59 9/27	1/15000 →1/7500 1/10000	300㎡以上
練馬	練馬区みどりの実態調査 (S52, S57)	S62	S61 8/7	1/5000	10㎡以上
足立	足立区緑化計画に関する基 礎調査報告書 足立区緑の実態調査	S51 S60	S50 8/4 S59 9/27	1/10000 1/8000	50㎡以上
葛飾	葛飾区緑地・樹木の実態調査 葛飾区緑の現況調査 葛飾区緑化推進計画調査	S50 S56 H1	S49 9/8 S55 9/13 S63 6/5	1/10000 1/10000 2倍伸し 1/5000 カラー 1/10000 赤外カラー	300㎡以上
江戸川	樹木実態調査報告書	S48 S59	S47 S58		

(TM), 1988年10月14日 (TM) のランドサット観測データを用い, 東京23区全域(緯度 $139^{\circ}30' \sim 140^{\circ}00'$ , 経度 $35^{\circ}50' \sim 35^{\circ}30'$ )を解析地域とした。

ランドサットTMデータでは植生指数をバンド4とバンド3の比演算により得る。また, ランドサットMSSデータでは, TMデータのバンド3に相当するバンド5, TMデータのバンド3に相当するバンド6を比演算した。比演算により得た値すなわち植生指数をBR (BRとは, Bi-band Ratioを意味し, バンド4/バンド3の比等の値) という略号で以下表す。BRを用いた緑被率の経年変化の推定に際して, 特に季節の影響でBRの値が変化することを考慮しなければならない。そこで, BRの値への季節の影響を少なくすることを考え2つの方法を試みた。

#### 解析方法 A

空中写真を用いて, いくつかの場所の緑被率とBRの値を照らし合わせ, その時期のBRの値と緑被率の関係を求める方法を試みた。比較の際に空中写真と対応するピクセルのズレの影響を少なくするためにTMでは $4 \times 4$ ピクセル, MSSでは $2 \times 2$ のピクセル内のBRの代表値と, これに対応する範囲(約 $120\text{m} \times 120\text{m}$ , 以後ブロックと呼ぶ)の空中写真(地域1; 文京区の一部, 地域2; 目黒区の一部, 地域3; 皇居の一部; 全部で116ブロック)と比較を行った。解析の手続きは以下の通りである。

1) 各ブロックのBRの代表値, すなわちBRの和を以下のように定める。以後この値を〈BRの値〉と記す。

$$y = \sum_{i=1}^{P_i} f(BR_i - T)$$

ここで,  $f(x)$  は,  $x > 0$  のときは  $f(x) = x$ ,  $x \leq 0$  の時は  $f(x) = 0$  となる関数。BR<sub>i</sub> は  $i$  番目のピクセルのBR,  $P_i$  はピクセル数 (MSSの場合  $2 \times 2 = 4$ , TMでは  $4 \times 4 = 16$ )。T は, T 以下の値は各年通じて緑を全く含まないことを表す閾値 (本研究の場合,  $T = 80$  とした) である。

2) 各ブロックの緑被率を空中写真から求める。具体的には, 写真の上から  $1\text{mm} \times 1\text{mm}$  格子状ト

レース紙を重ね, 緑の部分に対応する升目の個数を数え, 緑被率を定めた。この作業によって, 観測時期の違い, すなわち植生の状態の季節変化の影響を少なくすることができる。

3) 横軸にブロック内の緑被率  $x$  (単位%) を, 縦軸にブロックの  $y$ , 〈BRの値〉をとり, グラフにする。第1図に示したものは, 1988年と1984年のプロットである (1988年は○, 1984年は+で示す)。

4) 各年の ( $x$ ,  $y$ ) の関係は, 第1図にみるように, はほぼ直線的である。そこで,  $y = ax + b$  を各年毎のデータに最小自乗法で当てはめてみた。得られた回帰式の係数等は, 第2表にまとめた。

1972年の相関係数の値が非常に低いのは, この年のデータがMSSのもので, 〈BRの値〉を計算するために使われるブロック内のピクセル数が4と少ないことと, この年は地域2の航空写真が入手できなかったためブロック数自体も67と少ないことが影響したと考えられる。

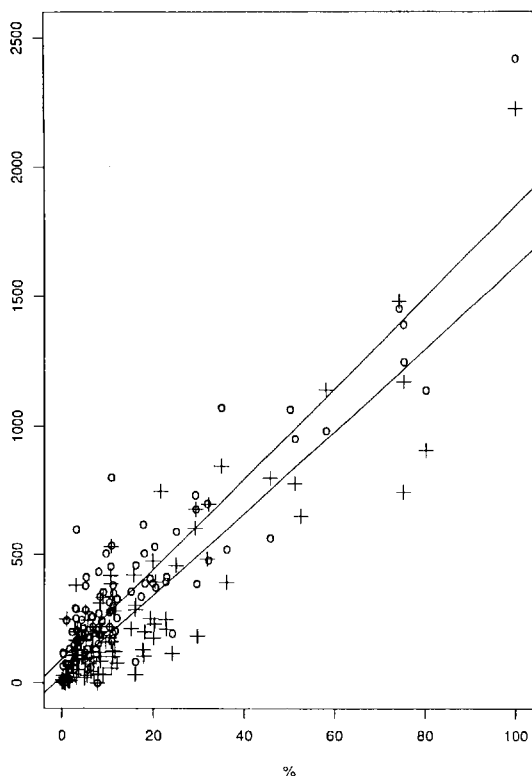
5) この関係を23区全域に適用することによって, 緑被率の分布を得る。ただし, 1972年については相関係数が低いのでこれを行っていない。

6) 1984年と1988年の緑被率の差の分布を得る。口絵のplate 1に1984年から1988年に緑被率が減少したブロック, plate 2に増加したブロックを示す。

#### 解析方法 B

方法Aと同じブロック (ただし, 閾値  $T = 0$  とし切り捨てはおこなっていない) の1984年のBRを横軸に, 1988年のBRを縦軸にプロットしてみる。このようにすると, もし全く緑被変化もなく, 季節変化やBRの値を変化させる様々な要因がなければ, 点はすべて傾き1の直線上にのるはずである。しかし, 1988年のBRのほうが1984年のBRより全体的に大きい値を示す傾向がある。これは主に季節の影響であると考えられる。季節の影響は, 系統的に変化することがあるとしても, 1対1の対応がランダムに変化するような状況は考えにくい。したがって, 同じピクセルの1984年と1988年のBRを対応させた点が, そのような直線から大きく離れる場合はそのピクセルの緑被が大きく変化 (増または減) した場合となろう。

ここでは, 季節の影響を受けた場合でも直線的



第1図 1988年(○印)と1984年(+印)の緑被率(%)と〈BRの値〉の関係

対応が維持されるとして、回帰線を求め、それからの偏差が緑被の増減を示すものとした。上記の回帰線より上の領域にある点は、1988年の緑被率が1984年の緑被率に比較して増加し、下の領域は減少していることになる。1984年と1988年の他、1972年と1984年、1972年と1988年の組合せについて最小自乗法によって  $y = ax + b$  にあてはめた回帰線の傾き・切片、相関係数を第3表にまとめて示す。なお、解析方法BはAに比べ処理が簡単である。

本方法による結果の一部が口絵のplate 3, 4に示されている。

#### 4. 解析結果

各区によって行われた「緑の実態調査」の報告で集められている情報をまとめると、情報量の多少により精度はまちまちであるが、最近の23区の

緑被増減の分布を大まかに6つに分類することができる。1)本来緑被が少ないため、もしくは土地利用の変更が難しいため緑被変化の少ない区は、千代田、中央、新宿、台東、2)戦後急激に市街化されつくされ、現在ではマンション化等に伴い、かえって緑被が増えている区は、墨田、江東、江戸川、3)区全体としての緑被率は変化がないが、区内の地域毎の緑被増減の変動の割合が大きい区は文京、北、荒川、4)埋立地の緑被が増加したため緑被率が上がったが、埋立地を除くと緑被は減少している区は、品川、大田、5)区内の一部にある住宅地で緑被が減少している、または急激な土地利用の変化が目立つ区は、港、渋谷、中野、豊島、6)主要幹線道路沿いにマンション化が進み、農地が著しく減少している、または都心から離れるに従い緑被が多くなる区は、日黒、世田谷、杉並、板橋、練馬、足立、葛飾となる。

リモートセンシングによる一つの解析方法での1984年から1988年への変化についての結果と各区の報告と比較すると、東京湾沿岸の埋め立て地で最近利用が進んだ部分、東京西北部(日黒、世田谷、杉並、渋谷)、足立区、葛飾区での緑被の減少がみられること、東京湾岸のほとんどの部分で緑被が増加している点は一致している。他方、リモートセンシングによる結果からは、多摩川、荒川、江戸川河畔部で緑被の増加がみられるが、各

第2表 緑被率と〈BRの値〉の回帰係数等

年	傾き	切片	相関係数
88	17.6	93.5	0.913
84	15.9	25.5	0.894
72	4.29	98.5	0.379

第3表 調査年相互のBRの値の回帰係数等

x	y	傾き	切片	相関係数
84年	88年	1.115	-0.8653	0.90
72年	84年	0.9831	0.2174	0.86
72年	88年	1.157	-3.291	0.81

区の報告では一部を除きこれについて特に記載はない。ただし、これら3河川の河畔における増加に関しては、その年の水位の増減により流域の草地が変化することも考慮して緑被の増減を判断する必要がある。また、皇居の一部、明治神宮の一部、板橋区北西部、練馬区北西部で緑被の増加がみられるが、これについても区による報告は述べていない。この不一致については、BRの値は樹木より草地において高い値を示すようなので、樹木から草地に変化した場合、緑被が増加したという結果となったことも考えられる。また、農地の作物の生育状況が、緑被の増減の結果に影響を与えることも考慮せねばならないであろう。特に23区周辺部(板橋区、練馬区)の地域に関するリモートセンシングの結果には、この影響も含まれている可能性が高いと考えられる。

さらに本研究で行った方法の妥当性を、各区の報告と照らし合わせてみることにより、ブロック単位毎の検討をしてみたい。本研究で使ったデータは、

期間A 1972(昭和47)→1984(昭和59)

期間B 1984(昭和59)→1988(昭和63)

期間C 1972(昭和47)→1988(昭和63)

である。第1表にまとめてあるように、このデータと完全に対応する時期の報告はない。しかしながら、約2～3年内の幅の中にある区が幾つかあるので、それらを上げると

期間A 1972～74年→1983～85年：港，文京，墨田，目黒\*，世田谷\*，杉並，豊島\*，江戸川

期間B 1983～85年→1986～88年：北\*

期間C 1972～74年→1986～88年：港，台東\*，杉並\*，北，葛飾

の各区である。

さらに、これらのうち\*印を付した区は、報告の内容から、経年変化に関する情報がある程度得られる区である。これらについて、ブロック単位で得られているリモートセンシングによる緑被率の変化の結果を検討した。解析方法Aでは、1972年の緑被率の推定の信頼性が低いいため、期間A、Cについての変化はみることができない。

期間Bについて解析方法Aでは、一般に緑被が増加しているブロックが多いという結果となった。しかしながら、細かくみると、北区の報告で増加

率が高いとされている地域が、本方法では減少している等の不一致もある。緑被の規模別分布が得られている目黒区について、解析方法Aで得られた1984年と1988年の緑被分布を検討すると、最小緑被面積が小さいほど、リモートセンシングの結果とよく一致する。つまり、解析方法Aでは緑被率の微小な増減を把握するために必要な精度は本研究の段階では得られなかったが、緑被分布の概要を捉えるには十分である。

また、解析方法Bによる期間A、B、Cについての結果は、この方法によりかなり正確に緑被変化の推定が可能であることを示している。

## 5. 結論及び今後の研究の課題と展望

既存の資料を参考にする限りでは、本研究の結果の妥当性の吟味は厳密にはできない。ただ、2つの解析方法によるいくつかの地域の経年変化の結果から、解析方法Aでは緑被率を推定するためのサンプル地点数が少ないと緑被率及びその経年変化の推定に誤差が大きくなることが明らかである。サンプル数が少ない場合、緑被率を推定する際、天候、季節などの条件のばらつきが問題となる。リモートセンシングデータ、グランドトゥールズデータいずれも、天候、季節などの条件が一致する時に取られることが最良であるが、実際にこのことを実現するのは不可能に近い。現実には、条件のばらついているサンプルを用いざるを得ないので、サンプル数が多いことが望ましい。ただし、解析方法Aは、緑被率そのものの推定を行った上で変化を算出するという基本的な方法である。したがって、今後サンプル数を大幅に増やし、さらに諸条件が十分に揃ったものだけを選択すれば、誤差も減少し、経年変化の推定精度も向上することが期待される。

なお、増減の様子を定性的にとらえるためには、解析方法Bが簡単で、ある程度正確なため適当であろうと思われる。

今回は出来なかったが、1ピクセル内の緑被状況の様子と、BRの値との関係を調べることにより、さらに詳しい考察が出来るのではないと思われる。たとえば、本論では対象としなかった23区外の山林地域のデータが示す緑被率の経年変化は、解析方法A・Bいずれでも増加になってしま

う。これらの地域の緑被率は、山林のためほとんど変化していない、むしろ減少の傾向にあると思われるにもかかわらず、本研究の結果は増えている。このことは、緑被率の高い緑被状況のBRの値の取扱いに際して低い緑被率に対するBRの関係を単純に外挿することができないことを示している。特に山林の場合は、地形の陰影の影響が大きい（古谷他，1988）ので、1ピクセル内の緑被状況とBRの関係等を改めて調べる必要があるとなろう。

従来の緑の実態調査は、単に地上を覆う緑であれば、すべて同じ緑であるとして取り扱ってきた。これからは、単なる緑が被う面積の総和で緑の状態を測るのではなく、緑そのものの状態までも取り込んだ調査が必要であろう。このためにも、リモートセンシングによる植生指数と実際の緑被の関係をさらに解明する研究が必要である。

## 参考文献

- 田代順孝（1988）：造園用語解説 緑被率（Greenery Occupancy Rate）. 造園雑誌，52（1），70～72
- 春田章博・井上忠佳（1989）：都市内の緑被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.
- 古谷勝則・建石隆太郎・石井弘（1988）：ランドサットMSSデータによる土地被覆分類. 造園雑誌，51（5），269～274.
- 本條毅・高倉直（1987）：ランドサットTMデータによる都市内緑地の抽出. 造園雑誌，50（5），305～309.
- 本條毅・高倉直（1989）：植生指数（Vegetation Index）を用いた都市における緑被率の推定. 造園雑誌，52（5），283～287.

Change of Greenery—Occupancy Rate in the Tokyo 23 Wards Determined by Remotely Sensed Data  
Tomoko HIGUCHI