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

横 張 真*
福 原 道 一*

Analysis of mixed land use in urban fringe using Landsat TM data

Makoto YOKOHARI
Michikazu FUKUHARA

摘要：本研究は、都市近郊を対象にランドサット TM データにより樹林地率とその混在度を求め、同地域での土地利用の混在状況を樹林地の分布特性により把握することを試みたものである。その結果、1) TM データにより実用上十分な精度で樹林地率やその混在度が把握でき、2) さらにそれらのマトリックスが土地利用混在の違いによる樹林地の分布特性の相違を表していること等がわかった。

はじめに

近年、都市近郊で進行した都市的土地利用と農村的土地利用の混在化は、下水道網の不備やそれに伴う農業用水の汚染など、都市、農村の両面において多くの問題を引き起こしてきた。しかし農村部の豊かな緑地は良好な居住環境の形成に寄与するものであるし、農地が消費地と近接することは農業経営にとっても有利な条件である。したがって都市近郊における合理的な土地利用は、都市的・農村的土地利用の混在の否定ではなく、適正な混在規模や混在形態の検討の上に立脚すべきものといえる。

都市近郊の各種土地利用項目のうち、こうした地域に残存した樹林地は、緑地のなかでも特に景観保全機能を高く持ち、良好な居住環境形成のための核的な存在である。また、樹林地は都市から農地への様々のインパクトの緩衝地帯として、安定した農業経営にも寄与するものである。したがって、とりわけ地域の居住・生産環境の保全を目的に土地利用の適正混在規模、形態を検討する際には、こうした樹林地の分布特性を通して土地利用の混在状況を把握することが有効である。

一方、地球探査衛星ランドサットからの画像データは、航空写真等の従来の画像データに比べデータの広域性、経時性、処理の容易性に優れ、地域の概括的状況を周期的に観測し、その経年的な変容を解析する場合にはきわめて有用な情報源である。また、一般にランドサットデータの赤外、近赤外のバンド（＝観測波長帯域）の観測値を比演算法により加工した値により、樹林地や田畑、草地等の緑被地は表せることが知られている¹⁾。さらにランドサット 5 号に加わった TM（セマティックマップ）

センサは地上解像度が約 $30m \times 30m$ に向上しており、近年では都市やその近郊での小規模な緑地の解析にも同データを利用すべく、研究が重ねられつつある²⁾。

本研究は、都市近郊の土地利用混在が進行しつつある地域での自然・居住環境の保全を目的とした土地利用の検討に資すべく、ランドサット TM データを用い、樹林地の分布特性を通じ土地利用の混在状況を把握することを試みたものである。

1. 樹林地率と樹林地率混在度

都市近郊での土地利用混在の進行が樹林地にもたらす影響は、その量的な減少ばかりではない。市街化等の蚕食的進行が樹林地を分断することによる樹林地個々の規模の減少や、樹林地相互間の距離の拡大等をも伴うものである。しかも樹林地は、個々の規模が減少したり、その一部が消失して相互間距離が拡大すると、構成種の多様性が低下して正常な遷移が行われず、生態的に不安定な状態になることが報告されている^{3) 4) 5) 6) 7)}。したがって、土地利用の混在状況を樹林地の分布特性から把握するためには、量的指標のみならず、その規模や配置を表

$$\begin{array}{c|c|c} A & B & A \\ \hline A & B & A \\ \hline B & A & A \end{array} \quad \begin{array}{c|c|c} A & A & A \\ \hline A & A & A \\ \hline B & B & B \end{array}$$

混在度 = 7 混在度 = 3

図一 混在度の算出法

* 農林水産省・農業環境技術研究所

表－1 樹林地率とその混在度のマトリックス

		樹林地率		
		低	中	高
樹林地率混在度	低	A	B	C
	中	D	E	F
	高	G	H	I

す指標を用いる必要がある。

ところで、ある単位を構成する各種要素の混在状況を表す手法のひとつに属性の異なる要素間の境界長の総和を求める方法がある⁵⁾。図－1はその算出方法を模式的に示したものである。図の左右の行列はともにAが6個、Bが3個から構成されているが、A・B間の境界長の総和は、A・Bが入り混じった左の行列では7、A・Bが二分した右の行列では3と異なり、左の行列の方がより混在度の高いものと判定される。

本研究ではこの手法を用い、ある土地単位内の樹林地の規模や配置を表す指標として樹林地率混在度を定義した。この値は、中心市街地や大規模な樹林地など地目の純化した地域では樹林地率もまた一定であることから低く、様々な地目が混在した地域では樹林地率もまた多様であると考えられるため高いものといえる。

さらに本研究では、樹林地の分布特性を樹林地率とその混在度を指標としたマトリックスにより、A～Iの9種に区分して表現した(表－1)。このマトリックス内の各区分の特徴を樹林地の生態的な特性との関連で解釈すれば、例えば樹林地率が高くその混在度も高い区分に属する地区は、混在化の進行による樹林地の細分化と、それに伴う生態的安定性の低下の危険が高い地区といえる。また、樹林地率が低くその混在度が高い区分に属する地区は、小規模な樹林地が地区内に点在している可能性が高い。こうした地区では、混在化の進行により樹林地が消失し、樹林地相互間の距離が拡大することに伴い生態的な隔離が起きる危険性が高いといえる。そして樹林地保全の観点からは、こうした樹林地のタイプの相違に応じた保全策を検討する必要がある。

表－2 トレーニングフィールドにおける樹林地率算出のための各比演算法によるランドサットデータとグランドトゥルースとの比較

比演算法	グランドトゥルースとの相関係数
TM4-TM3/TM4+TM3	0.78
TM4 / TM3	0.67
TM4-S×TM3*	0.65
TM5 / TM4	-0.50
TM5-TM4/TM5+TM4	-0.50

*：SはSOIL LINEの傾き(=0.84)
-336-

図－2 テストサイトとトレーニングフィールドA、B

2. 方 法

1) テストサイトとトレーニングフィールド

本研究では、事例対象地域としてのテストサイト中に、ランドサットデータに基づく解析値を検定する地区として2ヶ所のトレーニングフィールドを設定した。図－2はこれらの位置を示したものである。

テストサイトは千葉県柏市と流山市を中心とした地域(約5.1 km×5.1 km：画素数180×180)である。本地域のはぼ中心部を走る東武鉄道野田線沿線は、最近約10年間に急速に市街化が進行した地域である。樹林の大半はアカマツの二次林であり、竹林やクリ・コナラ等の落葉樹林も存在するもののわずかである。

トレーニングフィールドにはA、Bの2ヶ所(ともに約1.4 km×1.4 km：画素数50×50)を選定した。フィールドAは流山市初石地区で、地区の南部を中心にかなりの樹林地の残存がみられる一方、北部の大半は住宅地であり、土地利用が比較的明瞭に分かれた地区といえる。フィールドBは柏市庚塚地区で、フィールドAとは対象的に各種土地利用の混在度が高い。このため樹林地は全般に小規模で、その分布量もフィールドAに比べ少ない。

2) ランドサットデータと画像処理

解析に用いたランドサットデータは、冬期データである1985年1月23日観測のTMデータ(パスロウ107-35)である。冬期には田畑や草地在裸地化し常緑樹を主とした樹林地だけが緑被地として残っていると解析した。

最適な比演算法の選択にあたっては、まず代表的な7種の地目毎の反射特性を全7バンドについて求め、その結果から表－2

の5種の比演算法を選び、トレーニングフィールドA、B内で、それぞれの算出結果と後述するグランドトゥルースの結果との相関係数を比較検討した。その結果、最適比演算法として $TM4 - TM3 / TM4 + TM3$ が選択された。さらに、比演算法で求めた値の大小がそのまま樹林地率の高低を表すものとし、後述するグランドトゥルースの結果にいわせ、0～25の26段階に変換した値を樹林地率とその混在度を算出する共通の基礎データとした。以後、樹林地率とその混在度の算出に至るデータの加工過程は図-3に示すとおりである。解析は1画素(28.6m×28.6mに相当)を単位とし、最後に樹林地率とその混在度を算出する段階で当該画素を中心とした9画素(3×3)を解析単位とした。

解析は、中型の汎用コンピュータ(FACOM M-310)により、磁気テープに納められたランドサットデータの必要部分をフロッピーディスクに吸い上げた後、主にパーソナルコンピュータ(NEC PC-98VX)を用いて行った。

3) グランドトゥルース

ランドサットデータから得られる樹林地率およびその混在度を検定するグランドトゥルースのデータとしては、1984年10月31日撮影の1/10,000カラー航空写真を用いた。これを約3倍に引き伸ばし、トレーニングフィールドおよびその解析単位をランドサットデータに位置を合わせて設定し、その1画素に相当するメッシュ毎に、樹林地の分布量を点格子版により0～25の26段階に読み取った。

図-3 ランドサットTMデータの加工過程

A

```

H F C C F D G D A A H H G A A G G A A D E A D H
H I C C H G D A A D H G D A A A D A A G A A A D
I I I I G A A A A D G D A D A A A D H G A A A D
H H H D D E H D D A A A D G D A A D H D D A A D
H H H G G I I E A A A D G H H A A D E E A D G A
I D G H H I H H D A G A G D H A A A D G G H D A
I I G D H B F E G G H D D A A D D D A H G D A A
H E H G G E H H E H H G A A E H H G D D A D D
G G G H A D D E E H G D D D H E G D D G H H H
H H D G D G D H H D D H I H D D D D D D H H G
H G D D G A A D E H D H H G D D G G D D A D E
G H H D D G D E H H H H G G H G G D A A D H H
H I H G G H H E H I F I I E D D E D D E D D H H
D E E H I F E H E H F F F F E G G H H E E H I I
H F E F F F E G D F C C I H H H H H F I I F I
H I I I I H H H D H H I F I H H H H H F F F F
E H F I F H I I H G G H I H H G I I E H H H F F
A H F H H D H I F H G D H H H H I I E H E F F
D G H H A G H C F H A A H I I I F I F H G H H
H D D G D D E I H G E D I C C C F F F H A A A
F I H H D A H F H H H G I I I F C F F I E D E E
F C I H A D I C F I H D E H H H H F F I H H I H
I C H G G I C C F H E D H I E E H F F F I H G
E F I H G H F C F H E H I H E E H F C C F H D H
  
```

B

```

E E H A A A D G D G H H G A A A A A A D D A A
D H H D A A D H D D G I I E D A A A A A D D G D
D D G G D A D H E H H I I G D A A D G G G B H
D H H H G G H H H H H H H H D D A D G G H H H
E H I I I H D H G H H H D G H E H H H G D G
E F I I C H D E H D G H G D H F E H I H G D A D
E F C C F H D D D D H H H H H D D G D D E D A
H I I I I H D D A D H I H H H A A A A E H H G
H I H D H A D G A D H I E I F D A A A A D H G E
H H H D A G D A G A D H H I D D G A A G G H E
H H H D D H D D H H G H A E H D A A A A A D H H
I H E D H H H I H G G D D H D A A A A A D I F
I D A A H H A D D D G H H E I E A A A A A D H F
H H D A A D D D A D H D D H E D A A A A A D D
D D H D A A D D A D D G D H H H A D D E D G
F E A A A A A A A A A A A D A H I H D D E E D D
C I A A A A D I H H H H E D A E H H D H H H
H H D A A A E F F I F F F H G H A D H I I E E
D H H H H A H F C C C C I G H H D A H H G H E
A H H F H A H F F C C C C I G D H D A H H A D D
G D D E E D H H H C I H I H E A D A D H F F H A
H D D D A H H A H F E H G H H D A D H C C I D
D D H E A A H H I H D E H I H D H D H F C F E
D G H E A H I I F H I H G D H H H I H I F F F D
  
```

樹林地率混在度	樹林地率		
	0, 1	2, 3	4, 5
0	A	B	C
1	D	E	F
2, 3	G	H	J

図-4 トレーニングフィールドA、Bにおける樹林地分布(1ピクセル毎に間引いて表示)

4) 樹林地率とその混在度

樹林地率は、比演算法で求めた値を26段階に変換したものをさらに0～5の6段階に変換し、周囲8画素とそれ自身の計9画素(約90m×90m)の平均値を当該画素の値とした。混在度は既述のとおり樹林地率の異なる2画素間の一辺の境界長を1とし、それ自身を中心とした9画素毎の合計値を0～3に変換したものを当該画素の値とした。

3. 結果・考察

1) 樹林地率とその混在度

ランドサット、グランドトゥールース両データによる樹林地率の相関係数は、値を9画素単位、6段階で求めた時に約0.87であった。

また、トレーニングフィールド内の全画素の約96%で両データの差が1以内であった。この結果はランドサットデータによる樹林地率が航空写真による実測値とずれることが極めてわずかであることを示している。植生調査における被度の判定が6段階中1段階のずれを許容していることを考えれば、植生の概括的な現存量の示標として、この精度は十分なものといえよう。

また、樹林地率混在度も、グランドトゥールースに基づいて算出された混在度との差が全画素の約95%で1以内にあり、樹林地率同様その精度は許容範囲にある。

2) 樹林地の分布特性

図-4は、トレーニングフィールドA、Bでの解析結果を表-1のマトリックスに従って9種に分類したものである。

フィールドAでは、南部ほど樹林地率の高い区分(F, I)が、北部へ行くほど樹林地率の低い区分(A, D)が多く分布しており、樹林地の分布量に関する当地区の特徴が良く表れている。また南部でも樹林地率混在度の低い区分(C)に比べ混在度が高い区分(F, I, H)が多いことは、樹林地率が比較的高いものの個々の規模はさほど大きくないことを表しているといえる。

フィールドBでは、南部に樹林地率が高く、その混在度が低い区分(C)が集中した箇所がみられ、規模の大きな樹林地が残存していることがわかる。しかしフィールド全般にわたって樹林地率が中程度でその混在度が高い区分(H)や、樹林地率とその混在度がともに低い区分(A, D)が多く、小規模な樹林地がフィールド内に点在していることが読み取れる。

図-5はテストサイトの全画素を表-1のマトリックスに従い9種に分類し、樹林地率の高い区分C(●), F(○), I(▲), および樹林地率混在度の高い区分H(△), G(×)の計5区分の分布を表示したものである。鉄道や幹線道路から比較的に遠いサイト南西部に樹

表-3 テストエリア内ピクセルの樹林地率とその混在度のマトリックス中での分布

		樹林地率			計	
		0, 1	2, 3	4, 5		
樹林地率混在度	0	A 5600	B 105	C 841	6546	
	1	D 6733	E 2135	F 2250	11118	
	2, 3	G 2668	H 8439	I 2913	14020	
	計	15001	10675	6004	31684	

林地率の高い区分C(●), F(○), I(▲)が多く、柏市の中心部であるサイト東部に行くに従い、より樹林地率の低い区分H(△)やG(×)が増えている。即ち、中心市街地に近づくほど樹林地率が低くなることがわかる。また、樹林地率混在度の低い区分Cが地区-1に集中して見られるものの、樹林地率の高いサイト南西部でも、より混在度の高い区分F(○), I(▲)が大半を占めており、小規模な樹林地が多いことが読み取れる。

一方、表-3は表-1の各区分に含まれる画素の数をテストサイトの全画素について表したものである。樹林地率が中程度(2, 3)の画素数は10,675個あり、その8割以上の8,439個が樹林地率混在度の高い区分(=H)に含まれていることが特徴的である。

土地利用混在の進行に伴い樹林地が減少していく際の様々の段階が、中心市街地からの距離等の樹林地の立地条件の差に従って本地域内に各種存在すると考えられること、さらに、上記の特徴を考え合わせると、土地利用混在の進行に伴う樹林地の減少は、以下の過程として理解することができよう。即ち、樹林地は被覆率が高くその混在度が低い状態から、混在度が高い状態を経て、被覆率とその混在度がともに低い状態へ遷移していくというものである。表-1では、この過程はC→F→I→H→G→D→Aと表現される。

図-4において、1は樹林地率が高くその混在度が低い区分C(●)の多く分布した地区である。2は、より混在度の高い区分I(▲), H(△)の多い地区、3は樹林地率もその混在度も低い区分H(△), G(×)が散在する地区である。上記の仮定に従えば、地区-1のような規模の大きな樹林地が残存した地区は、樹林地の蚕食的減少とともに、地区-2を経由して地区-3へと遷移すると考えられる。

もっとも、こうした遷移過程の検証には、複数の年次にわたる解析の結果を比較検討する必要がある、今後

残された大きな課題である。

3) 分布特性に基づく樹林地保全策の検討

以上の解析結果から、その分布特性と遷移過程に対応した樹林地の保全策は以下のように検討されよう。

(a) 樹林地率混在度が低い場合

樹林地率が高い場合(図-4の区分C, F) :

面積の大きな樹林地が存在する可能性が高い。生態的安定性も高く、野生生物の生息空間として、あるいは他の樹林地への種子の供給源として高い機能を有することが期待される。しかしこうした機能は、混在化

樹林地率混在度	樹林地率				
	0, 1	2, 3	4, 5		
	0	A	B		C
			●		
	1	D	E		F
			○		
2, 3	G	H	I		
	×	△	▲		

- 1 - 樹林地率が非常に高く、その混在度が低い地区
- 2 - 樹林地率がやや高く、その混在度も高い地区
- 3 - 樹林地率が低く、その混在度が高い地区

図-5 テストサイトにおける樹林地分布 (1ピクセル毎に間引いて表示)

の進行に伴い樹林地が細分化されることで低下する恐れがある。動物の移動、種子散布の経路を遮断しないよう樹林地の連続性を考慮した保全策を構ずる必要がある。

樹林地率が低い場合（図－4の区分A、D）：

地区全体の分布量が極めて少ないため、個々の樹林地が生態的に隔離され、その安定性が低い可能性が高い。樹林地相互の生態的関連を保障し、また居住快適性を高めるためにも、残存した樹林地を保全するばかりでなく、新たな樹林地を確保することが必要である。

（b）樹林地率混在度が高い場合

樹林地率が高い場合（図－4の区分I）：

混在化の進行に伴う樹林地率の低下が予想される。連続性の高い樹林地の確保を中心に、他の樹林地への種子の供給源としての機能等を保障する保全策が検討される必要がある。

樹林地率が低い場合（図－4の区分G、H）：

小規模な樹林地が地区内に分散し、それが次々に消失することにより地区の樹林地率がさらに低下していく可能性が高い。樹林地の消失は、居住環境としての質の低下をもたらす、また樹林地相互間の距離の拡大による生態的隔離の危険性を伴うものである。個々の樹林地の保全の必要性を、周囲の景観や他の樹林地との関連等を考慮しつつ検討する必要がある。

ま と め

本研究は、都市近郊の、土地利用混在が進行しつつある地域での自然・居住環境の保全を目的とした土地利用の検討に資するべく、ランドサットTMデータにより樹林地率とその混在度を求め、土地利用の混在状況を表す指標のひとつとしての樹林地の分布特性を、これらのマトリックスにより把握することを提示し、以下の結果を得た。

1) 比演算法（ $TM4 - TM3 / TM4 + TM3$ ）により9画素単位6段階で樹林地率を求め、実測値との相関が平均0.87、全体の約96%の画素で判読誤差が1ランク以内であった。

Summary : To conserve coppices are extremely important for amenities in the urban fringe.

In this study, we attempted to analyze mixed land use in the urban fringe by distribution characteristics of coppices, which are represented by coppice coverage ratio and its mixture rate given by Landsat TM data.

Results are summarized as follows,

1) The degree of accuracy of Landsat TM data, analyzed by ratioing technique, are sufficient for practical use both in coppice coverage ratio and its mixture rate.

2) The matrix of coppice coverage ratio and its mixture rate are expected to show transitions of mixed land use which are caused by the destruction of coppices mostly because of urbanization.

2) 樹林地率とその混在度のマトリックスにより、土地利用混在の違いによる樹林地の分布特性の相違が促えられた。さらに、その生態的特徴や居住環境に及ぼす影響、および分布特性の遷移過程を考慮することで、それぞれに応じた樹林地保全策が検討された。

今後の課題としては、樹林地の分布特性の変容過程に対する本研究での仮説を明らかにすることがある。そのためには、本研究と同様の手法により複数年次のデータを解析する必要がある。

引 用 文 献

- 1) 浜端悦治（1980）：都市化に伴う武蔵野平地部二次林の草本層、種組成の変化、日生態会誌, no. 30, pp. 347 - 358
- 2) 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, 造園雑誌研究発表論文集, vol. 50 no. 5, pp. 305 - 309
- 3) Hooper, M. D. (1971): The size and surroundings of nature reserves, The scientific management of animal and plant communities for conservation, Duffy, E., Watt, A. S., Eds., Blackwell, Oxford, pp. 555 - 561
- 4) Peterson, D. L., et. al., (1986) Analysis of forest structure using thematic mapper simulator data, IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, vol. GE-24, no. 1, pp. 113 - 121
- 5) (社) 地域社会計画センター（1984）：今後の国土利用における都市的土地利用と農林業的土地利用の共存のあり方に関する調査報告書, pp. 40 - 52
- 6) 山岡景行 守山弘, 重松孟（1975）：都市における緑の創造・第1報, 東洋大学紀要教養過程篇（自然科学）, pp. 11 - 30
- 7) 山岡景行, 守山弘, 重松孟（1977）：都市における緑の創造・第2報, 東洋大学紀要教養過程篇（自然科学）, pp. 17 - 33