

# 都市域リモートセンシングデータの ピクセル分割アルゴリズム

出 原 至 道

## Pixel Dividing Algorithm for Urban Remote Sensing Data

Norimichi Idehara

本研究の目的は、土地被覆分類の事前処理として、複数の土地被覆が混在するピクセルをサブピクセルに分割し、画像の解像度を疑似的に上げて、土地被覆が混在するピクセルの割合を減少させるアルゴリズムの提案にある。

リモートセンシングデータは、都市域の土地被覆の大きさに比較して解像度が低いため、一つのピクセルを一つの土地被覆に分類することは難しい。本研究で提案された手法は、与えられたデータと矛盾することなくこのようなピクセルをサブピクセルに分割する。これらのサブピクセルは、もとのピクセルに比べて、よりピュアな土地被覆スペクトルに接近するため、土地被覆分類の精度が向上すると考えられる。

The purpose of this study is to offer a pre-classification processing algorithm to divide the pixel of mixed land-uses into several sub-pixels, so that the image has virtually higher resolution and less mixed pixel.

As remote sensing data has low resolution compared to the land use size in urban area, it is hard to classify each pixel to one land use. I have proposed a method for dividing mixed pixels into several sub-pixels without contradicting with given data. Those sub-pixels are closer to the "pure" land use spectrum, thus more distinct than the original pixel.

リモートセンシング・土地利用・画像処理  
Remote sensing, Land use, Image processing

(原稿受領日 1999. 10. 27)

### はじめに

都市域におけるリモートセンシングデータの利用の際、その解像度が低いために、一つのピクセル中に複数の土地利用が混在することは避けられない。このことから、一般に用いられる分類手法である教師付き最尤法やクラスタ分析は有効ではないことが示されている<sup>(1)(2)</sup>。したがって、都市域の土地被覆推定では、各ピクセルがいくつかの土地被覆カテゴリーの混合であるという前提に基づき、その混合割合を推定す

る手法を検討する必要がある。この混合割合の代表的なものとして、緑被率については各種の指標が提案されている<sup>(3)(4)</sup>が、その相関は、緑被以外の土地被覆の状態に左右される。

本研究では、図1に示すとおり、都市域のリモートセンシングデータについて、元のデータを損なわない条件の下で、事前処理として各ピクセルをより小さいサブピクセルに分割する手法を提案し、この手法により、ミクセルのスペクトルが、ピュアスペクトルに近づくことを示した。

## 本研究の特色

従来の研究は、都市域のリモートセンシングデータがミクセルであることを前提に、各カテゴリーのピクセル内に占める割合を算出するものである。

実際にこの手法を実装すると、次のような可能性に気づく。

1. 各ミクセル内の土地被覆の種類が限定できる場合がある
2. 各ミクセル内の土地被覆の分布が推定できる場合がある

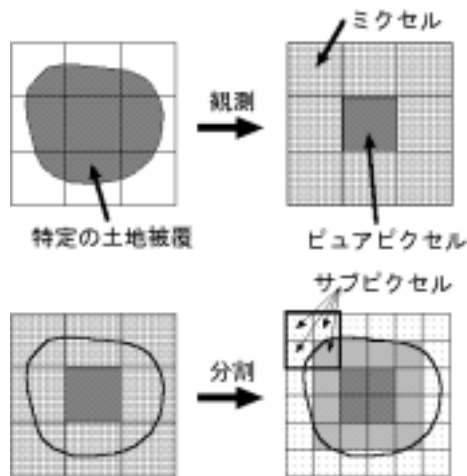


図1 ミクセル分割の概念

たとえば、緑地周辺に幹線道路が走る場合、「緑地のピュアピクセル - ミクセル - 道路のピュアピクセル」という分布が見られることがあるが、このミクセル内の被覆については、その種類が緑地と舗装道路であり、それぞれが周辺の土地被覆に連続するように分布していることが推定できる。

一方で、ミクセル内カテゴリー割合の算出時に最も問題となるピクセルは、ミクセルの中でも特に、各ピュアピクセルのスペクトルから同程度に離れたスペクトルを示す「あいまいな」ピクセルである。このようなピクセルに対しては、カテゴリーの種類に対して制約条件が少ないこ

とから、解の自由度が高く、推定誤差が高くなる傾向がある。

本研究の立脚点は、このような観点から、与えられたピクセル内の被覆分布を周辺のピクセルの分布から推定するところにある。ミクセル内カテゴリー割合の算出課程において、与えられたミクセルを複数のより小さなピクセル（サブピクセル）に分割することにより、解像度が疑似的に上がり、各サブピクセルのスペクトルがピュアピクセルのスペクトルに近づく。ミクセルの中で特に問題になる「あいまいな」ピクセルの割合が減少することで、土地被覆割合の推定精度が向上することが期待できる。

一般の画像処理では、このような目的で Decomposition や MEM などの超解像法が用いられるが、これらの処理では、処理前後でのデータの整合性が保証されない。本研究では、ミクセル内を解像することが目的ではなく、土地被覆解析の前処理として元の情報に矛盾しない範囲で、より分析しやすい情報を取り出すことを目的としている。

## 実装

### 3.1 仮定・条件

本研究のピクセル分割は、ピクセル内の物理的な土地被覆分布の位置情報を算出することが目的ではなく、ミクセル内被覆割合の推定精度の向上を目指すものである。

まず、土地被覆に関して、ミクセル内の土地被覆が、隣接する土地被覆に連続することを仮定する。このことは、たとえば緑地のスペクトルと道路のスペクトルを持つピクセルに挟まれたミクセルが存在したとき、そのミクセル内を、緑地側に緑地のスペクトルを持つサブピクセルに、道路側に道路のスペクトルを持つサブピクセルに分割することを意味する。

また、あるピクセルのスペクトル $X$ に対し、そのサブピクセルのスペクトル $x_i$ について、次の条件を設けた。

$$X = \frac{1}{n} \sum_i^n x_i \quad (1)$$

すなわち、サブピクセル画像から算術平均による低分解能画像を作成すると、もとの画像に戻る。これは、分割後のスペクトルによって算出された各土地被覆割合が実際に存在したときに、与えられたデータと整合性を失わないための条件である。

今回は、ピクセルの分割数は、1つのピクセルを4つのサブピクセルに分割することにした。分割数については、詳細な検討は行われていない。この分割を繰り返すことにより、任意の $2^n$ 倍の解像度の画像を得ることができる。

## 3.2 アルゴリズム

分割目標ピクセル $x_{22}$ を、周辺のピクセルの分布によって4分割する。

$$X_{22} = \begin{array}{|c|c|} \hline x_{11} & x_{12} \\ \hline x_{21} & x_{22} \\ \hline \end{array}$$

各サブピクセルは、周辺ピクセルのスペクトルに応じて次のように算出される。

$$S = \sum_{i,j=1}^3 X_{ij} \text{ として}$$

$$x_{11}=x_{22} \cdot \frac{4}{5} \left( x_{11} + \frac{1}{2} (x_{12} + x_{21}) + \frac{1}{4} x_{22} \right) \quad (2)$$

$$x_{12}=X_{22} \cdot \frac{4}{S} \left( X_{13} + \frac{1}{2} (X_{12} + X_{23}) + \frac{1}{4} X_{22} \right) \quad (3)$$

$$x_{21}=x_{22} \cdot \frac{4}{5} \left( x_{31} + \frac{1}{2} (x_{21} + x_{32}) + \frac{1}{4} x_{22} \right) \quad (4)$$

$$x_{22}=X_{22} \cdot \frac{4}{S} \left( X_{33} + \frac{1}{2} (X_{32} + X_{23}) + \frac{1}{4} X_{22} \right) \quad (5)$$

各ピクセルについての重みづけ係数は、図2に示すとおり、隣接ピクセル  $X_b$  に対して1/2、サブピクセル  $x$  方向の2次隣接ピクセル  $X_a$  に対して1、分割対象ピクセル  $X_c$  に対して1/4とした。

式1が成立することは、式2)~(5)の各辺の算術平均をとることで容易に確認できる。すなわち、この分割によって、本来のスペクトルの情報は変化していない。

### 3.3 実行結果

航空写真<sup>(5)</sup>をスキャンした画像ファイルを用  
に、算術平均法による低解像度画像を作成し、こ  
れを本手法によって分割復元した。対象地域に  
は、多摩市・多摩センター駅南周辺を使用した。  
2回・4回の反復分割による復元の様子を、図  
3に示す。

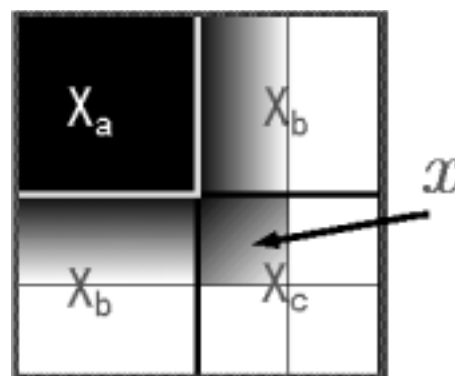


図2 サブピクセルへの重みづけ

Pixel	Sub-Pixel
41.2	55.1

表1 ピクセルとサブピクセルの分散

図3に見るように、低解像度画像から、疑似的な高解像度画像が作成されている。

## 評 価

### 4.1 サブピクセルの分布

本手法によって得られるサブピクセルのスペクトルを、マルチスペクトル平面上にプロットすることで、元のピクセルのスペクトルとの関係を考察した。使用したデータは、1994/8/28の多摩市周辺ランドサット画像である。この実データと、分割によって得られたサブピクセルのスペクトルデータを、頻繁に NVI 指標に用いられる LANDSAT / TM Band 5 と Band 7 を対象として 2 次元平面に描いた。

図 4 に示すように、この変換によって生成されたサブピクセルは、元のピクセルに対して、よりピュアピクセルに接近したスペクトルを与えている。また、その分散は、表 1 に示すとおり、サブピクセルのほうが大きく、「あいまいな」ピクセルの割合が減少している。

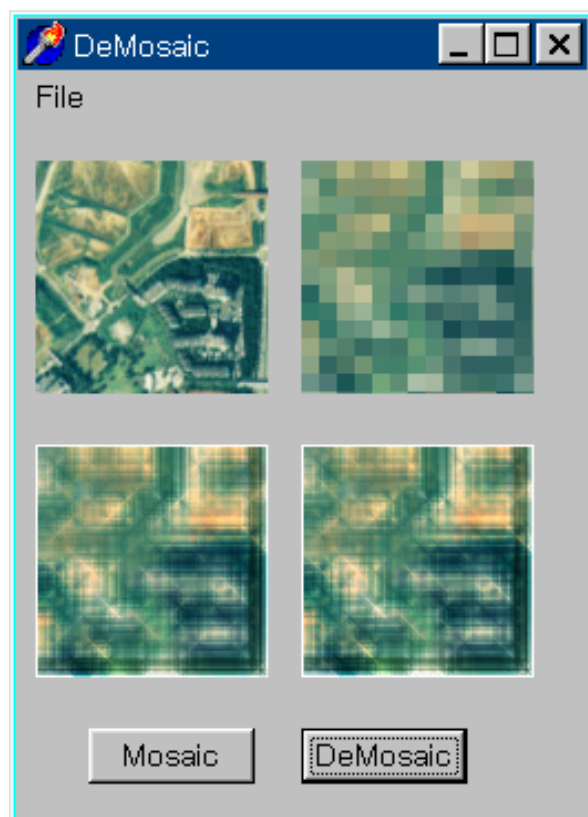


図 3 実行結果（左上：原画像・右上 8 × 8 モザイク・左下：16 分割復元・右下：64 分割復元）

「あいまいな」ピクセルの減少が見られることから、この処理は、ミクセル内のカテゴリー分解の前処理として有効である。

### 4.2 緑被率推定

最も単純な緑被率指標として  $B_7/B_5$  を使用し、処理前後のデータについてこの指標がどのように変化するかを考察する。

図 5 に見るとおり、特に、処理前のデータによる緑被率指標で中間的な値を与えていたピクセルについて、この処理の結果、分散が大きくなっている。一方、もともと指標値が顕著に高い、または低いピクセルに対しては、処理前後での指標値の変化は相対的に小さい。

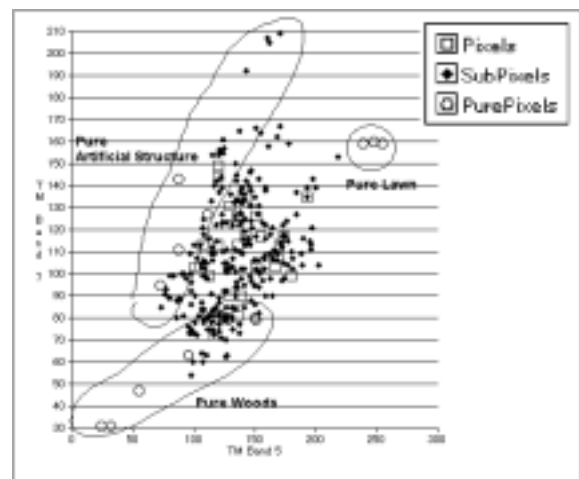


図 4 Band 5-Band 7 平面上のピクセルとサブピクセルの分布

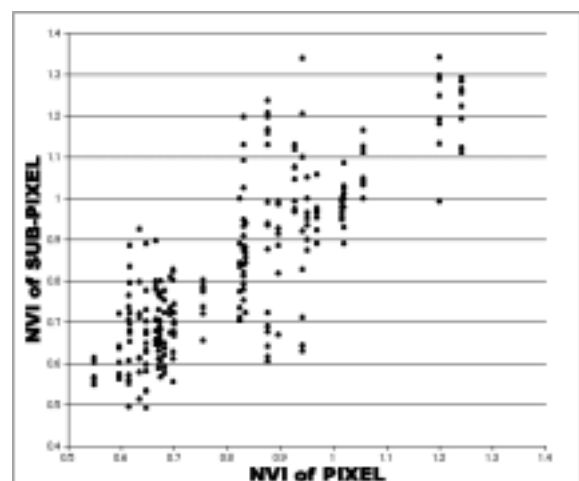


図 5 ピクセル - サブピクセルの緑被率指標

これは、この手法が、「あいまいな」ピクセルに対して選択的に推定精度を改善していることを示している。これは、手法の定義式(2)~(5)において、 $X$  が全て等しいとき、 $x_{ij} = X_{ij}$  となり、処理前後でスペクトルが変化しないことから理解することができる。

## 結 論

都市域の土地利用の連続性を仮定し、周辺ピクセルの情報を用いてミクセルを分割する手法を示した。この手法について、以下の知見を得た。

1. 算術平均で処理前に戻すことができる可逆処理であるため、情報は失われていない
2. この処理によって、各ピクセルがピュアスペクトルに近づく
3. 特に、ミクセルに対して選択的に作用する

以上の点から、この手法は、都市域土地被覆推定の前処理として、有効である。

## おわりに

この手法は、その原理から、ピュアスペクトル周辺のミクセルに対して強く作用してピュアスペクトル方向に誘導するため、この部分で土地被覆推定の精度を向上させることができると考えられる。現在、実際の緑被率をグランドトゥールズとして、推定精度への影響を調査中である。

また、この手法は、各ピクセル内のサブピクセル間に、周辺ピクセルの縮小されたパターンが出現することを期待していることから、データ相互の間に、単純な縮小によるフラクタル性が存在することを期待しているとも考えることができる。

このようにとらえると、本論文では単純に1/2の縮小のみを考えているが、フラクタル圧縮などの画像処理アルゴリズム<sup>(6)</sup>によれば、回転・折り返しなども考慮すべきであり、縮小率の検討とあわせて、元データとの整合性を損わない範囲でこの考え方を導入することを検討している。

この分割によって得られる画像には、縦・横・斜め45度方向に、強い方向依存性が見られるが、これも、回転を考慮したフラクタル性の評価によって改善される可能性がある。

## 文 献

- (1) 児島利治、宝 馨「リモートセンシング画像の空間分解能と土地被覆分類精度の関係」  
日本リモートセンシング学会誌 16(1996)
- (2) 梅干野晃、小松義典「リモートセンシングデータの空間分解能と住宅地の土地被覆分類結果との関係」  
日本建築学会計画系論文報告集 394(1988)
- (3) 尹 敦奎、梅干野 晃「都市域における画素内緑被率推定のための指標」  
日本リモートセンシング学会誌 18-3(1998)
- (4) 出原 至道「主成分軸を用いたリモートセンシングデータからの代表点の自動抽出法」  
日本建築学会情報システム利用技術シンポジウム 1-8(1997)
- (5) 「航空写真集 空から東京 多摩」  
西武新聞社(1993)
- (6) R. E. Crandall (水谷 正大・森 真 訳)「サイエンス・プログラミング シュプリング・フェアラー ク東京(1998)

### プロフィール

1967 年 岡山に生まれる  
1997 年 東京大学工学系研究所  
都市工学専攻博士課程終了 工博  
1997 年 多摩大学経営情報学部助教授  
日本建築学会・日本リモートセンシング学会