

ランドサットデータのテクスチャ解析による地表分類

岡山大学

岡山大学

高知県建設技術公社

正員 森 忠次

正員 服部 進

正員 依田 隆

1. まえがき

空中写真測量から自動図化を行っていくには、その前処理として画像を山地、都市、平地などの地域特性にたいしたカテゴリーに区別しておくのが望ましい。その方法の一つに画像のテクスチャを用いる方法が考えられる。濃度値の空間分布(テクスチャ)情報を得るため、Haralickは濃度空間依存行列を定義し、これに基づいた各種のテクスチャ特性を提示した³⁾。本研究では濃度空間依存行列の有用性を調べ、各種のテクスチャ特性を用いて白黒化したランドサットデータと海、山地、都市、平地の4つに分類した。分類には2次判別関数を用いた¹⁾。

2. 濃度空間依存行列

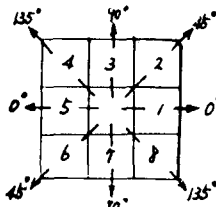
解析される画像は四角形で水平方向に n_x 画素、鉛直方向に n_y 画素の大きさで決定する。また、各画素の濃度値は0~ N_g-1 までの段階に量子化されているとする。濃度空間依存行列は、画素と画素の距離 D と角度 α をパラメーターとして定義される。画像の行列座標系で (i, l) の画素と (m, n) の画素の距離 D は

$$D = \max\{|i-m|, |l-n|\}$$

$$(i, m = 1, 2, \dots, n_x; l, n = 1, 2, \dots, n_y)$$

で定義される。図1は任意の画素とその周りの8つの画素を示し、矢印はその任意の画素に対する角度を示している。ここで、角度 α は $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ の4つを使用する。図2は上述で決定した画像の一般的濃度空間依存行列である。行列の要素 P_{ij} は濃度値 i であるすべての画素に対して角度 α 、距離 D の位置に濃度値 j の画素が存在する頻度数を示している。この行列の特徴は左対角要素に対して対称であり、左対角要素は偶数である。Haralickは、この濃度空間依存行列にすべてのテクスチャ情報が含まれると仮定し、この行列の特徴を記述する「テクスチャ特性」を考えた(表1)。ただし、行列の各要素は画像の大きさが異なってもよいように、各要素をすべての要素の和で割ることにより、頻度数から相対頻度に変換している。これを正規化と呼ぶ。

3. 実験

図1 任意の画素に対する角度 α

$$P_{(D, \alpha)} = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} & \dots & P_{0j} & \dots & P_{0(N_g-1)} \\ P_{10} & P_{11} & & & & \\ \vdots & & & & & \\ P_{j0} & \dots & P_{jj} & \dots & & \\ \vdots & & & & & \\ P_{(N_g-1)0} & \dots & \dots & \dots & \dots & P_{(N_g-1)(N_g-1)} \end{pmatrix}$$

$$(i, j = 0, 1, \dots, N_g - 1)$$

図2 一般的濃度空間依存行列

表1 各種のテクスチャ特性の測定¹⁾

1) Angular Second Moment:

$$f_1 = \sum_i \sum_j (P(i, j))^2$$

2) Contrast:

$$f_2 = \sum_{i=1}^{N_g-1} i^2 \left\{ \sum_{j=1}^{N_g-1} \sum_{l=1}^{N_g-1} P(i, j) \right\}$$

3) Correlation:

$$f_3 = \frac{\sum_i \sum_j (ij)P(i, j) - \mu_i \mu_j}{\sigma_i \sigma_j}$$

但し、 $\mu_i, \mu_j, \sigma_i, \sigma_j$ はそれぞれ $P_{i \times j}$ の平均と標準偏差

4) Sum of Squares: Variance

$$f_4 = \sum_i \sum_j (i - \mu)^2 P(i, j)$$

5) Inverse Difference Moment:

$$f_5 = \sum_i \sum_j \frac{1}{1 + (i - j)^2} P(i, j)$$

6) Sum Average:

$$f_6 = \sum_{i=1}^{N_g} i P_{i+i}(i)$$

7) Sum Variance:

$$f_7 = \sum_{i=1}^{N_g} (i - f_6)^2 P_{i+i}(i)$$

8) Sum Entropy:²⁾

$$f_8 = - \sum_{i=1}^{N_g} P_{i+i}(i) \log \{P_{i+i}(i)\}$$

9) Entropy:

$$f_9 = - \sum_i \sum_j P(i, j) \log \{P(i, j)\}$$

10) Difference Variance:

$$f_{10} = \text{variance of } p_{x-y}$$

11) Difference Entropy:

$$f_{11} = - \sum_{i=0}^{N_g-1} p_{x-y}(i) \log \{p_{x-y}(i)\}$$

12), 13) Information Measures of Correlation:

$$f_{12} = \frac{HXY - HXY1}{\max\{HX, HY\}}$$

$$f_{13} = (1 - \exp[-2\alpha(HXY2 - HXY)])^{1/2}$$

$$HXY = - \sum_i \sum_j P(i, j) \log \{P(i, j)\}$$

但し、 HX と HY は P_x と P_y のエントロピー

$$HXY1 = - \sum_i \sum_j P(i, j) \log \{P_x(i)P_y(j)\}$$

$$HXY2 = - \sum_i \sum_j P_x(i)P_y(j) \log \{P_x(i)P_y(j)\}$$

$$P_x(i) = \sum_{j=1}^{N_g} P(i, j), P_y(j) = \sum_{i=1}^{N_g} P(i, j)$$

$$P_{x+y}(n) = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} P(i, j), P_{x-y}(n) = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} P(i, j)$$

$$i+j=n, i-j=n$$

$P(i, j)$ は濃度空間依存行列

ランドサットデータから岡山市周辺の領域(512×512画素)を取り出し、それを白黒化したデータ(図3)から海、山地、都市、平地の4つのカテゴリーに分類することにした。この4つのカテゴリーのそれぞれに対して、40個ずつの標本領域を取り出し、半分の20個は2次判別係点を求めるための指示標本とし、残りの20個は実際に2次判別を適用させる検証標本とした。ここで、領域は10×10画素とした。1つの標本につき0°, 45°, 90°, 135°の距離1の正規化した濃度空間依存行列を求め、この4つの行列から各種のテクスチャ特性を示す測度を抽出した。山地だけは名の通り具合によって方向性があり、問題は残るが簡便のために4つを平均し、この平均をその標本に対する各種のテクスチャ特性とした。この操作をすべての標本に対して行った。図4は指示標本における各種のテクスチャ特性の測度の平均と標準偏差を示している。 f_1, f_2, f_3, f_4 は分布の重なる部分が大きいのので、これらの測度を判別に用いると効率が悪い。そこで、これらの4個を除いた9個の測度から最も効率よく判別できる測度を次のように選出した。まず、海の分布は他の分布とよく離れているので、これを用いて判別できる。そこで、山地と都市、都市と平地、平地と山地を最も効率よく判別する測度を1つずつ選出すことにした。分布が離れているほど効率がいから、基準正規変数Z

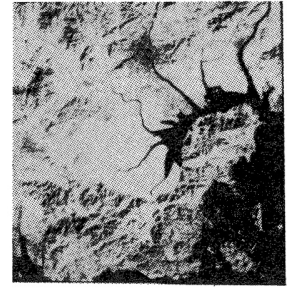


図3 ランドサットデータ

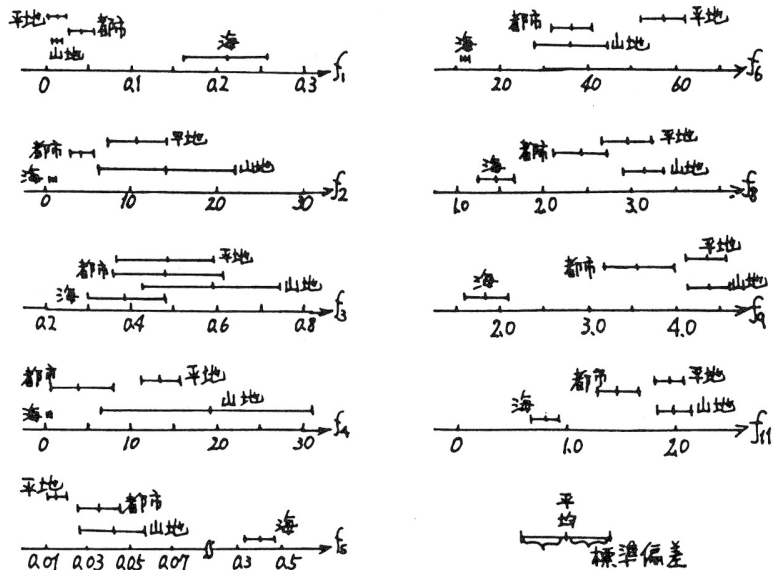


図4 各測度の分布($f_1, f_{10}, f_{12}, f_{13}$ を除く)

いから、基準正規変数Z

$$Z = \frac{(\bar{X} - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{S_x^2}{n_x} + \frac{S_y^2}{n_y}}} \quad \bar{X}, \bar{Y}; S_x, S_y; n_x, n_y \text{ はそれぞれ } X, Y \text{ の標本平均, 標本分散, 標本の大きさ}$$

を用いて、分布の離れ具合を調べた。山地と都市は f_1 が最も離れ、都市と平地、平地と山地は f_6 が最も離れて分布していた。 f_1 と f_6 を用いて検証標本を判別すると、その精度は100%であった。 f_1 と f_6 の意味は次のように解釈できる。一般に濃度空間依存行列は、おおむね左対角要素のどこかに中心に分布し、分布の右方に特徴が認められる。 f_1 は行列の要素を左対角線上に投影した分布の平均値であり、 f_6 はいわゆるエントロピーであって、行列要素の配置の規則性の良さを表わしている。実際に4つのカテゴリーの分布を見ると、分布の中心は海、都市、平地がそれぞれ(6,6), (7,7), (28,28)に1つのピークを構え、山地は2つのピークを構った形になっている。一方規則性は、海、都市、平地、山地の順で弱くなっていて、視覚的には f_1 , f_6 は良い測度であることが認められる。

参考文献 1) 奥野忠一 他; 純多変量解析法, 日科技連出版社, 1978, PP. 144-151

2) 浅井晃・村上正康; 入門数理統計学, 培風館, 1978, PP. 258-261

3) Haralick, R. M. et al.; Textural Features for Image Classification, IEEE Transactions

on Systems, Man,
and Cybernetics,
Vol. SMC-3, No. 6, 1973