

速報

同時生起行列から得られるテクスチャ情報に対する最適ピクセル間距離の検討

—高解像度衛星画像を用いたスギ林区分分を目指して—^{*1}太田徹志^{*2}・村上拓彦^{*3}・加治佐剛^{*2}・溝上展也^{*3}・吉田茂二郎^{*3}

太田徹志・村上拓彦・加治佐剛・溝上展也・吉田茂二郎：同時生起行列（GLCM）から得られるテクスチャ情報に対する最適ピクセル間距離の検討—高解像度衛星画像を用いたスギ林区分分を目指して— 九州森林研究 59：137-140, 2006 近年、森林現況を把握する手法として高解像度衛星データの利用が期待されている。低・中解像度衛星データを用いた解析では、ピクセルごとの画素値を用いた解析が一般的だが、高解像度衛星データの解析に対し、このような画素値のみの解析では限界があると言える。そこで画素値の空間分布パターンであるテクスチャを用いた解析が注目されている。テクスチャの計算方法として最も一般的なものに、同時生起行列（GLCM）が挙げられる。GLCMは、一定距離離れた2つのピクセル間の画素値の関係から模様を統計的に記述する方法である。それゆえに、GLCMを使った解析を行う場合には、まず、適切な2ピクセル間の距離（IPD）を設定する必要がある。そこで、本研究では、IPDを変化させることで、スギ林分の画像におけるGLCMがどのように変化するかを検証した上で、林分構造の異なるスギ林分を区分する上で最も適切なIPDを検討した。その結果、どのIPDを用いたGLCMでもスギ林分を区分可能であることが示唆された。

キーワード：QuickBird, テクスチャ, GLCM, IPD, 高解像度衛星画像,

I. はじめに

これまでリモートセンシングで用いられてきた衛星画像の多くは、解像度が数十m～1km以上の、中・低解像度衛星画像であった。しかし、1999年のIKONOS打ち上げ以降、解像度が数十cmから数mの高解像度画像が利用可能となってきている。中・低解像度の衛星画像に対しては、画素値を用いた解析が主流だが、高解像度の衛星画像では、把握したい目標物よりもピクセルが小さいことから、画素値のみの解析では不十分であることが示されている（Narasimha *et al.*, 2002）。そこで、画素値の空間分布パターンであるテクスチャを使用した解析が注目されている。テクスチャは、要素が一定の配列規則に従って配列された繰り返しパターンである（村本, 1996）。空中写真による目視判読のための判断基準などに使用されるものであるが、人間のテクスチャ認識過程の科学的な説明は困難とされている（FRANKLIN *et al.*, 2001）。それゆえに、コンピュータ上でテクスチャを解析する場合、画像の統計的性質により、模様を記述する手法が一般的となっている（例えば、Sakari&Anssi, 2005, Le *et al.*, 2004）。統計的にテクスチャを算出する方法は数多くあるが、その中でも、従来最も注目を集めている手法として、同時生起行列（Gray Level Co-occurrence Matrix, GLCM）を用いた手法が挙げられる（Haralick *et al.*, 1973）。GLCMは、画像の濃度*i*の点から一定の変位 $\delta = (r, \theta)$ だけ離れた点の濃度が*j*である確率 $P_{\delta}(i, j)$, ($i, j = 0, 1, \dots, n-1$)を要素とする同時生起行列を求め、その行列から特徴量を計算し、それらの値によってテクスチャを特徴付

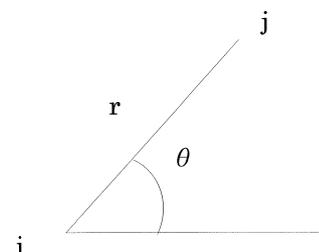


図-1. GLCM算出時における、2ピクセルの関係

ける手法である（図-1）（高木・下田, 1991）。GLCMはその計算方法の特性上、濃度*i*の点からの変位 δ を演算前に決定する必要がある。この時、2ピクセル間の距離（Inter Pixel Distance, IPD）を適切に決定する必要がある。しかしながら、密度の異なるスギ林分を区分する際に最も適切なIPDに関して、検討した例はほとんど無い。そこで、本研究の目的を、スギ林分を区分する際に最も適切なIPDを検討することとした。

II. 対象地及び使用データ

本研究の対象地は、九州大学福岡演習林13林班ほ小班, 15林班ほ小班及び15林班に小班である（図-2）。以後、13林班ほ小班をサイト1, 15林班ほ小班をサイト2, 15林班に小班をサイト3と呼ぶ。各サイトの林分構造を表-1に示す。解析に用いた衛星画像は2002年5月24日撮影のQuickBird Panchromatic（解像度0.6m）である。ソフトウェアは衛星画像の前処理に対し

^{*1} Ohta, T., Murakami, T., Kajisa, T., Mizoue, N., and Yoshida, S.: The most suitable Inter Pixel Distance of texture information derived from a Gray Level Co-occurrence Matrix: case study of Sugi stand discrimination using high spatial resolution imagery

^{*2} 九州大学大学院生物資源環境科学府 Grad. Sch. Biores. Bioenvir. Sci., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

^{*3} 九州大学大学院農学研究院 Fac. Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

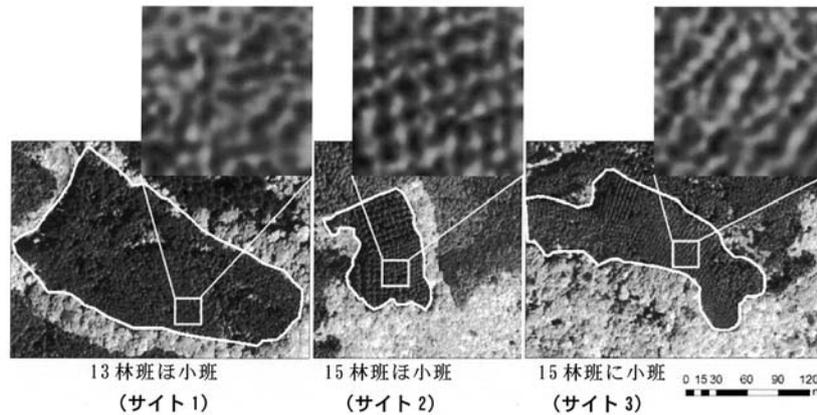


図-2. 対象地概要 各サイトの白い四角の箇所を切り出して解析を行った

表-1 対象地の林分構造

	サイト1	サイト2	サイト3
本数密度	1450本/ ha	825本/ ha	1700本/ ha
平均 DBH	22.4cm	31.0cm	21.5cm
平均樹高	16.9m	25.4m	18.1m
樹冠直径	2.2m	2.4m	2.3m

ERDAS IMAGINE Ver. 8.7, テクスチャの計算に対し R ver2.11 を用いた。

Ⅲ. 方法

1. 前処理

QuickBird Panchromatic データに対して幾何補正を行った。その際、国土地理院発行の数値地図50m メッシュを標高データ (DEM) として使用し、地形歪みも補正した。次に QuickBird Panchromatic データを 256 階調の画像へ変換した。QuickBird Panchromatic は本来 2056 階調のデータである。これはコンピュータへの負担を減らすための処理である。今回は、サイトごとに 25×25 ピクセルずつの画像を切り出して、解析を行った (図-1)。

2. GLCM 及び特徴量の算出

切り出した各サイトの画像に対して、21×21 ピクセルをウィンドウサイズとして、ムービングウィンドウ方式で、GLCM を算出した。GLCM を計算する角度は 0°, 180° 方向 (横方向) とした。IPD を 1, 3, 5, 7, 9 と変更し、そのそれぞれで GLCM を算出した。算出した GLCM から、均質性、異質性、コントラスト、平均、標準偏差、角 2 次モーメント、エントロピーの 7 つの特徴量を算出した。これらの算出方法は、GLCM における i 行 j 列の要素を P (i, j) とした時、以下の式で示される。

$$\text{均質性} \quad \sum_i \sum_j \left(\frac{1}{1+(i-j)^2} \right) P(i,j) \quad (1)$$

$$\text{異質性} \quad \sum_i \sum_j |i-j| P(i,j) \quad (2)$$

$$\text{コントラスト} \quad \sum_i \sum_j (i-j)^2 P(i,j) \quad (3)$$

$$\text{平均} \quad \sum_i \sum_j iP(i,j) \quad (4)$$

$$\text{標準偏差} \quad \sqrt{\sum_i \sum_j (i-\text{mean})^2 P(i,j)} \quad (5)$$

$$\text{角 2 次モーメント} \quad \sum_i \sum_j \{P(i,j)\}^2 \quad (6)$$

$$\text{エントロピー} \quad - \sum_i \sum_j P(i,j) \log P(i,j) \quad (7)$$

3. 分類可能性の検討

GLCM の特徴量を用いることで、3 つのサイトを分類可能か検討するために、各特徴量に対して、IPD ごとに 3 つのサイト間の差を多重比較により検討した。多重比較を行う前に、IPD ごとに、各特長量に対して、コルモゴロフ・スミルノフ検定により、正規性の検定を行った。結果、有意水準 5% で有意だった場合には、スティーブ・ドゥワスの検定を、有意ではなかった場合には、テューキーの HSD 検定を行った。

Ⅳ. 結果

IPD を変化させたときの特徴量の変化を示す (図-3)。IPD の変化に対し、均質性、異質性、コントラストは、不規則に値が変動した。また、平均、標準偏差は、IPD を変えても、その特徴量はほとんど変化しなかった。角 2 次モーメントは、IPD が大きくなるにつれ、全てのサイトにおいて、値が等しく上昇した。逆にエントロピーは IPD が上昇するにつれ値が減少した。

コルモゴロフ・スミルノフ検定の結果、どの IPD、特徴量においても、有意水準 5% で有意差が生じなかった。そこで、多重比較には、テューキーの HSD 検定を用いた。多重比較の結果を表-2 に示す。IPD = 1 の均質性と標準偏差において、サイト 2 とサイト 3 の間に、有意水準 5% で有意差が生じなかった。しかし、それ以外の組み合わせは全て、有意水準 5% で有意という結果になった。このことから、IPD = 1 の均質性と標準偏差以外であれば、いずれの IPD、特徴量を用いても、3 つのサイトを分類する可能性が示唆された。

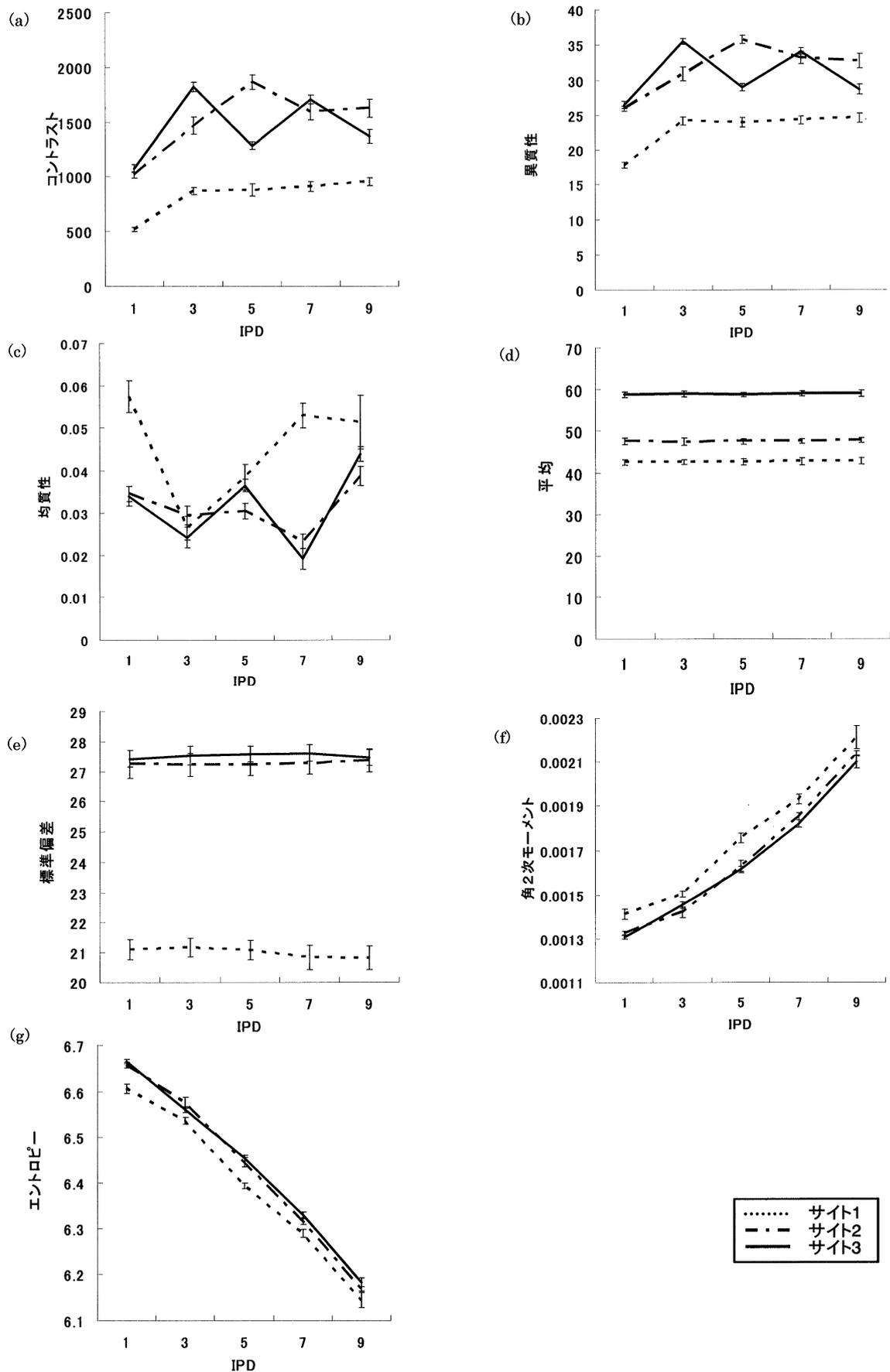


図-3. IPDを変化させたときの各特長量の変化 (a) 均質性 (b) 異質性 (c) コントラスト (d) 平均 (e) 標準偏差 (f) 角2次モーメント (g) エントロピー
誤差線は標準偏差を示す

表-2. 多重比較の結果. (a) 均質性 (b) 異質性 (c) コントラスト (d) 平均 (e) 標準偏差 (f) 角2次モーメント (g) エントロピー. 有意水準5%で有意だった組み合わせに白丸, 有意でなかった組み合わせに×を記入している.

(a) 均質性		(b) 異質性			
IPD		IPD			
	1 3 5 7 9		1 3 5 7 9		
サイトの 組み合わせ	1-2	○ ○ ○ ○ ○	サイトの 組み合わせ	1-2	○ ○ ○ ○ ○
	1-3	○ ○ ○ ○ ○		1-3	○ ○ ○ ○ ○
	2-3	× ○ ○ ○ ○		2-3	○ ○ ○ ○ ○
(c) コントラスト		(d) 平均			
IPD		IPD			
	1 3 5 7 9		1 3 5 7 9		
サイトの 組み合わせ	1-2	○ ○ ○ ○ ○	サイトの 組み合わせ	1-2	○ ○ ○ ○ ○
	1-3	○ ○ ○ ○ ○		1-3	○ ○ ○ ○ ○
	2-3	○ ○ ○ ○ ○		2-3	○ ○ ○ ○ ○
(e) 標準偏差		(f) 角2次モーメント			
IPD		IPD			
	1 3 5 7 9		1 3 5 7 9		
サイトの 組み合わせ	1-2	○ ○ ○ ○ ○	サイトの 組み合わせ	1-2	○ ○ ○ ○ ○
	1-3	○ ○ ○ ○ ○		1-3	○ ○ ○ ○ ○
	2-3	○ ○ ○ ○ ○		2-3	○ ○ ○ ○ ○
(g) エントロピー					
IPD					
	1 3 5 7 9				
サイトの 組み合わせ	1-2	○ ○ ○ ○ ○			
	1-3	○ ○ ○ ○ ○			
	2-3	○ ○ ○ ○ ○			

V. 考察

今回, 均質性, 異質性, コントラストに関しては, IPD を変更すると値が不規則に変動した (図-3)。高解像度衛星で針葉樹人工林を撮影した場合, 梢端付近で画素値最大となる (古谷, 2004)。それゆえ, 針葉樹人工林では, 画素値の出現パターンに周期性があることが予測される。均質性, 異質性, コントラストの不規則な値の変動はこれを感知した可能性が考えられた。このことから, 2つの特徴量がスギ林分の本数密度の違いを反映している可能性が示唆された。しかし, サンプル数が3点しかない事もあり, 詳細は不明であった。今後の検討課題である。角2次モーメントとエントロピーは, 画像全体にどれだけ均一に画素値

が分布しているかを検知する特徴量である。これらは, IPDが増加するに従い, 単調に変化した。IPDを増加させると, 1枚の画像中において取得する組み合わせ数が減少する。そのため, 画素値の出現確率が相対的に高まることとなり, このような結果が得られたと考えられた。これはすなわち, GLCMの算出方法の問題であると言える。平均と標準偏差はIPDに依存せず一定であった。IPDを変化させようと, GLCMの対象となるピクセルは変化しない。それゆえに, これらの値はIPDに依存せず一定であったと考えられた。

以上のような傾向は見られたものの, 結論として, どのIPDを用いたとしても, 3つのサイトを区分可能である事が示唆された。しかし, 実際にGLCMを用いた解析を行う場合, 出力されたデータの利便性などを考慮して, IPDを選択する事が望ましいと考えられる。現在, 衛星画像解析ソフトウェアに, IPD=1を採用したものがある。このソフトウェアで算出したGLCMは, GISデータとして, 地形図や, 衛星画像などのデータと重ね合わせる事が可能など, 汎用性が高い。この事から, IPD=1によるGLCMの算出が現在のところ望ましいと考えられる。

引用文献

- 高木幹雄・下田陽久 (1991) 変換 (画像解析ハンドブック, 775pp, 東京大学出版会, 東京), 475-637.
- 村本健一郎 (1996) 濃淡画像の解析 (画像処理工学基礎編, 谷口慶治編, 273, 共立出版株式会社, 東京), 99-106.
- 古家直行 (2004) 単木樹冠 (森林リモートセンシング, 加藤正人編, 273, 日本林業調査会, 東京), 150-153.
- Franklin, S.E. *et al.* (2001) *International Journal of Remote Sensing*, 13: 2627 - 2632
- Le, W. *et al.*, (2004) *Remote Sensing of Environment*, 91: 432 - 440
- Haralick, R.M. *et al.* (1973) *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, 6: 610 - 621
- Narasimha, P.V. *et al.* (2002) *International Journal of Remote Sensing*, 23: 3327 - 3345
- Sakari, T., Anssi, P. (2005) *Remote Sensing of Environment*, 94: 256 - 268

(2005年11月14日 受付: 2006年1月10日 受理)