

九州北部におけるレーダー画像のテクスチャと岩相

浦井 稔* 佐藤 功**

URAI, Minoru and SATO, Isao (1991) Radar image texture and rock facies in the Northern Kyushu, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 42(8), p. 377-385, 9 fig., 4 tab.

Abstract: Texture is an important characteristic of radar images for classifying rock facies. It has been shown that texture features derived from gray level co-occurrence matrix (GLCM) could be used for classifying small segments of radar images corresponding to different rock facies. In this paper, the influence of GLCM parameters and radar flight parameters on the ability to classify rock facies based on texture feature derived from GLCM is investigated. As the results, the periodical length can be found from texture features which are calculated with various displacement lengths. It is found that sufficient area is necessary to obtain stable texture features. The radar flight parameters greatly affect the texture features of GLCM.

要 旨

九州北部のレーダー画像において、GLCM 法から導かれるテクスチャ量と岩相の関係を明らかにし、そのテクスチャ量が GLCM 法のパラメタやレーダーの照射方向・伏角によってどのように変化するかを明らかにすることを試みた。その結果、花崗岩・火砕流および四万十層群を GLCM 法によるテクスチャ量によって区分可能であることがわかった。また、変位 d の大きさを変化させてテクスチャ量を計算することによって画像の規則性に関する長さを検出することができた。安定したテクスチャ量を得るためにはある程度の部分画像の大きさ N_0 が必要であり、今回の例では $N_0 \geq 80$ が必要と考えられることがわかった。さらに、レーダー画像から得られる GLCM 法によるテクスチャ量は、レーダー照射方向・伏角によって影響をうけるが、レーダー照射方向・伏角が地形によって決まる適正な範囲内であれば、岩相区分の指標となり得ると考えられる。

1. はじめに

テクスチャとは肌理(きめ)とも呼ばれ、小さなパターンの繰り返しによる面としての特徴であり、リモートセンシング画像から岩相識別を行う上で重要な情報の一つである。テクスチャの表現としては、「滑らかな」「凸凹な」「まだらな」「斑点状」「粒状」あるいは「線状」等の形容詞が用いられ、さらにこれらを細分するために「粗

い」あるいは「細かい」等の用語が併記される(松野, 1965)。レーダー画像におけるテクスチャ解析は、レーダー画像が一般に白黒画像であること、および、その他の受動的リモートセンシング画像と比較して地形の微細な起伏を強調して画像の陰影として表現すること等から、重要な役割を担っている。テクスチャ解析は、リモートセンシング画像を写真地質学的に判読することによって行われているが、判読結果が判読者によって異なることや判読に時間がかかる等の問題がある。近年、テクスチャ解析を計算機を用いて自動的に行うことが試みられている。計算機によるテクスチャ解析法には、画像をフーリエ変換しそのパワースペクトルを用いる方法、画像内で θ の方向に濃度 i の点が j 個続く頻度 $F_0(i, j)$ を用いるランレングス法 (Galloway, 1975)、エッジ密度画像を用いる方法等が提案されている。その中でも Haralick *et al.* (1973) が提案した GLCM (Gray Level Co-occurrence Matrix) 法はリモートセンシング画像のテクスチャ解析に有効であることが示され、空中写真、Landsat 画像およびレーダー画像等のテクスチャ解析 (Shanmugam *et al.*, 1981; 橋本・松尾, 1987) に広く使用されている。しかし、GLCM 法のパラメタと GLCM 法によって導かれるテクスチャ量の関係やレーダーの照射方向・伏角等のパラメタとテクスチャ量の関係については、土地利用の観点から検討した報告 (木村ほか, 1984) やレーダーの照射角度の関係をシュミレーション画像から検討した報告

*元地殻物理部 (現新エネルギー・産業技術総合開発機構)

**地殻物理部

Keywords; radar image, texture, rock facies, Northern Kyushu, remote sensing, co-occurrence matrix, SAR

(Frost *et al.*, 1984) 等はあるが, 実際のレーダー画像を使用した岩相区分のための検討はなされていない。

そこで, 本論文では, 九州北部のレーダー画像において, GLCM 法から導かれるテクスチャ量と岩相の関係を明らかにし, そのテクスチャ量が GLCM 法のパラメタやレーダーの照射方向・伏角によってどのように変化するかを明らかにすることを試みた。

2. GLCM 法によるテクスチャ解析法

GLCM 法の考え方は Haralick *et al.* (1973) に詳しく記述されているが, 以下に簡単に説明する。原画像の濃度値が $f(m, n)$ で定義され, 1 から N_g の離散的な値をとるとすると, 同時生起行列 (co-occurrence matrix) p は N_g 階の正方行列となり, その要素 p_{ij} は画像 $f(m, n)$ の濃度 i の点から一定の変位 \vec{d} だけ離れた点の濃度が j である確率を示す。つまり p_{ij} は

$$p_{ij} = \# \{ (m_1, n_1) (m_2, n_2) \mid f(m_1, n_1) = i, f(m_2, n_2) = j \text{ and } (m_2, n_2) - (m_1, n_1) = \vec{d} \} / R \quad (1)$$

で示される (Haralick *et al.*, 1973)。ここで, $\# \{ \}$ は $\{ \}$ 内の条件を満たす組み合わせの数, R は $(m_2, n_2) - (m_1, n_1) = \vec{d}$ となるすべての組み合わせの総数とする。

同時生起行列は N_g 階の正方行列となり情報量が多いので, この行列の特徴を簡潔に表現する必要がある。Haralick *et al.* (1973) はこの同時生起行列 p から 14 種類のテクスチャ量を定義した。しかし, これらのテクスチャ量は独立ではなくお互いに相関の強いテクスチャ量もあるため, 本論文では比較的相関が低いと考えられる以下に示す 6 個のテクスチャ量を使用することとした。

ASM (Angular Second Moment) は

$$ASM = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p_{ij}^2 \quad (2)$$

で定義され, テクスチャの一様性を示す。

CON (Contrast) は

$$CON = \sum_{n=0}^{N_g-1} n^2 \left(\sum_{\substack{i=1 \\ |i-j|=n}}^{N_g} p_{ij} \right) \quad (3)$$

で定義され, 濃度変化の激しさを示す。

COR (Correlation) は

$$COR = \left(\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (ij) p_{ij} - \mu_x \mu_y \right) / (\sigma_x \sigma_y) \quad (4)$$

で定義され, 相関の強さを示す。ただし, μ_x, μ_y, σ_x および σ_y はそれぞれ以下の p_x と p_y の平均と標準偏差である。

$$p_x(j) = \sum_{i=1}^{N_g} p_{ij}, \quad p_y(i) = \sum_{j=1}^{N_g} p_{ij}$$

VAR (Variance) は

$$VAR = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (i - \mu_x)^2 p_{ij} \quad (5)$$

で定義され, 分散を示す。

IDM (Inverse Difference Moment) は

$$IDM = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p_{ij} / \{1 + (i-j)^2\} \quad (6)$$

で定義され, 濃度変化の一様性を示す。

SAV (Sum Average) は

$$SAV = \sum_{k=2}^{2N_g} k p_{x+y}(k) \quad (7)$$

で定義され, 平均濃度の大きさを示す。ただし, $p_{x+y}(k)$ は

$$p_{x+y}(k) = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{\substack{j=1 \\ i+j=k}}^{N_g} p_{ij}$$

で定義される。

ここで示した 6 個のテクスチャ量は先に示した「滑らかな」「凸凹な」等のテクスチャに関する写真地質学的用語とは直接の関係はないが, 「細かい」画像は「粗い」画像に比較して ASM (Angular Second Moment) および IDM (Inverse Difference Moment) は小さく CON (Contrast) は大きくなる傾向がある。

3. レーダー画像の特徴とテクスチャに及ぼす影響

レーダー画像はマイクロ波を用いた能動方式のリモートセンシングシステムによって撮像されるため, 空中写真や LANDSAT 画像とは異なるいくつかの特徴を持っている (陶山ほか, 1982; 山口ほか, 1985)。これらの特徴はレーダー画像のテクスチャ解析を行う上で理解しておく必要がある。これらの中でもテクスチャ解析に大きな影響を及ぼす特徴は地形強調効果および伏角による効果である。

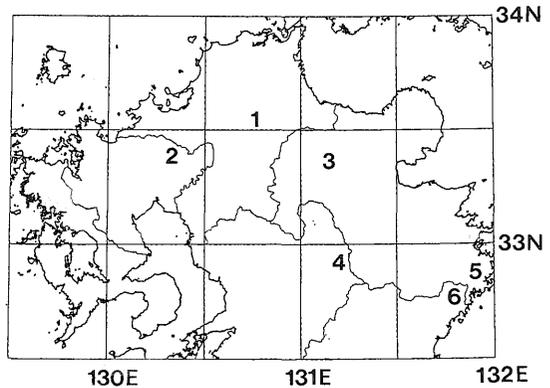
地形強調効果とはレーダー画像が地表に照射され後方散乱されたマイクロ波の強度を画像化しているため, レーダー照射方向の地形の変化がこれに直交する方向の地形の変化に比べて著しく強調される効果である。従って, 地形変化が方向性を持つと考えられる場合はレーダー照射方向と地形変化の方向性に留意する必要がある。

伏角による効果とは, 伏角が大きい場合はフォアショートニングやレイオーバ等の幾何学的歪が大きくなり, 逆に伏角が小さい場合はマイクロ波が照射されない影の部分が増加することである。この幾何学的歪は撮像されたレーダー画像の地形を歪ませることからテクスチャ解析にとって好ましくない。また, 影の部分からは地表の情

第1表 レーダー画像調査の諸元
Table 1 Radar survey parameters.

調査期間	1981年6月18日-1981年8月21日
調査範囲	日本全国(ただし一部の地域を除く)
飛行高度	約12,000m
側線間隔	28km(ただし一部の地域ではこれより短い)
観測幅	37km
偏波	HH方式
周波数	9.6GHz(Xバンド)
空間分解能	10m(方位方向), 12m(距離方向)
伏角	12.2°-33.0°
データ処理方式	アナログ処理

新エネルギー総合開発機構(1981)を要約。
Simplified form NEDO(1981).



第1図 検討地域の位置

Fig. 1. Location of the study area.

第2表 検討地域の地質とレーダー照射伏角
Table 2 Geology and radar depression angle of the study area.

番号	位置	地質	伏角	
			西ルック	北ルック
1	福岡県嘉穂郡嘉穂町	北九州花崗岩	29.2°	15.9°
2	佐賀県神埼郡背振村内川久保	北九州花崗岩	20.9°	12.8°
3	大分県下毛郡耶馬溪町と宇佐郡院内町の境界	耶馬溪火砕流	20.0°	13.6°
4	熊本県阿蘇郡波野村と高森町の境界	阿蘇火砕流	20.2°	18.5°
5	大分県佐伯市神楽山北方	四万十累層群下部	23.3°	22.9°
6	宮崎県東臼杵郡北浦町三川内	四万十累層群下部	17.2°	18.4°

地質区分は今井ほか(1980)および広川ほか(1979)による, 番号は第1図の番号に対応。
Numbers in the table are corresponded to ones in Fig. 1 (after Imai *et al.*, 1980 and Hirokawa *et al.*, 1979).

報を得られないためテクスチャ解析にとって好ましくないが, レーダー画像を影と日向の画像としてテクスチャ解析を行うことも考えられる。

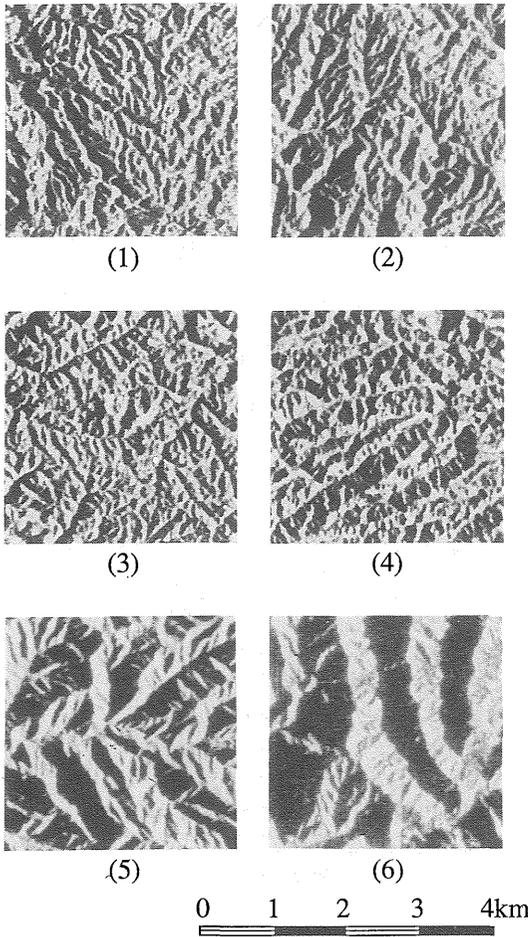
4. 九州北部におけるレーダー画像への適用

日本国内におけるレーダー画像の撮像は新エネルギー総合開発機構(現新エネルギー・産業技術総合開発機構)によって行われ, そのデータが公開されている(新エネルギー総合開発機構地熱調査部地熱調査第二課, 1984)。本論文ではこのデータを使用した。新エネルギー総合開発機構によるレーダー画像調査の諸元を第1表に示す。このレーダー画像の観測幅が37kmであるのに対し側線間隔が28kmであるため, 9kmずつのオーバーラップが生じる。また, 特定の地域ではレーダーの照射方向の異なる画像が撮像されている。このため, 同一の地域において伏角の異なる画像やレーダー照射方向の異なる画像

が得られた。これらの画像によってテクスチャ量がレーダーの伏角・照射方向によってどのように変化するかを評価することができる。

第1図および第2表に示す6ヶ所の地点においてGLCM法によるテクスチャ量を計算し, これと岩相の関係を考察した。第2図にテクスチャ量の計算に使用した西ルック・レーダー画像を示す。

新エネルギー総合開発機構から提供されるレーダー画像データは測線毎のストリップ画像およびモザイク画像である。モザイク画像にはストリップ画像を接合した際につなぎ目が存在するため, テクスチャ解析にとって好ましくない。また, データの媒体は印画紙又はフィルムであり, デジタルデータは提供されていない。GLCM法によるテクスチャ解析を行うためにはデジタルデータが必要であるためデジタル化作業が必要となった。このため, テクスチャ解析を行う地点を含む1/20万ストリップ

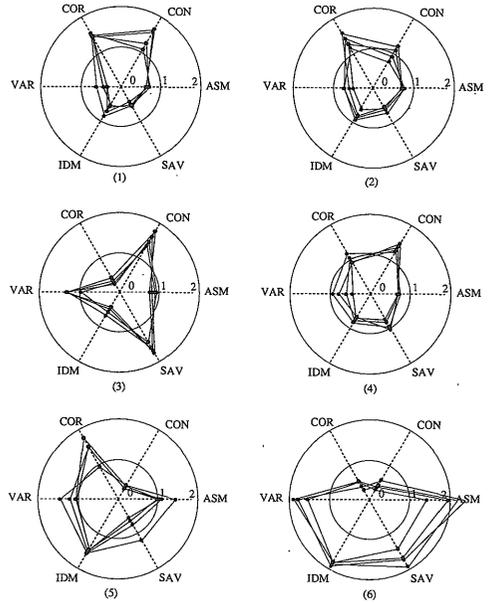


第2図 西ルック・レーダー画像
画素数は300×300ピクセル，画像の番号は第1図の番号に対応，レーダー照射伏角は第2表参照。

Fig. 2 West look radar images.
Numbers of pixel are 300 by 300. Image numbers are corresponded to ones in Fig. 1. Radar depression angles are shown in Table 2.

画像をOPTRONICS INTERNATIONAL社製 System C-4100 ドラムスキャナーを使用してデジタル化作業を行った。レーダー画像の地表分解能が10-12mであることからピクセルサイズを10×10mとし，濃度レベル数を256レベルとしてデジタル化を実施した。

デジタル化した画像を比較すると，ストリップ画像によって明るい画像や暗い画像が存在することがわかった。これは，レーダー画像再生時の光学処理の違いや写真焼き付け時の処理の違いに起因するものと考えられる。画



第3図 岩相とテクスチャ量

第2図の画像を4分割した画像のテクスチャ量。各図中の4本の折れ線は4分割されたそれぞれの画像のテクスチャ量を表わす。 $|\vec{d}|=1$ ， \vec{d} の方向=レーダー照射方向， $N_g=32$ ， $N_s=300$ 。テクスチャ量はテクスチャ量毎に平均=1.0，標準偏差=0.5に規格化した。

Fig. 3. Rock facies and texture value.

Each graph shows texture value derived from images divided into four pieces from image in Fig. 2. Four lines in each graph represents the texture value of the divided four image. $|\vec{d}|=1$, direction of \vec{d} is parallel to the radar illumination, $N_g=32$, $N_s=300$. Texture value is normalized as average is equal to 1.0 and standard deviation is equal to 0.5.

像の平均濃度値はGLCM法におけるテクスチャ量に影響を及ぼす。これを補正するため，デジタル化したデータにヒストグラム等頻度化処理を施した。

テクスチャ量の計算は第2図に示す画像を縦横方向にそれぞれ2分割することによって得られた4画像について行い，その平均や標準偏差等からテクスチャ量の岩相識別に関する有効性や安定性を評価した。第3図は第2図に示す画像を分割することによって得られた4画像についてそれぞれGLCM法に基づくテクスチャ量を計算した結果を示す。このテクスチャ量から6画像を第2図の(1)-(4)と(5)，(6)の二つに大きく分けることができる。第3図の(1)-(4)はASMおよびIDMが小さく，CONが大きいの。逆に第3図の(5)，(6)はCONが小さく，

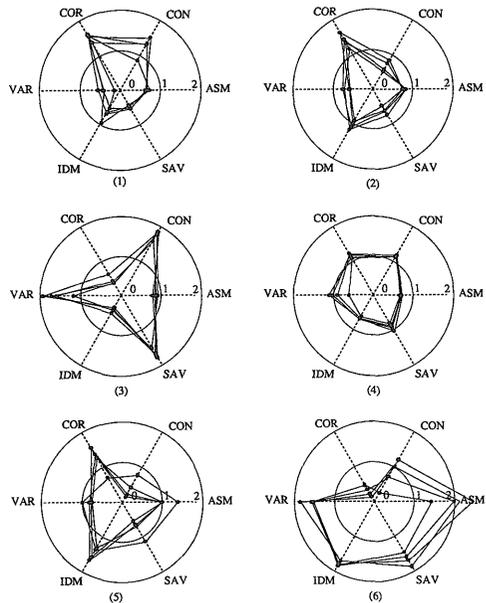
ASM および IDM が大きい。これは、第 2 図の (1)-(4) が花崗岩や火砕流であるため細かいテクスチャを示し、第 2 図の (5), (6) が四万十層群の堆積岩であるため粗いテクスチャを示すことに起因すると考えられる。さらに、第 3 図の (1), (2) と (3), (4) を比較すると、(1), (2) は VAR と SAV が小さく COR は大きい。逆に、(3) は COR が小さく VAR と SAV は大きい。(4) は (1), (2) および (3) の中間的なテクスチャ量を示す。これらのことから、花崗岩・火砕流および四万十層群を GLCM 法によるテクスチャ量によって区分可能であることがわかる。

5. GLCM 法のパラメタとテクスチャ量

次に、GLCM 法のパラメタである変位 \vec{d} 、濃度レベル数 N_g および部分画像の大きさ N_s によってどのように変化するかを明らかにすることを試みた。ここでも、テクスチャ量の計算は第 2 図に示す画像を縦横方向にそれぞれ 2 分割することによって得られた 4 画像について行い、その平均や標準偏差等からテクスチャ量の岩相識別に関する有効性や安定性を評価した。この時、 $|\vec{d}|=1$ 、 \vec{d} の方向はレーダー照射方向、 $N_g=32$ および $N_s=150$ を基本パラメタとし、この基本パラメタ内の一つのパラメタのみを変化させた。

変位 \vec{d} の方向をレーダー照射方向に対して 0° 、 45° 、 90° 、 135° としてそれぞれ GLCM 法に基づくテクスチャ量を計算した。その結果、変位 \vec{d} の方向を変化させても画像間のテクスチャ量の関係はあまり変化しなかった。第 4 図は第 3 図で使用した変位 \vec{d} の方向を 90° 回転した場合のテクスチャ量を示す。

次に、変位 \vec{d} の絶対値 $|\vec{d}|$ を変化させた。 $|\vec{d}|$ が 8 以下では、 $|\vec{d}|$ が増加するに従って第 2 図の (6) の画像に対する COR の値が相対的に大きくなることを除いて、画像とテクスチャ量の関係は第 3 図と大きく変化しない。しかし、 $|\vec{d}|$ が 16 以上 (第 5 図) では第 3 図で見られた画像とテクスチャ量の関係が見られなくなった。第 6 図に $|\vec{d}|$ の変化とテクスチャ量の関係を示す。第 6 図 (a) では、ASM, COR, VAR および IDM は $|\vec{d}|$ が 8 以下では $|\vec{d}|$ が大きくなるに従って減少し、 $|\vec{d}|$ が 8 以上ではほぼ一定である。また、CON は $|\vec{d}|$ が 8 以下では $|\vec{d}|$ が大きくなるに従って増加し、 $|\vec{d}|$ が 8 以上では減少する。これは、画像の二点の濃度 ij の相関が $|\vec{d}|$ が 8 以下では $|\vec{d}|$ が大きくなるに従って減少するが、 $|\vec{d}|$ が 8 以上ではほぼ一定であることを示す。つまり、 $|\vec{d}|$ が 8 以上では画像に規則性がないことを示すと考えられる。従って、第 2 図の (1) の画像において意味のあるテクスチャ量を得るためには $|\vec{d}|$



第 4 図 変位の方向がレーダー照射方向と直交する場合の岩相とテクスチャ量

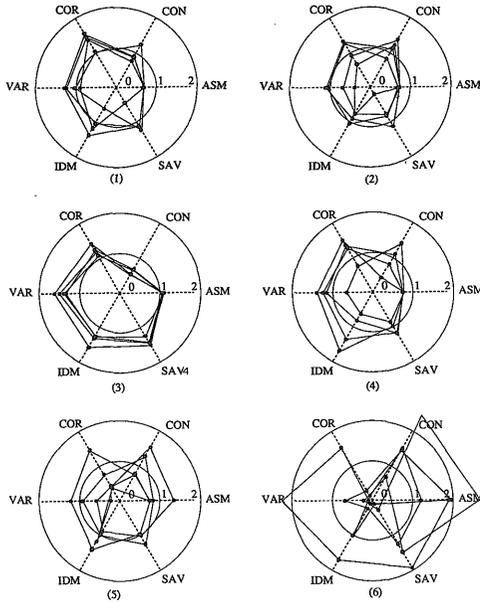
第 2 図の画像を 4 分割した画像のテクスチャ量。各図中の 4 本の折れ線は 4 分割されたそれぞれの画像のテクスチャ量を表す。 $|\vec{d}|=1$ 、 \vec{d} の方向=レーダー照射の直交する方向、 $N_g=32$ 、 $N_s=300$ 。テクスチャ量はテクスチャ量毎に平均=1.0、標準偏差=0.5 に規格化した。

Fig. 4. Rock facies and texture value in case of the displacement direction perpendicular to the radar illumination.

Each graph shows texture value derived from images divided into four peaces form image in Fig. 2. Four lines in each graph represents the texture value of the divided four image. $|\vec{d}|=1$, direction of \vec{d} is perpendicular to the radar illumination, $N_g=32$, $N_s=300$. Texture value is normalized as average is equal to 1.0 and standard deviation is equal to 0.5.

が 8 以下であることが必要である。一方、第 6 図 (b) では、ASM, COR, VAR, IDM は $|\vec{d}|$ が大きくなるに従って単調に減少し、CON は $|\vec{d}|$ が大きくなるに従って単調に増加する。これは、二点の濃度 ij の相関が $|\vec{d}|$ が大きくなるに従って単調に減少することから、 $|\vec{d}|$ が少なくとも 32 までは画像に規則性があることを示すと考えられる。

濃度レベル数 N_s とテクスチャ量の関係を調べるために、第 2 図のそれぞれの画像を 4-128 の濃度レベル数の画像に変換してテクスチャ量の変化を調べた。濃度レベル数



第 5 図 変位が大きい場合の岩相とテクスチャ量
第 2 図の画像を 4 分割した画像のテクスチャ量。各図中の 4 本の折れ線は 4 分割されたそれぞれの画像のテクスチャ量を表わす。 $|\vec{d}|=32$, \vec{d} の方向 = レーダー照射方向, $N_g=32$, $N_s=300$ 。テクスチャ量はテクスチャ量毎に平均 = 1.0, 標準偏差 = 0.5 に規格化した。

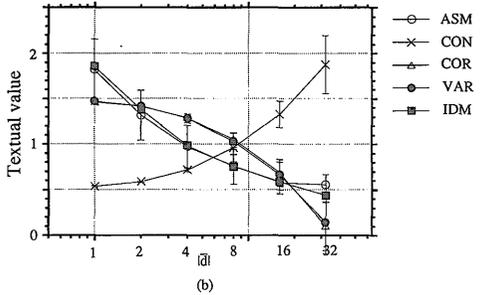
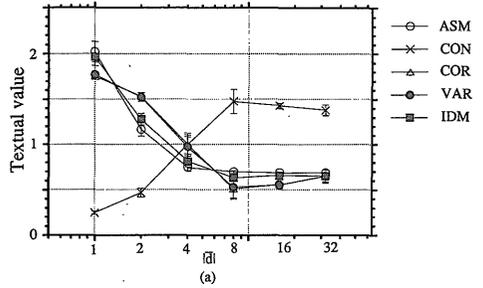
Fig. 5. Rock facies and texture value in case of large displacement.
Each graph shows texture value derived from images divided into four peaces form image in Fig. 2. Four lines in each graph represents the texture value of the divided four image. $|\vec{d}|=32$, direction of \vec{d} is parallel to the radar illumination, $N_g=32$, $N_s=300$. Texture value is normalized as average is equal to 1.0 and standard deviation is equal to 0.5.

の変換には、同一濃度レベルの細分化なしのヒストグラム等頻度化処理を用いた。その結果、画像のテクスチャ量の関係は濃度レベル数によって大きく変化しないことがわかった。クラス分離度を定量的に評価するために、クラス分離度指数 J を次のように定義した。

$$J = S_w / \sigma_0 \quad (8)$$

$$S_w = \sum_{i=1}^k \sigma_i$$

ここで、 σ_0 は各クラスの平均の標準偏差、 k はクラスの数、 σ_i はクラス i の標準偏差である。クラス分離度指数 J は小さいほどクラス分離が良い。ここでは、第 2 図の一

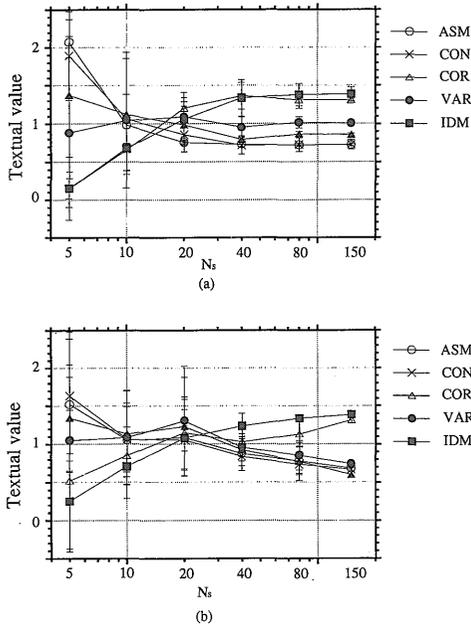


第 6 図 変位の大きさとテクスチャ量
(a) は第 2 図(1) の画像に、(b) は第 2 図(6) の画像に対応する。テクスチャ量はテクスチャ量毎に平均 = 1.0, 標準偏差 = 0.5 に規格化した。エラーバーは分割した 4 つの画像間の標準偏差を示す。SAV は、標準偏差が大きいためグラフから省略した。

Fig. 6. Amount of displacement and texture value.
(a) and (b) are corresponded to (1) and (6) in Fig. 2 respectively. Texture value is normalized every texture category as average is equal to 1.0 and standard deviation is equal to 0.5. Error bar shows standard deviation of the texture value. SAV is not shown in this figure because of large standard deviation.

つの画像を縦横方向にそれぞれ 2 分割することによって得られた 4 画像を一つのクラスとし、6 個のクラスを想定した。第 3 表は濃度レベル数 N_g とテクスチャ量のクラス分離度指数を示す。ASM, CON のクラス分離度は濃度レベル数 N_g が小さいほど良く、VAR では大きいほど良い。COR, IDM, SAV では $N_g=32$ で最良となった。

部分画像の大きさ N_s とテクスチャ量の関係を第 7 図に示す。テクスチャ量の平均は $N_s=40$ 以上でほぼ一定となる。テクスチャ量の平均は 4 つの画像の平均であることから、安定なテクスチャ量を得るためには、部分画像の大きさ N_s は 80 以上が必要と考えられる。



第7図 部分画像の大きさとテクスチャ量

(a) は第2図(1)の画像に、(b) は第2図(6)の画像に対応する。テクスチャ量はテクスチャ量毎に平均=1.0, 標準偏差=0.5に規格化した。エラーバーは分割した4つの画像間の標準偏差を示す。SAVは、標準偏差が大きいためグラフから省略した。

Fig. 7. Sub image size and texture value.

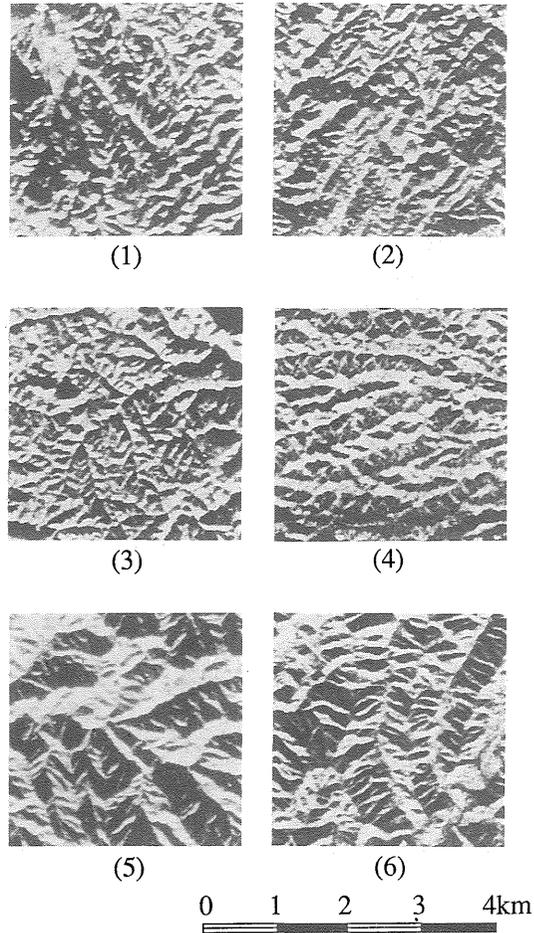
(a) and (b) are corresponded to (1) and (6) in Fig. 2 respectively. Texture value is normalized every texture category as average is equal to 1.0 and standard deviation is equal to 0.5. Error bar shows standard deviation of the texture value. SAV is not shown in this figure because of large standard deviation.

第3表 濃度レベル数 N_g とクラス分離度Table 3 Number of gray levels N_g and interclass variance.

N_g	ASM	CON	COR	VAR	IDM	SAV
4	1.120	3.351	6.084	4.254	1.756	5.228
8	1.193	3.814	3.392	2.898	1.216	3.128
16	1.487	4.237	3.608	2.286	0.715	2.555
32	2.497	4.243	1.832	2.045	0.690	1.757
64	2.418	4.128	2.275	2.018	0.949	2.055
128	2.644	4.128	2.110	1.911	1.536	2.011

$|\vec{d}|=1$, \vec{d} の方向=レーダー照射方向, $N_g=300$.

$|\vec{d}|=1$, direction of \vec{d} is parallel to the radar illumination, $N_g=300$.



第8図 北ルック・レーダー画像

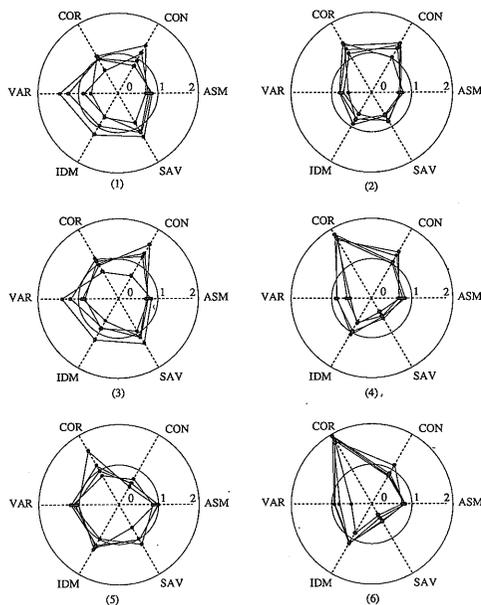
画素数は 300×300 ピクセル, 画像の番号は第1図の番号に対応。レーダー照射伏角は第2表参照。レーダー照射方向は真北から約 15° 西偏しているため第2図の画像とは重ならない。

Fig. 8. North look radar images.

Number of pixels are 300 by 300. Image numbers are corresponded to ones in Fig. 1. Radar depression angles are shown in Table 2. Imaging areas are not the same as ones in Fig. 2 because radar illumination direction is inclined 15° to west from north.

6. レーダー照射方向・伏角とテクスチャ量

ほぼ同一地域における西ルックの画像(第2図)と北ルックの画像(第8図)を比較すると、レーダー照射方向や伏角の影響によって両者がかなり異なることがわかる。例えば、第8図(6)で見られる東西方向の地形が第2図(6)ではほとんど見られない。第8図(6)の画像では北



第9図 岩相と北ルック・レーダー画像のテクスチャ量
第8図の画像を4分割した画像のテクスチャ量。各図中の4本の折れ線は4分割されたそれぞれの画像のテクスチャ量を表す。 $|\vec{d}|=1$, \vec{d} の方向=レーダー照射方向, $N_g=32$, $N_s=300$ 。テクスチャ量はテクスチャ量毎に第4表の値で規格化した。

Fig. 9. Rock facies and texture value for North look images.

Each graph shows texture value derived from images divided into four peaces form image in Fig. 8. Four lines in each graph represents the texture value of the divided four image. $|\vec{d}|=1$, direction of \vec{d} is parallel to the radar illumination, $N_g=32$, $N_s=300$. Each texture value is normalized using Table 4, which includes average and standard deviation of the texture value for West look images.

ルックのため東西方向の地形が強調されるが、第2図(6)ではこれが南北方向の急傾斜の尾根によってレーダーの影となったためである。また、第8図(1)の画像では、伏角が小さいため影の部分が増加し、第2図(1)の画像に比較して粗いテクスチャを示す。一方、第2図(5)の画像は第8図(5)の画像にかなり近い印象を与える。これは、この地域の地形があまり強い方向性を持たず、レーダーの伏角がほぼ等しいためであると考えられる(第2表)。第8図の画像から得られたテクスチャ量を第9図に示す。ただし、第3図と直接比較するために、第3図でテクスチャ量を規格化するために用いた平均と標準偏差(第4表)を用いて、第9図のテクスチャ量を規格化した。第3図と第9図を比較すると、(6)のテクスチャ量は両者で全く異なり、(2)(4)(5)のテクスチャ量はお互いに似ている。これらのことから、レーダー画像から得られるGLCM法によるテクスチャ量は、レーダー照射方向・伏角によって影響をうけるが、レーダー照射方向・伏角が地形によって決まる適正な範囲内であれば、岩相区分の指標となり得ると考えられる。

7. ま と め

九州北部のレーダー画像において、GLCM法から導かれるテクスチャ量と岩相の関係を示し、そのテクスチャ量がGLCM法のパラメータやレーダーの照射方向・伏角によってどのように変化するかを明らかにすることを試みた。その結果、花崗岩・火砕流および四万十層群をGLCM法によるテクスチャ量によって区分可能であることがわかった。また、変位 \vec{d} の大きさを変化させてテクスチャ量を計算することによって画像の規則性に関する長さを検出することができた。安定したテクスチャ量を得るためにはある程度の部分画像の大きさ N_s が必要であり、今回の例では $N_s \geq 80$ が必要と考えられることがわかった。さらに、レーダー画像から得られるGLCM法によるテクスチャ量は、レーダー照射方向・伏角によって影響をうけるが、レーダー照射方向・伏角が地形によって決まる適正な範囲内であれば、岩相区分の指標となり得ると考えられる。

第4表 西ルック・レーダー画像のテクスチャ量の平均と標準偏差
Table 4 Average and standard deviation of the texture value derived from West look radar images.

	ASM	CON	COR	VAR	IDM	SAV
平均	2.12e-02	1.92e+01	-8.36e-04	3.35e+05	7.43e-01	6.50e+01
標準偏差	9.55e-03	7.70e+00	1.99e-05	6.19e+03	1.23e-01	5.50e-01

文 献

- Frost, V. S., Shanmugam, K. S. and Holtzman, J. C. (1984) The influence of sensor and flight parameters on texture in rader images. *IEEE Transactions*, vol. GE-22, p. 440-448.
- Galloway, M. M. (1975) Texture classification using gray level run length. *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 4, p. 172-179.
- 橋本 岳・松尾 優 (1987) GLCM 法による合成開口レーダ画像のテクスチャ解析の一方法—Two step GLCM 法の提案—. 日本リモートセンシング学会誌, vol. 7, p. 335-345.
- Haralick, R. M., Shanmugam, K. S. and Dstein, N. (1973) Texture features for image classification. *IEEE Transactions*, vol. SMC-3, p. 610-621.
- 広川 治・長浜春男・小野晃司・山田直利・吉田尚・遠田朝子 (1979) 50 万分の 1 地質図幅「福岡」。地質調査所。
- 今井 功・寺岡易司・小野晃司・松井和典・奥村公男 (1980) 50 万分の 1 地質図幅「鹿児島」。地質調査所。
- 木村 宏・飯嶋哲二・小平信彦 (1984) Co-occurrence 表による SAR 画像のテクスチャ解析の試み。日本リモートセンシング学会第 4 回学術講演会論文集, p. 143-144.
- 松野久也 (1965) 写真の肌理。写真地質, 実業公報社, 東京, p. 110-113.
- Shanmugam, K. S., Narayanan, V., Frost, V. S., Stiles, J. A. and Holtzman, J. C. (1981) Texture features for rader image analysis. *IEEE Transactions*, vol. GE-19, p. 153-156.
- 新エネルギー総合開発機構地熱調査部地熱調査第二課 (1984) 全国地熱資源総合調査 (第一次) の成果図等の公表について。地質ニュース, no. 362, p. 58-62.
- 新エネルギー総合開発機構 (1981) 昭和 55 年度全国地熱資源総合調査報告書レーダー画像法調査。新エネルギー総合開発機構, 69p.
- 陶山淳治・石井吉徳・山口 靖・鎌田浩毅・長谷絃和・小川克郎 (1982) 合成開口レーダーによる日本列島の地熱資源調査。日本リモートセンシング学会誌, vol. 2, no. 4, p. 57-65.
- 山口 靖・村岡洋文・長谷絃和 (1985) レーダーで見た日本の地形・地質。地質ニュース, no. 373, p. 14-24.

(受付: 1991 年 4 月 8 日; 受理: 1991 年 5 月 14 日)