

広島大学大学院 学生会員 ○石井 詩穂

広島大学大学院 正会員 一井 康二

広島大学大学院 吉富 健一

1. はじめに

岩石の種類の分類は目視によって行われることが多い。しかし、目視による分類は高度な訓練を要し、更に技術者の技量に依存するという問題点が挙げられる。また、技術者の技量に依存しない分類手法として、機器分析を利用する方法もあるが、費用が高価であるという問題点がある。そこで、訓練を要さずかつ安価に実施できる岩種識別の手法として画像解析に着目した。画像解析では、視覚情報に相当する情報を数値として取り扱うことができるため定量的な処理が可能である。また、識別に際する一連の動作を指定することができ、解析の自動化が可能である。更に、解析対象となる岩石画像の撮影には通常のデジタルカメラを使用することにより、安価に情報を収集することができる。本研究では最初の試みとして、花崗岩の自動検出が可能であるかについて検討した。

2. 識別に利用する解析技術

岩石画像の識別を行うためには、画像が持つ特徴を取得する必要がある。そこで、画像の模様に着目した。画像の模様は、鉱物の違いや分布によって発生する組織形状に対応する情報である。また、模様に着目することは、目視における分類において、岩石表面の色彩と組織形状が岩種判断の基準となっていることに由来している。

岩石画像から組織を把握する手法として、画像上の特徴点と特徴量を利用した。そこで、特徴点と特徴量を取得するために、画像解析アルゴリズムである SIFT(Scale Invariant Feature Transformation)¹⁾を利用した。SIFT において、特徴点は図 1 に示すような画像のコントラスト変化が激しい個所、特徴量は特徴点近傍のコントラスト変化の記述子である。また図 2 に示すように、特徴量は定められた方向のコントラスト変化の方向と大きさの分布で表現され、128 次元のベクトルである。このベクトル情報を用いて、画像の識別指標を作成し、画像の識別を行った。

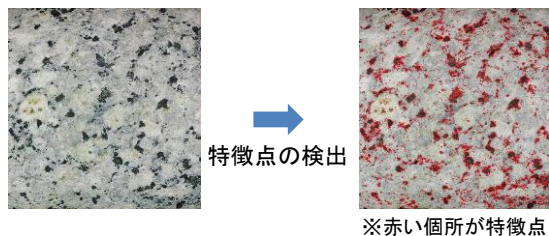
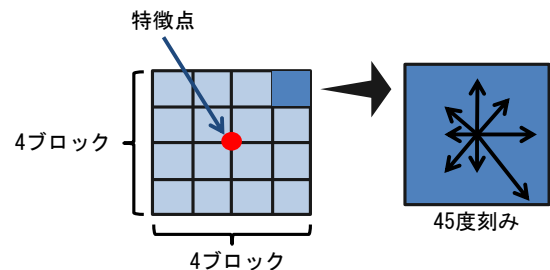


図 1 検出される特徴点のイメージ



1つの特徴点を持つ特徴量は、 $4 \times 4 \times 8 = 128$ 個の情報

図 2 特徴量のコントラスト変化方向

3. 画像の識別方法

画像識別指標の作成工程を図 3 に示す。この工程では、岩種が既知の画像から花崗岩の識別指標を作成する。手順は次のとおりである。まず、画像を花崗岩とそれ以外の岩石で分別し、それら全ての画像から特徴点と特徴量の情報を取得する。そして、取得した各特徴点を持つ特徴量の類似性から、特徴点のグループ化を行い、グループの代表的な特徴量を算出する。次に、各画像において特徴点の各グループの相対度数を求める。最後に、花崗岩とそれ以外の岩石のそれぞれの場合で、グループごとの特徴点の相対度数が異なることを利用して、相対度数の確率密度関数を作成し、画像の識別指標として使用する。なお、確率密度関数は正規分布を仮定しているが、相対度数がとる値の範囲である 0 から 1 のときに、累積確率が 1 となるように係数補正を行った。

画像を識別する工程を図 4 に示す。この工程では、次の手順により岩種が未知の画像が花崗岩か否かを判断する。手順は以下のとおりである。まず、グループの代表的な特徴量を使用して、識別したい岩石画像の特徴点の相対度数を求める。次に、花崗岩とそれ以外の岩石のそれぞれの場合に、特徴点の相対度数がその値になる確率を評価する。最後に、特徴点のグループ毎に求めた確率の平均値をとり、より大きな値を持つ方に画像を識別する。

なお、以下、特徴点をグループ化した際のグループの数をクラスタ数と言い、グループをクラスタと表記する²⁾。

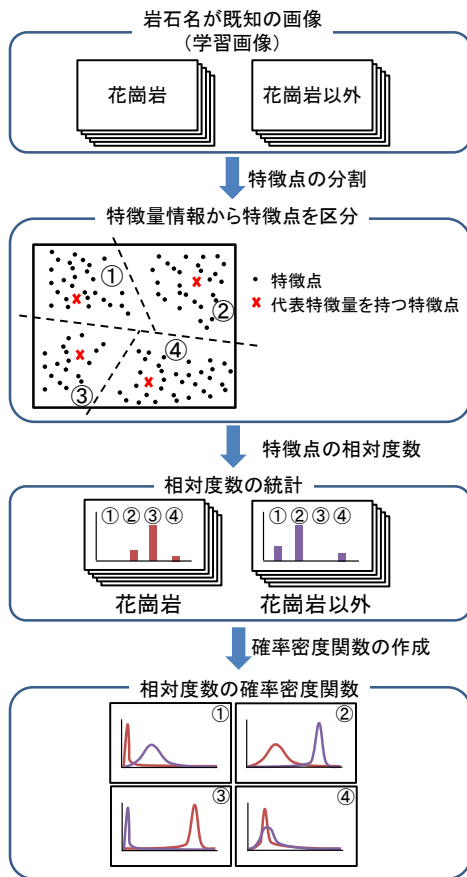


図3 画像識別手法の作成工程

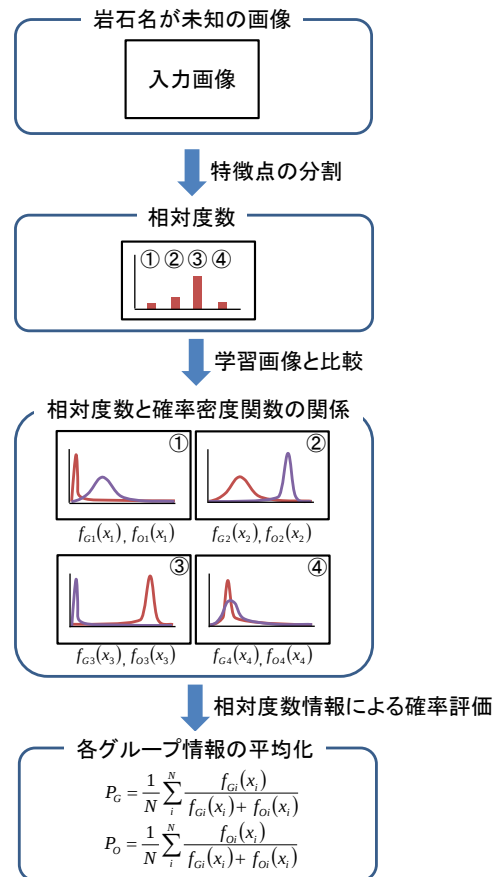


図4 未知画像の識別工程

4. 花崗岩検出実験

実験には、撮影条件を調整した画像を使用した。これは、画像に対する光源や光量の影響を考慮するためである。撮影は図5に示すような室内状況下で行い、ライトの使用や絞り及びホワイトバランスの調節により、光源や光量が一定となるようにした。この調整により、同じ色が同じ数値で表現することが可能になる。また、トリミングにより背景の除去、スケールの調整を行い、特徴点はカラー画像を白黒に変換して検出した。

実験ケースを表1に示す。ここで、学習画像は確率密度関数を作成するための画像、入力画像は識別したい画像である。実験ケースは、クラスタ数を変化させており、全てのケースにおいて学習画像と入力画像の組み合わせは同じである。

表1 実験ケース

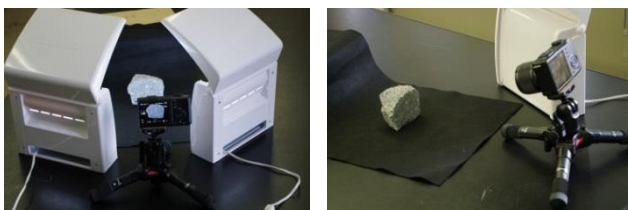


図5 撮影条件を調整した画像の撮影風景

ケース	学習画像枚数 (撮影条件を調整する)		入力画像枚数 (撮影条件を調整する)		クラスタ数
	花崗岩	花崗岩以外	花崗岩	花崗岩以外	
1	10枚	20枚	9枚	35枚	2
2	10枚	20枚	9枚	35枚	4
3	10枚	20枚	9枚	35枚	8
4	10枚	20枚	9枚	35枚	16
5	10枚	20枚	9枚	35枚	32

クラスタ数が4の場合における実験の過程を、図6と図7に示す。図6は学習画像から得られた特徴点の相対度数の統計、図7は相対度数の統計より算出した補正済み確率密度関数のグラフである。図6のように、花崗岩とそれ以外の岩石の間では、相対度数の違いがある。例えば、クラスタ3では花崗岩の相対度数はその他の岩石よりも大きくなる傾向がある。また、図7からは、その他の岩石における相対度数は分散が大きい傾向があることがわかる。図6および図7が示すような花崗岩とその他の岩石の間の違いは、クラスタ数が異なる場合においても同様である。以上より、特徴量の類似性に基づく特

微点の相対度数が、花崗岩の検出に有効であるといえる。

実験結果を表 2 に示す。表 2 より、識別成功率はクラスタ数が多いほど上昇し、クラスタ数が 8 以上の時に識別成功率が一定値を示すことがわかる。これは、クラスタ数が多いほど識別成功率は上昇するという一般的な知見²⁾に合致する。また、クラスタ数が 8 以上の時に識別成功率は 86 %と高い値であることから、特徴点の類似性を利用して岩石画像を識別することが可能であるといえる。また、提案手法によって、花崗岩を検出することが可能であるといえる。

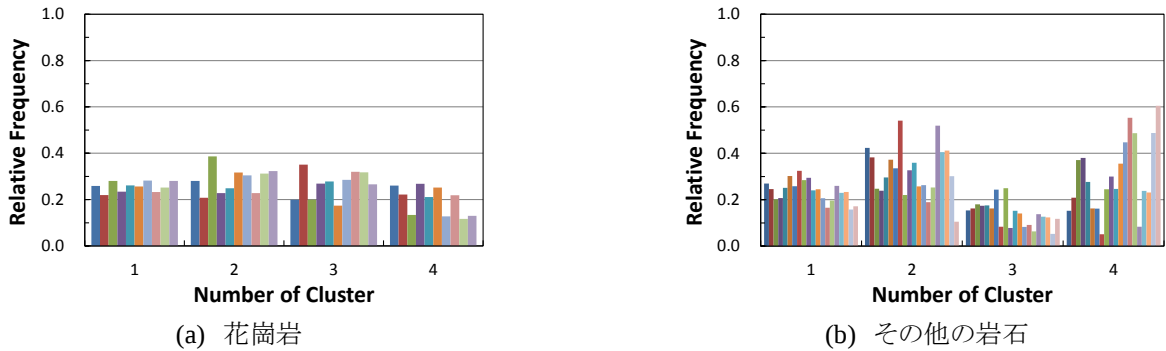


図 6 クラスタ数が 4 のときの相対度数の統計

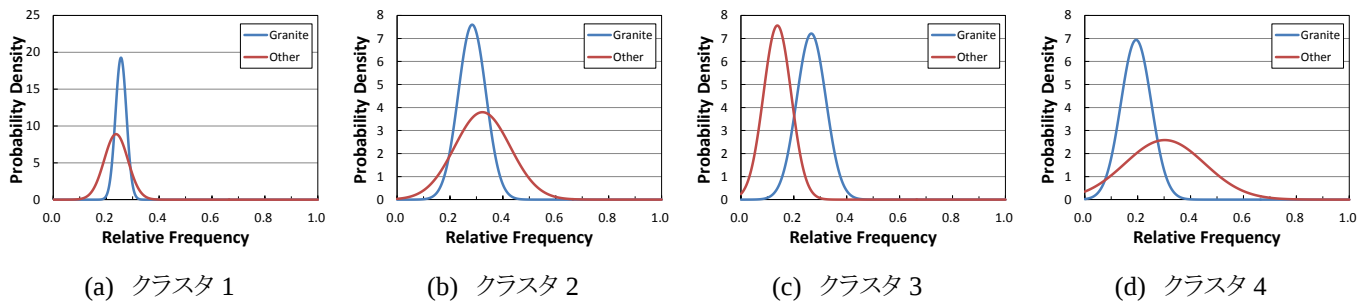


図 7 クラスタ数が 4 のときの補正済み確率密度関数

表 2 実験結果

ケース	クラスタ数	識別成功率	花崗岩		花崗岩以外	
			成功	失敗	成功	失敗
1	2	61.4 %	8枚	1枚	19枚	16枚
2	4	84.1 %	8枚	1枚	29枚	6枚
3	8	86.4 %	8枚	1枚	30枚	5枚
4	16	86.4 %	8枚	1枚	30枚	5枚
5	32	86.4 %	7枚	2枚	31枚	4枚

5. 撮影条件による影響

実際には、岩種の推定は屋外で行われることが多い。しかし、屋外において撮影条件を調整することは限界がある。そこで、光源及び光量に対する調整の有無が識別結果に及ぼす影響を考慮するために、実際に屋外で撮影した画像を使用して同様の識別実験を行った。画像は岩石表面の凹凸による影が発生しないよう配慮して撮影した。なお、屋外撮影であるため光源は太陽光であり、光量は一定ではない。また、撮影条件を調整した画像と同様に、トリミングによる背景除去及びスケール合わせを行い、特徴点の検出の際にはカラー画像を白黒画像に変換する。

実験ケースを表 3 に示す。表 3 に示すように、入力画像として屋外で撮影した画像を利用した点が表 1 と異なる。なお、各ケースともに入力画像の組み合わせは同じであり、学習画像は表 1 の場合と同じ画像の組み合わせを使用した。

実験結果を表 4 に示す。表 4 より、識別成功率はクラスタ数によって大きく異なり、識別成功率とクラスタ数の間には関係がみられないことがわかる。この原因として、入力画像の枚数が考えられる。表 3 の実験ケースにおける枚数は、表 1 の実験ケースにおける枚数のおよそ 4 分の 1 である。そのため、画像 1 枚あたりの識別の成否の影響が大きくなり、識別成功率の変化として表れたと考えられる。しかし、入力画像枚数のうち花崗岩に注目すると、表 1 の実験ケースより表 3 の実験ケー

スの方が少ないものの枚数に大きな違いはないにもかかわらず、識別成功率の変化が激しい。よって、画像枚数以外にも識別成功率を低下させる要因があると考えられる。これらより、撮影条件の調整の有無によって、画像の識別に影響する要素に変化が生じると予想される。以上より、提案手法では撮影条件の調整が重要であるとわかった。

表 3 実験ケース

ケース	学習画像枚数 (撮影条件を調整する)		入力画像枚数 (撮影条件を調整しない)		クラス 数
	花崗岩	花崗岩以外	花崗岩	花崗岩以外	
1	10枚	20枚	7枚	6枚	2
2	10枚	20枚	7枚	6枚	4
3	10枚	20枚	7枚	6枚	8
4	10枚	20枚	7枚	6枚	16
5	10枚	20枚	7枚	6枚	32

表 4 実験結果

ケース	クラス 数	識別 成功率	花崗岩		花崗岩以外	
			成功	失敗	成功	失敗
1	2	84.6 %	6枚	1枚	5枚	1枚
2	4	69.2 %	3枚	4枚	6枚	0枚
3	8	53.8 %	1枚	6枚	6枚	0枚
4	16	84.6 %	5枚	2枚	6枚	0枚
5	32	61.5 %	2枚	5枚	6枚	0枚

6. RGB 成分分離画像の利用による効果

一般にデジタル画像は RGB(Red, Green, Blue)成分で表現することが出来る。そこで、目視による岩石分類において色に着目することから、RGB 成分に分離した画像を用いる方法を検討した。この実験は図 3 および図 4 と同様の流れで行うが、特徴点は RGB の各成分に分離した画像から検出する。その結果、単純計算で画像の情報が 3 倍になり、色の情報も考慮することが可能になる。

実験ケースを表 5 に示す。実験ケースの学習画像と入力画像の組み合わせは表 1 と同じである。クラス数は RGB 成分画像それぞれに存在するため 3 倍になる。

実験結果を表 6 に示す。表 6 より、識別成功率は識別のクラス数の増加に伴い上昇することが判明した。また、特徴のクラス数が 4×3 以降は、ほぼ同様の識別成功率である。これらの、識別成功率は識別のクラス数の増加に伴い上昇し、ある程度のクラス数になると変化が小さいという傾向は、表 2 の結果と同様である。また、変化が小さくなったときの識別成功率は、約 85 %と表 2 の結果と同じであり、識別成功率の上昇は確認できなかった。以上より、提案手法では RGB 成分画像の利用による改善効果は小さいとわかった。

表 5 実験ケース

ケース	学習画像枚数 (撮影条件を調整する)		入力画像枚数 (撮影条件を調整する)		クラス 数
	花崗岩	花崗岩以外	花崗岩	花崗岩以外	
1	10枚	20枚	9枚	35枚	2×3
2	10枚	20枚	9枚	35枚	4×3
3	10枚	20枚	9枚	35枚	8×3
4	10枚	20枚	9枚	35枚	16×3
5	10枚	20枚	9枚	35枚	32×3

表 6 実験結果

ケース	クラス 数	識別 成功率	花崗岩		花崗岩以外	
			成功	失敗	成功	失敗
1	2×3	65.9 %	9枚	0枚	20枚	15枚
2	4×3	84.1 %	8枚	1枚	29枚	6枚
3	8×3	86.4 %	8枚	1枚	30枚	5枚
4	16×3	86.4 %	8枚	1枚	30枚	5枚
5	32×3	84.1 %	7枚	2枚	30枚	5枚

7. まとめ

- (1) SIFT によって取得した特徴点と特徴量が、花崗岩検出の指標になりえることが分かった。
- (2) 提案手法では、撮影条件の影響を受けることと、RGB 成分画像の利用による改善効果が小さいことが分かった。

謝辞

広島大学大学院玉木徹准教授に画像解析技術に関する助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) David Lowe: Distinctive image features from scale-invariant keypoints, International Journal of Computer Vision, Vol.60, No.2, pp.91-110, 2004.
- 2) Toru Tamaki, Junki Yoshimuta, Misato Kawakami, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda, Shigeto Yoshida, Yoshito Takemura, Keiichi Onji, Rie Miyaki, Shinji Tanaka : Computer-Aided Colorectal Tumor Classification in NBI Endoscopy Using Local Features, Medical Image Analysis, Vol. 17, No. 1, pp. 78-100, 2013