

トンネル切羽画像に対する色特徴を 利用した岩領域と粘土領域の 識別方法

平成 27 年度

三重大学大学院地域イノベーション学研究科

地域イノベーション学専攻

荒川 剛

目次

第1章	はじめに.....	1
第2章	自動岩判定システムの提案.....	2
2.1	現在の岩判定手法.....	2
2.2	従来の岩の風化度の判定方法.....	3
2.3	風化度の計測方法.....	5
2.4	本研究の目的.....	6
2.4.1	研究の具体的な手順.....	8
2.5	本研究で使用するトンネル切羽画像データベース.....	9
第3章	切羽部分の RGB 色分布.....	11
3.1	切羽切出し手法と RGB 色空間での散布図の作成方法.....	12
3.2	トンネルカラー画像の読み込み.....	15
3.3	カラー画像処理.....	16
3.4	RGB 頻度分布.....	17
3.5	RGB 各色成分値の散布図作成.....	18
第4章	表色系 L*a*b による各部分の抽出.....	29
4.1	RGB から L*a*b への変換.....	30
4.2	L*a*b による岩、粘土領域のヒストグラムと散布図.....	32
第5章	a*成分と b*成分の画像表示.....	42
5.1	L*a*b*による岩、粘土領域の a*成分と b*成分の画像表示.....	42
5.2	様々な地質による画像表示.....	43
5.3	切羽画像の部分拡大方法.....	49
第6章	まとめ.....	52
	謝辞.....	53
	参考文献.....	54

Separation of rock and clay using color features on a tunnel face image

Go Arakawa
March 2016

1. Introduction

The cost of tunnel excavation depends strongly on the geology of the mountain. The geology is estimated by the distribution of rock and clay in the tunnel rock face after blasting with dynamite, and it is the important elements to examine the geology by hammering test and visual inspection at the present [1-3]. Inspectors of the geology draws a visual sketch from the state of a face image, and they determine the degree of rock by his experience from the tunnel rock face image. The different decisions between the inspectors of an administrative office and construction supplier is a large problem for estimating the construction cost. The inspection results are one of the important factor for establishing a steel auxiliary structures. The degree of reinforcement by steel auxiliary structure significantly affects the cost of the tunnel construction.

In this paper, I consider the separation of rock and clay regions using color feature on a tunnel face image (Fig.1).



Fig.1 Tunnel face image

2. Separation method of rock and clay region

The tunnel face image is provided by Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan. The images are captured by some usual cameras, and the lighting and the properties of cameras are not equal. My proposal system will cover the various capture conditions. I implemented the checking system of color distribution using Visual C# language on Windows.



Fig.2 Clay part

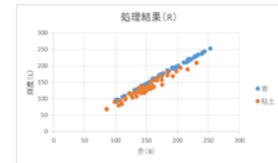


Fig3. Scatter for R vs L

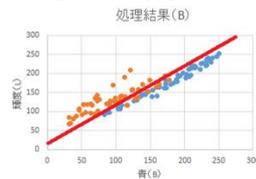


Fig.4 Scatter for B and L

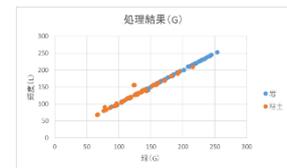


Fig.5 Scatter for G vs L

Result and problem

The regions of clay and rock are pointed by mouth in the tunnel face image (Fig. 2), and the scatter diagrams for each region are shown in Fig. 3-5. Fig.3, 4 and 5 show red component (R) vs luminance (L), blue component (B) and luminance (L), and green (G) and luminance (L), respectively.

- 1) To examine a characteristic of the color space, I implemented the C# program of the RGB distribution, and the distribution is presented interactively.
- 2) In the scatter diagram, the blue is most useful color to separate rock and clay.
- 3) I checked the usefulness of color components a^* and b^* .

3. Conclusions

In the separation of rock and clay, blue component is more useful than red and green components. Color components a^* and b^* are more useful than blue components for some tunnel face images.

In the future, a separation method and system are required for any tunnel face image.

References

- [1] Japan Geotechnical Society (JGS)., Method for Engineering Classification of Rock Mass, JGS 3811-2004, p.46, 2004.
- [2] Kouta Sawai et al.. Automatic Generation of Crack Sketch image for Tunnel Face Image, Proc. of Int. Workshop on Regional Innovational Studies 2015 (IWRIS2014), pp.79-82, 2014.

第1章 はじめに

トンネル工事は膨大な建設費がかかり、山の地質状況により大きく異なる。機械による掘削方法やダイナマイトで発破をかけた後のトンネル切羽における岩、粘土の状態は、地質を調べる重要な要素である。現在の岩・地質の判定は目視検査と打音検査が行われており¹⁾、検査員の目視によって手書きでスケッチ図が作成されている。しかし、この方法での判定は検査員の個人差があり、施工計画を作成する施工管理者と工事業者間で評価が異なり、適切な施工がされているか不明確である。また「割れ目の状況」「風化の程度」「粘土層の流入」「漏水の量」の判定項目も検査員の経験によって判定されているため、判断が異なることもある。この検査結果は、岩盤を補強し、崩落防止に必要な支保工の設置の施工基準となり、この支保工による補強の程度²⁾は工事全体の費用に大きく影響する。また、施工管理者である国土交通省の数が減少しており、検査員の経験の不足や、広範囲に渡る管轄において、現場での地質調査への負担が大きい。

そこで、本研究では、工事費の決定、岩・地質の判定を明確にする基礎資料を提供するために、判定基準が明確な画像処理による色情報を使用した岩・地質判定システムを設計・作成するための特徴量を見出し、判定を適確に行うことを目的とする。従来的には、このシステムの使用により、検査員が現場へ出向く回数が少なくなり、客観的な岩・地質評価ができ、低コスト化ができる。例として、現在ある工事事務所では、4つのトンネル工事を担当しており、工事事務所とトンネル現場の往復時間に平均5.4時間かかり、現場でのトンネル評価時間に平均約1時間かかる。トンネルの地盤の性質により往復する回数は様々であるが過去の記録を分析すると、トンネルまでの往復の時間と評価時間を合わせると月に約20時間かかっており、本システムで導入することにより、約半分になると工事事務所の職員は想定している。すなわち、ひと月に10時間の労働時間の節約ができ、現場へ往復する場合の危険率を低減することが出来る。

本研究で開発するシステムはトンネル切羽のカラー画像から色情報を抽出し、この情報を統計処理し、岩、粘土の領域をコンピュータ画像処理により自動判別するシステムである。このシステムを開発することにより、問題点を解決できる。本研究では、国土交通省の加藤典子氏から提供していただいた現場の切羽画像のデジタルデータを用いて調査を行うために、WindowsのVisual C#言語を使用し、プログラムの作成を行った。

第2章 自動岩判定システムの提案

2.1 現在の岩判定手法

現在、岩判定手法においては、図 2.1 に示すように、現場において、検査員による目視での評価が行われている。しかし、検査員は評価シートを用いて、自らの経験によって評価を行っている。現地に行って目視で観察を行うことで、実際の岩の状態を目近で確認することができる。しかし、以下のような問題が起こっている。

- (1) 評価に検査員によるバラつきが生じることで、適正な施工が行われているかわからない。
- (2) 施工管理者と施工業者で意見の食い違いが生じ、客観的判断が難しい。
- (3) 検査員が現地に頻繁に行く必要があるため、人的負担が大きい。
- (4) 判定方法が数量化されていないため、適正な施工が行われていないことがある。



図 2.1: 岩判定現場

2.2 従来の岩の風化度の判定方法

自動岩判定システムの従来研究には、鹿島建設株式会社が開発したタブレット PC を用いた山岳トンネル切羽の「風化変質判定システム」³⁾が挙げられる。これは、タブレット型パソコンのカメラを用いて、トンネル切羽部分を撮影し、画像の画素ごとの色調を計測して図 2.2 のように、等高線で表示し、岩盤の風化の度合を測定する。このシステムのメリットは複雑な操作が不要で、一回の処理で全体の評価を行うことができる点、定量的な評価ができる点であるとされている。しかし、風化の度合以外の評価をすることができず、それ以外の要素の評価ができないため、このシステムだけでは、岩・地質判定を行うことは難しい。

このシステムには①L*a*b*表色系の a*と b*を使用した判定や②HSV 表色系の H を使用した判定されている。しかし②の判定は現在試作システムが開発され試験中であるが、①の判定は手作業により判定されているという現状であり、この判定方法もシステム化していく必要があると考える。

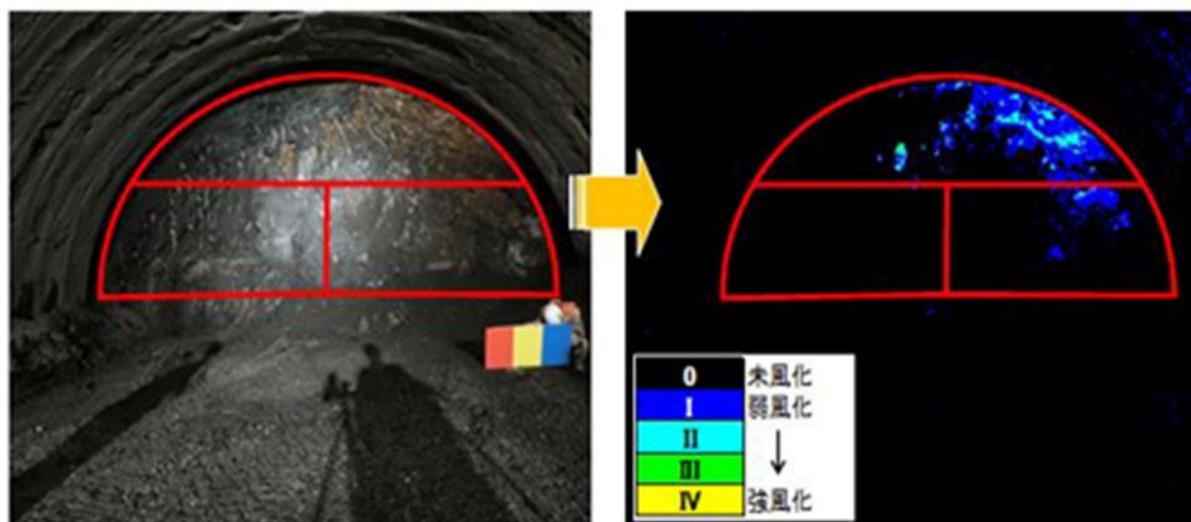


図 2.2: 風化変質判定システムの適用例

また、トンネル切羽のフラクタル次元の数値から岩盤評価(地質状況の表価)、岩盤変形特性評価、支保パターン評価や地盤改良効果の評価などの岩盤安定性評価をおこなうとともに、その数値の切羽ごとの変化から地質構造の変化を察知し、トンネル切羽前方の地質(断層破碎帯)を事前に予測するフラクタル画像解析を用いた手法⁴⁾、岩盤固有の特性と掘削による幾何学的情報から、岩盤ブロックを抽出し、その安定性を評価する手法⁵⁾、ハンマーを使った起振による振動を発振点と予め設定した各受振点との振動の伝播速度の違いを計測して岩盤前方の地質を予測する反射トモグラフィーを用いて評価する方法⁶⁾、の研究が報告されているが、岩と粘土を自動分類するシステムはまだ開発されていない。そこで色情報により粘土の含有状況を判定できる自動診断システムが必要とされている。

上記のように、従来の岩・地質判定システムでは、以下のような問題点がある。

- (1) 「風化変質程度」、「割目の間隔・状態・向き」の項目を目視で確認し、判定の差が個人によって影響されやすい。
- (2) 岩領域、粘土領域の分布状況を人手により行っており、自動的定量的に計測できない。

本研究では、特に(2)の問題について、岩領域、粘土領域の分布状況を自動的に計測できる方法を構築するために RGB 表色系と L*a*b*表色系により、どの程度岩領域と粘土領域が分離できるか調査した。

2.3 風化度の計測方法

現在、岩判定方法で定量化されているものとしては、岩の風化度があり、地盤工学会で熱心に検討されている。

岩石は風化すると褐色系へ色に変化する。色彩色差計を用いればそれを定量的に示すことが可能である。

丹波鯛の砂岩の風化状況¹⁾について色彩色差計を用いて計算した図 2.3 に示す。この図では横軸 a*値、縦軸に b*値をそれぞれの岩盤等級区分ごとにプロットしてある。

・各岩級区分における a*、b*値のおよその範囲は、

新鮮部(C_M級) : $-1.3 < a^* < 1.3$, $b^* < 8.0$

中風化部(C_L級) : $0.0 < a^* < 3.3$, $8.0 < b^* < 18.0$

強風化部(D 級) : $0.5 < a^* < 4.5$, $18.0 < b^* < 25.0$ である。

上述したように、風化作用においては主として水酸化鉄が生成するために色調が黄褐色へと変化すると考えており、この図 2.3 から岩盤等級区分が風化の程度を大きく反映したものである。

この従来の風化度の判定方法は、a*と b*を使用した判定方法以外に、HSV 表色系の H を使用した判定方法があるが、詳細は公表されておらず、システムだけが発表されている。そこで本研究では、a*b*による判定方法は手作業により判定されているため、L*a*b*による岩判定方法に注目し、第 1 段階として、岩領域と粘土領域の分離方法についてシステム化していくことを目指す。

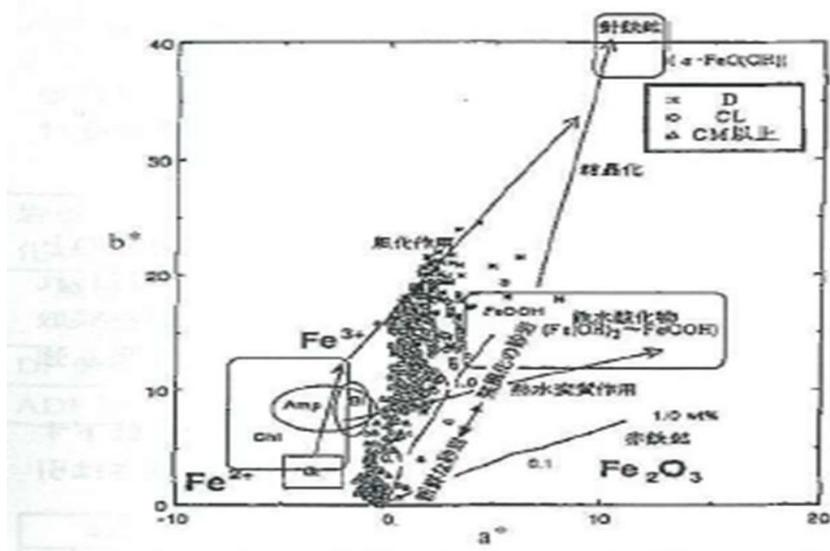


図 2.3 : 丹波帯の砂岩の風化状況と色彩値との関係¹⁾

2.4 本研究の目的

2.2 節で述べたように、総合的に判断するシステムは従来報告されていない、そこで本研究室では自動で総合的に岩盤の状態を評価⁸⁾し、強度を診断するシステム⁹⁾を提案することを目指し、澤井が岩の割れ目抽出の研究を行った。

図 2.4 に、本研究で作成しているシステムのフローチャートを示す。

本研究では、システムの

1. 目視で岩領域,粘土領域度数分布を比較
2. カラーの色情報を抽出
3. 色情報より岩領域,粘土領域の自動判別

を取り扱う。

また本研究の目的は、

- (1) $L^*a^*b^*$ 表色系の a^* 成分と b^* 成分を使用した判定方法を検討するために、RGB 表色系の輝度(L)と RGB の各成分に関する散布図と、 a^* 成分と b^* 成分の散布図を比較すること
- (2) a^* 成分と b^* 成分の抽出箇所を評価するために、 a^* 成分と b^* 成分の画像表示を行い、岩領域と粘土領域の分離性を調査すること

である。

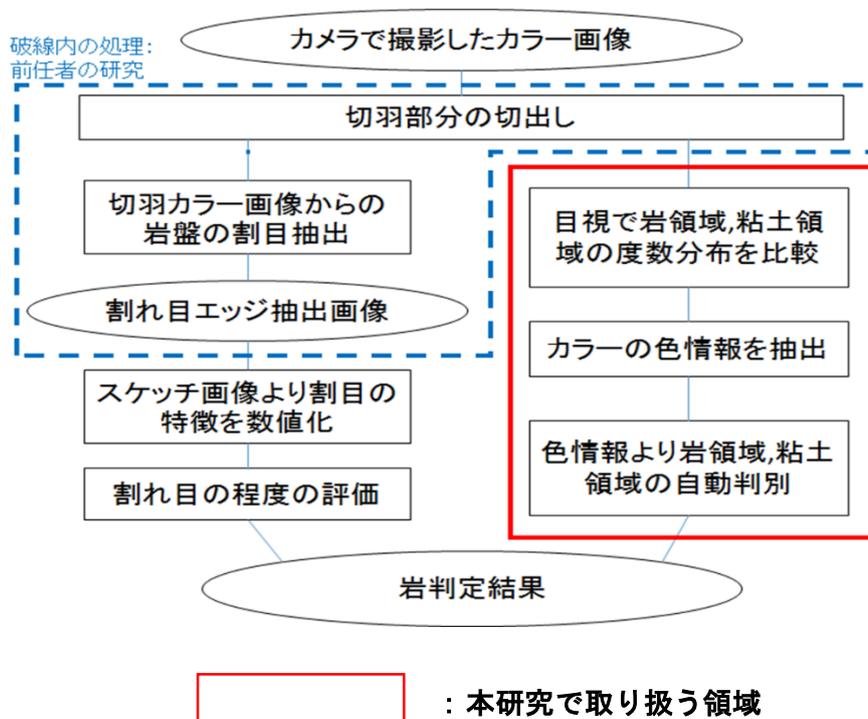


図 2.4: 提案するシステムのフローチャート

図 2.5 に切羽部の切出しで抽出対象となる切羽部分の例を示す。赤枠で囲まれた部分が抽出対象となる切羽部分である。

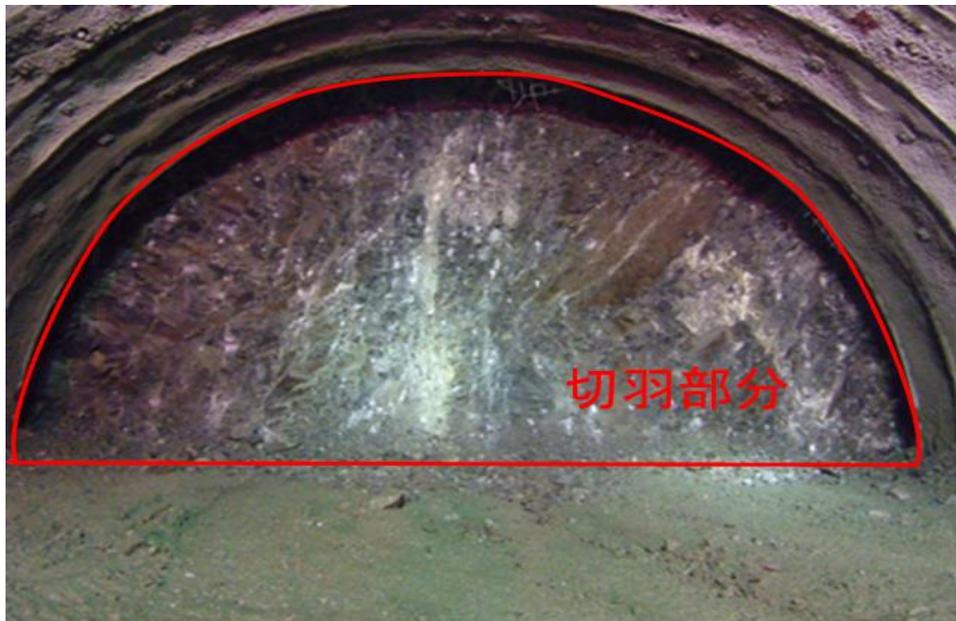


図 2.5: 対象となる切羽部分の例

図 2.6 に岩、粘土、湧水の対象となる例を示す、矢印で示す部分がカラー抽出の対象となる部分である。



図 2.6 : 対象となる切羽画像の例

2.4.1 研究の具体的な手順

図 2.5 や図 2.6 で示したような切羽部分の画像を用いて、岩領域と粘土領域を 自動判別する方法の検討を行う。

そこで研究の具体的な手順として、

1. RGB 表色系における各色成分の分布を検討
2. RGB 表色系における(L)と各成分の散布図の表示
3. L*a*b*表色系における a*成分と b*成分の散布図の表示
4. 岩領域と粘土領域の分離性能を調べるための a*成分の画像と b*成分の画像の表示

を行い、切羽画像の岩領域と粘土領域の分離状況を調べる。

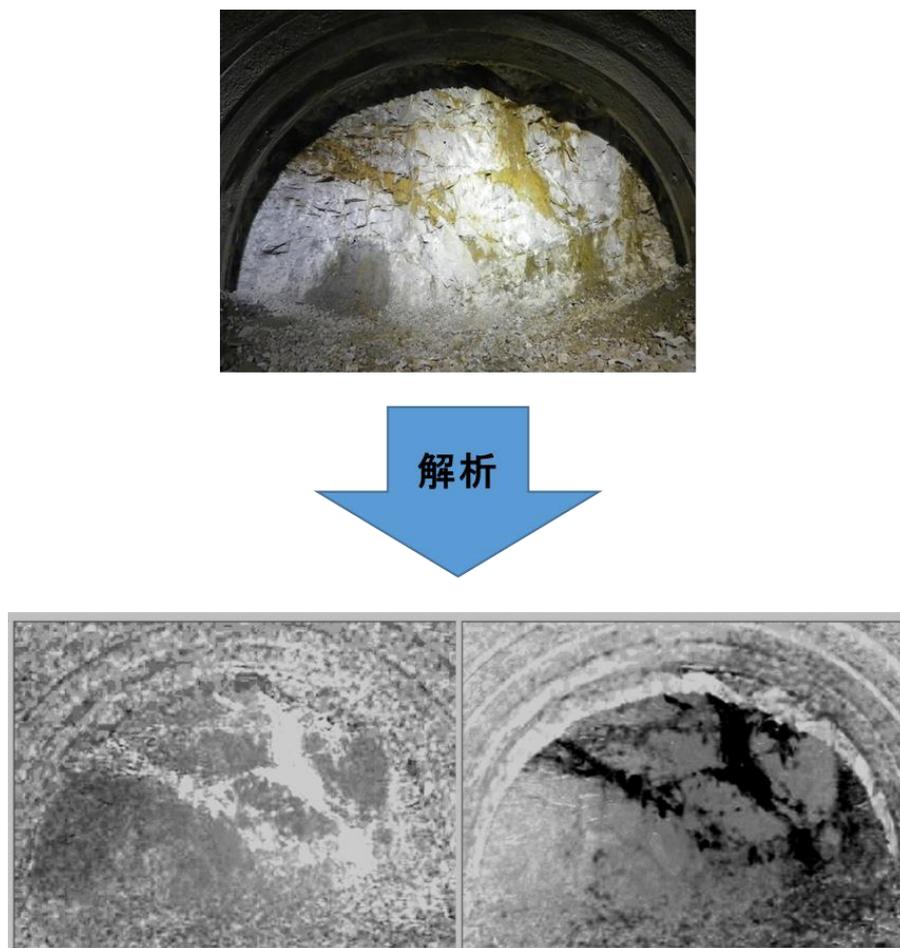


図 2.7:切羽画像の解析

2.5 本研究で使用するトンネル切羽画像データベース

使用するトンネル切羽画像は、国土交通省で実際の工事現場で撮影された様々なトンネル切羽画像(図 2.8)を提供していただき使用している。



図 2.8：トンネル工事現場での切羽と支保工

トンネル切羽とは、鉱石の採掘やトンネル工事で掘削が行われる現場であり、トンネル掘削の最先端箇所である。またトンネルの掘削方法は、大きく 2 つの方法がある。岩盤の硬さに応じて、機械で掘削する方法、ダイナマイトを使って発破する方法である。さらに山の地質が柔らかい場合は、岩盤を補強し、崩落防止に必要な支保工を設置する。支保工を設置する工事は多くの費用がかかるため、山の硬さ、支保工の有無は工事費に大きく影響する^{10) 11)}。(図 2.9)



図 2.9：トンネル掘削方法

現在，岩判定の結果とその支保パターン，不適切な支保により発生した事故の情報は保管されているが，詳細なデータベース化はされておらず，蓄積された情報が活用されてい
るとは言えない．前節で提案したシステムを用いることで，岩判定情報のデータベースを
作成し，過去の適切でない支保などで発生した事故の情報と組み合わせることで，適切な
支保パターンの施工を行うことができる可能性がある．図 2.10 は想定するデータベース
の利用方法である．

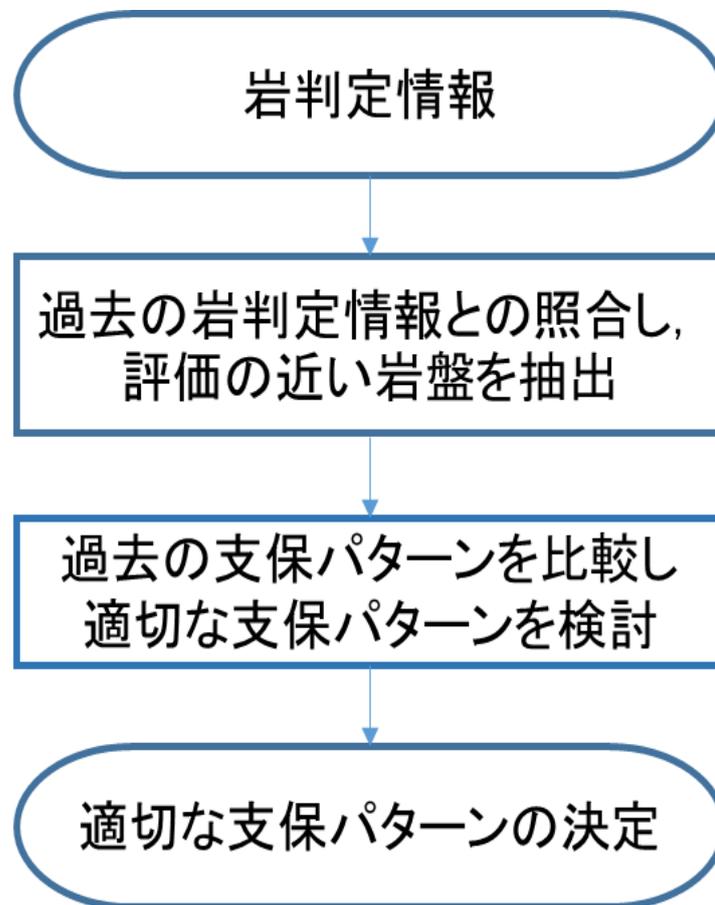


図 2.10: データベース利用方法のイメージ

第3章 切羽部分のRGB色分布

この章では、図 2.5 の切羽部分を含むトンネルカラー画像から切羽部分を抽出する手法を提案した澤井氏のプログラム⁸⁾を参考に、その後、RGB成分を求め、散布図を作成した。

切羽画像のデータは、国土交通省職員加藤から提供していただいた画像を使用した。

また本研究では、既存のプログラム¹¹⁾を使用し、RGBの各色成分の頻度分布を出し、成分値を算出し、分離性を調べるために散布図を作成した。

3.1 実験環境

本実験では、プログラミング言語 Microsoft Visual C#でシステムの開発を行い、以下のPCで実験を行った。

OS : Windows8

CPU : Intel Core i7-4770 3.40GHz

RAM : 16GB

ソフトウェア : Visual Studio 2012

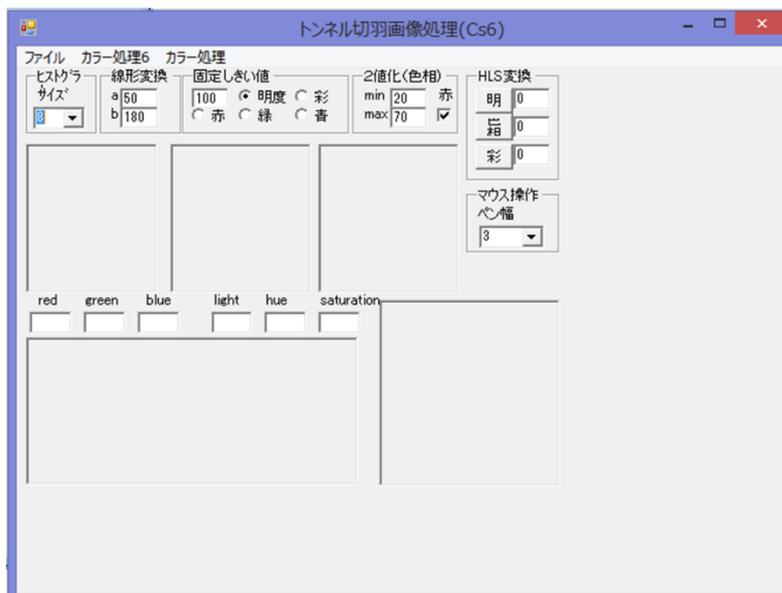


図 3.1 : RGB プロジェクトのフォーム

3.2 切羽切出し手法とRGB色成分での散布図の作成方法

前任者の澤井の手法では、Windows上のプログラミング言語である Visual C#を使用して、切羽部分を含むトンネルカラー画像から支保工部分を除去するためのマスク画像を作成し、その画像をマスク画像として切羽部分を抽出するアルゴリズムの作成を行った。（図 3.2, 図 3.3）

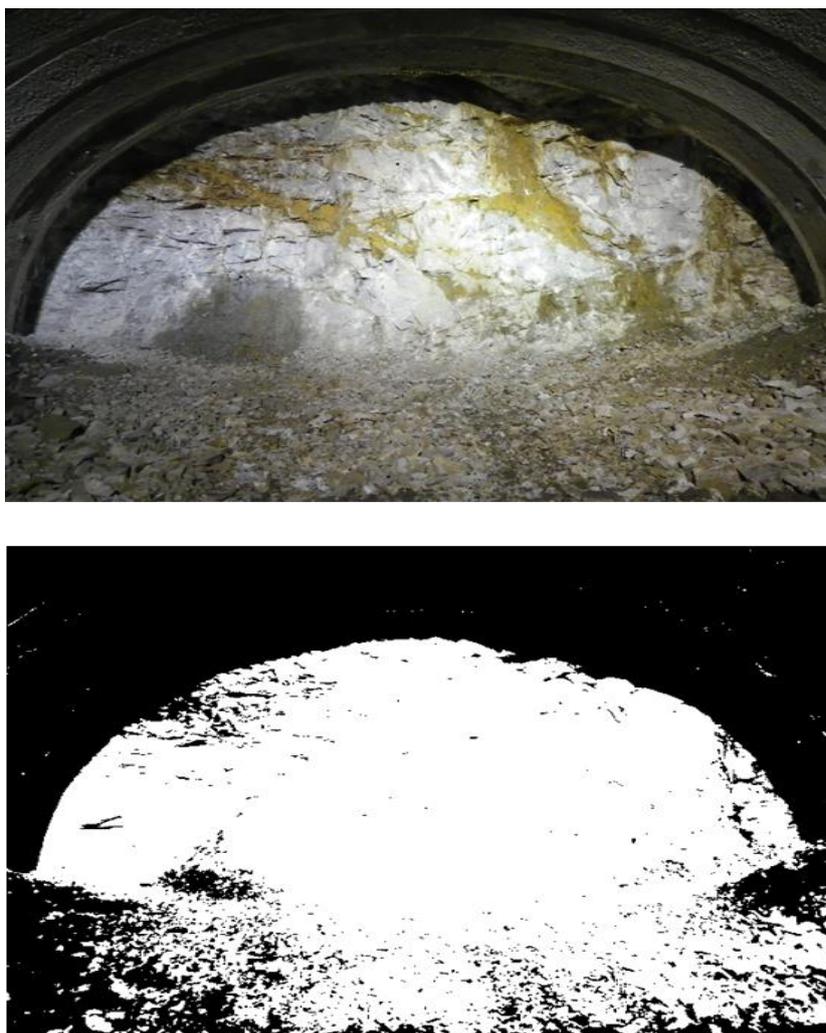


図 3.2 : マスク画像の作成例 1 (上 : 入力, 下 : 出力)



図 3.3 : マスク画像の作成例 2 (上 : 入力, 下 : 出力)

図 3.4 に本研究で提案する手法のフローチャートを示し, 各処理の具体的な説明を次節以降に記述する.

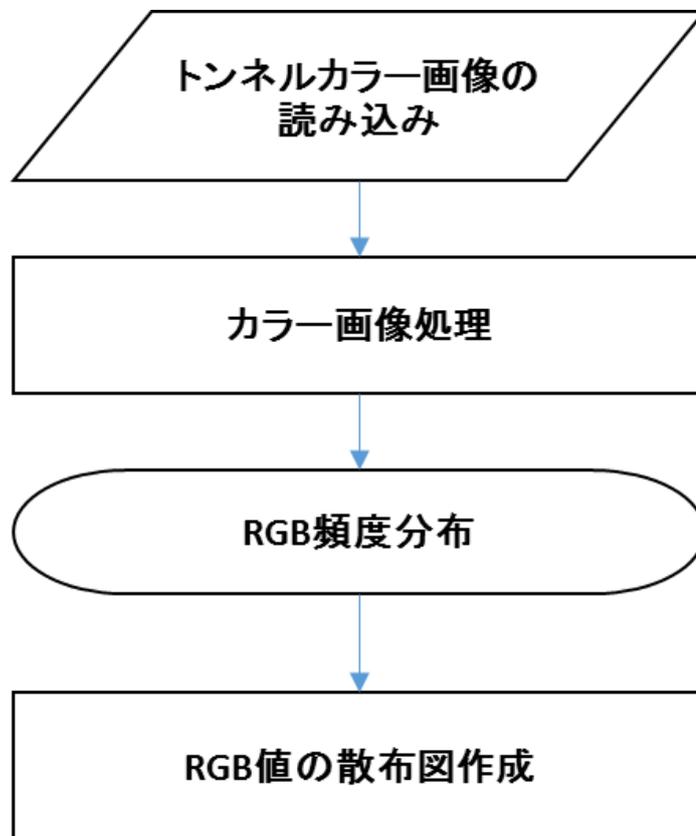


図 3.4: 提案手法のフローチャート

3.2 トンネルカラー画像の読み込み

本研究では、過去にトンネル掘削現場で撮影され、目視による岩・地質判定に使用された画像を対象として、3.1 節で述べた既存のシステムを使用し、コンピュータに読み込む。(図 3.5)

照明や、切羽部分までの距離の撮影の条件は画像によって異なり厳密に決定されていない。



図 3.5: 処理対象画像の読み込み

3.3 カラー画像処理

・ RGB 色空間

R、G、B を 3次元空間の直交座標軸に割り当て、それぞれの最大の明るさを 1 とすれば、すべての R,G,B で表現可能な色は幅が 1 の立方体の中に入る。この立方体を RGB 空間と呼ぶ。

原点は黒を表し、向かい合う頂点は白を表している。¹²⁾

提案手法では、この RGB 色空間を使用し局所領域における各画素の RGB 値を求める。

RGB と次式 (3.1) の関係ある。

$$\begin{cases} Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ C_1 = R - Y = 0.701R - 0.587G - 0.114B \\ C_2 = B - Y = -0.299R - 0.587G + 0.886B \end{cases} \quad (3.1)$$

この Y は、輝度値 (明るさ、明度) を表している。表色系には CIE (国際照明委員会) が定めた XYZ 表色系があり、この Y が輝度値を表している。

式 (3.1) の Y 信号における R,G,B に対する係数は、比視感度曲線を考慮して作られており、R=G=B のとき、すなわち、無彩色のときは Y=R=G=B となる。

色情報の C_1 、 C_2 は、それぞれ R,B から輝度信号 Y を差し引いたなっており、色を表す孤立な変数として Y, C_1 , C_2 を用いた色空間が YCC 色空間である。

輝度信号 Y と色差信号 C_1 , C_2 から R,G,B を次式 (3.2) によって計算する。

$$\begin{cases} R = Y + C_1 \\ B = Y + C_2 \\ G = Y - \frac{0.299C_1 + 0.144C_2}{0.587} \end{cases} \quad (3.2)$$

3.4 RGB 頻度分布

ここでは、RGB プロジェクトのフォーム (図 3.1) より、切羽画像を取り込み、RGB 成分と輝度の頻度分布を表示するために、Windows 上の Visual C# 言語で既存のプログラムを使用した。

RGB 表色系における各色成分の分布の検討を行った。RGB 各成分に分解できるので、それぞれの画素数を調べ 3 原色信号の濃度値頻度分布を作成することができる。色情報を利用した領域抽出などでは局所領域の頻度分布が有効である。原画像から岩、粘土領域中の画素を手入力 (マウス) した正方形の内部は 8×8 画素の局所領域であり、この局所領域に対する RGB 頻度分布を図 3.6 に示す。

岩領域、成分値は変動するが、赤 (R)、緑 (G)、青 (B) 成分はほぼ同じ値である。

粘土領域では青 (B) 成分は他の成分に比べて低いことを確認した。

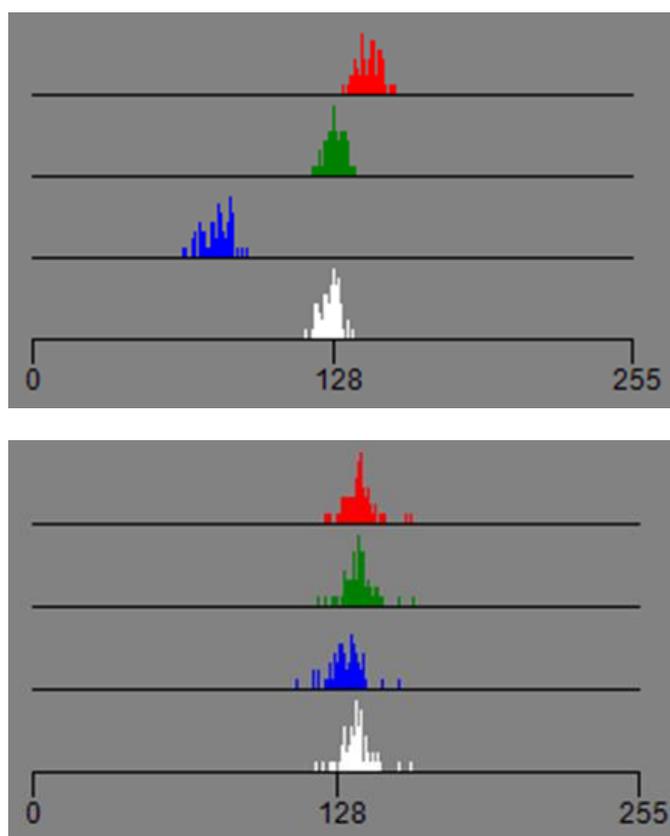


図 3.6 : RGB 頻度分布 (上 : 粘土部分、下 : 岩部分)

3.5 RGB 各色成分値の散布図作成

3.4 節で出した RGB 各色成分値を集計し、RGB 成分と輝度の散布図で岩領域と粘土領域の分離性を確認し比較検討を行い、岩と粘土領域を自動識別し面積を自動計測するための資料として、色空間の散布図を作成した。

また、マウスで指定した局所領域の箇所は、任意で岩 20 箇所、粘土 20 箇所の合計 40 箇所を検出した。岩 40 箇所、粘土 40 箇所の合計 80 箇所を検討していたが、局所領域の箇所数を増やしても結果は変動しなかったため、岩 20 箇所、粘土 20 箇所で行った。その局所領域の箇所の RGB 成分値を図 3.8、図 3.11、図 3.14、図 3.17、図 3.20 で示す。

3.4 節で RGB ヒストグラムから、RGB の各成分と輝度(L)の頻度分布を表示し、様々な地質の切羽画像（図 3.7、図 3.10、図 3.13、図 3.16、図 3.19）で検討した。地質の異なる切羽画像による比較を行い、RGB 表色系における輝度(L)と各色成分の散布図（図 3.9、図 3.12、図 3.15、図 3.18、図 3.21）を表示した。

様々な切羽画像による RGB 各色成分と輝度の散布図を表示した結果:

切羽画像 1（図 3.8）では、青成分の散布図は赤、緑に比べて、分離しており、分離性がよいことが確認できた。

切羽画像 2（図 3.12）では、青成分だけが分離していることを確認できたが、岩部分で少しばらつきがあることが分かった。

切羽画像 3（図 3.16）では、分離性は良かったが、ばらつきが大きいということが判明した。

切羽画像 4（図 3.20）では、青成分が他の成分に比べて、多少のばらつきはあるものの、分離性が良いと確認できた。

切羽画像 5（図 3.24）では、青成分の散布図は他の成分に比べて、分離していることが確認できた。

上記の分析により、青成分と輝度の散布図が最も分離性が良いということを確認できた。



図 3.7：比較検討した切羽画像 1

岩					粘土				
	R	G	B	L		R	G	B	L
1	139.3	135.2	102.2	132.1	1	115	103.2	43.2	99.3
2	178	179.3	168.2	177.1	2	125.5	111.2	53	108.2
3	183.7	185.7	180.8	184.1	3	136.1	118.8	50.2	115.6
4	199.8	199.8	198.8	199.3	4	147.6	133.5	70.3	130.2
5	211	211.2	209.5	210.4	5	154.6	141.9	82	138.3
6	189.2	189.3	188.2	188.7	6	157.9	141.3	69.6	137.6
7	199.3	200	195	198.9	7	176.1	161.9	85.7	157
8	171.9	172.1	170.3	171.5	8	199.3	186.4	97.8	179.8
9	201.5	202.3	199.6	201.2	9	185.2	171.5	80.2	164.6
10	173.2	173.8	169.8	172.9	10	199	185.9	91.4	178.6
11	161.3	160.5	158	159.9	11	186.4	170.2	80.1	164.2
12	153.8	153.5	150.5	152.6	12	127.4	113.6	67	111.9
13	153.5	154.5	149.1	153.5	13	126.8	119.9	65.6	115.1
14	150.5	150.6	149.9	150.3	14	111	100	43.5	96.3
15	129.1	126.6	112.1	125.2	15	105	95.1	59.3	93.5
16	107.3	104.2	84.6	102.4	16	204.9	200.1	143.1	194.5
17	164.2	165.7	160.3	164.2	17	100.8	90	59.3	89.3
18	147.4	146	136.9	145	18	95.9	85.5	48.7	84
19	148.1	147.9	131.6	145.5	19	82	71	41	70.3
20	162.6	162.3	159.7	161.4	20	73.4	65.5	40.2	64.4

図 3.8:切羽画像 1 の岩、粘土領域中の各色成分値

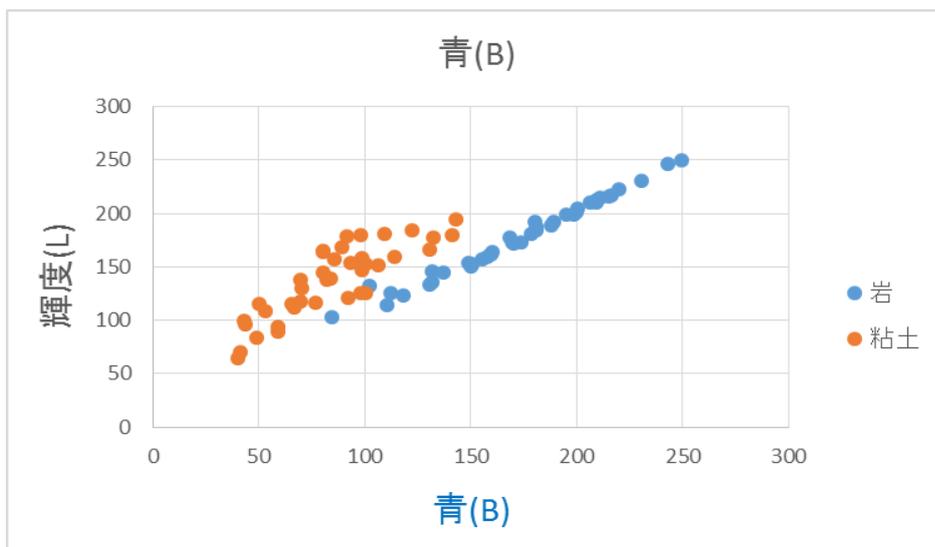
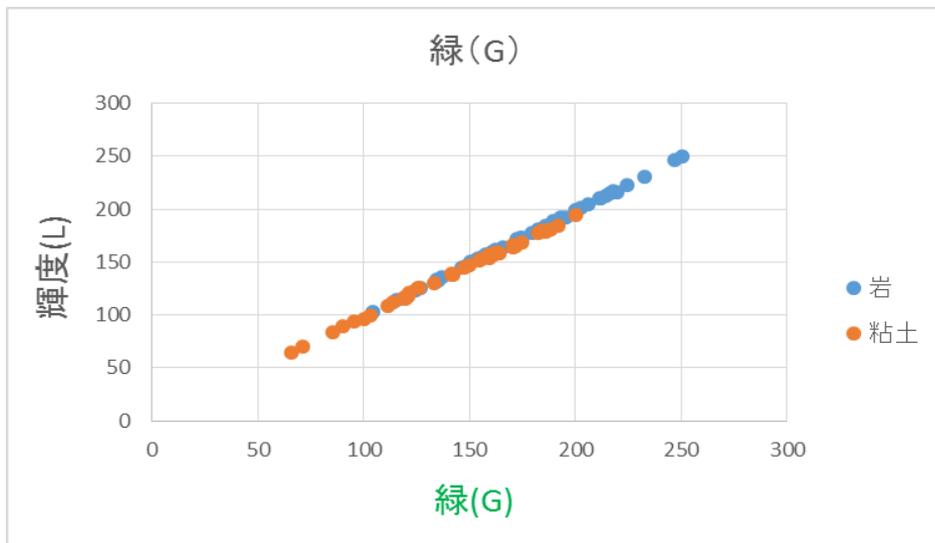
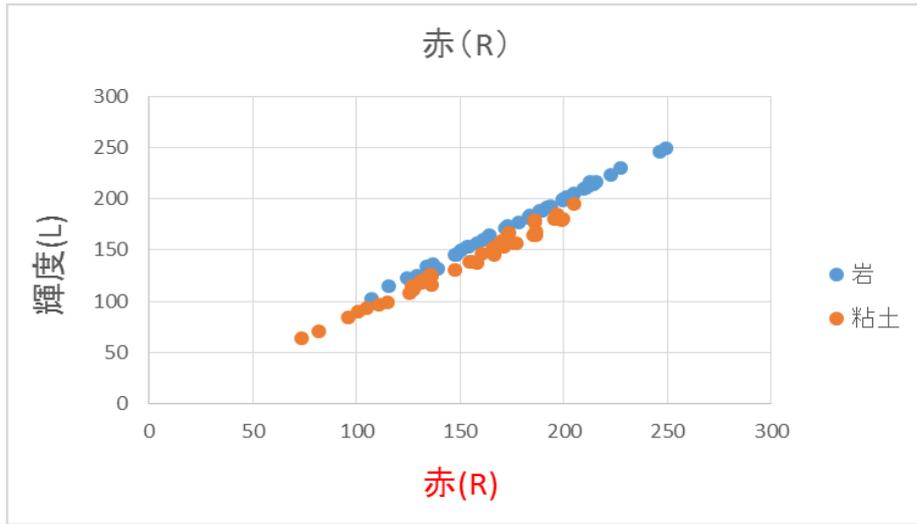


図 3.9 : 切羽画像 1 の RGB 成分と輝度の散布図 1 (上:赤(R), 中:(G), 青:(B))



図 3.10 : 比較検討した切羽画像 2

岩	R	G	B	L	粘土	R	G	B	L
	1	111.4	116.9	76.6		110.2	1	158.6	141.9
2	119.2	119	69.8	112.9	2	174.2	145.8	76.2	145.8
3	119.6	119.1	74.8	113.7	3	177.8	149.2	78.4	149.2
4	125.6	118.9	64.3	114.1	4	171.5	151.5	80.9	148.9
5	147.9	148.2	89.7	140.9	5	151.5	137.2	65.1	132.7
6	165.3	155.9	102.5	152	6	178.3	149.9	79.7	149.9
7	172.1	168.2	118.3	163.1	7	183.7	167.2	98.7	163.8
8	174.1	159.1	105.8	157.1	8	177.8	149.2	78.4	149.2
9	159.5	153.4	95.2	148.1	9	156.1	146.7	68.2	140
10	186.2	183.3	136.3	178.3	10	169.7	143.1	81.6	143.5
11	170.8	154	90.9	151.3	11	168	142.6	80.8	142.6
12	156	123.6	87.8	128.7	12	169.6	161.6	82.2	154.5
13	138.1	94	67.9	103.7	13	169.5	160.9	82	154.1
14	149.3	139.3	62.9	133	14	183.4	152.5	85.3	153.5
15	157.7	152.5	98	147.3	15	186.7	165.1	91	162.5
16	159.8	139.1	84.1	138.4	16	166.9	154.8	65	147.7
17	176.5	157.6	95.6	155.7	17	144.6	134.8	60.5	128.7
18	178.2	157.1	107.8	157.4	18	130.1	127.7	54.3	119.5
19	151.7	152.3	107.8	146.5	19	144.3	139	57	130.7
20	166.9	165.9	117.4	160.2	20	162.2	151.3	61.6	143.9

図 3.11: 切羽画像 2 の岩、粘土領域中の各色成分値

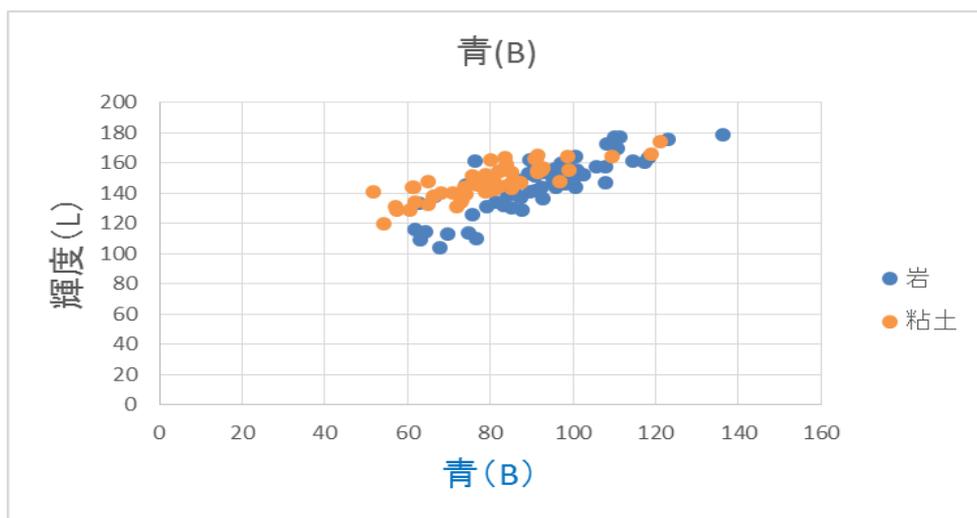
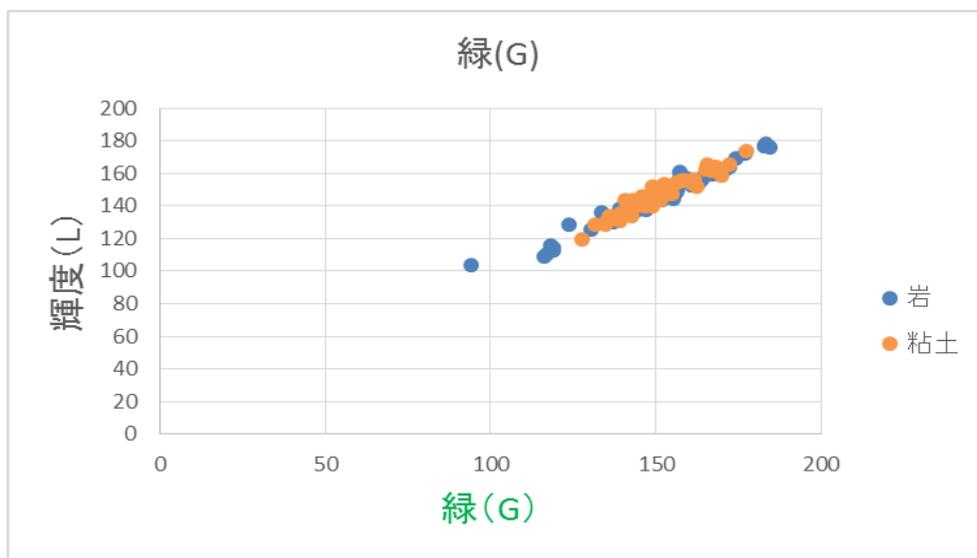
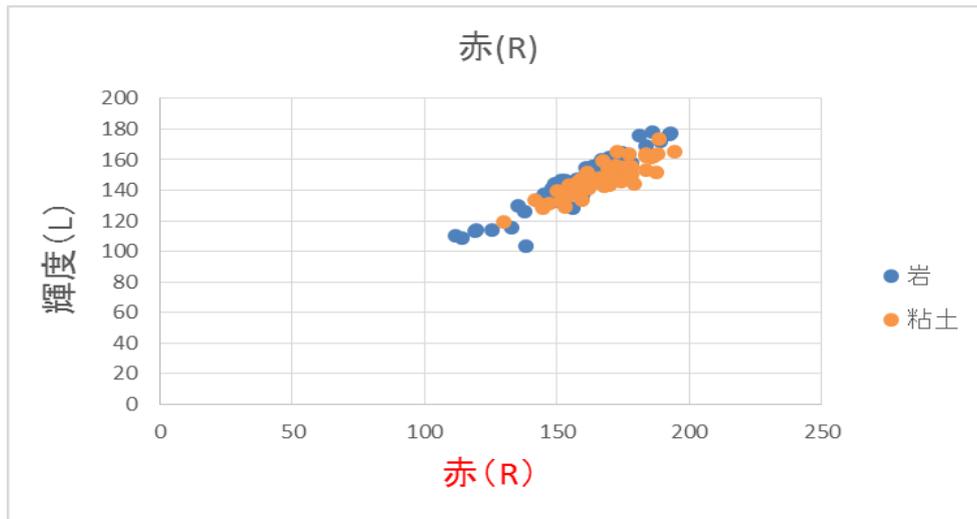


図 3.12 : 切羽画像 2 の RGB 成分と輝度の散布図 2 (上:赤(R), 中:(G), 青:(B))



図 3.13:比較検討した切羽画像 3

岩					粘土				
	R	G	B	L		R	G	B	L
1	105.7	96.2	57.6	94.1	1	100.6	88.3	23.3	84.1
2	100	91.8	58.5	90	2	92.9	77.2	10.9	73.9
3	110.1	105	56.7	100.6	3	106.4	88.9	14.8	85.2
4	99.4	93.3	46.3	89.2	4	111.5	96.4	20.3	91.8
5	118.9	111.9	72.5	109	5	95.8	88	32.5	83.5
6	111.1	104.5	63	101.3	6	112.3	107.8	49.4	101.9
7	76.6	71.1	29.9	67.5	7	120.3	115.2	49.5	108.7
8	71.8	66.4	29	63.3	8	90.9	82.4	33.1	78.8
9	121.4	115.3	73.3	111.9	9	109.3	107.3	42.4	100
10	114.6	109.1	60.7	104.6	10	123.3	122	34	111.9
11	107.3	102.4	59.9	98.6	11	120.1	112.5	44.7	106.5
12	114.5	109	61.7	104.7	12	111.8	99	26	94
13	122.7	116	76.7	112.9	13	165.9	171.3	72.2	157.8
14	107.7	101.7	53.1	97.5	14	148.9	150.8	53.6	138.7
15	73.7	67.4	28.6	64.4	15	152.6	156.1	55	143
16	75.2	68.3	27.7	65.2	16	156.9	161.4	61.5	148.1
17	113.1	110.8	65	105.8	17	157.5	160.5	54.5	147
18	111.6	106.8	61.5	102.5	18	162.2	166.6	62.4	152.9
19	105.9	100	56	96.3	19	148.6	151.4	57.6	139.3
20	108	101.4	61.7	98.3	20	160.8	164	66.1	151.4

図 3.14:切羽画像 3 の岩、粘土領域中の各色成分値

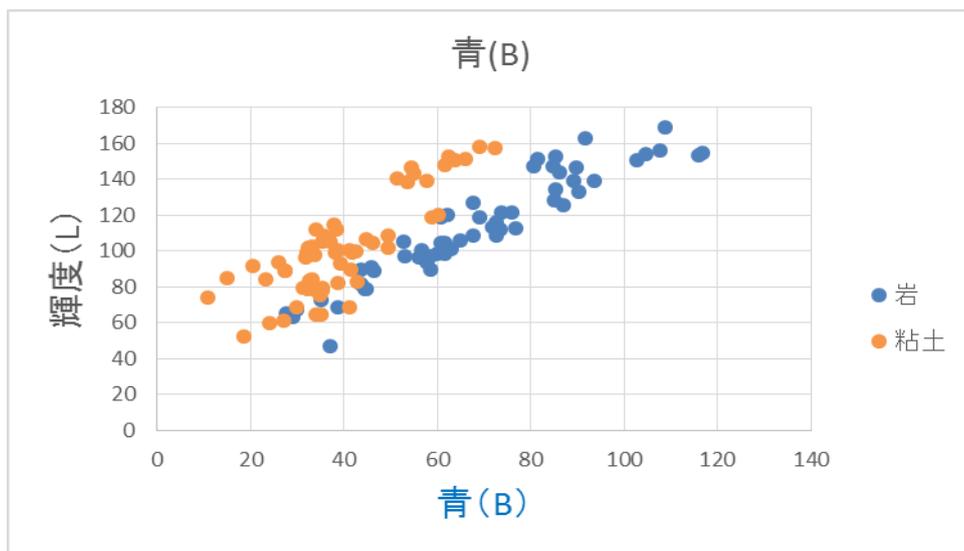
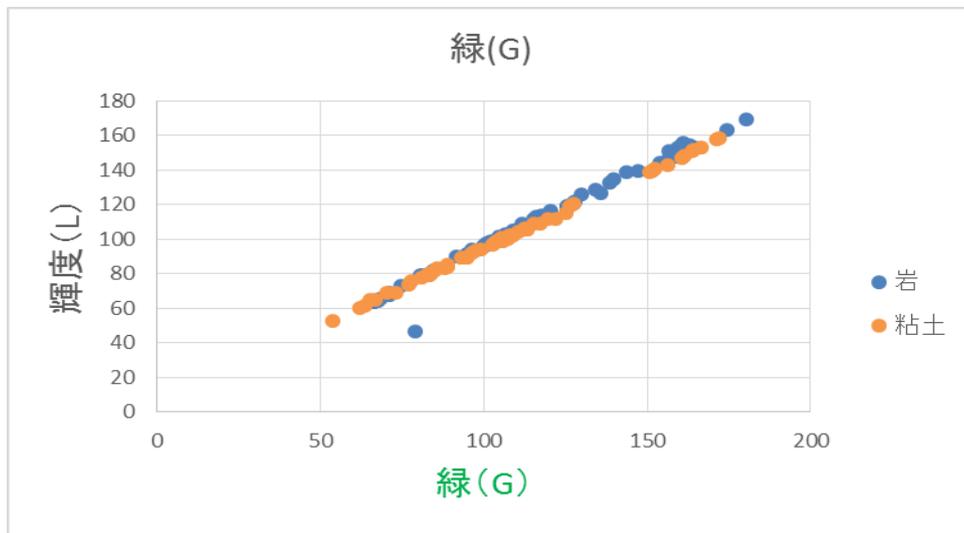
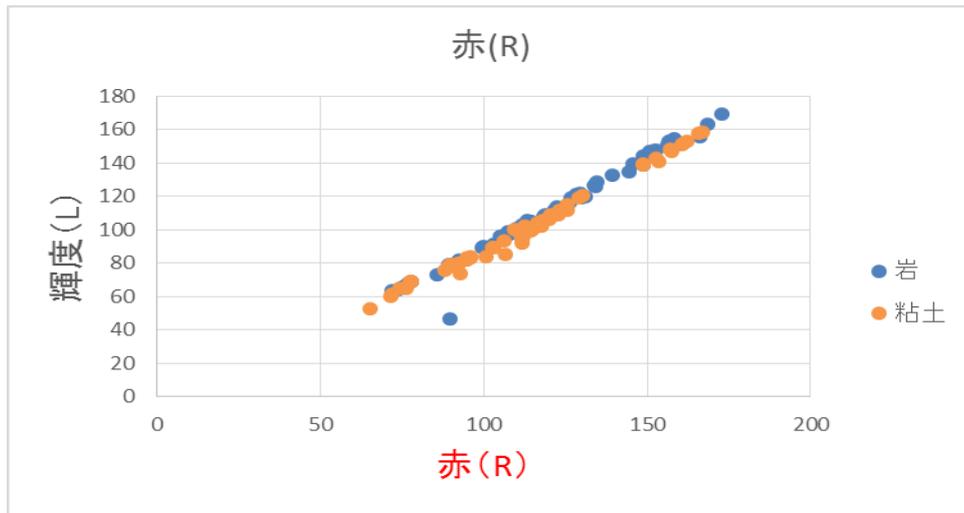


図 3.15 : 切羽画像 3 の RGB 成分と輝度の散布図 3 (上:赤(R), 中:(G), 青:(B))



図 3.16:比較検討した切羽画像 4

岩					粘土				
	R	G	B	L		R	G	B	L
1	115.2	111.9	110.5	112.1	1	104.4	92.8	61.1	92.1
2	120.9	117.1	120.6	118.2	2	128.3	111.2	68	110.9
3	128.7	123.3	126.5	125	3	117.4	105.8	77.2	105.6
4	72.6	73.8	77.2	73.4	4	134	117.3	87.3	118.4
5	80.8	81.4	85	81	5	142.6	126.7	87.5	126.4
6	74.4	75.3	78.8	75	6	184.2	168	128.7	167.9
7	82.5	82.7	87	82.6	7	151.6	144.9	132.3	144.9
8	87	88.1	93.7	87.9	8	139.4	122.4	81.9	122.4
9	115.2	118.5	130.3	118.4	9	183.2	169.4	128.3	168.3
10	162.1	160.3	171.4	161.7	10	143.8	122.8	84.4	127.1
11	205.7	205.6	205	205.1	11	131.9	112.8	70.8	113.3
12	222.7	223	224	222.6	12	125.5	117.8	101.5	117.8
13	222.1	221.3	222.4	221.2	13	182.8	179.3	157	177.3
14	216.9	217	217	216.6	14	177.5	172	138.8	169.3
15	230.6	231.6	222.2	229.8	15	194	189.2	152.8	185.9
16	129.4	135.1	149.1	134.3	16	220.5	218.7	184	214.7
17	145.2	146.2	164.5	147.4	17	208.8	207	182.9	204.3
18	190.3	192.8	210.4	193.6	18	184	178.5	144.8	175.8
19	212.8	211.8	216.4	211.9	19	190.3	185.5	163	183.9
20	106.9	105.5	111.6	106	20	142.6	126.7	87.5	126.4

図 3.17:切羽画像 4 の岩、粘土領域中の各色成分値

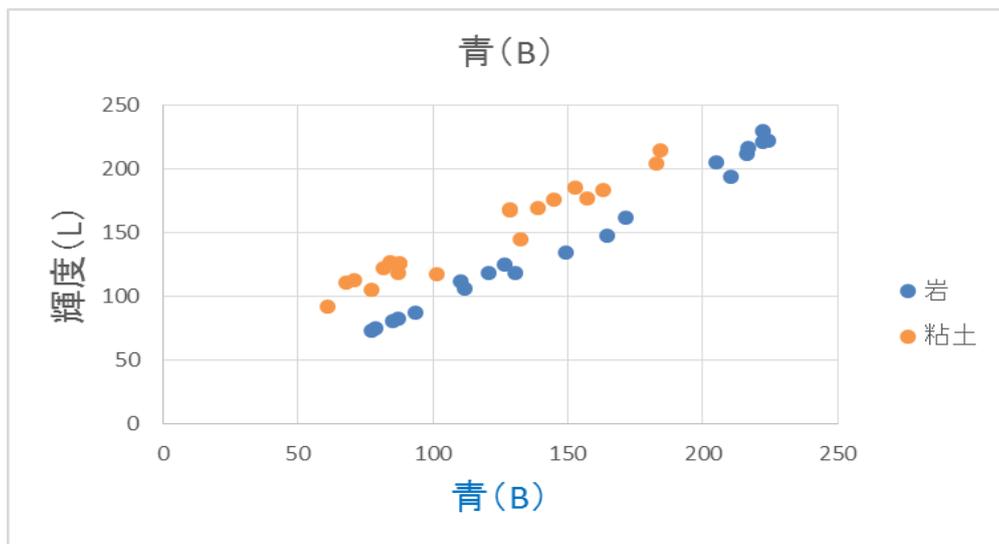
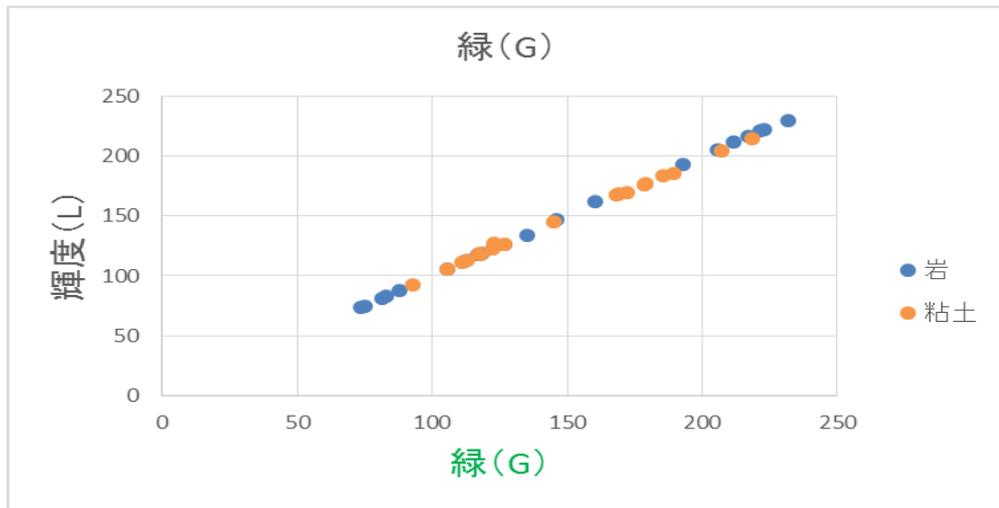
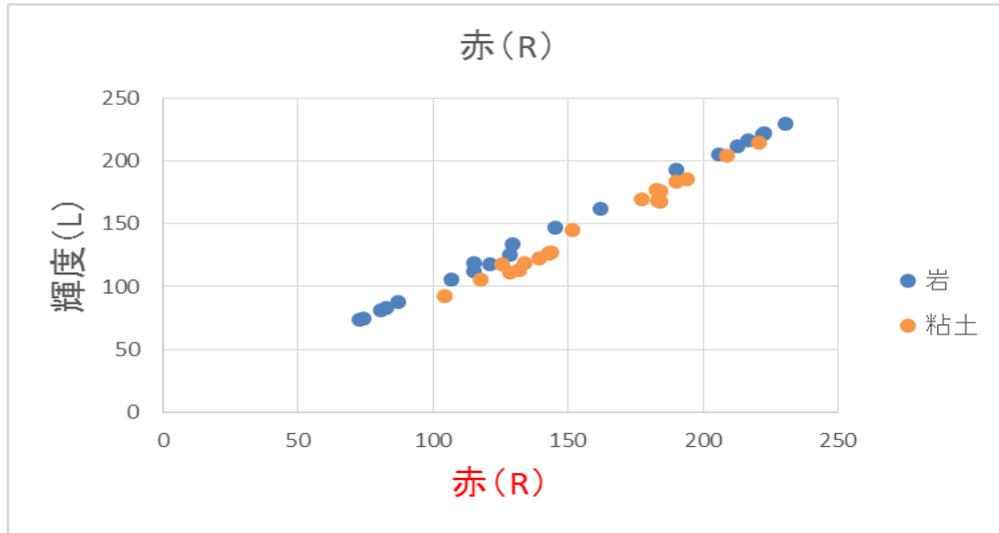


図 3.18 : 切羽画像 4 の RGB 成分と輝度の散布図 4 (上:赤(R), 中:(G), 青:(B))



図 3.19:比較検討した切羽画像 5

岩					粘土				
	R	G	B	L		R	G	B	L
1	162.5	155	141	155	1	145	141.8	99.7	137.2
2	163.6	151.8	144.8	154	2	146.4	143.6	100.1	138.9
3	145.2	138.6	128.6	138.6	3	125.5	122.4	81.3	118
4	149.9	141.4	131.3	142.4	4	134.6	131.9	86.7	127
5	102.5	97.3	90.1	97.5	5	144.8	141.7	97.3	137
6	111	102.1	93.4	103	6	149.1	146	103	141.2
7	113.6	107.1	96.5	107.1	7	139	135.5	91.3	130.9
8	156.6	150.4	139	150.4	8	145	142.6	100	138
9	158.4	152.3	140.4	152.3	9	97.3	93.2	76.5	91.9
10	180.5	176.3	156.7	174.8	10	90	87.9	72.5	86.1
11	176.7	172.3	152.1	170.8	11	91.2	89.2	73.3	87.4
12	149.7	144.4	128.5	143.7	12	97.7	93.5	75.6	92.3
13	110.1	104.5	93.6	104.3	13	96.5	93.3	76.5	91.8
14	124.6	115.1	111.3	117	14	130.4	126.7	88.6	122.9
15	75.2	67.7	58.1	68.3	15	127	123.6	87.6	120.1
16	65.4	61	51.8	60.7	16	133.2	128.8	90.4	125.2
17	70.3	64.6	56.6	65	17	136.1	132.1	90.1	127.9
18	71.9	67.9	57.6	67.3	18	93.9	91.4	74.9	89.6
19	63.5	59	52	59	19	150.2	146	107.1	142.2
20	71	66.6	56.6	66.2	20	138.2	134.2	96.5	130.3

図 3.20:切羽画像 5 の岩、粘土領域中の各色成分値

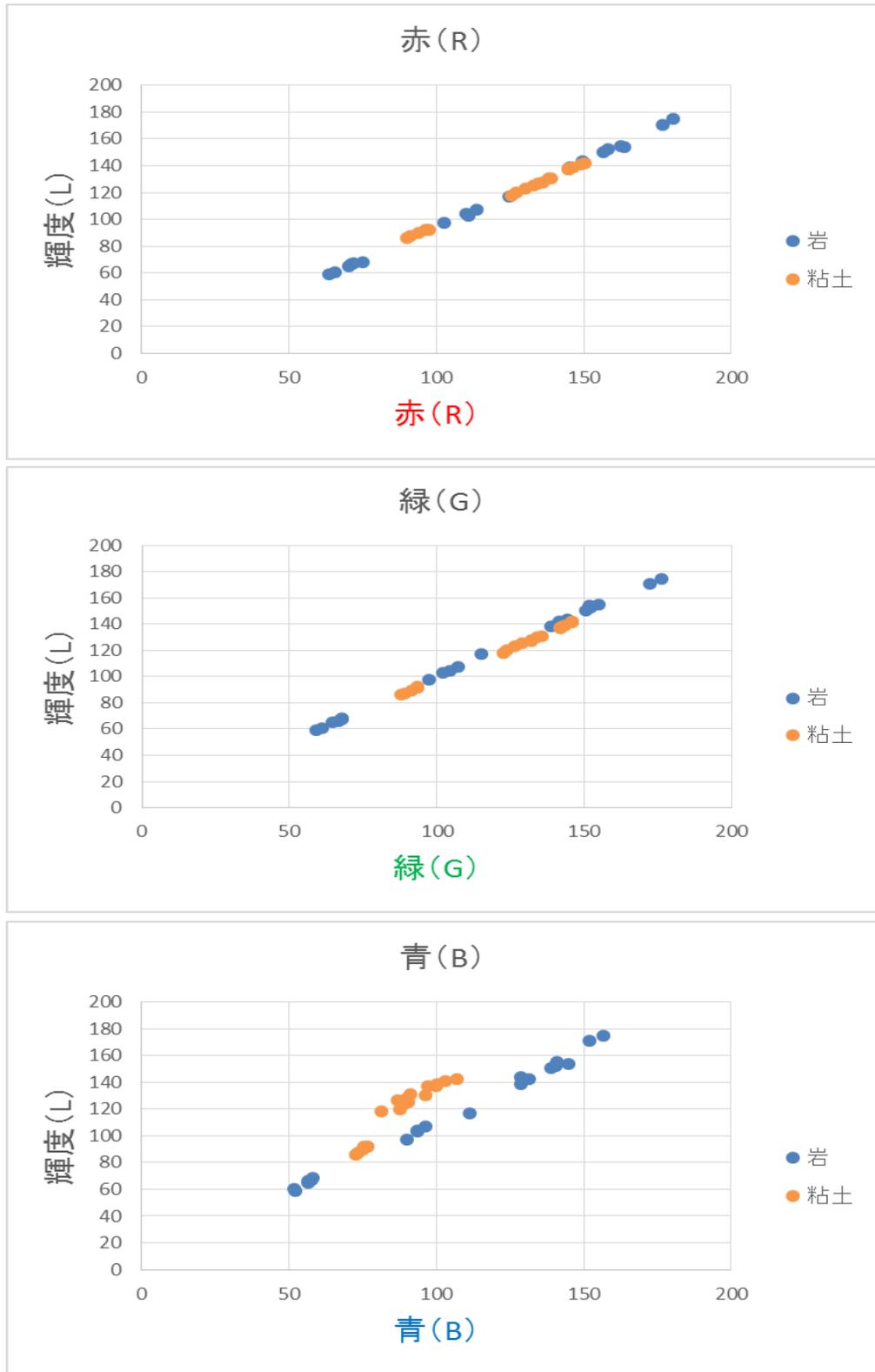


図 3.21 : 切羽画像 5 の RGB 成分と輝度の散布図 5 (上:赤(R), 中:(G), 青:(B))

第4章 表色系 L*a*b*による各部分を抽出

この章では、切羽部分を含むカラー画像を対象にコンピュータによる画像処理を行い、RGB色空間と比較検討を行うために、第3章の既存のプログラムから新たな表色系であるL*a*b*のプログラムに変換を行い、色成分について分離度を確認する方法(図4.1)を検討した。

L*a*b*を使用する理由には、色を3次元の色空間に位置付け、数値化できる。またL*a*b*表色系は、色違いを論ずる場合、色座標上¹³⁾¹⁴⁾での色の距離(ユークリッド距離)と、人間に知覚される色の違い(色差)とがなるべく一致する。このため色の差を定量的に表現する方法として定められている。



図4.1 : L*a*b*のフォーム

4.1 RGB から L*a*b* への変換

前章で述べた表色系、RGB 表色系においては、

- ①等色関数の値が、波長により負となる部分がある
- ②輝度が R,G,B の線形和となっていて扱いにくい
- ③色度図上で、色分布に偏りがある

という問題点がある。これに対して、色に扱いを単純にするために、実在しない仮想的な色刺激 X,Y,Z を用いた XYZ 表色系が CIE によって定められている。XYZ 表色系では、非負の等色関数を導入し、また、Y の値を輝度に一致させるようにしている。

XYZ 表色系と RGB 表色系とは互いに変換可能であり、両表色系で色光の輝度が一致するようにした場合には式 4.1¹⁵⁾で関係付ける。

$$\begin{cases} X = 2.76898 * R + 1.7517 * G + 1.1302 * B \\ Y = 1.0000 * R + 4.5907 * G + 0.0601 * B \\ Z = 0.0000 * R + 0.0565 * G + 5.5943 * B \end{cases} \quad (\text{式 4.1})$$

なお、実用的には、X,Y,Z の代わりに

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (\text{式 4.2})$$

を求め、Y, x, y の 3 成分による表現が用いられる。Y が輝度を表す。x, y は座標となり、色合いを表現する。

2つの色違いを論ずる場合、色度座標上での必要とする2色の距離(ユークリッド距離)と、人間に知覚される色の違い(色差)が近い方が、人間の感覚に合う。

本研究では、2つの色の差を定量的に表現する方法として、RGB から L*a*b*への変換を次式 4.3 のように定義し、システム化した。

$$\left\{ \begin{array}{ll} L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 & \frac{Y}{Y_n} > 0.008856 \\ L^* = 903.29 \left(\frac{Y}{Y_n} \right) & \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856 \\ a^* = 500 \left\{ \left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right\} \\ b^* = 200 \left\{ \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right\} \end{array} \right. \quad (\text{式 4.3})$$

ただし、 X_n , Y_n , Z_n は光源により決まる値である。

4.2 L*a*b*による岩、粘土領域の頻度分布と散布図

岩、粘土領域中の画素を手入力（マウス）した近傍の 8×8 画素の領域における a*成分と b*成分の頻度分布を、L*a*b*表色系における a*成分と b*成分の頻度分布（図 4.2、図 4.3）を表示し、散布図を作成した。また、岩、粘土領域における a*成分値と b*成分値を図 4.4、図 4.6、図 4.8、図 4.10、図 4.12 に示す。

a*の値は、真ん中が0となっており、b*の値は、左端が0となっている。

岩領域での a*,b*ヒストグラムでの値は、a*値は大きく、b*値は小さくなる。

粘土領域での a*,b*ヒストグラムでの値は、a*値は小さく、b*値は大きくなる。

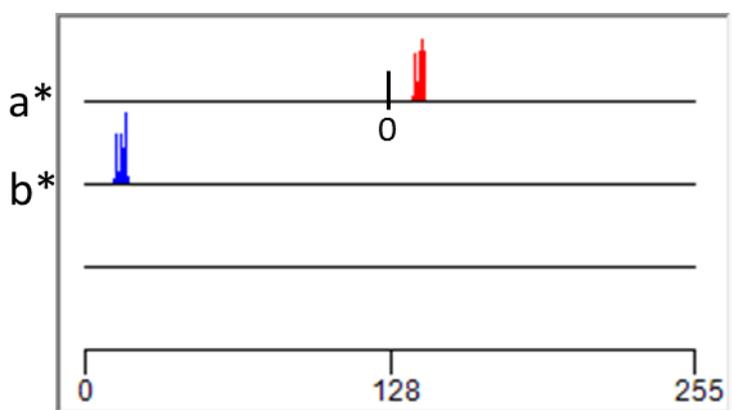


図 4.2:岩領域の a*,b*頻度分布

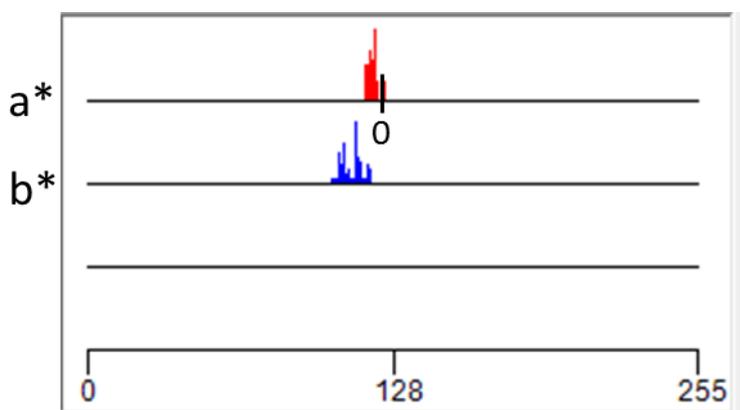


図 4.3:粘土領域の a*,b*頻度分布

RGB 表色系と L*a*b*表色系の散布図の比較した結果：

切羽画像 1 (図 3.8) では、RGB では分離性は良く、L*a*b*でも分離していることがはっきりと確認できた。

切羽画像 2 (図 3.12) では、RGB での分離は確認できたが、少しばらつきがあり、L*a*b*でははっきりと分離していることが確認できた。

切羽画像 3 (図 3.16) では、RGB と L*a*b*ともにばらつきが大きく、分離性が良いとは言えなかった。

切羽画像 4 (図 3.20) は、RGB では多少ばらつきはあり、L*a*b*では分離していることが確認できた。

切羽画像 5 (図 3.24) では、RGB よりか L*a*b*の方が分離していることが確認できた。

上記の分析により、散布図では青と輝度より、a*と b*の散布図の方が、分離性が良いということが分かった。



図 3.7 : 比較検討した切羽画像 1

岩	a*, b*		粘土	a*, b*	
	a*	b*		a*	b*
1	6.3	22.9	1	-5.7	87.1
2	6.7	23	2	-2.6	84.5
3	6.7	27.1	3	-5.4	77.6
4	7.9	22.5	4	-5	74.1
5	7.1	23	5	-3.4	58.3
6	5.9	27.2	6	-8.2	67.9
7	8	25.9	7	-12.3	90.2
8	8.9	21.6	8	-14.1	100.8
9	7.9	22.8	9	-21.1	109.3
10	6.8	27	10	-18.2	107
11	3.4	26.9	11	-17.9	107
12	7.4	22.8	12	-15.6	92.3
13	4.3	31.6	13	-11.8	77.4
14	6.4	26.5	14	-5.3	74.6
15	7.3	23.5	15	-18.1	104.9
16	5.6	29.1	16	-13.5	92.9
17	2.8	32.5	17	-7.8	93.6
18	3.5	28.6	18	-5.3	90.7
19	5.6	26	19	-8.2	94.3
20	5.4	26.2	20	-4.3	78.7

図 4.4 : 切羽画像 1 の岩、粘土領域の a*,b*成分値

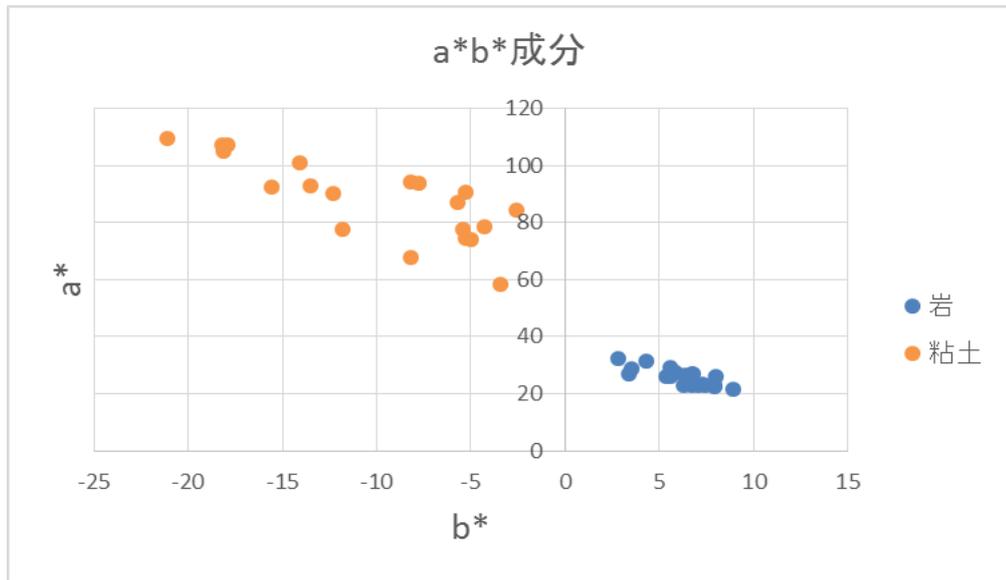


図 4.5 : a*成分と b*成分の散布図 1



図 3.10 : 比較検討した切羽画像 2

岩	a*, b*		粘土	a*, b*	
	a*	b*		a*	b*
1	-19	81.7	1	-9.8	120.8
2	-23.1	77.6	2	-2.2	90.8
3	-19.5	63.6	3	-3.7	98.5
4	-18.1	81.2	4	-14.9	120.6
5	-21.4	83.4	5	2.3	90.9
6	-27.2	83.7	6	-13.1	109.7
7	-17.5	66	7	1.6	88
8	-21.3	74.7	8	-3.8	89.2
9	-29.2	95.5	9	-14	110.4
10	-22.5	74.6	10	-5.5	93.1
11	-21.1	88.8	11	-9.4	92.1
12	-30.1	110.8	12	2.7	86.7
13	-25.1	90.4	13	4.7	89.9
14	-19.5	76.5	14	5.6	94.5
15	-29.8	105.3	15	-14.1	104.5
16	-17.7	81.7	16	-13.4	107.9
17	-18.5	79.1	17	-4.4	85.2
18	-18	85.5	18	-5.7	111.8
19	-22.7	96.3	19	-9.2	99.9
20	-19.9	86.7	20	-4	93.6

図 4.6 : 切羽画像 2 の岩、粘土領域の a*,b*成分値

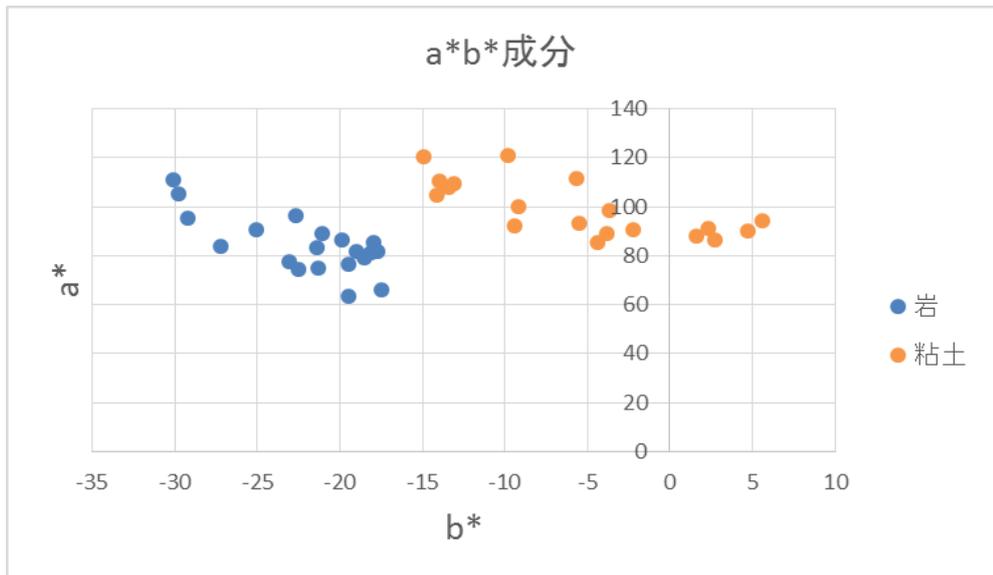


図 4.7 : a*成分と b*成分の散布図 2

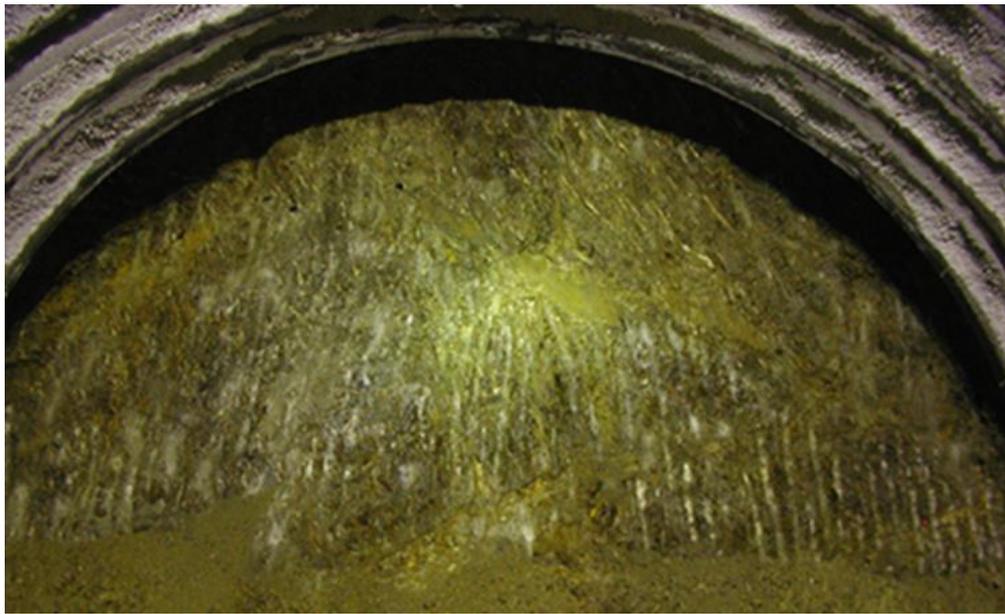


図 3.13:比較検討した切羽画像 3

岩			粘土		
	a*	b*		a*	b*
1	-12.5	88.3	1	-20.4	146.8
2	-6	72.3	2	-14.7	132.7
3	-14.5	81.3	3	-23.7	176.8
4	-15.4	85.4	4	-12.3	86.9
5	-12.9	77.9	5	-17	82.5
6	-15.9	80.3	6	-7.3	80.5
7	-13.1	77.6	7	-37.7	143.6
8	-14.1	63.8	8	-40.1	130.4
9	-5.6	61.3	9	-42.5	142.3
10	-12.7	66.9	10	-36.2	121.8
11	-16.7	82.5	11	-24	113.1
12	-23.6	91.3	12	-23.8	125.7
13	-28.8	95.7	13	-26.7	134.3
14	-19.9	87.6	14	-19.9	110
15	-21.8	89.1	15	-22.2	131.8
16	-13.7	87.3	16	-9.1	93.3
17	-13.2	75.9	17	-6.5	74.7
18	-14.8	83.7	18	-13.8	77.6
19	-18.9	99.7	19	-20	103.2
20	-18.8	100.8	20	-30.1	144.7

図 4.8 : 切羽画像 3 の岩、粘土領域の a*,b*成分値

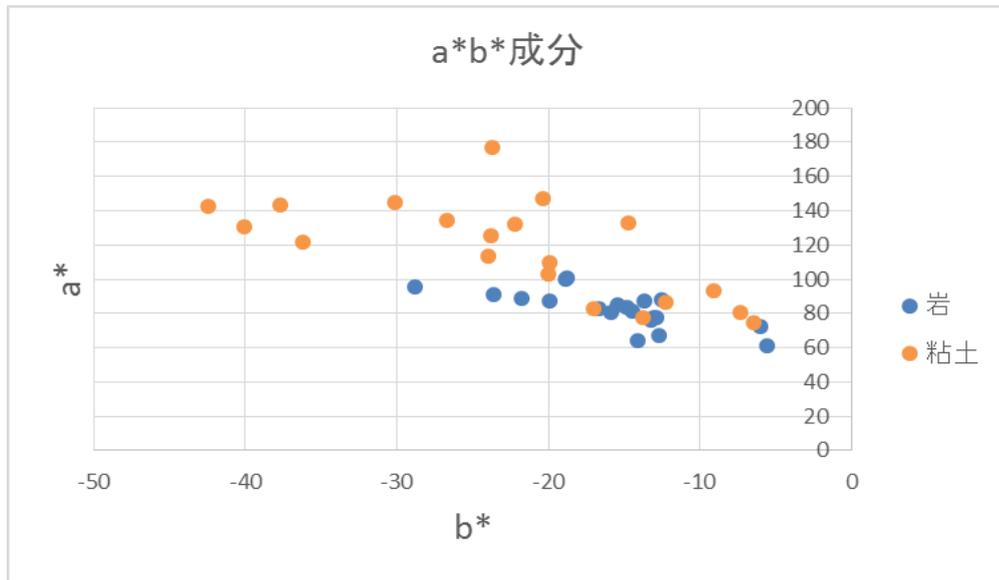


図 4.9 : a*成分と b*成分の散布図 3



図 3.16:比較検討した切羽画像 4

岩	a*, b*		粘土	a*, b*	
	a*	b*		a*	b*
1	8.4	22.2	1	-1.3	62.4
2	11.2	17.7	2	-1.4	74.7
3	12.4	18.7	3	1.1	55.6
4	6.5	12.6	4	5.3	56.4
5	7.4	13.4	5	0.4	65.2
6	7	12.6	6	2.3	58.6
7	8.3	12.8	7	6.2	34.1
8	8.2	11.7	8	0.3	68.2
9	9.6	8.6	9	0	59.8
10	13	14.1	10	-1.6	70
11	7.6	25	11	1	73.2
12	8.1	24.5	12	4.7	38.7
13	8.8	24.5	13	1	41.4
14	7.9	24.9	14	-2.4	51.4
15	4.5	31.5	15	-3.1	52.6
16	8.9	8.1	16	-2.8	49.3
17	14.2	6.7	17	0.3	41.8
18	12.7	11	18	-2.3	51.3
19	10	21.9	19	2	41.5
20	11	13.5	20	0.4	65.2

図 4.10 : 切羽画像 4 の岩、粘土領域の a*,b*成分値

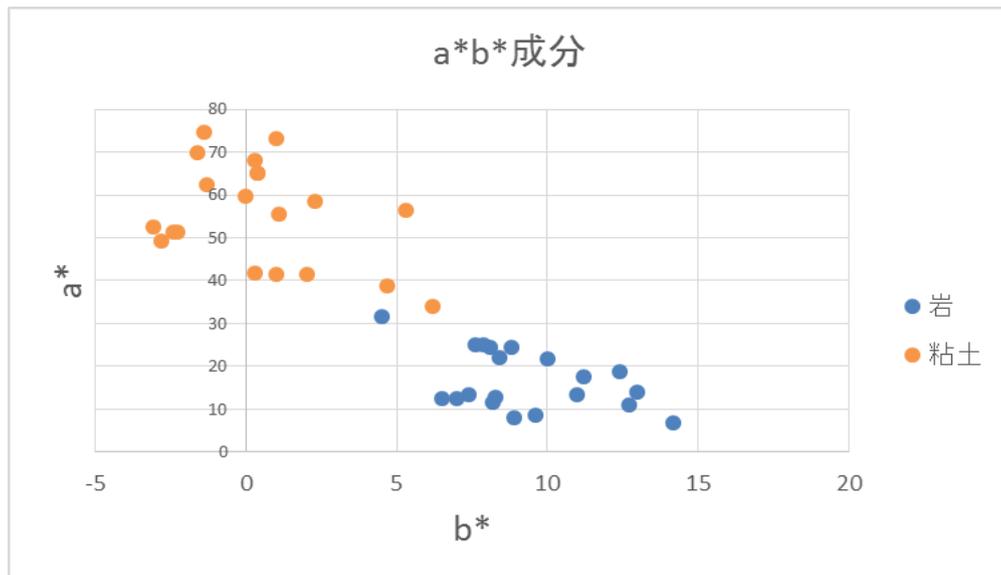


図 4.11 : a*成分と b*成分の散布図 4



図 3.19:比較検討した切羽画像 5

岩			粘土		
	a*	b*		a*	b*
1	6.3	35.5	1	-10	63.4
2	12.3	30.1	2	-10.9	64.5
3	7.3	31.7	3	-11.8	66.6
4	8.6	32.1	4	-13.1	69.4
5	6.7	28.6	5	-11.2	65.9
6	9.7	31.1	6	-10.1	63.5
7	6.3	32.6	7	-11.4	67.1
8	6.5	32.9	8	-10.8	63.5
9	6.2	33.4	9	0	40.2
10	2.4	39.3	10	-1.5	38.5
11	2.2	39.9	11	-1.9	39.2
12	3.7	37.1	12	-0.6	41.9
13	5.3	32.8	13	-0.9	40.2
14	12.5	25.9	14	-9.2	62
15	7.6	33.7	15	-8.1	59.4
16	3.7	32.6	16	-8.8	62.4
17	6.5	30.6	17	-10.3	65.4
18	2.6	33.9	18	-1.6	39.8
19	5.6	29.1	19	-7.3	59.3
20	3.3	33.4	20	-8	60.1

図 4.12 : 切羽画像 5 の岩、粘土領域の a*,b*成分値

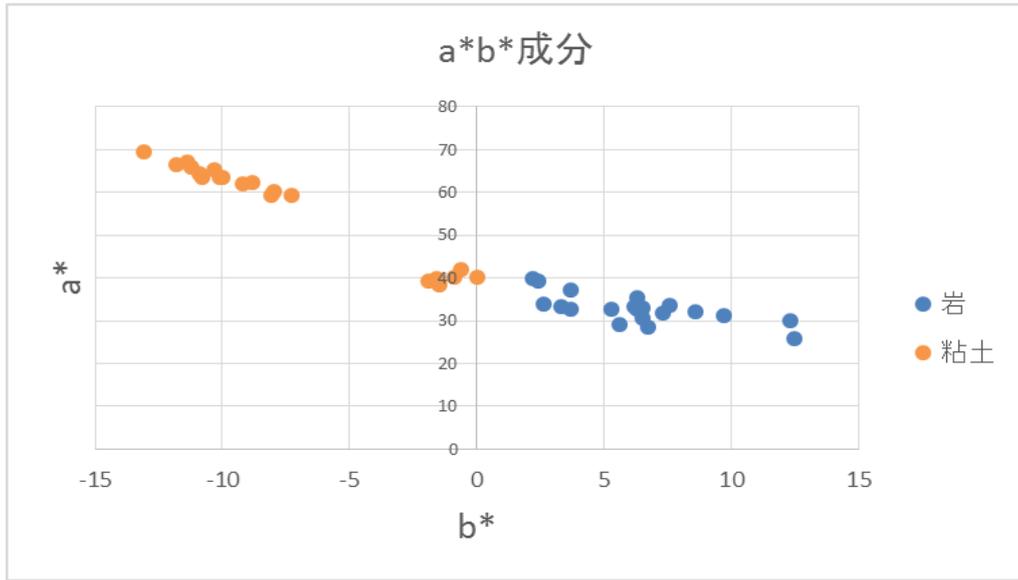


図 4.13 : a*成分と b*成分の散布図 5

第5章 a*成分と b*成分の画像表示

5.1 L*a*b*による岩、粘土領域の a*成分と b*成分の画像表示

4章での表色系 L*a*b*を用いて岩、粘土の画像表示を行った。図 4.1 の L*a*b*フォームに切羽画像を取り込み、a*成分と b*成分の画像表示を行ったその処理例を図 5.1 示す。

a*成分では粘土領域は黒、岩の領域は白で表示され、b*成分では粘土領域は白、岩領域は黒で表示される。この判定方法は、散布図では分からない岩領域と粘土領域の分離性能をより効率的に調べるために a*成分の画像と b*成分の画像の表示を行った。

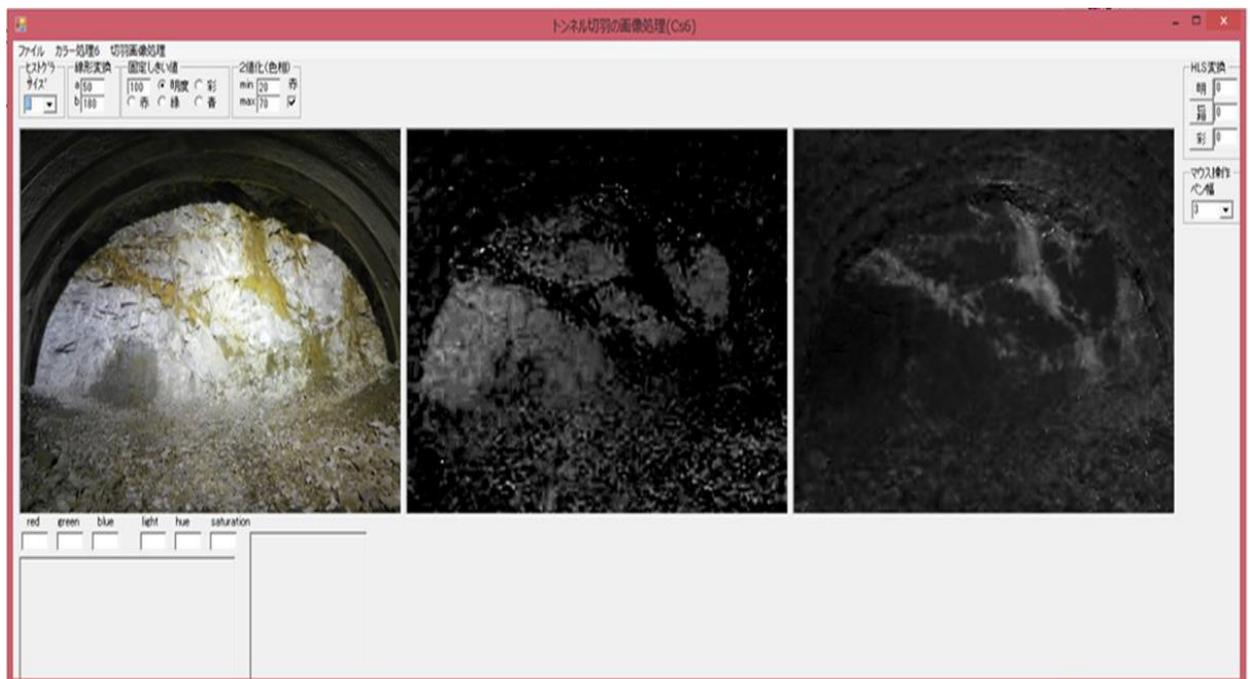


図 5.1 : L*a*b*抽出例

5.2 様々な地質の切羽による画像表示

地質を識別するために、岩と粘土との色空間の分離線を自動的に決定するための $L^*a^*b^*$ 表色系における色成分について分離度を検討、また色空間における統計的な分布状況を評価する識別を確立し、岩、粘土領域の範囲を計測するなど検討するために、様々な画像で比較検討を行った。

ここまでの結果、RGB より $L^*a^*b^*$ の方がより分離性能が高いと判明した。そこで様々な地質の切羽画像を a^* 成分と b^* 成分の画像表示を行い、検討を行った。図 5.2 は図 3.7 の切羽画像を使用し、 $L^*a^*b^*$ 処理を行った画像を表示したものである。

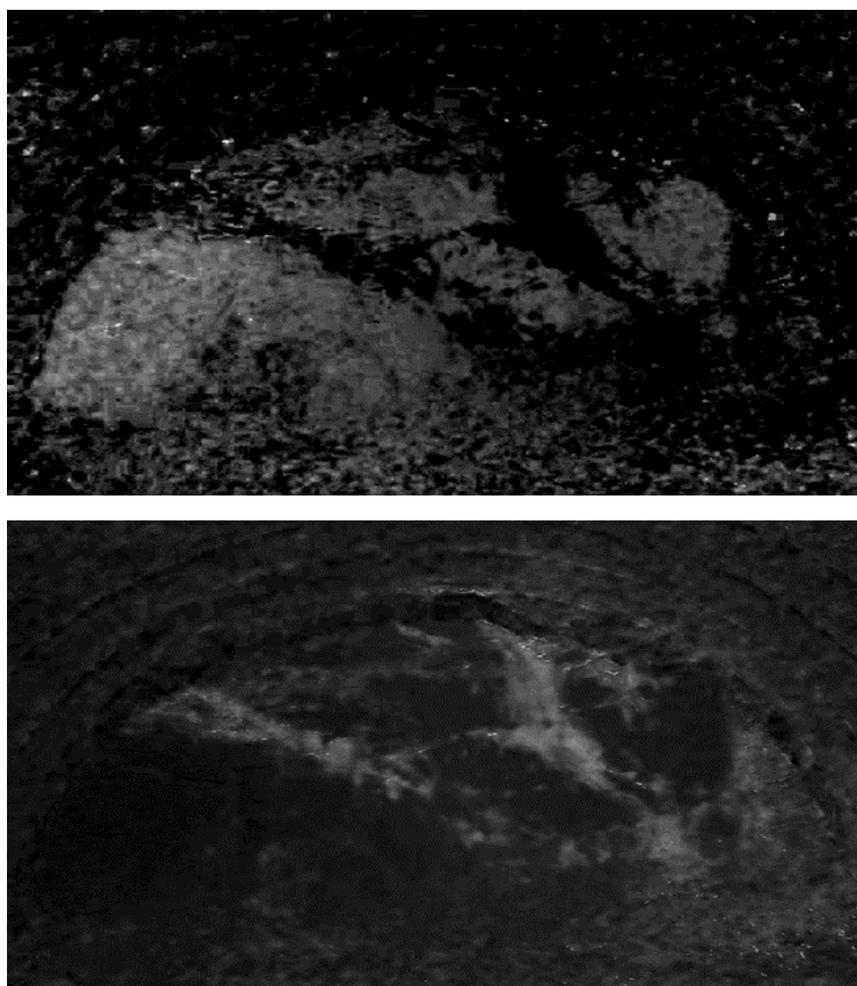


図 5.2 : 図 3.7 の切羽画像の a^* 成分と b^* 成分の画像表示 (上: a^* の成分、下: b^* の成分)

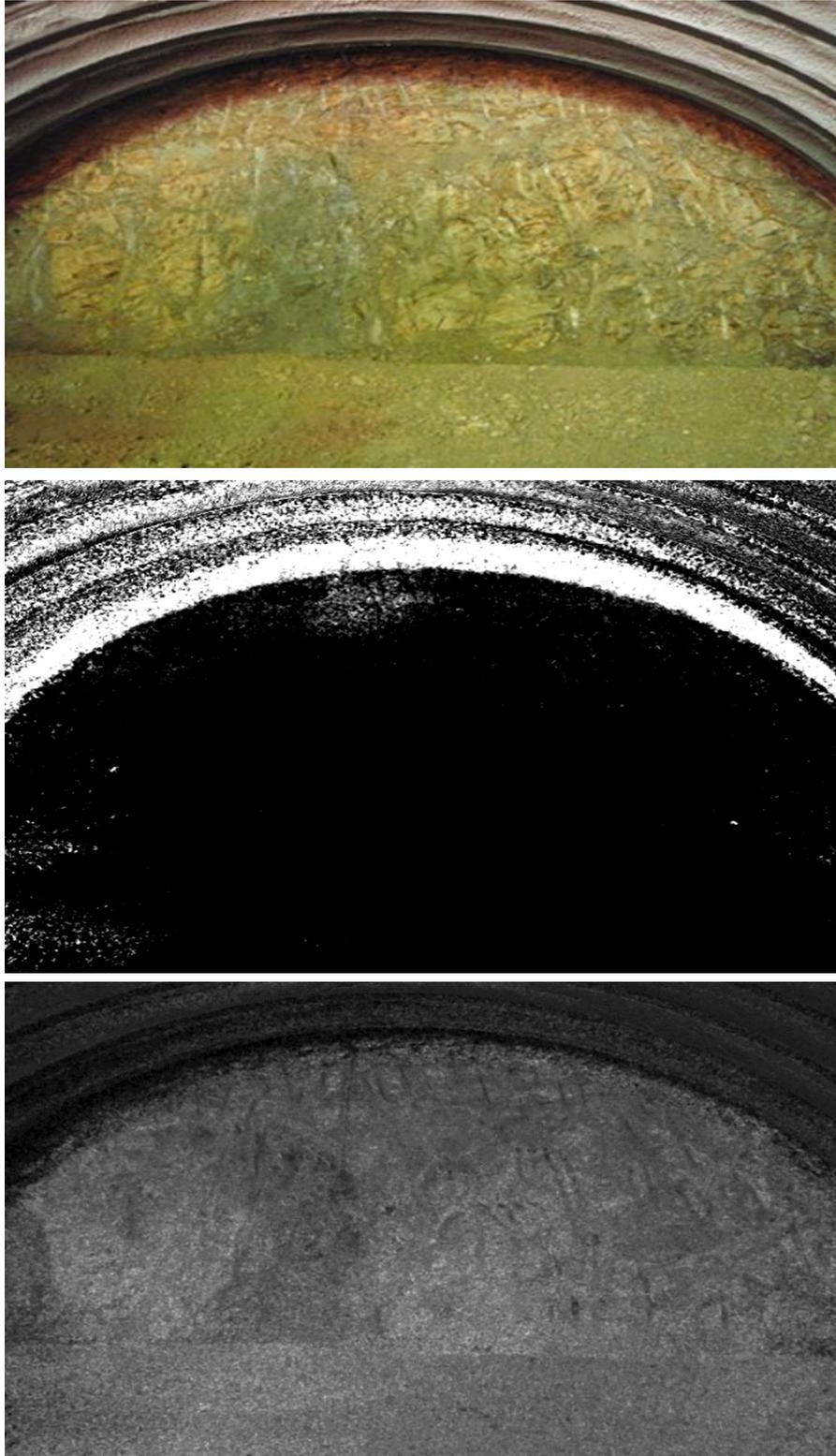


図 5.3 : a*成分と b*成分の画像表示 (上 : 図 3.10、中:a*の成分、下 : b*の成分)

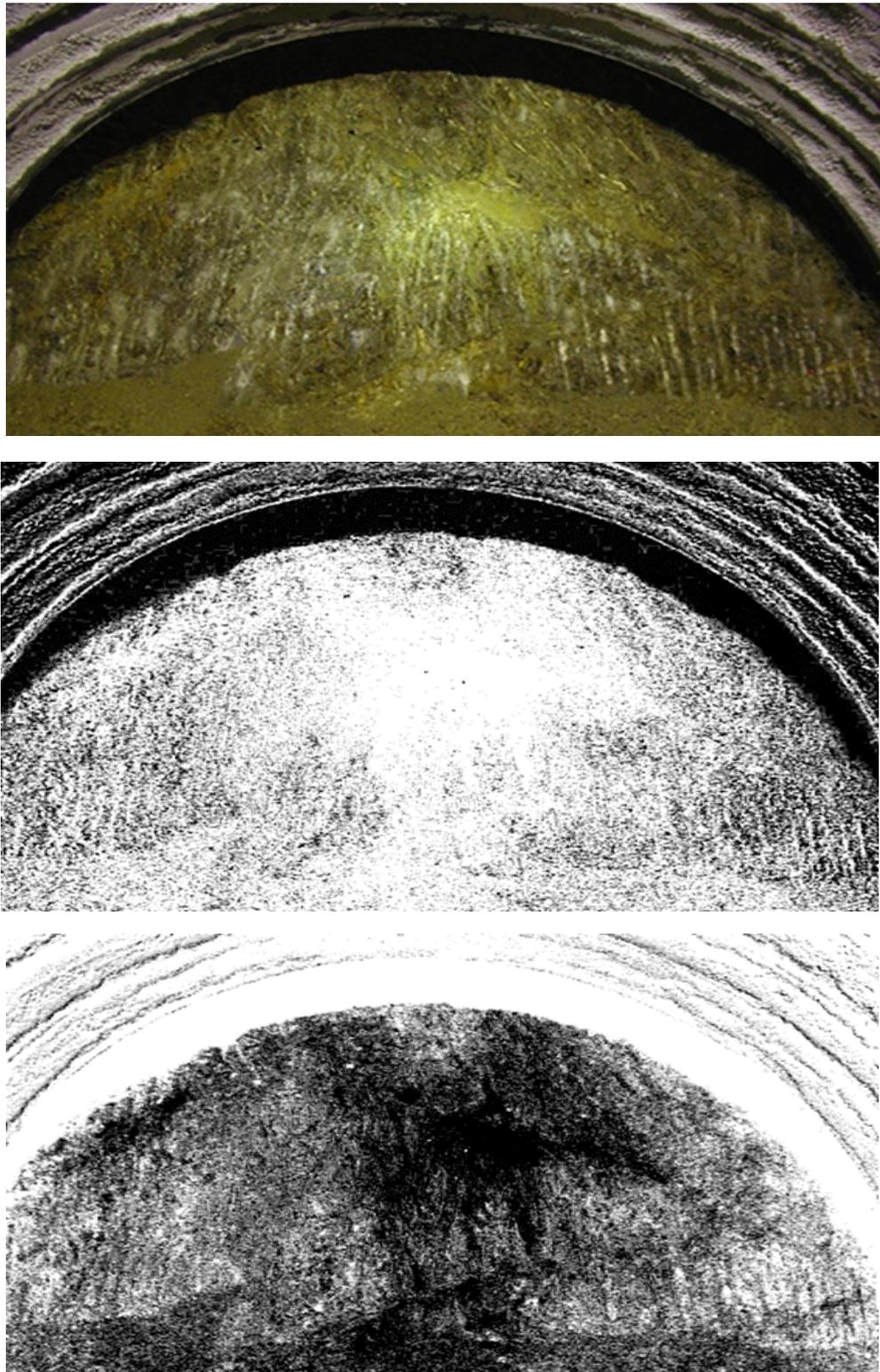


図 5.4 : a*成分と b*成分の画像表示 (上 : 図 3.13、中:a*の成分、下 : b*の成分)

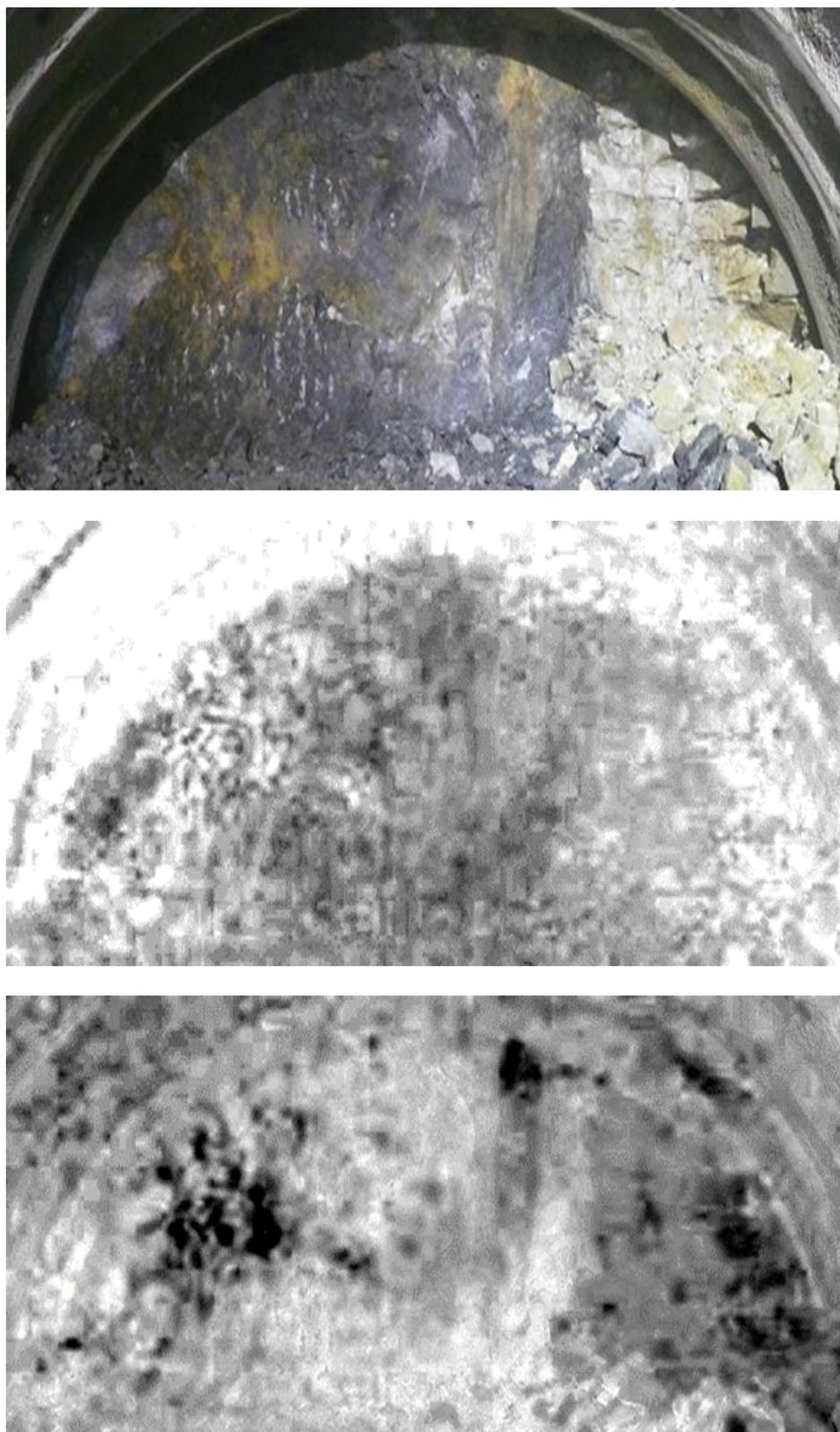


図 5.5 : a*成分と b*成分の画像表示 (上 : 図 3.16、中:a*の成分、下 : b*の成分)

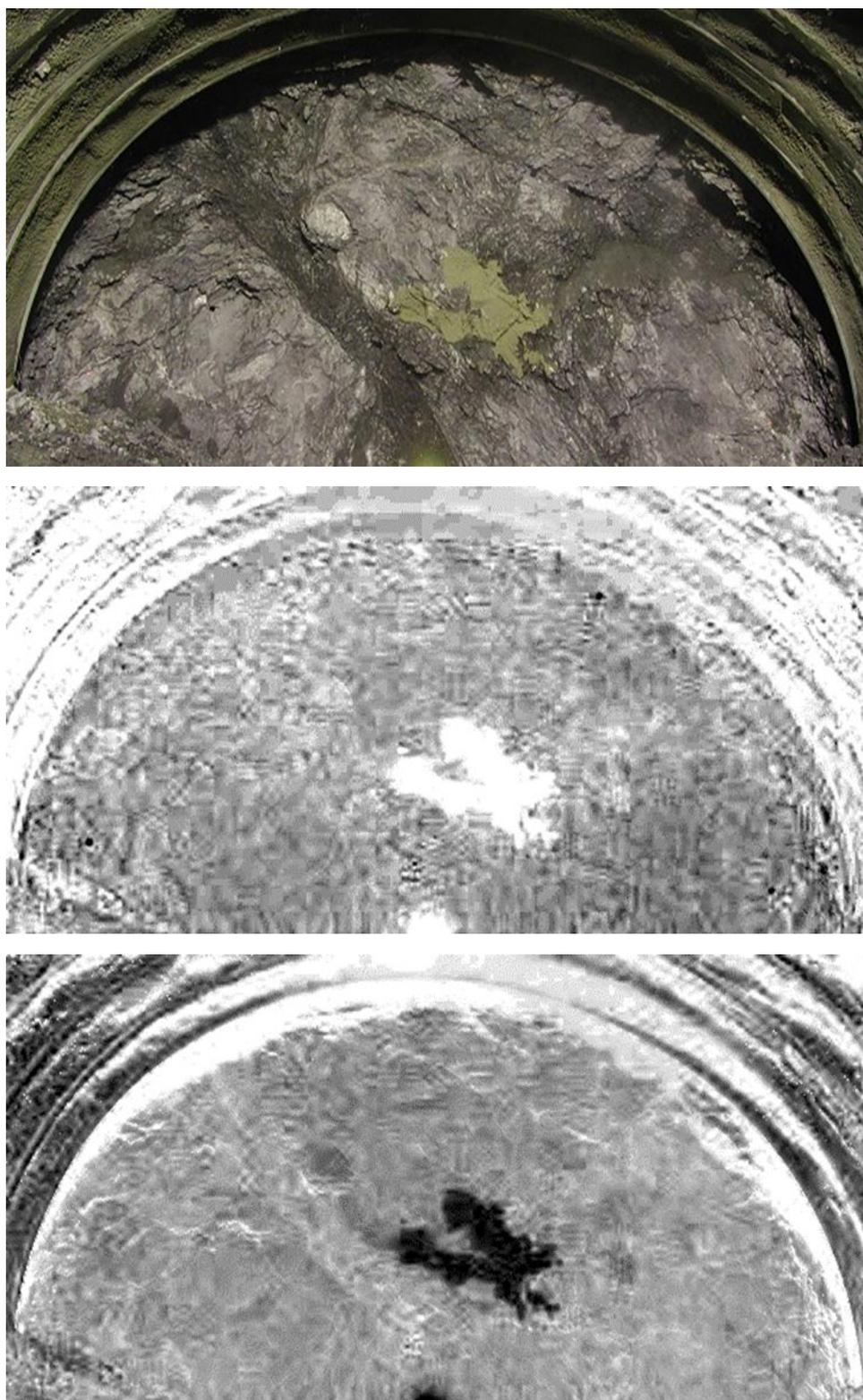


図 5.6 : a*成分と b*成分の画像表示 (上 : 図 3.19、中:a*の成分、下 : b*の成分)

考察：

切羽画像データでの目視では判断できない地質では、2つの手法（RGB, L*a*b*）を用いても判断ができず、切羽画像の拡大や他の表色系を使用してさらなる識別が可能であるか検討していくべきだと判断した。

切羽全体での抽出結果としましては、目視での岩領域、粘土領域の見分けがつかない領域ではL*a*b*システムを使用しても判断が困難であるということが確認できた。トンネル切羽にも様々な地質があり判定することが難しい画像もある。そのため、切羽全体から部分的に拡大し、岩、粘土がよりはっきりと区別できるかどうか調べていく必要があると考えた。



図 5.7：判別しにくい切羽画像



図 5.8：判別しやすい切羽画像

5.3 切羽画像の部分拡大方法

第3章、4章で提案した2つの手法（RGB、L*a*b*）の有効性を示すために実験を行い評価と比較を行った。

処理対象の画像は、実際のトンネル掘削現場で撮影され、岩・地質判定に使われた画像を使用する。

切羽の全体画像から部分的に拡大する画像に作成するためには、フリーソフトであるGIMP2システム(図5.9)を使用する。

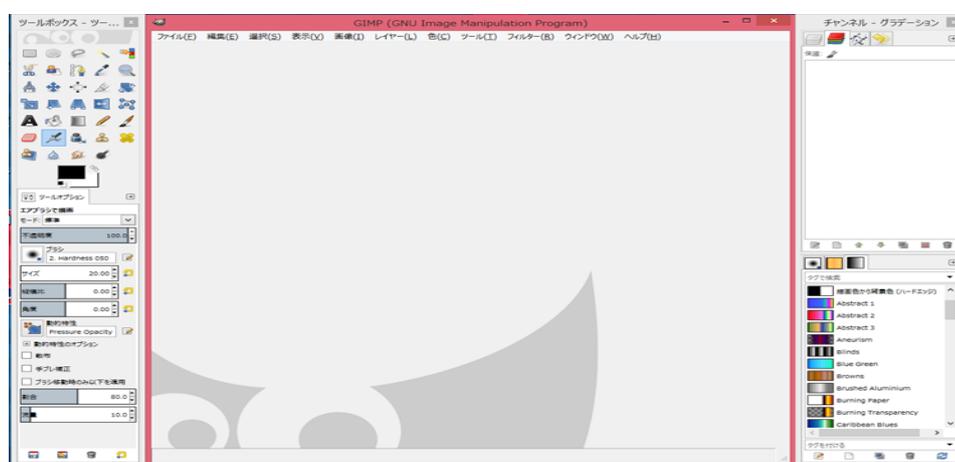


図 5.9 : GIMP2 フォーム

原画像(切羽画像) を GIMP2 に取り込み(図 5.9)、切羽の部分画像を作成し、より岩、粘土の境界線を見やすく判別できるようにすることができる。

矩形選択

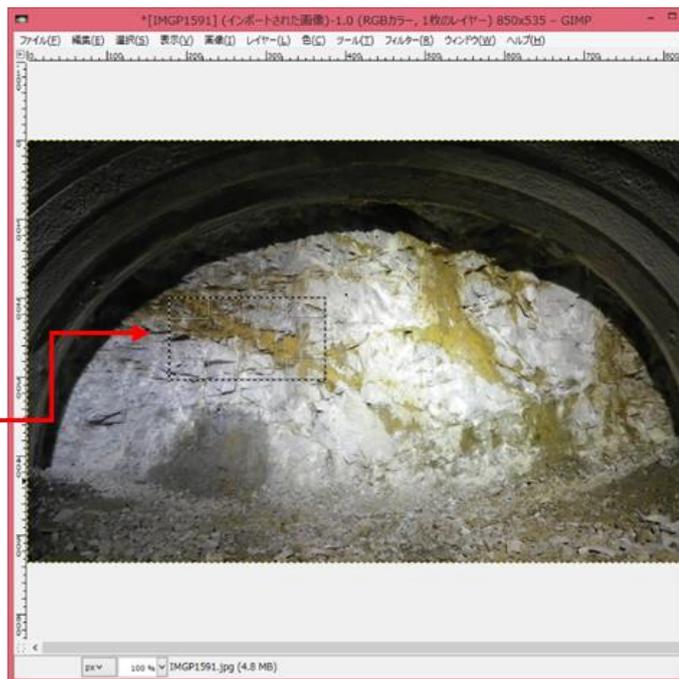


図 5.10 : 部分画像作成(上:部分選択 , 下:選択後)



図 5.10 : 部分選択切羽画像

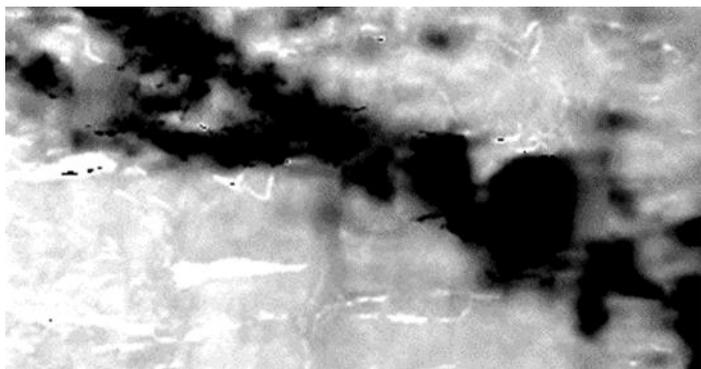


図 5.11 : 図 5.10 の a*成分と b*成分の画像表示 (上 : a*の成分値、下 : b*の成分値)

第6章 まとめ

本研究では、将来的に岩・地質判定をコンピュータによる画像処理で自動化するシステムの提案と、それを実現するために、カラー画像からの切羽部分の切出し法の提案と、RGB表色系の各成分と $L^*a^*b^*$ の a^* 成分と b^* 成分の散布図による分離性の比較検討を行った。

画像からの切羽画像の岩領域と粘土領域では、RGB表色系における各成分の分布を検討し、色情報の解析により岩、粘土領域の特徴をRGB各色成分値の数値化を行う。提案手法では、面積を自動計測するための資料として、色空間の散布図を作成した。その結果、輝度(L)と青(B)成分の散布図が、最も分離性が高いと確認した。

また $L^*a^*b^*$ 表色系では、 a^* 成分と b^* 成分の散布図を作成し、岩や粘土領域の識別の有効性を検証した。その結果、RGB表色系の輝度(L)と青(B)より、 $L^*a^*b^*$ 表色系の a^* と b^* の方が、分離性が高いと確認した。また岩領域と粘土領域の分離性能を調べるために、 a^* 成分と b^* 成分の画像表示を行い検討した。

しかし、これらの手法だけで判断するのは未だ不十分な結果であるため、その他の表色系や画像処理方法についても検討する必要があると考える。また、より多くの切羽画像の解析を行い、多くのデータを収集する必要があると考える。

今後は地質を識別するために、今後は、岩領域と粘土領域との境界線を自動的に決定するために、分離度の定義式を提案する。また多様な切羽画像に対応できるシステムを構築するために、大量の切羽画像を収集し、システムの性能を検討する。光源によらず、身近なカメラでも撮影ができ、正確に境界線が決定できるように、光源の色を推定できる方法を考察すると考えている。また作成したシステムに関してトンネル工事関係者から意見を聴取する必要があると考える。

現在、検査員がトンネル切羽を検査するために、工事管理事務所から現場に出向く場合、自動車で移動するので、ガソリンを消費し、地球温暖化の原因となっている。そのためにこの研究活動および本研究のシステムが完成すれば、エネルギーの削減が可能となり、本システムの実用化すれば、検査のために往復回数が減少でき、往復の時間、交通費、人件費の削減に繋がる。

謝辞

本研究の遂行および修士論文の作成にあたり，懇切丁寧なご指導とご助言，ご協力を頂きました三重大学大学院地域イノベーション学研究科（現、理事・副学長） 鶴岡信治教授，工学研究科電気電子工学専攻 高瀬治彦准教授，川中普晴助教に感謝を申し上げます。重ねて，多数のトンネル掘削工事に関する資料，画像を提供いただきました国土交通省の加藤典子様にも感謝を申し上げます。またプロジェクトマネジメントの指導教員として熱心なご指導，ご助言，ご協力を頂きました地域イノベーション学研究科 坂内正明教授に感謝を申し上げます。そして，日頃から助力を頂いた，情報処理研究室の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 社団法人地盤工学会、新規制定地盤工学会基準・同解説 岩盤の工学的分類方法 (JGS3811-2004), PP. 20-21, 2004
- 2) 「橋梁点検支援システム」, 東日本高速道路会社, 東京大学, 北海道大学, 日経コンストラクション, 2014
- 3) 鹿島建設株式会社, タブレット PC を用いた山岳トンネル切羽の「風化変質判定システム」の開発, 2014
- 4) 宇田川義夫, フラクタル画像解析による岩盤の安定性評価手法に関する研究, 早稲田大学大学院理工学研究科博士論文, 2008
- 5) 黄載允, トンネルの情報化施工のための岩盤ブロック安定性評価に関する研究, 京都大学大学院工学研究科博士論文, 2003
- 6) 山本拓治, 白鷺卓, 西岡和則, 青木謙治, 反射トモグラフィーによるトンネル切羽前方の地質調査, 土と基礎, 2002
- 7) 鹿児島大学理学部地学科ホームページ, 「かだいおうち」, 2000年3月24日
<http://eniac.sci.kagoshima-u.ac.jp/~oyo/weather.html>
- 8) 澤井康太, トンネル切羽画像を対象としたエッジ抽出による自動岩判定システム, 三重大学大学院地域イノベーション学研究科博士論文, 2015
- 9) Noriko Kato, Kouta Sawai, Go Arakawa, Shinji Tsuruoka, Graduate School of Regional Innovation Studies, Mie University, Usefulness of Computer Assisted Diagnosis System for Tunnel Face Image, Proceedings of the Seventh International Workshop on Regional Innovation Studies (IWRIS2015), pp.17-20, 2015

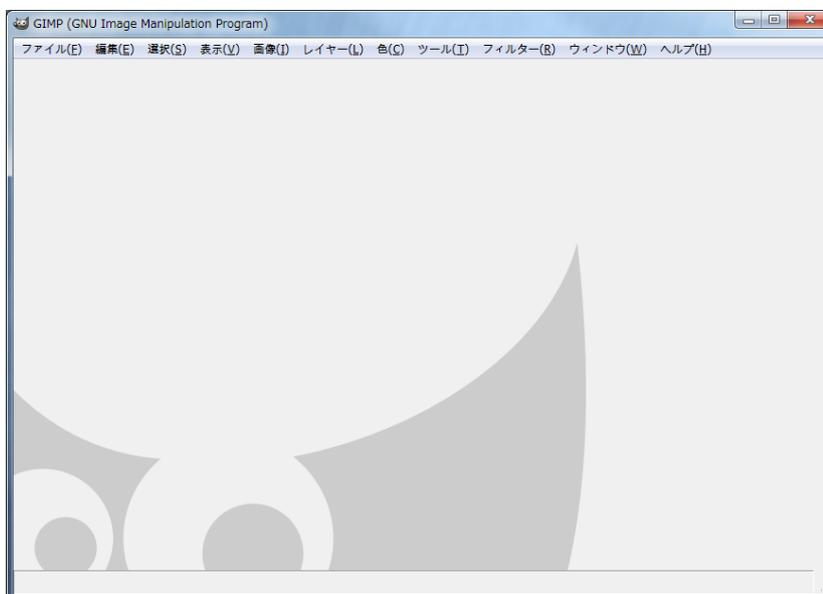
- 10)国土交通省道路局 都市・地域整備局, 2008
<http://www.mlit.go.jp/about/file000075.html>
- 11)真下英人, 砂金伸治, 遠藤拓雄, トンネル掘削時の岩判定手法の確立に関する調査, 2003
- 12)酒井幸市, 『【改訂版】 デジタル画像処理の基礎と応用 ～基本概念から顔画像認識まで～』 CQ 出版, PP.101-117, 2007
- 13)JAPAN COLOR, 005 認証制度全般について
<http://japancolor.jp/faq/005/000698.html>
- 14)KONICA MINOLTA 「色の見え方表現方法」
<http://www.konicaminolta.jp/instruments/knowledge/color/part1/07.html>
- 15)田中秀行, 「コンピュータ画像処理」, オーム社出版, PP.59-62, 2002

付録 GIMP2 を使用した部分画像の作成方法

1. GIMP 2 の起動方法

(1) GIMP 2 のアイコンをマウスの左ボタンを2回クリック(ダブルクリック)する。

(2) GIMP 2 のプログラムが起動し、初期画面が表示される。

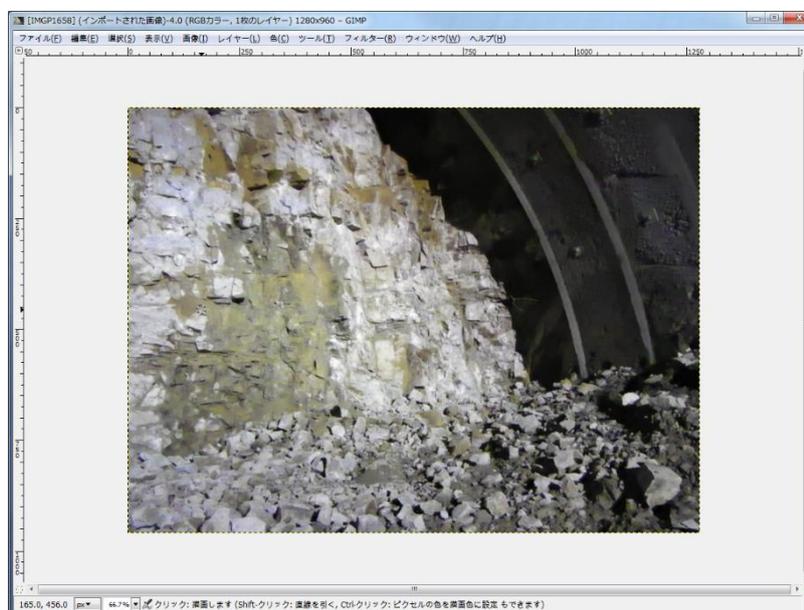


2. 画像ファイルの入力

(1) メインメニューで「ファイル」を左クリックし、「開く/インポート」を左クリックする。

(2) 別 Window で画像ファイルを開くが開くので、開きたいファイルをフォルダをクリックし、マウスの左クリックで指定する。右下の「開く」ボタンをクリックする。

(3) 画像領域に指定した画像が表示され、編集ができる。



3. 部分画像の指定とバッファ(一時的な記憶領域)へのコピー

(1) メインメニューで「ツール」を左クリックし、「選択ツール」を左クリックし、「矩形選択」を

左クリックする。矩形とは長方形のことである。

(2) マウスの位置にカーソルが出るので、選択したい位置の左上で、マウスの左ボタンを押し、押したまま選択したい領域の右下でマウスの左ボタンを放すと画像上に破線で部分画像の矩形領域が表示される。

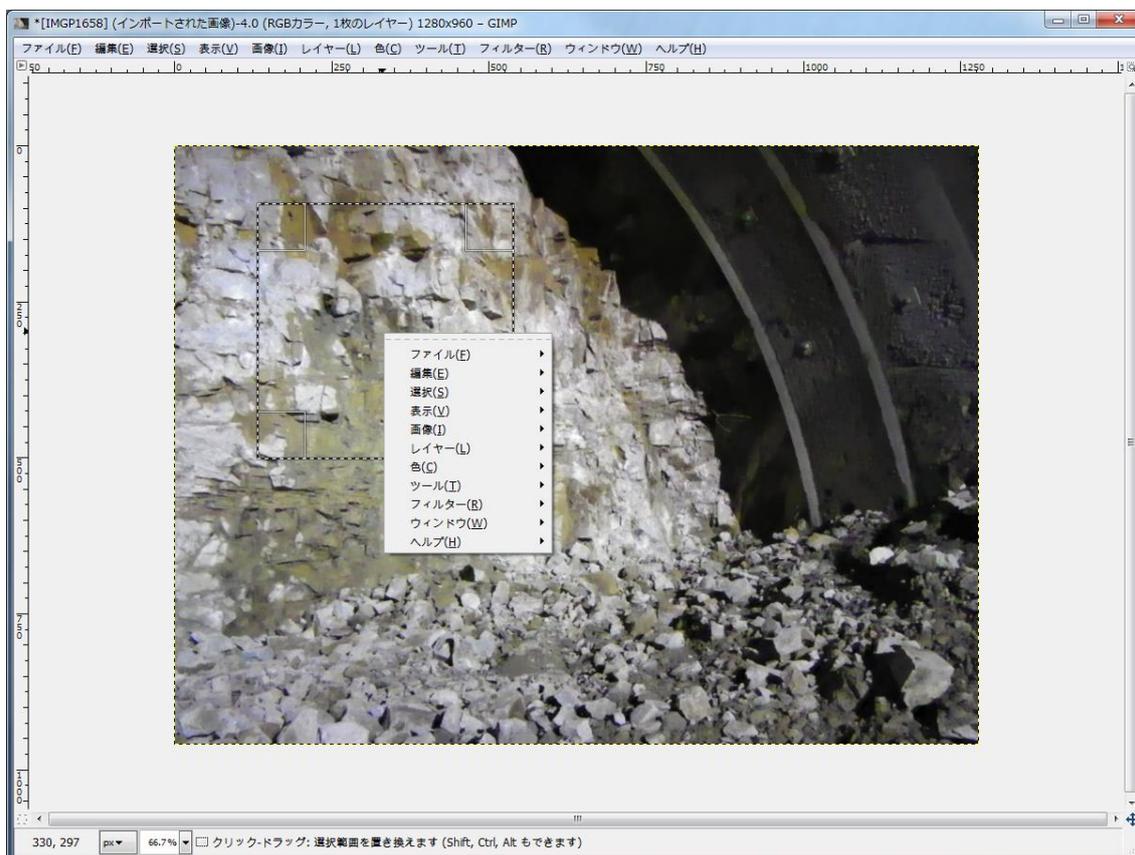


図3 矩形領域上でマウスの右ボタンをクリックし、開いたサブメニュー

(3) 矩形領域上でマウスの右ボタンをクリックし、サブメニューを開き、**編集**の上にマウスを置くと、サブメニューが開き、**可視部分のコピー**上で左ボタンを押すと、バッファ(一時的な記憶領域)に部分画像が保存される。

4. Word ドキュメントへの部分画像の貼り付け

(1) Word ドキュメントを開いており、Word ドキュメント上の画像を貼り付けたい場所で、マウスの右ボタンを押し、**貼り付けのオプション**の下で、**元の書式を保存** をマウスの左ボタンをクリックし、選択すると、Word ドキュメント上に部分画像が貼り付けられる。

(2) Word ドキュメント上の画像を独立したファイルとして保存したい場合には、画像上で、マウスの右ボタンを押し、**図として保存**を左クリックすると、保存用 Window が開く。

(3) **ファイルの種類**を選択し、保存したいフォルダを開き、**ファイル名**をキーボード入力し、**保存**ボタンをクリックし、部分画像ファイルを保存する。



図 4 Word に貼り付けた部分画像

5. GIMP2 の修了

(1) メインメニューで**ファイル**をクリックし、**終了**をクリックする。