

分光測色計を用いた鉱物および岩石の色測定

COLOR MEASUREMENT OF ROCKS AND MINERALS BY USING A SPECTROPHOTOMETER

千引春菜*・川崎 了**・金子勝比古***

Haruna CHIBIKI, Satoru KAWASAKI and Katsuhiko KANEKO

A color change of rock is one of important scales for measuring degree of weathering. In this paper, a series of color measurements of rocks and minerals was conducted to obtain changes of physical properties with weathering by using a spectrophotometer. The values of L^* , a^* and b^* , and reflectance spectra, that color measurements were performed to 69 kinds of minerals and 94 kinds of rocks, were collected. The results of color measurements were presented and the characteristics of reflectance spectra of samples were discussed.

Key Words : weathering, rock, mineral, color measurement

1. 序論

国内外における代表的な岩盤分類の分類要素として風化があり、風化の度合いを測る指標の一つに色の変化がある。従来、風化に伴う色の変化は目視観察によって行われ、非常に簡便である反面、定性的で客観性に欠ける傾向があることは否めなかった。そこで、岩石の風化に伴う物性変化を非破壊かつ定量的に色の変化として評価することを念頭において、分光測色計を用いた鉱物および岩石の色測定を実施した。すなわち、国内で採取した代表的な 69 種類の鉱物および 94 種類の岩石を対象とした分光測色計による色測定を実施し、 L^* , a^* , b^* 表色系による L^* , a^* , b^* の値と反射スペクトルについて収集した。また、分光測色計の光源や測定対象である岩石の粒径等による影響を調べるため、測定条件を種々に変化させた場合の測定データを収集して検討を実施した。さらに、風化あるいは変質の程度が異なる岩石を対象とした色測定を行い、岩石の風化あるいは変質の程度の違いと得られた測定データとの関連性について検討を実施した。

本論文では、上記の色測定のうち、鉱物 69 種および岩石 94 種を対象とした色測定によって得られた測定結果とその考察に関して報告する。

2. 分光測色計の概要

2-1 分光測色計

今回の測定で使用した分光測色計はミノルタ（株）製の分光測色計 CM-2600d であり、JIS Z 8722-1982 の条件 c（拡散照明/垂直受光方式）に準拠した、d/8 SCI/SCE 同時測定方式を採用している。大きさは幅 69mm×高さ

* 北海道大学工学部資源開発工学科

** 正会員 博士（工学） 北海道大学大学院工学研究科環境資源工学専攻

*** 工学博士 北海道大学大学院工学研究科環境資源工学専攻

96mm×奥行 193mm、重量は 670g である。測定径はφ8mm、光源はD65（紫外線を含む昼光）で測定した。

次に、測定で用いた色の表現方法と測定方式について述べる。

2-2 L*a*b*表色系

今回の測定では、色の表現方法として L*a*b*表色系 (JIS Z 8729)¹⁾を用いた。L*a*b*表色系では、明度を L*、色相と彩度を示す色度を a*、b*で表わす。図-1 の L*a*b*色空間で示すように、L*は色の明度（100 が完全な白色、0 が完全な黒色）、a*は赤緑（正方向が赤色、負方向が緑色）、b*は黄青（正方向が黄色、負方向が青色）を表現するものである。通常いわれている色の違いは、色相に相当するもので、図-1 に示す色立体の周方向の違いに相当する。一方、同じ色相でも彩度の違いがあり、これは中心からの距離に相当し、色の鮮やかさを表わすものである。色彩はこれら 3 つの数値で完全に指定することができる。測定結果より、L*値は 50 くらいから白色が強くなり、10 以下になると黒色になる。また、a*,b*値は絶対値 10 以上からその方向の色が表れるようになるようである。

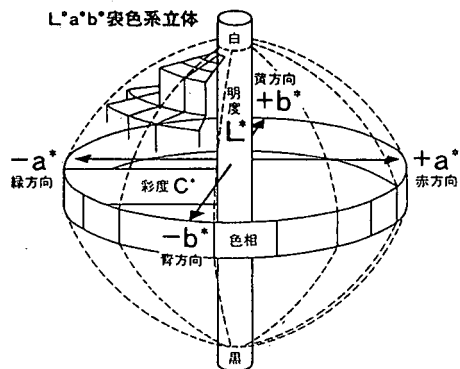


図-1 L*a*b*色空間¹⁾

表-1 代表的な岩石、鉱物の L*a*b*値

	L*	a*	b*
両雲母花崗岩	70.41	0.65	3.97
赤色砂岩	50.30	15.08	10.92
石灰岩	76.55	4.29	16.05
硫黄	83.33	-0.96	39.76
黒雲母	3.07	0.08	-1.01

表-1 は、今回の測定に使用した試料の中の代表的な岩石、鉱物の L*,a*,b*値である。紙面の都合上、その他の試料の L*,a*,b*値は割愛させていただきたい。

表-1 の試料の中で、一番白色に近いものは両雲母花崗岩である。L*値は石灰岩と硫黄も高い数値を示しているが、石灰岩と硫黄は両雲母花崗岩に比べて b*値が高いので、白色より黄色が強い。よって、a*,b*値が 0 に近く、白色以外の色が少ない両雲母花崗岩が、一番白色の試料である。また、この中で赤色が一番強い試料は、赤色砂岩である。表-1 からわかるように、赤色砂岩は a*値が五種類の中で一番高い。よって、赤色砂岩が一番赤色の試料となる。表-1 の中で、黄色の試料は石灰岩と硫黄であり、中でも、硫黄が一番黄色である。硫黄は石灰岩よりも b*値が高く、かつ、a*値がほぼ 0 に近い。このため、硫黄には白色と黄色以外の色成分が少ないので、一番黄色が強い試料であることがわかる。また、表-1 の中で一番黒色成分が多い試料は、黒雲母である。黒雲母は他の試料と比べて L*,a*,b*値すべての値が一番 0 に近い。よって黒雲母は、一番黒色の試料である。

2-3 SCE 方式と SCI 方式¹⁾

同じ素材でできている物体でも、表面の光沢の違いで違った色に見える場合がある。光源から照明された角度と逆方向の同じ角度に跳ね返った光を正反射光といい、正反射でなくいろいろな方向へ拡散して反射する光を拡散光という。つやつやした表面の物体は正反射光が強く、拡散光が弱くなり、ざらざらした表面（低光沢）の物体は正反射光が弱く、拡散光が強くなる。通常人間は、物体の色を見るときは正反射光がない角度で見ている。つまり、光沢の違いによって色の見え方が違うというのは、拡散光の強さが違うということであり、人間が物体の色を見るのと同じように色を測るためには、正反射光を除いた、拡散光だけを測ればよい。また、物体そのものの色を測るためには、正反射光と拡散光をすべて測ればよい。

SCE 方式は、正反射光を除き拡散光だけを測定する、目視に近い色の評価となる。また SCI 方式は、正反射光を含んで測定するので、表面状態に関係なく物体そのものの色の評価となる。図-2、図-3 は黒雲母の SCE, SCI 方式それぞれの測定結果である。同図より、SCE 方式の方が、反射率が小さくなっているのがわかる。

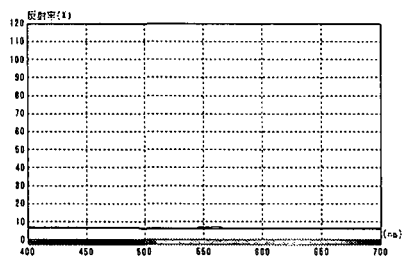


図-2 黒雲母の反射スペクトル(SCI)

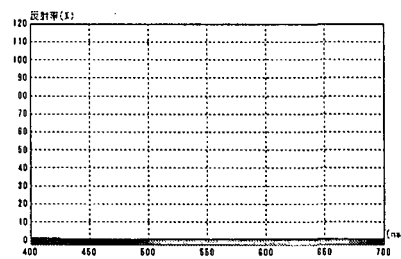


図-3 黒雲母の反射スペクトル(SCE)

このように、表面が滑らかな物体では目視した色と物体そのものの色には違いが表れるが、今回の測定対象とした岩石および鉱物は表面がざらざらしたものが大半であったので、黒雲母のようにはっきりと違いの現れる測定結果は少なかった。本論文では SCI,SCE の両方式を用いて測定を実施しているが、両方式の各測定結果に変化の見られないものについては、目視に近い SCE 方式の測定結果を載せることにした。

2・4 反射スペクトル 1)

太陽光をプリズムに通したときにできる色の帯をスペクトルと呼び、光をスペクトル（波長成分）に分けることを分光という。スペクトルは、赤・橙・黄・緑・青・藍・紫の順に並んでいる。これは、それぞれの波長の長さが違うために生じる現象で、光の中で最も波長の長い部分が赤く見え、短い部分が紫に見えるのである。この、人間の目に見える領域の光を可視光線と呼ぶ。分光測色計では、物体から反射された光を、内蔵された複数のセンサを使って、波長ごとに細かく分光して、波長ごとの反射率（光の量）を測定し、グラフ化することで、色（色の正体）を知ることができる。ここでは、わかりやすい色の例として、赤りんごの反射スペクトルを用いて説明する。

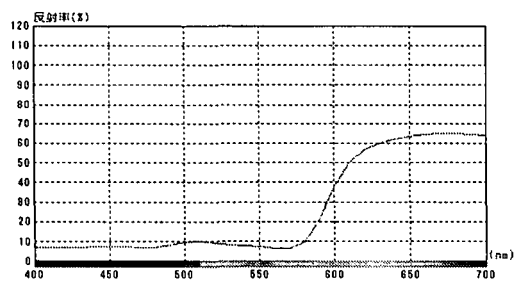


図-4 赤りんごの反射スペクトル

図-4 は、赤りんごの反射スペクトルである。反射スペクトルは、横軸が波長(nm)、縦軸が反射率(%)で表され、波長は左側に行くほど紫成分に、右に行くほど赤成分になる。また縦軸では、反射率が高くなるほど白成分が多く、低いほど黒成分が多くなる。図より、りんごは赤系の波長成分の反射率が高く（光の量が多く）、他の波長成分の反射率が低い（光の量が少ない）ことがわかる。これは、りんごが橙や赤の波長成分を反射して、紫や藍、青、緑の波長成分を吸収しているということを意味する。このように、分光測色計で測定すると、反射スペクトルによって、りんごの色の正体を見ることができる。

3. 鉱物と岩石の測定

3-1 測定試料

今回使用した測定試料は、日本地科学社の一般鉱物標本（CMF(100)・13）と小型岩石標本（CRP(100)・13）である。各 100 種の標本のうち、大きさが分光測色計の測定径よりも小さいものと、石英や水晶のような透明なもの除き、鉱物 69 種と岩石 94 種を測定した。その詳細は、鉱物は、元素鉱物 4 種、硫化鉱物 12 種、酸化鉱物 11 種、硫酸塩鉱物 4 種、その他 38 種である。また、岩石は、火成岩類 47 種、火山碎屑物・火山碎屑類 6 種、堆積岩 18 種、変成岩 23 種である。紙面の都合上、測定結果は以下にその一部を掲載する。

3-2 測定方法

試料に分光測色計の測定口を当て、SCE, SCI 方式の L*, a*, b*値を測定し、スペクトルを求める。一つの試料に対して五回測定を行い、平均値を求める。測定器を片手に持つて行うため、測定位置に若干のずれが生じている。

4. 測定結果

4-1 岩石

岩石 94 種のうち、特徴的な岩石の反射スペクトルを図-5 から図-10 に示す。

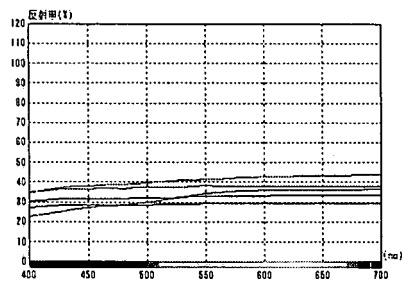


図-5 両雲母花崗岩

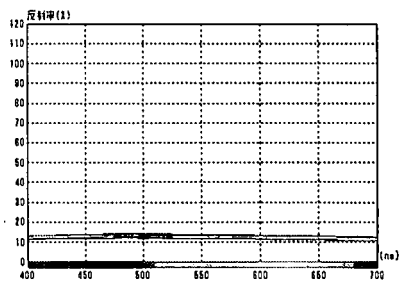


図-6 かんらん岩

図-5, 6 の二種類は深成岩である。両雲母花崗岩は五回の測定結果に幅があるが、これは両雲母花崗岩が石英や長石、黒雲母などが混ざっていて、位置により測定範囲内の色が違うためである。逆に、かんらん岩は測定結果にほぼ変化がなく、色が均一であることがわかる。どちらも横一直線で、暗色の岩石であることが推測されるが、両雲母花崗岩の方が白色成分が多い。

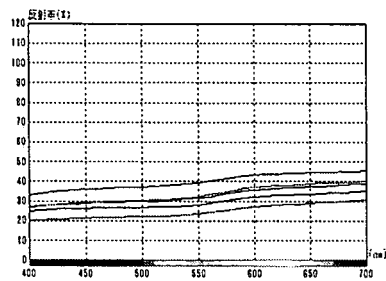


図-7 流紋岩

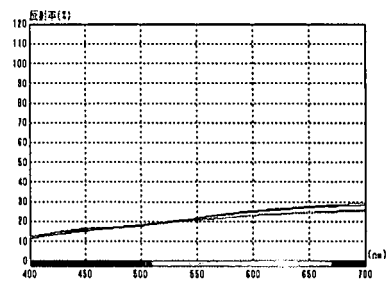


図-8 軽石

図-7, 8 の二種類は火山岩である。流紋岩は暗色であるが若干赤色成分が多く、測定結果のばらつきから、色が不均一であることがわかる。軽石は緩やかに赤色成分が増えていて、測定位置による色のばらつきが少ない。

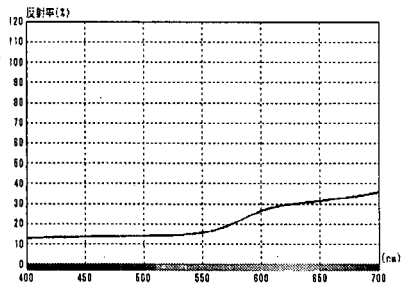


図-9 赤色砂岩

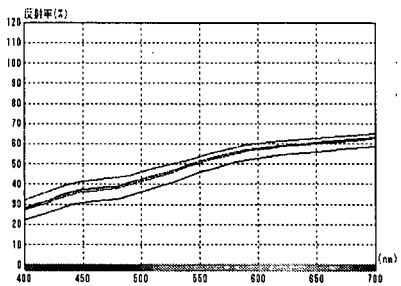


図-10 石灰岩

図-9, 10 の二種類は堆積岩である。赤色砂岩は赤色成分が多く、そのほかの色成分は少ない。また、測定結果がほぼ一つにまとまっていることから、色のばらつきがないことがわかる。石灰岩は、赤色成分に向かって緩やかに増加し、また反射率も高いことから、明るい黄色系の岩石であることがわかる。

4-2 鉱物

鉱物 69 種のうち、代表的な鉱物を図-11 から図-16 に示す。

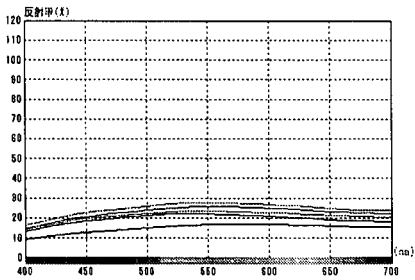


図-11 自然銅

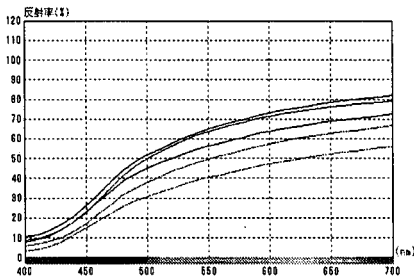


図-12 硫黄

自然銅の反射スペクトルは、中央が盛り上がっている。中央部は緑色成分であることから、自然銅は暗い緑色の鉱物である。また、硫黄は緑色成分から急激に反射率が増加している。また、波長が大きくなるほど測定結果のばらつきが大きい。したがって、硫黄の色成分は緑、黄、赤色が多く、不均一であることがわかる。

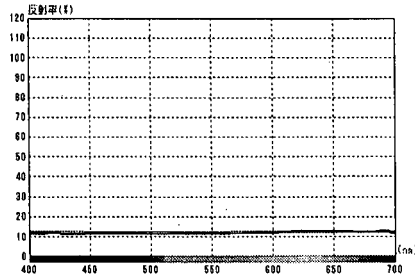


図-13 閃亜鉛鉱

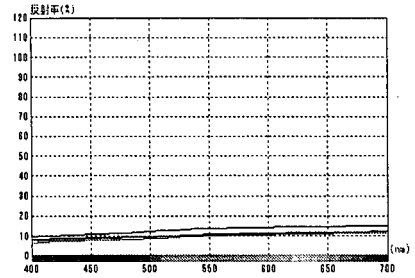


図-14 磁鉄鉱

閃亜鉛鉱、磁鉄鉱ともに反射率が低く、横一直線の反射スペクトルである。したがって、この二種類はほぼ黒色の鉱物であることがわかる。

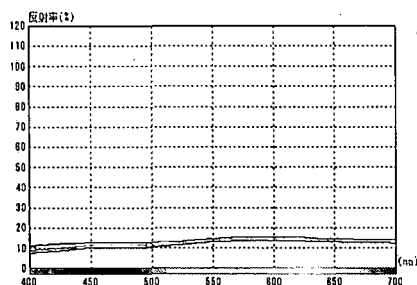


図-15 めのう

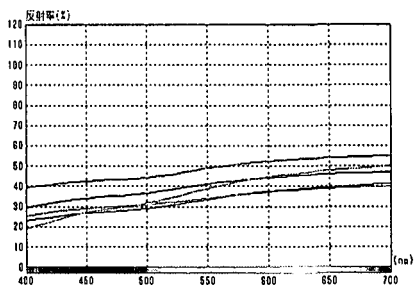


図-16 石蒼

めのうは若干緑成分の反射率が高い。しかし、ほぼ横一直線の反射スペクトルであることから、緑色成分の多い暗色の鉱物であることがわかる。石蒼は全体的に反射率が高く、色成分もほぼ均等である。また、五回の測定結果のばらつきが大きい。以上のことから、色が不均一な白色系の鉱物であることがわかる。

5. まとめ

上記の測定結果から、以下のことがわかった。

- 1) 深成岩の反射スペクトルはほぼ横一直線で、反射率が10%から50%の間に存在する黒色の岩石が多い。
- 2) 火山岩の反射スペクトルは、大体横一直線と右上がりの二種類に分けられる。暗色の岩石が多く、反射率は10%から50%の間に存在する。
- 3) 堆積岩の反射スペクトルは横一直線と右上がりのものが多いが、途中から急激に反射率が増加するものもいくつか存在する。横一直線のものの反射率は10~20%の間に存在する黒色の岩石で、右上がりのものの反射率は10~50%の間の暗色の岩石である。反射率の増加が激しいものは、反射率が10~80%の間で大きく変動している。
- 4) 鉱物は色彩豊かなものが多いが、反射スペクトルの形状からの特徴は見られなかった。

6. 今後の予定

これまでの測定で、69種の鉱物と94種の岩石の色測定が終了している。今後は、代表的な鉱物および岩石に対して測定条件を変化させた測定を行う。すなわち、分光測色計の光源や測定径の変化、測定対象となる岩石の粒径の違い、含水比の変化などによる測定結果への影響を検討する。

さらに、風化の程度の異なる同質の岩石を対象として色測定を行い、岩石の風化の度合いと色の測定データに関連性が見られるか検討を実施する。

参考文献

- 1) ミノルタカメラ(株): 色を読む話—色彩管理は「感覚」から「知覚」へ—, pp.1-52.