

9. 風化による岩石物性変化の指標としての色彩測定法（予報）

Color measurements of rocks as an indicator for changes in rock properties due to weathering

○西山賢一（徳島大学総合科学部）・木村隆行・磯野陽子（株式会社エイトコンサルタント）

1. はじめに

岩石・岩盤の風化程度を定量的に把握する試みが、種々の方法を用いてこれまでに進められてきた。それらのうち、野外において簡便かつ非破壊で測定可能な色彩計は、地質調査の際に携行することができ、肉眼観察やハンマー打診と併用することで、より定量的に風化程度を把握することが可能である。色彩計を用いて岩石・岩盤の風化程度を表現する方法は、中嶋らの一連の研究^{1)~3)}により先駆的に導入され、それをふまえた満下ほかのボーリングコア・骨材試料への適用⁴⁾以降、応用地質学分野で広く用いられるようになってきている。しかしながら、用いられている測定法が種々にわたっており、測定法が統一されていない。本報告では、これまで行われてきた色彩測定法に関するレビューを行うとともに、色彩測定の標準化に向けた検討事項をまとめる。

2. 測定方法

岩石・土壌・堆積物などの色彩は、土壌学で古くから用いられている標準土色帖を用いて、マンセル表色法によって表されてきた。しかし、これには光源・水分含有量の差や、個人差などの影響が避けられず、また、色彩が 2.5 YR 3/6 のような離散値として表現されるため、量的な取り扱いが困難という問題があった。一方、1990 年代以降、コニカミノルタ製の色彩計が用いられるようになった。これは、試料に測定機を押しあてて測定でき、1 回の測定時間は数秒である。色彩の表現方法はマンセル表色法以外にも多くの方法が知られているが、色彩計の導入後、もっぱら $L^* a^* b^*$ 表色法が用いられている。ここで、 L^* 値は物質の明暗を表し、100 が白、0 が黒である。 a^* 値は正が赤、負が緑を、 b^* 値は正が黄、負が青を、それぞれ表す。測定径は機種によって異なり、3 mm、5 mm、8 mm などがある。

これまでに公表された色彩測定に関する研究発表・論文を収集した結果を、表-1 に示す。色彩測定に関する研究レビューが 6 件、露頭や露頭写真を用いた測定が 5 件、岩石試料および岩石写真を用いた測定が 34 件、土壌・粘土・非固結堆積物（沖積層など）を用いた測定が 20 件となっている。なお、色彩測定に関するレビュー文献として、文献^{3), 5)~8)}などがある。

測定対象となる岩石は、(1) 野外でそのまま測定する方法と、(2) 室内で簡単な処理を行った後で測定する方法とがある。室内測定の場合、表-2 のように、(2-1) 試料を切断してそのまま測定する⁹⁾、(2-2) 切断面を研磨して測定する¹⁰⁾、という方法がある。また、粘土や非固結堆積物は、(2-3) 試料を粉末にして測定することが多い^{11), 12)}。また、(3) 試料の含水比を考慮しない（自然含水状態）で測定する方法がほとんどであるが、(4) 試料の含水比を考慮する測定法¹³⁾もある。

このほかの測定法として、試料に測定機を当てて測定するのではなく、画像処理ソフトを用いる方法もある。その方法には 2 種類あり、(5) 通常のデジタルカメラなどで撮影された露頭写真やトンネル切羽写真を、画像処理ソフトを介して $L^* a^* b^*$ 表色法で表現する方法¹⁴⁾と、(6) 切断・研磨した岩石試料の断面をスキャナーで取り込み、画像処理ソフトを介して同様に $L^* a^* b^*$ 表色法で表現する方法⁹⁾がある。

表-1 色彩測定の対象試料

測定の対象	測定面の状態		
発表年代	1980年代	1990年代	2000年代
レビュー	0	5	1
露頭写真	0	1	3
岩石試料	1	7	23
岩石写真	0	0	4
非固結堆積物	0	6	14
水試料	0	0	1

表-2 測定試料の測定面

発表年代	1980年代	1990年代	2000年代
測定面未処理	1	4	14
測定面研磨	0	2	1
粉末試料	0	6	5
画像処理ソフト	0	1	9
スキャナー	0	1	1

(5) は、撮影時の光源条件が露頭や気象条件しだいで多様であり、画像の画素数やレンズの性能なども、それぞれのカメラの機種ごとに異なる。(6) もスキャナーの性能(光学解像度など)が機種ごとに異なる。また、 $L^*a^*b^*$ 表色法以外の指標値でデジタルカメラ画像を表現した例もある¹⁵⁾。

色彩計の一部には、可視域の反射スペクトルを測定できる機能を持つ分光測色計と呼ばれるタイプがある。このタイプの測定機では、 $L^* a^* b^*$ 表色法に加えて、可視域(波長400~700 nm程度)の分光反射率が表示可能であり、これを用いることで、含まれる鉄鉱物(ゲータイトとヘマタイト)や顔料鉱物の同定が容易に行える場合がある^{2), 16), 17)}。このほか、可視域だけでなく、近赤外域の反射スペクトルを取得可能なフィールドジオセンサ¹⁸⁾や、近赤外域の反射スペクトルと露頭写真を同時に得ることができる分光画像撮影装置¹⁹⁾などが試作されている。

3. 測定方法の違いによる影響

上述のように、現状では多様な測定法が混在して用いられている。測定法の違いによって、得られる色彩値にどの程度の差異があるのかは明確にされていない。測定に当たっての主な問題点としては、(1) 試料の含水状態(湿潤や乾燥といった水分状態の違いによる影響)、(2) 試料表面の形態(露頭での凹凸のある面での測定、切断試料の研磨の有無、ボーリングコアのような曲面と切断面のような平面による違い)、(3) 岩石試料と粉末試料の違い、(4) 測定径の影響(3mm, 5mm, 8mmの測定径と、対象となる岩石の鉱物粒子の大きさに関する問題)、(5) 写真の読み込みによる色彩値(光源状態が大きく異なる露頭写真による色彩値の妥当性)、などが挙げられる。

このうち、(1) 試料の水分状態の違いが色彩に与える影響に関する検討(図-1)^{4), 20)}によると、 L^* 値は、湿潤状態では値が小さく、乾燥状態では値が大きくなり、その差は20程度に達する。一方、 a^* 値、 b^* 値では、水分状態の違いによる影響は小さい。(2)の表面形態の違いによる影響に関する検討²¹⁾によると、ボーリングコアの人工的カット面と、横坑内の岩盤の断面面での測定結果を比較すると、両者の影響は小さいと判断されている。(3)に関しては、暗赤色土を粉砕すると、粉砕後の L^* 値が増加、すなわち色彩がより明るくなることが指摘されており、粉砕によりヘマタイトの結晶サイズが細くなることを反映すると解釈されている(図-2)²²⁾。一方、岩石試料とそれを粉砕した試料との色彩の差異に関する検討は行われていない。(4)の測定径と鉱物粒子の大きさに関する検討⁴⁾によると、測定径8mmの色彩計を

用い、粒径の異なる中粒花崗岩と細粒砂岩の研磨面が無作為に 10 ヶ所の色彩を測定した結果、 a^* 値と b^* 値のばらつきの範囲幅はほぼ同程度であり、測定径と鉱物粒子の大きさに関する影響は小さいと評価されている。(5)のうち、色彩計を直接押し当てて測定した値と、切断面をスキャナーで取り込んだ画像から色彩値を求めた結果の比較(図-3)⁹⁾によると、ほとんど差がない測定値もあるが、差は最大で 10 程度となる。一方、光源条件の異なる露頭写真からの色彩値と、色彩計による測定値との差異はまだ検討されていない。デジタルカメラで撮影された画像の処理のうち、特に画素数が色彩値に与える影響に関する検討²³⁾によれば、ピクセル数が大きくなるほど L^* 値が大きくなる傾向があることを考慮して、色彩評価のための最適の画素数として 800×800 ピクセルが提案されている。また、露頭での異なる撮影方法の比較結果¹⁴⁾によれば、切羽から 10m 以上離れた地点での撮影画像から得られた色彩値と、切羽から採取した岩石試料を 1m 離れて撮影した画像から得られた色彩値とを比較すると、切羽での測定値のほうが値の分散が大きいことが示されている。

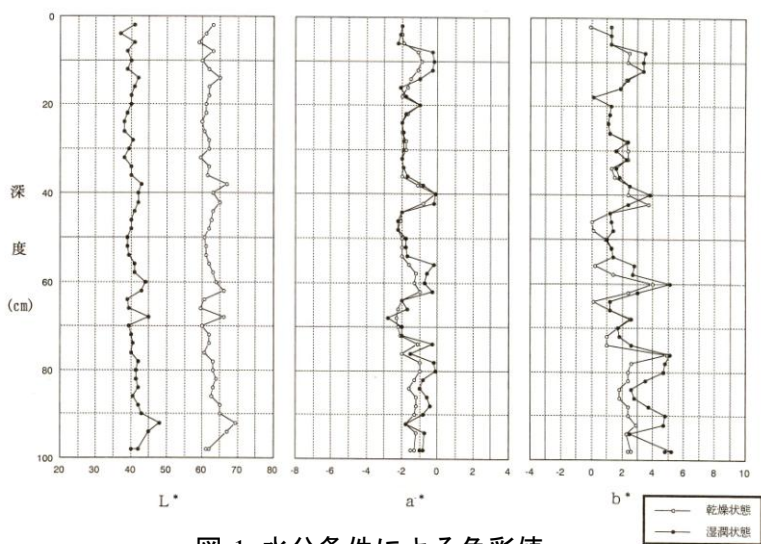


図-1 水分条件による色彩値の変化(満下ほか, 1998⁴⁾)

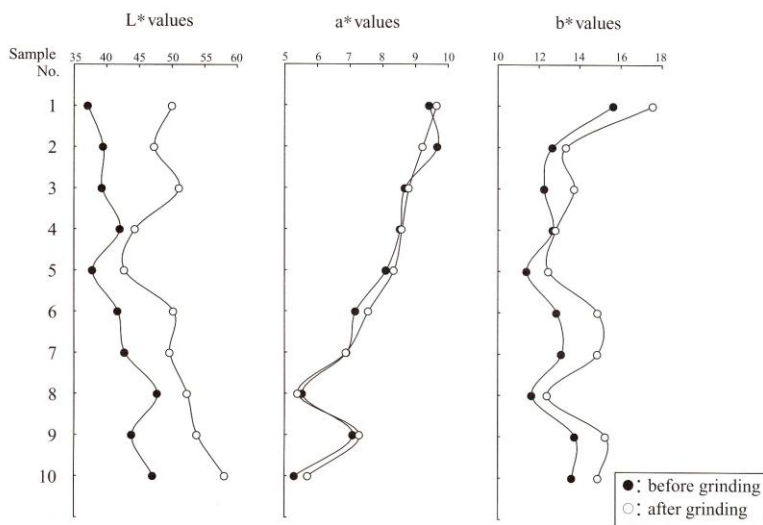


図-2 暗赤色土の粉碎前後の色彩値の変化(井上ほか, 2006²²⁾)

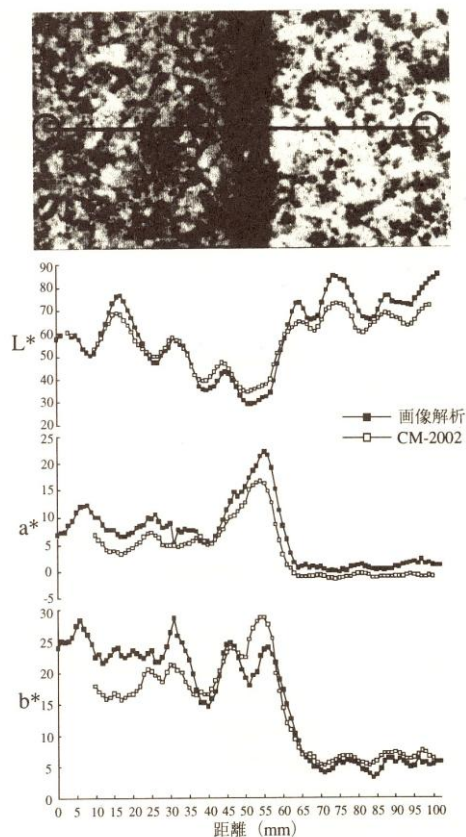


図-3 色彩計による測定値とスキャナー取り込みによる色彩値との比較(池田ほか, 1996⁹⁾)

4. 色彩値と岩石物性との相関

色彩値と、種々の岩石物性の相関の検討は、これまでにかなり行われてきている。具体的には、吸水率・比重・有効間隙率^{4), 24), 25)}、一軸圧縮強度・引張強度^{26), 27), 28)}、密度・P波速度・エコーチップ反発値^{20), 29)}、鉱物・化学組成^{30), 31)}、pH・電気伝導度¹³⁾、土質工学的特性(圧縮指数、塑性指数など)³²⁾、などが挙げられる。色彩測定は簡便かつ迅速に行えることから、色彩値から他の物性値を精度よく推定する回帰式が確立できれば、応用地質学的な有用性が高いといえよう。

5. 色彩値の利用方法

色彩測定は、岩石の風化程度の把握に用いられるものが圧倒的に多いほか、以下のような多様な利用方法が提案されている。例えば、地すべりのすべり面判定^{33), 34)}、熱水変質の程度の識別^{35), 36)}、酸性水発生岩盤の判定³⁷⁾、沖積層の土質特性・堆積環境の推定^{32), 38)}、流入粘土・断層破碎粘土・風化粘土の識別^{12), 39)}、海底堆積物の有機炭素含有量¹¹⁾、火山噴出物に基づく噴火特性評価^{40), 41)}、ローム層を用いた古環境解析⁴²⁾、顔料鉱物の判定¹⁶⁾、水質分析用の簡易比色計としての利用⁴³⁾、などが挙げられる。これらのように、色彩測定は岩石の風化の定量化に限らず、地表環境のフィールドジオセンサとしての多様な用途が考えられる。

6. 測定方法の標準化に向けて

以上のように、色彩測定は応用地質学的な有用性が高い分析ツールといえるが、現状では多様な測定方法が混在して使われているため、異なる測定方法で得られた値同士を同様に扱ってよいかどうかという問題点がある。岩石物性値との相関を検討する上でも、色彩値の測定方法を統一しておく必要がある。今後、次のような事項について、基礎的な検討を行っていく予定である。

- (1) 試料表面の状態：研磨面、無処理の切断面、ボーリングコアの曲面による違い。
- (2) 試料の粉碎程度：粉碎前と粉碎後の測定値との違い、粉碎の程度による違い。
- (3) 試料の水分状態：岩石では L*値にのみ影響が大きいと考えられているが、土壌・非固結堆積物などへの適用性 (a*, b*値への影響の有無)。
- (4) 測定径の違い：岩石の鉱物粒子の大きさの違い(粗粒な岩石と細粒な岩石)の影響。
- (5) 露頭写真の画像処理による色彩値：色彩計による直接測定値との比較。
- (6) スキャナー画像による色彩値：色彩計による直接測定値との比較、画像取り込み時の光学解像度を統一する必要性。

引用文献

- 1) Nagano, T. and Nakashima, S. (1989) Study of colors and degrees of weathering of granitic rocks by visible diffuse reflectance spectroscopy. *Geoch.Jour.* 23, 75-83.
- 2) Nakashima, S., Miyagi, I., Nakata, E., Sasaki, H., Nittono, S., Hirano, T., Sato, T. and Hayashi, H. (1992) Color measurement of some natural and synthetic minerals. *Rep. Res. Inst. Natural Resources, Mining College, Akita Univ.*, 57, 57-76.
- 3) 中嶋 悟 (1994) 地球色変化 ―鉄とウランの地球化学. 近未来社, 292p.
- 4) 満下淳二・石沢一吉・遠藤 司・武内俊昭 (1998) 岩石の色彩測定と風化区分および物性値評価への

応用に関する検討. 応用地質, 38, 370-385.

- 5) 飯山敏道・河村雄行・中嶋 悟 (1994) 実験地球化学. 東京大学出版会, 233p.
- 6) 黒木紀子 (1996) 岩石・鉱物の分光測色法. 月刊地球, 18-4, 212-216.
- 7) 中嶋 悟 (1998) 大地の色 -地球物質の分光測色と地球環境-. 化学と工業, 51-8, 1198-1201.
- 8) 中嶋 健 (1998) 海底堆積物の色から海洋環境の変遷を読む. 地質ニュース, 528, 29-38.
- 9) 池田 進・佐伯和人・田野雄一 (1996) 岩石の可視画像の解析. 月刊地球, 18-4, 217-223.
- 10) Oguchi, C. T., Isobe, H., Komuro, K. and Matsukura, Y. (1995) Color measurement using a visible microspectrometer of weathering rinds on andesite blocks. Ann. Rep. Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, 21, 9-13.
- 11) 中嶋 健・川幡穂高・長尾誠也 (1998) 色相計測による遠洋性石灰質堆積物中の有機炭素含有量の推定. 地質学雑誌, 104, 64-67.
- 12) Wakizaka, Y., Ohara, M., Takahashi, T., Furuichi, H., Harada, M. and Tanaka, M. (1998) Mineralogical and chemical properties of clays for discrimination of weak zone type. 8th International IAEG congress, I, 359-367.
- 13) 大山隆弘・千木良雅弘・大村直也・渡部良朋 (1998) 泥岩の化学的風化による住宅基礎の盤膨れ. 応用地質, 39, 261-272.
- 14) 藤原 靖・小山 哲・青島正和・里 優 (2000) 風化花崗岩切羽画像のニューラルネットワークによる品質区分. 第30回岩盤力学に関するシンポジウム, 5p.
- 15) 棚瀬大爾・門馬英一郎・石井弘允・小野 隆 (2002) デジタルカメラ画像による岩盤風化度の判定・表示システムの開発. 応用地質, 42, 373-379.
- 16) 朽津信明・黒木紀子・井口智子・三石正一 (1999) 顔料鉱物の可視光反射スペクトルに関する基礎的研究. 保存科学, 38, 108-123.
- 17) 永野哲志 (2000) 測色法による水酸化鉄結晶化の速度論. 月刊地球, 22-7, 429-434.
- 18) 中嶋 悟・黒木紀子・斉藤典之・山本 彩・高山英男・芦 寿一郎・多田隆治 (1996) 可視・近赤外フィールドジオセンサの開発. 月刊地球, 18-4, 223-230.
- 19) 佐々木靖人・大谷知生 (1999) 可視近赤外分光画像撮影装置の開発と岩質・強度判定への利用. 日本応用地質学会平成11年度研究発表会講演論文集, 195-198.
- 20) 川崎 了・白木文香・金子勝比古 (2004) 岩石の色と物理的性質に及ぼす水分の影響. 第39回地盤工学研究発表会, 561-562.
- 21) 久保田 一・山本清美・平野 勇・山崎寿之・桐谷 量 (2000) 花崗岩岩盤を対象とした「色」計測による岩盤区分指標. 日本応用地質学会平成12年度研究発表会講演論文集, 341-344.
- 22) 井上 弦・遠部 慎, 長岡信治・杉山真二・西山賢一 (2006) 島原半島南部における火山系暗赤色土の性状. ペドロジスト, 50, 60-67.
- 23) 浦野祐嗣・小峯秀雄・安原一哉・村上 哲 (2006) デジタルカメラを用いた新しい色彩測定方法と建築材料用石材の色彩評価指標値の提案. 土木学会論文集 C, 62-4, 793-802.
- 24) 太田岳洋・木谷日出男 (1996) 塩基性岩の人工的風化による色の変化. 日本応用地質学会平成8年度研究発表会講演論文集, 117-120.
- 25) 西山賢一・水上陽誠・小池克明・松倉公憲 (2001) 風化による砂岩礫の間隙構造の時間変化. 応用地質, 42, 2-14.

- 26) 西山賢一・松倉公憲 (2002) 風化による砂岩礫の物性変化速度. 応用地質, 43, 216-225.
- 27) 横田修一郎・久保真大 (2002) 石材としての“来待石”の風化形態と風化特性. 日本応用地質学会平成 14 年度研究発表会講演論文集, 103-106.
- 28) 横田修一郎・妹尾大輔・西山賢一 (2006) 色彩値変化からみた来待石の風化速度. 応用地質, 47, 188-195.
- 29) 川崎 了・白木文香・金子勝比古 (2005) 明度差を利用した岩石の物理的性質の推定に関する検討. 日本応用地質学会平成 17 年度研究発表会講演論文集, 329-330.
- 30) 木村隆行・高田隆行・立住 光・嶋 将志・磯野陽子・谷本理恵 (2001) 淡水と海水における風化の色彩変化. 日本応用地質学会平成 13 年度研究発表会講演論文集, 79-82.
- 31) 西山賢一・松倉公憲 (2001) 四万十帯砂岩の風化: 色彩および鉱物化学的性質の変化. 地形, 22, 1, 23-42.
- 32) 磯野陽子・木村隆行 (2005) 色彩測定による堆積環境と土質特性の評価. 日本応用地質学会平成 17 年度研究発表会講演論文集, 161-164.
- 33) 菊山浩喜・吉田克美・柳原幸希・綱木亮介 (1998) すべり面判定を目的としたボーリングコアの含水比・色の定量的測定の試み. 地すべり学会第 37 回研究発表会, 297-300.
- 34) 高田正治 木村隆行 磯野陽子 谷本理恵 (2002) 粘板岩風化土地すべりにおけるすべり面判定手法の検討. 日本応用地質学会平成 14 年度研究発表会講演論文集, 141-144.
- 35) 上野 光・太田岳洋・中嶋 悟 (2003) 分光測色計を用いた熱水変質作用の定量的検討. 日本応用地質学会平成 15 年度研究発表会講演論文集, 65-68.
- 36) 横田修一郎・西山賢一・原口 強・井口 隆 (2003) 岩石色彩値の深度変化から見た山形県白鷹火山周辺の風化環境と山体崩壊の可能性. 日本地すべり学会誌, 40, 283-292.
- 37) 磯野陽子・木村隆行・工藤健雄 (2006) 色彩測定を用いた酸性水発生岩盤判定の試み. 第 41 回地盤工学研究発表会, 2361-2362.
- 38) 滝野義和・木村隆行・東 正昭・中野秀樹・高田隆行・立済 光 (1998) 広湾海成粘土の堆積環境と土質特性. 日本応用地質学会平成 10 年度研究発表会講演論文集, 109-112.
- 39) 古市久士・田中政士・大神照徳・脇坂安彦 (1998) 岩盤中の弱層を構成する粘土の色彩. 日本応用地質学会平成 10 年度研究発表会講演論文集, 113-116.
- 40) 森泉美穂子・中嶋 悟 (2000) 火山噴出物の色測定と水・岩石相互作用, 月刊地球, 22- 7, 435-439.
- 41) 宮城磯治・東宮昭彦 (2002) 色変化に基づく火山灰加熱温度の推定: 三宅島火山 2000 年 8 月 18 日火山弾の着地温度への適用. 火山, 47, 757-761.
- 42) 渡邊真紀子・小林孝行 (2002) 南九州テフラー土壌累積断面における腐植酸 Pg の存在形態と生成環境. 第四紀研究, 40, 19-28.
- 43) 坂井啓明・丸岡照幸・上杉健司・三田村宗樹・日下部 実 (2005) 土色計を用いた野外での簡易比色分析法の開発. 地球惑星科学連合 2005 年大会予稿集, H060 P-003 (CD-ROM).