

P31. 各種岩石における反射スペクトルと含水比の関係

Relationship between reflectance spectrum and water content in rocks

○松下 智昭・長田 昌彦(埼玉大学), 萩原 育夫・近藤 はるか(サンコーコンサルタント(株))

Tomoaki Matsushita, Masahiko Osada, Ikuo Hagiwara, Haruka Kondo

1 はじめに

岩石の反射スペクトルには、含水比や微量元素の有無など様々な情報が含まれており^{1, 2)}、地球科学をはじめ、考古学などの分野で広く応用されている。我々は原位置で計測可能な含水比の測定方法として、この反射スペクトルの利用を考えている。

このような方法を検討する直接的な理由は、別途岩石の乾燥変形現象に関する研究³⁾を実施しており、その際に岩石表面における含水比の分布が水分特性曲線を介して乾燥変形現象を支配しており、これを解析するための境界条件として必要不可欠な量であることが挙げられる。その他にも、原位置での利用や岩石材料の風化現象の評価、コアの品質管理など色々な応用が考えられる。

含水比は周辺の環境に応じて時間の経過とともに変化するため、原位置では、非破壊で、迅速に、計測することが望ましい。また点での計測ではなく、面的な含水比分布が求められることが望ましい。

本稿では、その基礎的な情報を得るために、乾燥過程における含水比の経時変化と反射スペクトルの関係を実験室で調べたので、その結果を報告する。

2 反射スペクトルについて

物体表面に入射する放射束に対する反射放射束の比を反射率 (reflectance) と呼んでいる。この反射率が単位波長当たりの量として求められる場合、その量を分光反射率といい、ある波長領域で得られる一連の分光反射率を反射スペクトルと呼んでいる。

岩石の反射スペクトルにはその構成鉱物の特徴が現れるが、主要構成要素である珪酸塩の反射スペクトルにあまり特徴がないため、風化、変質等により二次的に生じた鉱物の特徴が岩石全体のスペクトルを支配することが多いとされる。

3 既往の研究

反射スペクトルと含水比の関係を論じたものに、中嶋らの先駆的研究がある^{1, 2, 4, 5)}。Nagao and Nakashima⁴⁾ は、海洋堆積物の色記載に関連して、 $L^*a^*b^*$ 値に影響を与える要因について考察を行っている。これらの要因のうち、主に含水比の影響が大きく、その他、粒径、間隙水成分、試料の均質性、酸化などの影響があるとしている。

高山ほか⁵⁾ は、水の O-H の結合音および倍音による吸収を利用して反射スペクトルを間隙率推定に用いることを提案しているが、むしろ含水比測定方法として用いるほうが汎用性が高いと考えられる。

4 装置と測定方法

4.1 測定装置

測定に用いた装置は、廉価で市販されている分光計である。この装置は長さが 20cm 程度のハンディタイプのもので、LED 光源により発した光を 8 つの異なる波長領域 (波長番号 0: 430, 1: 470, 2: 505, 3: 565, 4: 610, 5: 630, 6: 660, 7: 945(赤外))、単位は nm。後述の図では、この波長番号で整理している。上記の波長領域には水の O-H の結合音および倍音による吸収帯は含まれない) で同時に反射率を計測するものである。照射範囲は、測定部にゴム製の窓を装着することで、長方形領域 (11×23mm) としている。またゴムを用いることで、試料との密着性を向上させている。なお、1 点での計測はおおよそ 2 秒であり、パソコンと USB 接続することで多くのデータを容易に記録できる。反射率の再現性は、±5% 以下である。

4.2 試料

試験に供した岩石試料は、国内の岩石試験でよく用いられている白浜砂岩 ($n=15.2\%$, $w=6.9\%$) と田下石 (両者とも円柱供試体) のほか、オパリナスクレイ (不定形供試体: $n=14-16\%$, $w=6-7\%$) を用いた。ここでは紙面の関係上、同程度の間隙率と含水比を有する白浜砂岩とオパリナスクレイのデータを主に比較する。

4.3 測定方法

オパリナスクレイは掘削直後の試料を密封して空輸しており、飽和状態に近い試料を乾燥させつつ、反射スペクトルを計測した。一方、そのほかの岩石試料は既に自然環境下で乾燥しており、次のような手順で飽和させた後、乾燥に伴う反射スペクトルを計測した。

まず円柱供試体を 100℃で 24 時間炉乾燥し、質量を計測した後、24 時間以上脱気し飽和した。このときの質量差から上記の含水比、間隙率を算出している。

次に目の粗いふるいの上に置いた飽和供試体をデシケータ内 (25℃, 50%) に入れ、徐々に乾燥させていく過程で数時間おきに試料の質量と反射スペクトルを計測した。反射スペクトルは試料の上下端面においてそれぞれ 3 回ずつ計測し平均した。

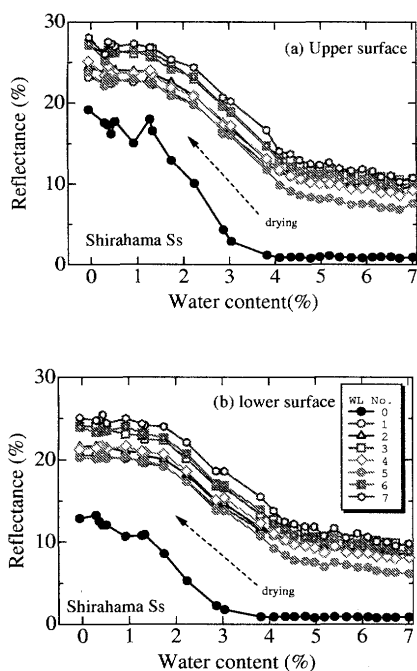


図 1: 白浜砂岩の乾燥に伴う反射スペクトルの変化

5 測定結果と考察

5.1 白浜砂岩の結果

白浜砂岩の結果を図 1 に示す。全体としては上下端面ともに似た値を示すこと、含水比の高い状態では反射率が小さく、乾燥に伴い逆 S 字型に大きくなることがわかる。

上下端面のスペクトルを比較すると、含水比の高い乾燥初期にはほぼ同程度の値を示す(試料の不均質性が原因ではないことを意味する)が、乾燥末期の安定期では大きさが異なっており、常に供試体上端面の方が大きい反射率を示している。このことは、円柱供試体内部での水分分布に関係しており、重力の影響、すなわち供試体下部の方に水分が多く存在しているためと考えられる。また図 1 の含水比 1% 強のところでは反射スペクトルの曲線が乱れているが、これはデシケータ中のシリカゲルを交換したためである。

これらの結果は、岩石表面での微小な含水比変化を反射スペクトルで評価可能であることを示している。

5.2 オパリナスクレイの結果

オパリナスクレイの場合には、白浜砂岩と全く異なる変化を示した。結果の一例を図 2 に示す。

含水比 6% 程度の付近で、波長番号 0 以外は乾燥に伴い若干反射率が増加することが確認できるが、それ以下の含水比ではほとんど反射スペクトルに変化が見られない。

オパリナスクレイの表面を水で湿らせた場合、湿らせた箇所を肉眼的にははっきり認識できる。この差異を数値的に有意に把握できなかった原因を検討するために、乾燥したオパリナスクレイの表面を水で湿らせ、

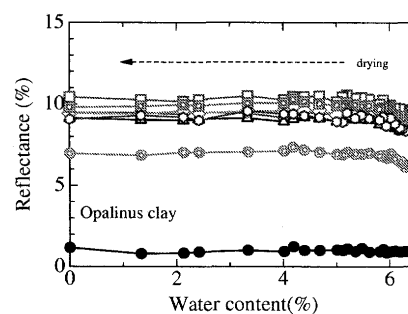


図 2: オパリナスクレイの乾燥に伴う反射スペクトルの変化 (凡例は図 1 に同じ)

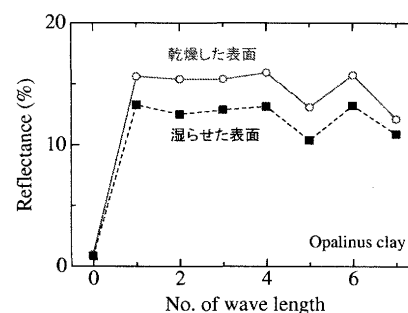


図 3: 湿らせた表面の反射スペクトル

その前後で反射スペクトルを測定した。図 3 の結果から分かるように、反射率に有意な差異があることがわかる。これより、乾燥に伴うオパリナスクレイの反射スペクトル変化が測定できなかった原因は、試料表面だけが急速に乾燥し、全体としての含水比では表現できなかったことによるものと考えられる。

6 おわりに

各種岩石に対する含水比と反射スペクトルの関係を実験的に調べた。それぞれの岩石に特有の傾向が得られ、その差異を順次明らかにしていけば精度の高い含水比測定方法になると考えられる。

謝辞 本研究は、アース・スキャンニング研究会からの研究助成金によって実施されたものである。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 中嶋悟：地球色変化，近未来社，292p pp., 1994.
- 2) 中嶋悟：岩石・土の色を測る-地球・環境の聴診器の開発-，No. 57，深田研ライブラリー，2003.
- 3) Soe, A. K. K., Osada, M., Takahashi, M. and Sasaki, T.: *Environmental Geology*, Vol. 58, No. 6, pp. 1215-1225, 2009.
- 4) Nagao, S. and Nakashima, S.: *Geochemical Journal*, Vol. 25, pp. 187-197, 1991.
- 5) 高山英男，芦寿一郎，多田隆治，中嶋悟：日本地質学会学術大会講演要旨，p. 176, 1995.