

# P1. 可視・近赤外分光による花崗岩類岩石コアの測定と強度特性の対比

Visible and near-infrared spectroscopy of granitic rock cores and their strength properties

○磯野陽子, 木村隆行 (エイト日本技術開発), 中嶋 悟 (大阪大学)

## 1. はじめに

近赤外分光は、800~2500nm 付近の波長領域の光の吸収・反射を扱う分光法で、非破壊・その場分析が可能であることから、特に食品・医療・化学物質の分野でその利用研究が進んでいるが、土木地質材料への適用はあまり公表されていない。これは、近赤外領域では無機材料の Si-O、Al-O 等結合の吸収帯が観測されにくいことが原因とされている。

しかし筆者らは近年、近赤外分光の有する利便性に注目し、新たな地盤調査手法としての適用について検討している (中嶋ほか(1996)<sup>1)</sup>、磯野ほか(2012・2013)<sup>2)3)</sup>。

一方、可視分光法は主に測色に用いられ、土木地質分野でも岩石の風化・変質の簡易定量評価等の研究が実施されている (Nakashima et al(1992)<sup>4)</sup> 中嶋 1994,<sup>5)</sup> 西山ほか (2011)<sup>6)</sup> 等多数)。

今回、2 種類の花崗岩類岩石に、近赤外分光および可視分光測色を実施し、岩石の強度特性との関係について検討したので、ここで報告する。

## 2. 近赤外スペクトル

近赤外領域において観測される吸収帯の多くは、O-H・C-H・N-H といった、水素原子が関与する官能基の伸縮・変角振動の倍音あるいは結合音を主とする。表-1 に分析対象となる土木地質試料に関与すると想定される、吸収帯の波長 (波数) とその帰属を示す。

大きく区分すると、次の 2 つに帰属する吸収帯が確認される。1 つは水の吸収帯で、1400-1470nm および 1880-2000nm 付近に見られ、吸着水や層状ケイ酸塩鉱物の層間水に対応すると想定される。もう 1 つは水酸基 (OH 基) を有する鉱物の吸収帯で、2080-2190nm および 2260-2340nm 付近で確認される。土木地質試料であれば、角閃石類、蛇紋石、雲母類、緑泥石、その他粘土鉱物等などが相当する。

表-1 近赤外領域の吸収帯の波長とその帰属

波長(nm)	波数(cm <sup>-1</sup> )	帰属
1020-1070	9800-9345	二価鉄Fe <sup>2+</sup> のd電子の配位子場分裂による吸収
1400-1470	7140-6800	OH 伸縮振動(3400 cm <sup>-1</sup> 付近)の倍音
1880-2000	5320-5000	OH 伸縮振動(3400 cm <sup>-1</sup> 付近)+H <sub>2</sub> O変角振動(1630cm <sup>-1</sup> 付近)の結合音
2080-2190	4800-4570	OH 伸縮振動(3400 cm <sup>-1</sup> 付近)+Si-OH伸縮振動(960cm <sup>-1</sup> 付近)の結合音
2260-2340	4425-4270	OH 伸縮振動(3400 cm <sup>-1</sup> 付近)+X-OH変角振動(880cm <sup>-1</sup> 付近)の結合音

## 3. 測定試料の強度特性と鉱物組成

トンネル設計のために実施されたボーリングより得られた、古第三紀の花崗岩類試料 (8 検体) と、領家花崗閃緑岩試料 (18 検体) について、岩石物性試験ならびに X 線回折分析を実施し、強度特性ならびに鉱物組成を把握した (表-2 図-1)。その結果、鉱物組成や含有量と強度特性の間には、関連性は認められなかった。その試験後の供試体を用いて、可視・近赤外分光測定を行った。



写真-1 PRIMO MIRARGE

## 4. 可視分光測定方法

可視分光測色は、L\*a\*b\*・XYZ・RGB・400~700nm の分光反射率といったデータの収集が可能で、無線 LAN 接続の小型軽量分

表-2 岩石強度特性一覧表

古第三紀花崗岩				
試料No	圧縮強度 (MPa)	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
No.1	141.60	4.71	2.64	2.59
No.2	140.90	4.99	2.76	2.60
No.3	106.6	4.01	2.23	2.56
No.4	102.6	4.51	2.43	2.55
No.5	119	5.07	2.71	2.59
No.6	156.10	5.05	2.86	2.58
No.7	118.20	4.62	2.60	2.57
No.8	96.50	4.41	2.36	2.56

領家花崗閃緑岩				
供試体No	圧縮強度 (MPa)	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
No.1	5.28	1.55	0.75	2.46
No.2	66.00	4.02	2.42	2.63
No.3	69.30	5.14	2.86	2.65
No.4	37.50	4.39	2.36	2.64
No.5	24.10	2.59	1.49	2.54
No.6	39.50	2.31	1.32	2.58
No.7	70.80	3.98	2.32	2.57
No.8	0.62	1.16	0.44	2.22
No.9	4.42	1.41	0.64	2.49
No.10	14.50	2.12	1.09	2.56
No.11	0.19	1.05	0.45	2.09
No.12	17.50	3.32	1.73	2.57
No.13	0.20	0.71	0.28	2.07
No.14	1.14	1.03	0.39	2.11
No.15	4.19	2.05	1.14	2.61
No.16	0.88	1.44	0.68	2.50
No.17	1.32	0.77	0.28	2.41
No.18	0.41	0.67	0.67	2.05

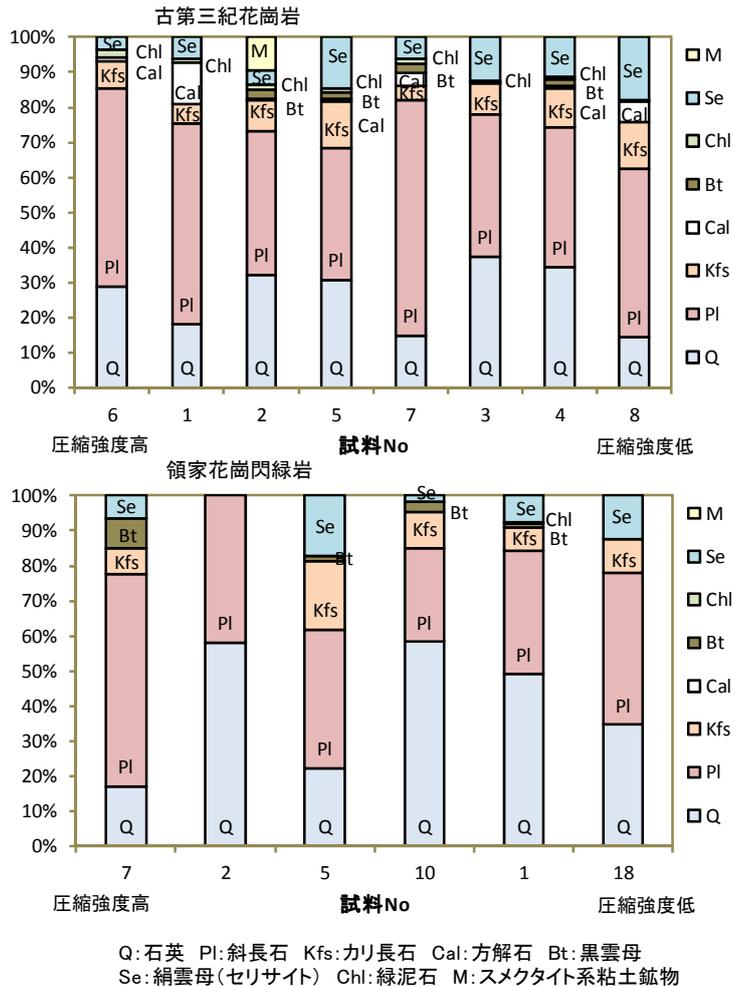


図-1 圧縮強度と鉱物組成関係図

光装置 PRIMO MIRAEGE (扶桑プレジジョン製 写真-1)で行った。1 供試体から無作為に 10 箇所測定し、その平均値をその供試体の代表値とする。

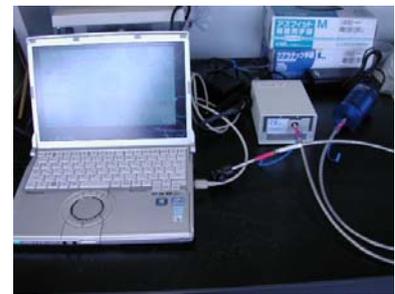


写真-2 近赤外分光装置

### 5. 近赤外分光測定方法

近赤外分光器 (NIR256) 一式を写真-2 に示す。一軸圧縮試験後の岩石供試体に直接プローブ先端をあて、反射スペクトルを取得する。プローブ先端の光の照射反射部の直径は約 2mm である。花崗岩類は鉱物粒子が大きいことから、今回は試料毎に無作為に選んだ 10 粒子の長石類の反射スペクトルを測定した。

得られる反射スペクトルは、アルミナ粉体での反射スペクトルに対する相対反射率で、その反射率を拡散反射測定を定量化するクベルカ・ムンクの式で吸光度に変換し、吸収スペクトルとする。各吸収帯に直線のベースラインを引き (図-2)、吸収帯の面積を求めその平均が供試体の代表値とする。

### 6. 可視分光測定結果

測定で得られた平均 L\*a\*b\*値および 400~700nm 間の分光反射率と、岩石強度特性との検討の結果、古第三紀花崗岩で b\*と強度・速度特性に良好な負の相関が、450nm (青色) 反射率と正の相関が認められた (図-3)。

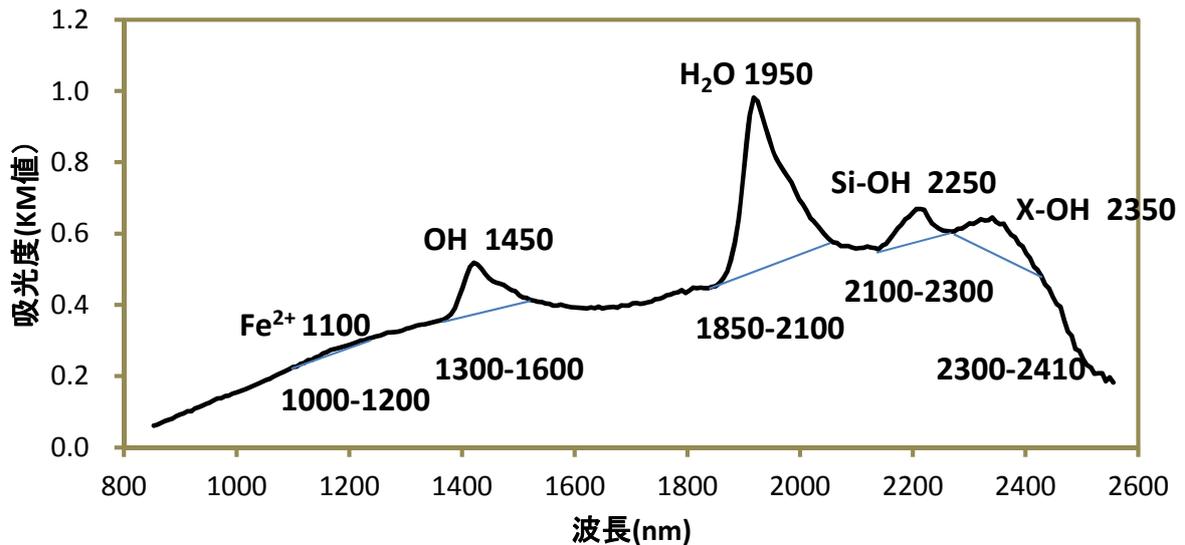


図-2 花崗岩類の主な近赤外吸収帯と面積算出のベースライン

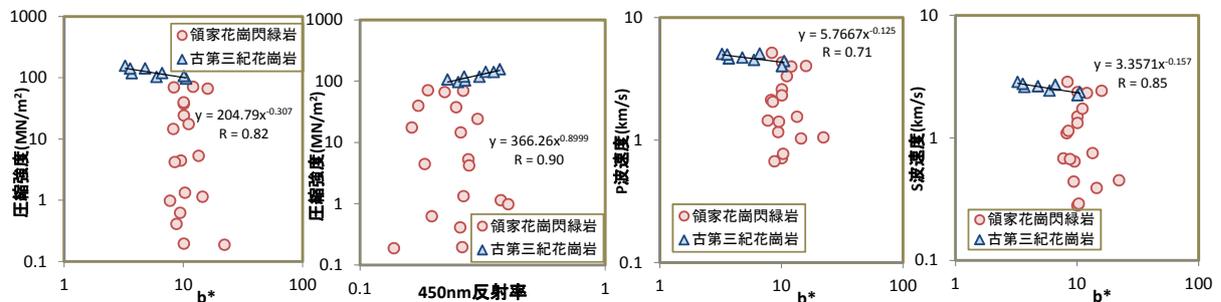


図-3 b\*および450nm反射率と強度と速度の相関図

一方、領家花崗閃緑岩に関しては、可視分光測定結果と岩石強度特性の間に関連性は認められなかった。

## 7. 近赤外分光測定結果

代表例として、領家花崗閃緑岩供試体 No.14 の斜長石 10 粒子分の吸収スペクトルを図-4 に示す。すべての試料で約 1450・1950nm 付近の水の吸収帯、および 2100-2500nm 間に水酸基を有する鉱物の吸収帯が確認された。各波長の吸収帯面積の平均と岩石物性値の検討結果を図-5 に示す。

その結果、領家花崗閃緑岩では OH(1450nm 付近)及び水分子(1950nm 付近)の吸収帯面積と、岩石強度値との間に比較的良好な負の相関が得られた (図-5)。領家花崗岩類では P・S 波速度も水の吸収帯面積の間に  $R=0.7\sim 0.8$  の負の相関が得られている。

一方、古第三紀花崗岩類では、長石類の 2250nm 付近の吸収帯面積と、圧縮強度とに負の相関が認められた (図-5)。ただし、P・S 波速度との間には、あまり良好な関係が認められない。また、全体を通して岩石物性値と各吸収帯面積は、負の相関を有するが、これらの相関関係は予備的にべき乗則で近似されるとともに、その傾きは領家花崗閃緑岩と古第三紀花崗岩では大きく異なることが示された。

## 8. 考察

可視分光測色により、古第三紀時花崗岩類では、 $b^*$ あるいは 450nm 反射率と強度・速度の間に良い相関が見られた。しかし、領家花崗閃緑岩では、強度が著しく低下しても  $b^*$ 値に大きな変化は見られなかった。従って、 $b^*$ 値 (黄色身) は強度の高い弱風化岩の強度指標として用いることができるが、より強度の低下した花崗岩では指標とならない可能性がある。

一方、近赤外分光測定で得られる 1450nm および 1950nm 付近の水の吸収帯は、領家花崗閃

緑岩の強度・速度と良い相関を示した。これらは長石類の風化・変質過程で関与する吸着水や層間水で、一方 2250nm 付近の水酸基鉱物の吸収帯は、長石表面に生成している粘土鉱物によるものと考えられる。

従って、近赤外分光により、岩石の風化・変質に伴う長石の水和・変質度の定量化が可能であり、本検討で強度特性の指標となり得ることがわかった。

今後測定対象岩石を増やし、岩石強度と色彩や水和度との近似直線（べき乗則）の関係、あるいはその傾きの意味等を詳細に検討して行く。

### 参考文献

- 1) 中嶋 悟・黒木紀子・斉藤典之・多田隆治・高山英男・大倉 力：可視・近赤外フィールドジオセンサーの開発，月刊地球，18, 223-230 (1996)
- 2) 磯野陽子・木村隆行・中嶋 悟：近赤外分光の土木地質試料への応用，日本応用地質学会 平成 24 年度研究発表講演論文集，111-112 (2012)
- 3) 磯野陽子・木村隆行・中嶋 悟：土木地質試料への近赤外分光の利用（その 3），第 48 回地盤工学研究発表会，平成 25 年度講演集，629-630 (2013)
- 4) Nakashima, S., Miyagi, I., Nakata, E., Sasaki, H., Nittono, S., Hirano, T., Sato, T. and Hayashi, H. : Color measurement of natural and synthetic minerals - I., Rep. Res. Inst. Natural Resources, Mining College, Akita Univ. 57, 57-76. (1992)
- 5) 中嶋 悟：地球色変化 - 鉄とウランの地球化学，近未来社 (1994)
- 6) 西山賢一・木村隆行・磯野陽子・井上弦：色彩計を用いた岩石・土壌の色彩測定法，応用地質，第 52 巻，第 2 号，62-71(2011)

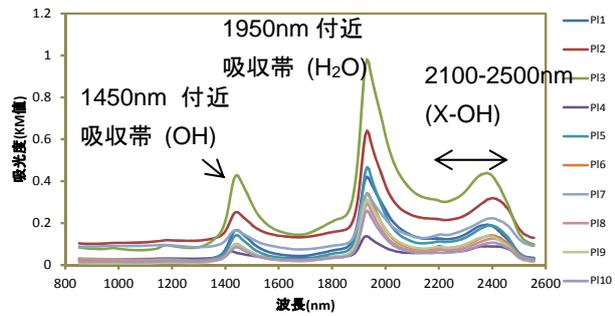


図-4 No. 14 長石類 10 粒子の近赤外スペクトル

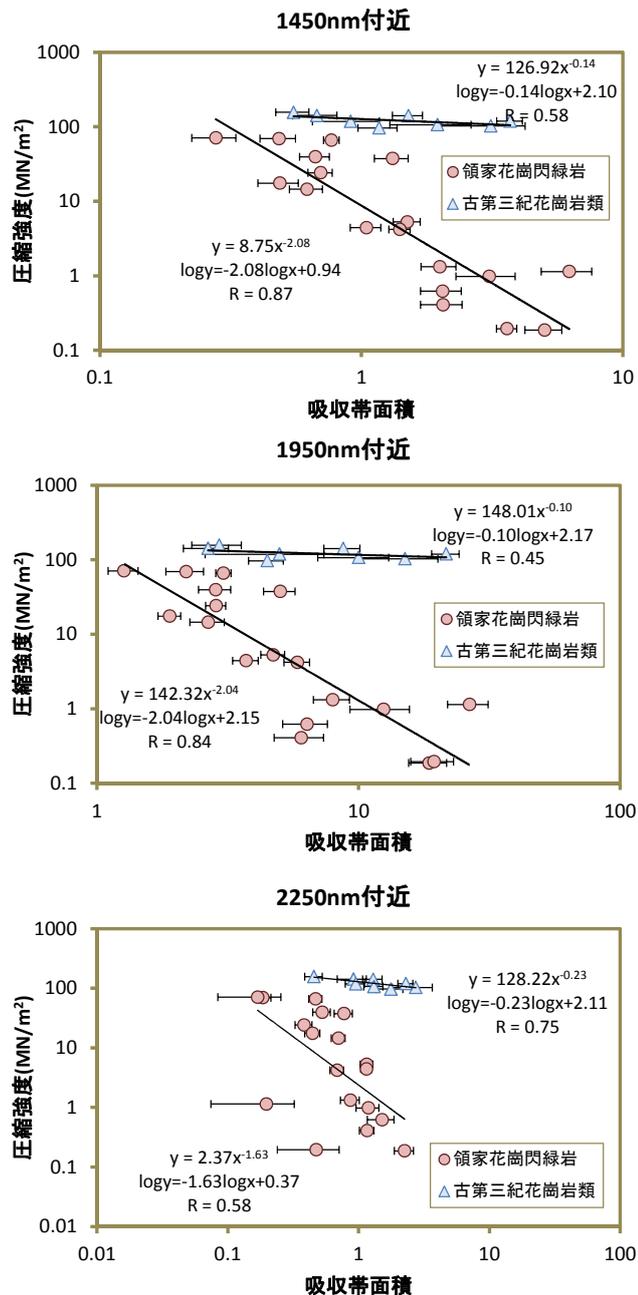


図-5 近赤外吸収帯面積と強度の相関図