岩石の物性の変化と分光反射率・放射率との関係

○吉永徹 A)、寺崎有里子 A)、小池克明 B)
A)熊本大学工学部 技術部
B)熊本大学工学部

1　はじめに

地質構造と岩石・鉱物に関する情報収集に集約される資源開発の分野では，リモートセンシングは有用な手法の一つである．この手法では岩石・鉱物の可視～短波長赤外域(0.4～2.5μm)，および熱赤外域(8～14μm)でのスペクトル特性が重要な因子となり，地質分類や鉱物の識別に適用されている．しかしながら，分光反射率・放射率の吸収に注目した岩石のスペクトル特性では，その要因となる鉱物の含有割合が主な解析の対象であり [1)]，岩石そのものの物性について検討された例はない．特徴の現れる波長帯での反射率・放射率の吸収は，鉱物組成のイオン，または分子間の振動に起因する．振動の大きさは結合力と密接に関係するので，岩石物性が分光反射率・放射率の吸収パターンを特徴付ける要因の一つになることは充分考えられる．この観点から筆者らは，同じ種類の岩石における風化の程度の違いに着目し，分光反射率・放射率特性との関係を明らかにするとともに，リモートセンシングによる地質物性の推定への応用を図るための基礎的な実験を行った．

2　測定方法

分光反射率の測定には，オプトリサーチ社製の分光反射計 FPR-2000 を用い，可視域～近赤外域（0.4～1.1 μm）に 6 つ，短波長赤外域（1.1～2.5 μm）に 8 つの観測波長帯（バンド）を設けた．測定手順は，まず標準光源による拡散板からの光子数をバンド毎に求める．次に，拡散板を試料に置き換えて同様の測定を行い，同一バンドに対する拡散板の測定値で基準化した値を反射率と定義した．

分光放射率の測定には，熱赤外域（8～14 μm）用の検知器として MCT 内蔵の可搬型フーリエ変換分光放射計 μFT-IR model 101 (Designs & Prototypes 社製)を用いた（図 1）．放射率は次の手順により求められる．

① 試料温度より＋5℃，－5℃の温度に設定した高温・低温黒体の放射輝度を測定する．
② 蒸着拡散反射板の測定により，周辺物質（環境）からの放射による試料表面での反射成分を見積もる．
③ 試料からの放射輝度を測定する．
④ 試料の測定データを高温黒体，低温黒体，および金蒸着拡散反射板に対する 3 つの放射輝度で較正し，プランク曲線へのフィッティング処理後，放射率を算出する．

FPR-2000

μFT-IR model 101

図 1.　分光反射計・分光放射計

なお，分光反射率・放射率の測定は空調設備を伴う暗室で行い，温度や照度に関係した測定環境には充分配慮した.

3　測定対象試料

測定試料とその採取場所は次の通りである.

【火成岩試料】

- 広島型花崗岩礫（山口県宇部市）
- 花崗閃緑岩（熊本県菊池市））
- 閃緑岩（熊本県菊池市）
- 安山岩（熊本県宇土郡三角町）

【堆積岩試料】

- 四万十砂岩礫（宮崎県西都市・宮崎市）
- 天草砂岩（熊本県天草郡松島町）
- 石灰岩（山口県美祢市）

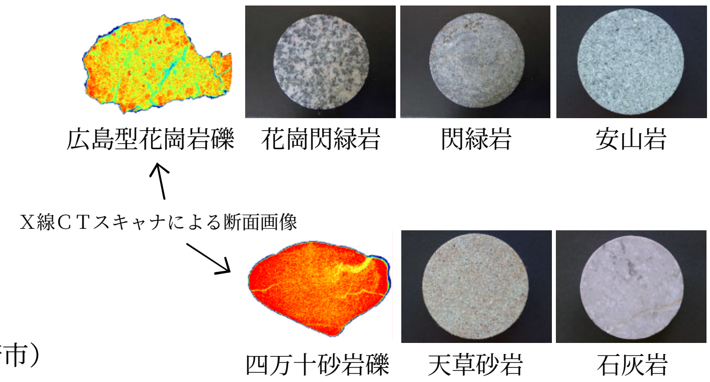

図 2.　測定に用いた岩石試料

礫以外の測定試料は，すべて同一地点での地質調査用ボーリングコアから採取した．新鮮～風化を受けていると判断できる箇所から風化の程度に偏りのないよう選定し，直径の厚さに成形した（図 2）．また，風化の程度を，礫試料についてはＸ線 CT スキャナによる CT 値，およびボーリングコア試料については超音波パルス法による P 波測度(*Vp*)によって表した.

4　測定結果

まず，分光反射率の測定結果の一例として，天草砂岩に対する測定結果を図 3 に示す．*Vp* の低下に伴って反射率が全体的に増加し， Fe^{2+}・Fe^{3+}，OH^-，および H_2O の存在に起因した吸収帯 0.98，1.4，1.9 と 2.2 μm での反射率の低下が顕著になることがわかる．四万十砂岩についても同様の結果が得られた．これは，風化作用に伴う酸化鉄(0.98 μm)や粘土鉱物(1.4，1.9・2.2 μm)の生成によるものであり，特に 0.98 μm での反射率の低下は砂岩試料のみに見られた現象である．その他の岩石に対する分光反射率の特徴としては，酸性岩である花崗岩と花崗閃緑岩試料の 1.4，1.9 μm での反射率の吸収が明瞭で，風化の程度が反射率の吸収と密接に関連する.

次に，分光放射率の測定結果の一例として天草砂岩と花崗閃緑岩を図 4 に示す．これらの岩種においては，主要鉱物の SiO_2 に起因する 8～9.5 μm での放射率の吸収が顕著に現れている．吸収の深さは風化の程度が小さい試料ほど大きい．さらに花崗閃緑岩では，放射率の最小値を示す波長が長波長側へシフトするという特徴が抽出できた．これは，SiO_2 の溶脱，風化による Si と O の結合力の低下，Si と O が作る四面体の 3 次元構造の崩壊，およびシート状構造を呈する粘土鉱物

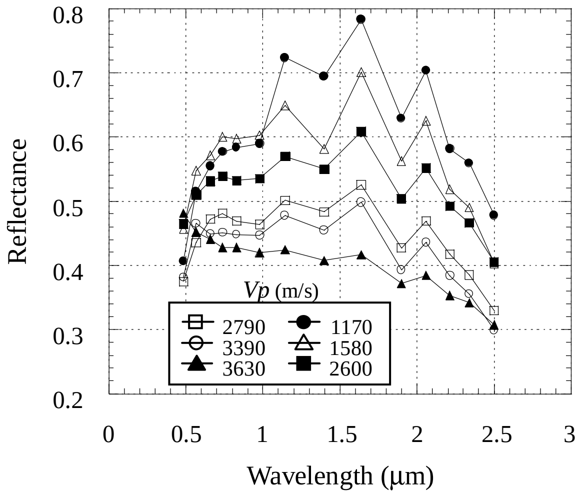

図 3.　天草砂岩の分光反射率

の生成によるものと考えられる．なお，長波長側へシフトする現象は閃緑岩にも見られたが，花崗閃緑岩に比べて SiO_2 含有率が低いために，図 4(b) ほど明瞭でない．

一方，石灰岩試料は，11.2 µm 付近に CO_3^{2-} に起因した明瞭な吸収帯をもつことが確かめられたが，砂岩や酸性岩類試料とは異なり，*Vp* との対応関係は見出せなかった．放射率特性の考察のために用意した結晶質石灰岩に対する測定結果との比較により，11.2 µm での吸収の深さに大きな差があることがわかった．よって，石灰岩の場合，物性の違いよりも結晶質の度合いに放射率・反射率が関連するとも考えられ，現在検討を進めているところである．

5　分光反射率・放射率の吸収量指標

これまでの測定結果に基づき，分光反射率・放射率の吸収の大きさを明瞭に表すために，IFe，IClay，⊿εという指標を定義した．IFe は Fe^{2+}・Fe^{3+}に起因する吸収帯での反射率の低下量，IClay は OH^-，H_2O に起因する吸収帯での反射率の低下量，⊿ε は SiO_2 に起因する吸収帯での放射率の低下量である．これらと平均 CT 値，*Vp* との相関関係を表 1 にまとめる．岩種によって特徴の現れやすい波長帯が異なり，その波長帯では上記の指標と物性は，高い相関関係を示すことが明らかである．特に各岩種に共通する有用な指標は IClay であるといえる．

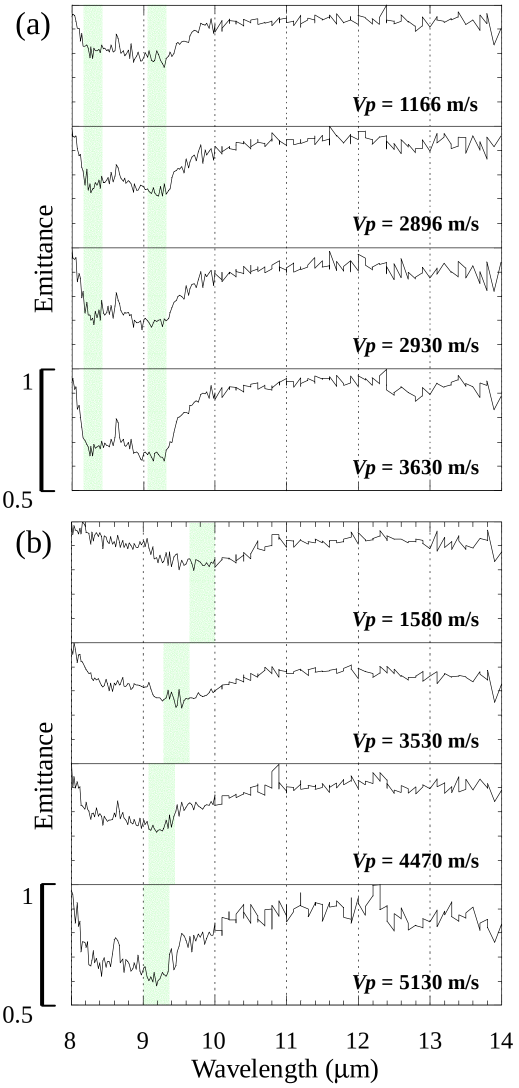

図 4.　(a)天草砂岩，(b)花崗閃緑岩の分光放射率

表 1.　反射率・放射率の吸収指標と物性値との相関関係

岩石名	花崗閃緑岩	閃緑岩	安山岩	天草砂岩	四万十砂岩	石灰岩
INDEX	*Vp*				CT値	*Vp*
IFe	0.08	-0.56	-0.50	-0.26	-0.62	0.016
IClay	-0.82	-0.24	-0.88	-0.76	-0.81	0.003
⊿ε	0.63	0.10	0.22	0.72	0.49	-0.061

6　まとめ

風化の程度が異なる岩石試料を用い，岩石の物性の変化と分光反射率・放射率との関係について検討した．その結果，風化の影響がスペクトル特性に現れる岩石において，主要鉱物や風化生成鉱物に起因した波長帯での反射率の低下，放射率の増加の特徴を抽出することができた．これにより，反射率・放射率の吸収の大きさを表す指標を定義し，特徴の現れる波長帯においては物性と高い相関関係をもつことを明らかにした．

参考文献

[1]　二宮芳樹・傅碧広：ASTER 熱赤外データのバンド間演算による石英指標，炭酸塩鉱物指標，および SiO_2 含有量指標，日本リモートセンシング学会誌, 22(1), pp.50-61, 2002.