

# マルチスペクトルカメラの地熱・海底鉱物資源探査への適用可能性に関する基礎的検討

久保 大樹\*・岸本 将英\*・小池 克明\*

## Fundamental examination on applicability of multispectral camera to exploration of geothermal and seafloor metal resources

Taiki Kubo\*, Masahide Kishimoto\* and Katsuaki Koike\*

\*京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 Department of Urban Management, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C1-2-215, Kyoto 615-8540, Japan. E-mail: kubo.taiki.3n@kyoto-u.ac.jp (Kubo)

キーワード: マルチバンド, 非破壊検査, リモートセンシング, 海底熱水鉱床, 衛星画像  
Key words: Multi band, Nondestructive inspection, Remote sensing, Seafloor hydrothermal deposit, Satellite imagery

### 1. はじめに

人間の可視域以上の長波長帯である赤外域の反射を利用した非破壊・非接触検査は、医療や食品衛生の分野で積極的に導入が進められている(例えば亀岡・橋本, 2003)。中でもマルチスペクトルカメラによる画像分析は、結果を視覚的に理解しやすいこともあり、特に注目を集めている。赤外域での反射を利用した装置は、地質調査や資源探査においても利用の検討が進められているが、いまだ普及しているとは言えない状況にある。その原因のひとつとしては、対象とする土壌や岩石の構造が複雑であることや、安定した撮影環境を確保するのが難しいことが挙げられる。しかしながら、地表面における反射スペクトルを利用した衛星画像解析は、長らく地質調査や資源探査に用いられてきた技術であり、これまでに蓄積された知見を活用することが可能である。また、近年発達が著しい機械学習の利用も、複雑な対象物を解釈する解析手法開発の一助となりえる。そこで本研究では、地熱・海底鉱物資源探査への応用を例として、マルチスペクトルカメラの適用性の検討を行い、その基礎的な課題点とその解決策について議論する。

### 2. 測定装置と解析手法

スペクトルカメラは一般的な光学式カメラ(RGB カメラ)と同様に撮影対象表面からの電磁波の反射を捉え、画像として記録することができる。しかし、RGB カメラと異なり、複数の波長帯を個別に記録することが可能なため、多次元的なデータとみなすことができる。装置によって記録可能な波長帯(バンド)の数が異なり、一般には10バンド程度までのものがマルチスペクトルカメラ、それ以上のものがハイパースペクトルカメラと呼ばれる。また、撮影可能な波長の範囲も異なり、1000 nm 程度の近赤外域までを扱う装置と、それ以上の短波長赤外を扱うことができる装置で、価格は数倍から数十倍近くの差が生じる。本研究では、mcCAM (Spectral Device 社)と MonarchII (Unispectral 社)の2種類のマルチスペクトルカメラを使用した(第1図)。いずれも近赤外域(700~1000 nm)の波長域でそれぞれ4バンド、10バンドの撮影が可能な装置である。市販価格は、専用の撮影ソフトウェア込みで50~100万円程度となっている。それぞれ

の基本的な仕様を第1表にまとめる。撮影にあたっては、屋外の場合は太陽光のみを、屋内の場合は分光分布が近赤外域まで及ぶハロゲンランプを使用した。一般的なLED照明の分光分布は可視域のみであるため、暗室の利用などは行っていない。解析にあたっては、異なるバンドの画像を重ね合わせ、その輝度値の比や差分を求めることで、対象の反射・吸収特性を強調する作業を行う。このとき、光源やカメラのセンサが波長ごとに異なる分光特性を持つことに注意が必要である。この影響を軽減するために、撮影時には反射率が既知の標準反射板を画像内に配置し、その輝度に基づいた補正を行った。

また、マルチスペクトルカメラによって撮影された画像の検証のため、高い波長分解能を持つプローブ型分光光度計 ASD FieldSpec4 (Malvern Panalytical 社: 以下 FieldSpec)を使用し比較を行った。FieldSpec は350~2500 nm の範囲の反射強度を1 nm ごとに求めることが可能である。



第1図 撮影に使用したマルチスペクトルカメラ (左: mcCAM: Spectral Device 社, 右: MonarchII: Unispectral 社)

第1表 マルチスペクトルカメラ2機種の仕様

	mcCAM	MonarchII
バンド数	4	10
(波長帯 nm)	(730 - 930)	(713 - 920)
解像度	512 × 512	1284 × 1024
撮影方式	同時撮影	切り替え式
画像形式	動画+スナップショット	スナップショット

### 3. 測定結果

#### 3.1 地熱地域における植生の撮影と分析

地熱地域においては、深部から上昇する地熱流体による土壌の変質や温度変化が植生の生育状況に影響し、葉部での反射スペクトルが変化することが報告されている(Coolbaugh et al., 2006). また、植生のストレスは Red edge と呼ばれる 700 nm 付近の波長帯に強く表れることが知られており、前述したマルチスペクトルカメラの撮影可能範囲とよく対応している。

マルチスペクトルカメラによる植生スペクトル変化の検出可能性を検証するため、鹿児島県指宿地域において、植生の撮影と解析を行った。撮影には MonarchII を使用し、十分な光量が確保できる環境で実施した。第 2 図に一例として、噴気帯(湯峯神社)付近で撮影された画像と 10 バンドでの反射スペクトルを示す。反射スペクトルは、バンドの中心波長を代表波長とし、同じ位置の葉部のピクセル値を抽出している。第 2 図(右)に示すように、700~800 nm 付近での反射率の急増が見られ、これは植生の一般的なパターンと一致する。一方で、850 nm 付近からの急減は一般的には見られない特異なパターンであるが、本地域の衛星画像(Hyperion)から取得された地熱兆候点周辺のスペクトルとはよく対応している。よって、今回のスペクトルカメラで取得された反射スペクトルの特徴は、地熱地域特有の植生スペクトルを適切に反映していると考えられる。以上の結果から、スペクトルカメラによる現地測定データと衛星画像解析による広域解析結果を組み合わせることにより、詳細な地熱の影響範囲のマッピングや広域調査結果の改善が期待される。

#### 3.2 海底熱水鉱床サンプルの撮影と分析

mcCAM を使用して、中部沖縄トラフの熱水噴出域から採取されたサンプルの測定を行った。屋内でハロゲンランプを光源とし、反射板を用いた補正を適用した。また、撮影画像と比較するため、第 3 図に示すように 2 サンプル(#79, #84)の特徴的な箇所において FieldSpec による分光測定と XRF(蛍光 X 線分析装置)による元素濃度測定を実施した。FieldSpec による測定結果から、サンプル#79 は 730 nm と 865 nm、サンプル#84 は 730 nm と 930 nm で最も反射率の差が大きくなることが確認されたため、これらの比を求めることで反射率分布の強調処理を行った。第 4 図に示すように、バンド比をとることで#79 の塊状の鉱物や、#84 の茶褐色の脈が明瞭に現れている。また、第 3 図に示した各点での XRF による元素濃度測定結果(第 5 図)と比較すると、#79 では Si 濃度との負の相関、#84 では Zn との正の相関が確認された。特に#84 のバンド比との相関は明瞭であり、スペクトルカメラ画像の解析による金属鉱物含有量の迅速な評価手法の開発が期待できる。

### 4. まとめと今後の課題

スペクトルカメラの資源探査への適用可能性を検証するために、比較的低価格な 2 機種を使用し、地熱地域での植生と海底熱水鉱床サンプルの撮影とスペクトルの分析を行った。どちらの結果からも、衛星リモートセンシングや XRF 分析などと組み合わせることによって、迅速かつ簡便な測定手法として資源探査に活用できる可能性が示された。しかしながら、装置ごとの特性や環境に合わせた事前の検証作業や調整が必要であり、多様な現場で使用するにはいまだ多くの課題を残している。今後は、様々な場面での実施例を蓄積することで、適用可能範囲や精度についての検証を行い、再現性のある結果を得るための測定手法の確立が求

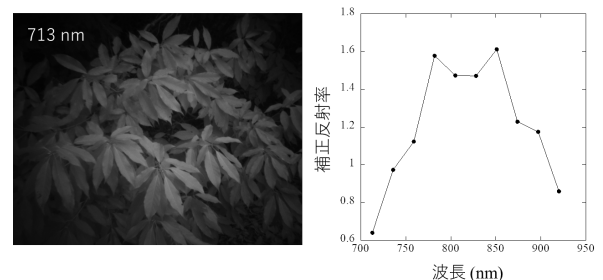
められる。

謝辞：本研究は JSPS 科研費若手研究(22K14105)、および一般社団法人資源・素材学会 学会長期テーマプロジェクト (PJ) による成果である。

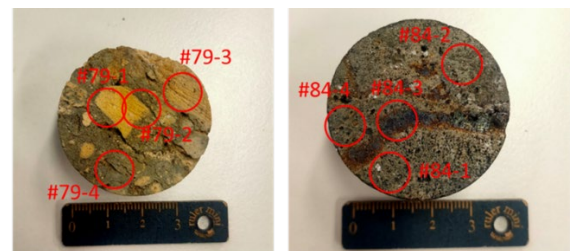
### 文献

亀岡孝治, 橋本篤 (2003) 農産物・食品の赤外分光分析とその応用. 農業情報研究, vol. 12, pp. 167-188.

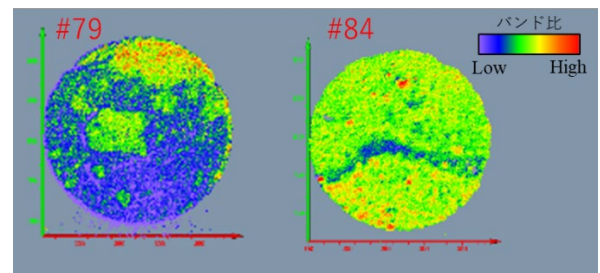
Coolbaugh, M. F., Kratt, C., Fallacaro, A., Calvin, W. M. and Taranik, J. V. (2007) Detection of geothermal anomalies using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) thermal infrared images at Bradys Hot Springs, Nevada, USA. *Remote sensing of Environment*, vol. 106, pp. 350-359.



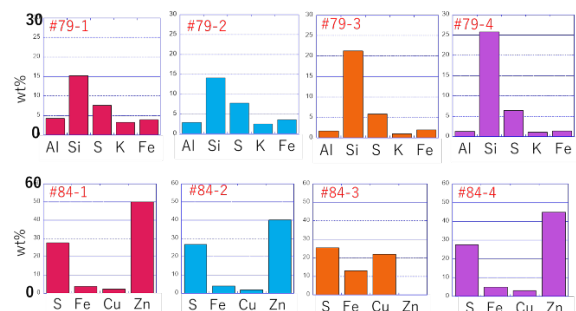
第 2 図 スペクトルカメラによる噴気帯付近の植生写真(左)と反射スペクトル(右)



第 3 図 海底熱水鉱床 2 サンプルと各測定ポイント



第 4 図 2 バンドでの反射率比をとった画像(#79 は 730 nm / 865 nm、#84 は 730 nm / 930 nm)



第 5 図 XRF による元素濃度測定結果 (測点は第 3 図に対応している)