

航空機ハイパースペクトル画像を用いた衛星画像の波長・空間分解能の向上と 金属鉱床域での鉱物マッピングへの応用

久保 勇也*・グエン ホアン**・小池 克明*・野田 周帆***・浅野 友紀瑛***・川上 裕***・
増田 一夫***

Increases in spectral and spatial resolutions of satellite imagery using airborne hyperspectral imagery with an application to mineral mapping in a metal deposit area

Yuya Kubo*, Hoang Nguyen**, Katsuaki Koike*, Shuho Noda***, Yukie Asano***,
Yu Kawakami*** and Kazuo Masuda***

* 京都大学大学院工学研究科, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Kyoto University
Katsura, Nishikyo-ku, Kyoto 615-8540

** 総合地球環境学研究所 Research Institute for Humanity and Nature, 457-4 Kamigamo Honzan,
Kita-ku, Kyoto 603-8047

*** 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, JOGMEC, Toranomom Twin Building, 2-10-1 Toranomom, Minato-
ku, Tokyo 105-0001

キーワード: リモートセンシング, ASTER, HyMap, ハイパースペクトル画像

Key words: remote sensing, ASTER, HyMap, hyperspectral image

1. はじめに

観測衛星を利用したリモートセンシング解析は、金属鉱床の存在に関連する熱水変質鉱物を広域から抽出できるため、資源の一次探査法として広く適用されている。ASTERなどのマルチスペクトル画像は全地球をカバーしているものの、可視域から短波長赤外域にかけてのバンド数が少なく、地表物質の識別精度が低いことに加えて、空間分解能が30 m程度という欠点がある。一方、Hyperionなどのハイパースペクトル画像はスペクトル分解能が高く、鉱物の識別精度は高いが、観測は軌道直下の狭い範囲に限られ、広域調査には適していない。このような両者の欠点を補完し、マルチスペクトル画像のスペクトル分解能の高解像度化を行う手法として PHITA (Pseudo-Hyperspectral Image Transformation Algorithm) が提唱されている (Hoang and Koike, 2017; 2018)。

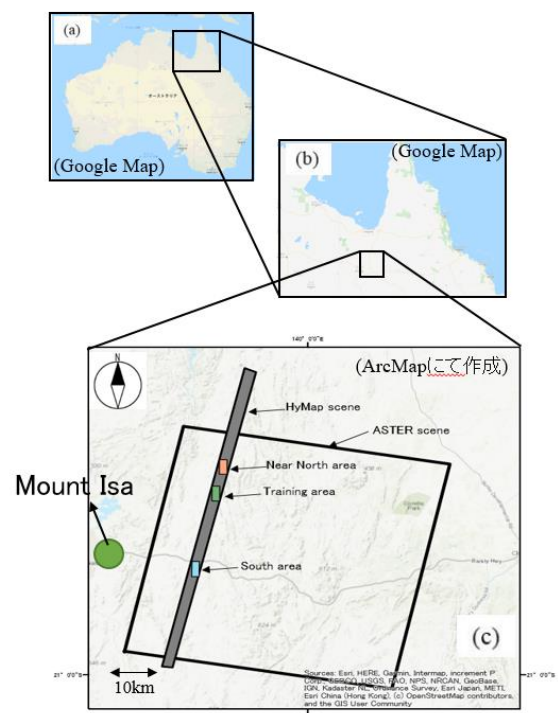
本研究では、PHITA を拡張し、空間およびスペクトル分解能の両方のダウンスケーリングを目的として、航空機ハイパースペクトル画像への適用を行った。

2. 研究対象と解析データ

本研究では、オーストラリア・クイーンズランド州北部の領域を対象に選んだ。2006~2007年にかけて、次世代鉱物マッピング (NGMM) プロジェクトの一環として、クイーンズランド州北部から25,000 km²のデータを収集するためにハイパースペクトル調査が実施された。

このプロジェクトでは、ハイパースペクトルセンサとして HyMap が使用され、幅15 kmで延長の異なる25の領域が調査された。ASTERおよび HyMap の取得範囲を第1図に示す。2つの画像が重複している領域から Training

area, Near North area, South area を切り出し、Training area のデータに PHITA を適用し、Near North area, South area を精度検証用に使用した。解析に用いた ASTER と HyMap の諸元を第1表に示す。



第1図 対象領域とした Queensland 州 Mount Isa 地区東部。

第1表 解析に用いた光学センサの諸元

	ASTER	HyMap
分解能	15 m, 30 m, 90 m	4.6 m
観測幅	60 km	2.3 km
バンド数	14	125

3. 手法

3.1 前処理

USGS 提供の Earth Explorer を利用して取得した ASTER 画像には、DN (digital number) が格納されている。DN を放射輝度に変換した後、大気補正を行い、大気の影響を取り除いて地表面の反射率データに変換した。次に幾何補正によって ASTER 画像と HyMap 画像の位置合わせを行った。また ASTER 画像を HyMap 画像の 1 ピクセルのサイズ(4.6m)と一致させるため Bilinear 法により、画像補間を行った。

3.2 PHITA

PHITA では、あるバンド i で位置 j のハイパースペクトル画像の反射率 $\rho_{ij}^H(\lambda)$ を、マルチスペクトル画像で n バンド分の反射率 $\rho_{bj}^M(\lambda)$ の線形結合として以下のように表す。

$$\rho_{ij}^H(\lambda) = \beta_{0i} + \sum_{b=1}^n \beta_{bi} \cdot \rho_{bj}^M(\lambda) + \sum_{c=j}^m \beta_{ci} \cdot INDEX_{cj} + \varepsilon_{ij}$$

ここで $INDEX_{cj}$ は反射率データの補助情報を意味し、ASTER 画像でよく用いられる以下の 4 つ鉱物指数を選んだ。

$$\begin{aligned} OHI &= (\text{Band7}/\text{Band6}) * (\text{Band4}/\text{Band6}) \\ KLI &= (\text{Band4}/\text{Band5}) * (\text{Band8}/\text{Band6}) \\ ALI &= (\text{Band7}/\text{Band5}) * (\text{Band7}/\text{Band8}) \\ CLI &= (\text{Band6}/\text{Band8}) * (\text{Band9}/\text{Band8}) \end{aligned}$$

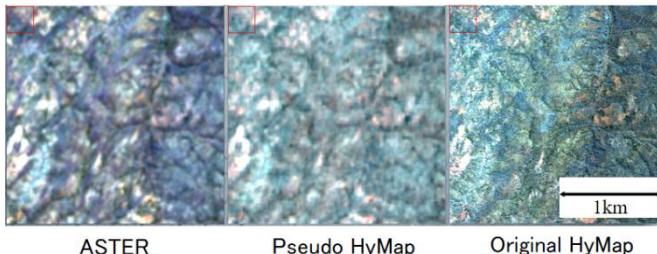
多変量回帰に加え、オーバーフィッティングとモデルの正確性を評価するために、ベイジアンモデル平均法 (BMA) を適用した。

4. 解析結果

ASTER 画像に PHITA を適用することによって生成された擬似的な HyMap 画像と HyMap オリジナル画像の類似性を評価するために、以下の 3 つの比較検証を行った。

4.1 色調による比較

3 つのバンドを (R, G, B) に割り当てたカラー合成画像により、色調を比較した(第2図)。これにより類似した色調が得られたことがわかる。



第2図 カラー合成画像の比較。

4.2 統計指標による比較

2 つの画像の類似度評価に 3 つの統計的指標を適用した。3 つのエリア(Training area, Near north area, South area)ごとに各指標を計算し、第2表にまとめた。

各指標は以下の式で定義される。ピアソンの相関係数は 2 変量の相関を表す。

$$PCC_i = \frac{\sum_{j=1}^n (\rho_{ij}^H(\lambda) - \mu_i^H)(\rho_{ij}^{\tilde{H}}(\lambda) - \mu_i^{\tilde{H}})}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (\rho_{ij}^H(\lambda) - \mu_i^H)^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (\rho_{ij}^{\tilde{H}}(\lambda) - \mu_i^{\tilde{H}})^2}}$$

RMSE (二乗平均平方根誤差) は回帰モデルの誤差を評価する。

$$RMSE_i = \frac{\sum_{j=1}^n \sqrt{(\rho_{ij}^{\tilde{H}}(\lambda) - \rho_{ij}^H(\lambda))^2}}{n}$$

PSNR (ピーク信号対雑音比) は画像復元の質の指標を表す。

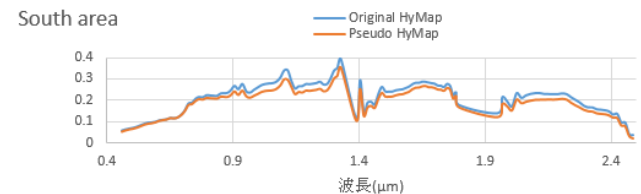
$$PSNR = \frac{\sum_{i=1}^h 10 \log_{10} \left(\frac{MAX^2}{MSE_i} \right)}{h}, \quad MSE_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\rho_{ij}^{\tilde{H}}(\lambda) - \rho_{ij}^H(\lambda))^2$$

第2表 擬似的 HyMap 画像とオリジナル HyMap 画像の類似度。

Area	PCC	RMSE	PSNR
Training	0.67	0.0413	19.96
Near North	0.71	0.0408	19.68
South	0.61	0.0442	19.45

4.3 Spectral reconstruction

反射率スペクトルが再現されているかを確認するため、 $2 \times 2 = 4$ ピクセルを抽出し、スペクトルを平均した結果を第3図に示す。ピクセルは植生部分を選択した。これから高い再現性が確かめられる。

第3図 $2 \times 2 = 4$ ピクセル上での Original HyMap と Pseudo HyMap の反射率スペクトルの比較 (South area での例)。

5. 考察とまとめ

第3図よりスペクトルの形状や特徴的な吸収帯は再現できているといえる。よって、スペクトル分解能は概ね向上したと評価できる。しかし、第2表の PCC と PSNR の数値によると、擬似的な HyMap 画像は元の HyMap 画像を十分に再現しているとはいえない。これは ASTER と HyMap の空間分解能が大きく異なることに起因する。よって、単にマルチスペクトル画像を補間し、PHITA を適用するのみでは、高解像度な HyMap 画像の特性を反映することができない。空間分解能を向上させる手法を PHITA と同時に用いることが不可欠になり、現在その手法開発に取り組んでいることである。

文献

- Hoang, N. T. and Koike, K. (2017) Transformation of Landsat imagery into pseudo-hyperspectral imagery by a multiple regression-based model with application to metal deposit-related minerals mapping. *ISPRS J. Photogram. Rem. Sens.* vol. 133, pp. 157-173.
- Hoang, N. T. and Koike, K. (2018) Comparison of hyperspectral transformation accuracies of multispectral Landsat TM, ETM+, OLI and EO-1 ALI images for detecting minerals in a geothermal prospect area. *ISPRS J. Photogram. Rem. Sens.* vol. 137, pp. 15-28.