

# 世界衛星画像データベース GRIAS を用いた鉱床関連鉱物の分布抽出と 鉱量相関解析

若木佑希也\*・久保大樹\*・小池克明\*

## Detection of deposit-related minerals and correlation analysis with ore tonnage using global database of satellite images (GRIAS)

Yukiya Wakaki\*, Taiki Kubo\* 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, Kyoto 615-8450, Japan.  
E-mail: wakaki.yukiya.87a@st.kyoto-u.ac.jp

キーワード: リモートセンシング, ASTER, 鉱物指数, チリ, 斑岩銅鉱床

Key words: remote sensing, ASTER, mineral index, Chile, porphyry copper deposit

### 1. はじめに

金属資源は社会活動と産業に不可欠であり、さらなる発展と持続可能社会のためにはベースメタル、レアメタルの安定供給が求められる。ベースメタルの一つである銅については、その供給の大部分を海外の斑岩銅鉱床に依存しているが、近年は銅の鉱石品位の低下が問題となっており、継続的に銅を供給するためには新たな斑岩銅鉱床の発見が望まれる。2016年時点では銅の供給の約3割がチリによるものであり、同国には多くの斑岩銅鉱床が存在するため、鉱床有望地の新たな発見も期待できる。そこで本研究では、資源エネルギー庁によって整備された資源地質情報システム GRIAS (Geo-Resource Information Archive System: 藤田ほか, 2014) に収録されている鉱物関連データを活用し、鉱床の存在、および鉱量と熱水変質の程度との関連の解明を目的とした。

そのために、南アメリカ大陸の S11°~45°の範囲に存在する斑岩銅鉱床のうち、アメリカ地質調査所 (USGS) のデータベースに鉱量と品位が登録されている 53 鉱山を選び、それらの統計分析を行い、同地域における鉱床有望地の絞り込みへの応用を試みた。

GRIAS では極域を除く全陸域の ASTER センサー画像をデータベース化しており (藤田ほか, 2014; 2016)、画像解析前の前処理を省略できるため、広範囲で迅速な分析が可能である。

### 2. 解析手法

熱水変質による生成鉱物の代表として明礬石、カオリナイト、絹雲母、方解石、緑泥石、緑簾石の6種を選んだ。これらの鉱物の存在に起因して、短波長赤外域の特定の波長で電磁波の吸収が生じる (小池・小宇田, 2016)。これを強調するのが鉱物指数である。各鉱物に対する ASTER データでの鉱物指数 (Ninomiya, 2003) のうち代表的なものとして、カオリナイト指数 (KLI), 明礬石指数 (ALI), 方解石指数 (CLI) を以下に示す。

$$KLI = (\text{Band7} / \text{Band6}) * (\text{Band4} / \text{Band6})$$

$$ALI = (\text{Band7} / \text{Band5}) * (\text{Band7} / \text{Band8})$$

$$CLI = (\text{Band6} / \text{Band8}) * (\text{Band9} / \text{Band8})$$

ここで、Band 4, 5, 6, 7, 8, 9 の観測波長帯はそれぞれ 1.6~1.7, 2.145~2.185, 2.185~2.225, 2.235~2.285, 2.295~2.365, 2.36~2.43  $\mu\text{m}$  である。

各鉱物指数に対して、対象鉱山を中心として直径 1000~10,000 m まで 500 m 刻みでバッファを発生させ、バッファ内のピクセルの鉱物指数を平均化した。また、各鉱山の生産量と品位の積を銅鉱量として扱い、これと鉱物指数の平均値との相関係数をバッファ直径ごとに求めた。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 鉱物指数と鉱量の相関、鉱山周辺での分布

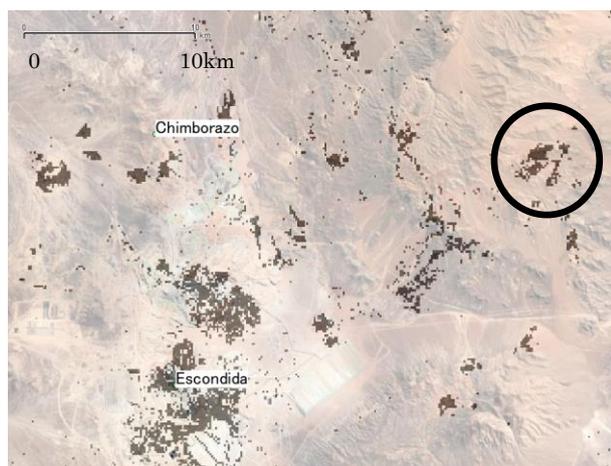
いずれの鉱物指数もバッファの大きさに関わらず、銅鉱量との相関は弱いものであった。これは採掘量が桁違いに大きい鉱山の影響により、銅鉱量が外れ値となったためである。そこで採掘量上位の 6 鉱山 (Chuquicamata, Collahuasi, El Teniente, Escondida, Los Bronces, Los Pelambres) を除いたところ、明礬石・カオリナイト・絹雲母指数 (SRI) は 0.4~0.6 の正の相関係数、方解石・緑泥石 (CHI)・緑簾石指数 (EDI) は -0.1~-0.4 の負の相関係数が得られた。後者の 3 つは斑岩銅鉱床の辺縁部のプロピライト変質帯に存在する鉱物であり、鉱床中央部には分布しないため、負の相関になったと考えられる。

鉱床有望地をより高い精度で抽出するために、正の相関を示した鉱物指数から負の相関を示した鉱物指数を引いた鉱物指数 PCI (Porphyry Copper Index)

$$PCI = (ALI + KLI + SRI) - (CLI + CHI + EDI)$$

を提案した。Escondida 鉱床付近を例として、PCI 分布を第 1 図に示す。黒い部分が指数の高い部分であり、鉱山の位置と概ね重なっていることがわかる。鉱山以外の高指数部は鉱床有望地の可能性もある。また、PCI は直径 2000 m

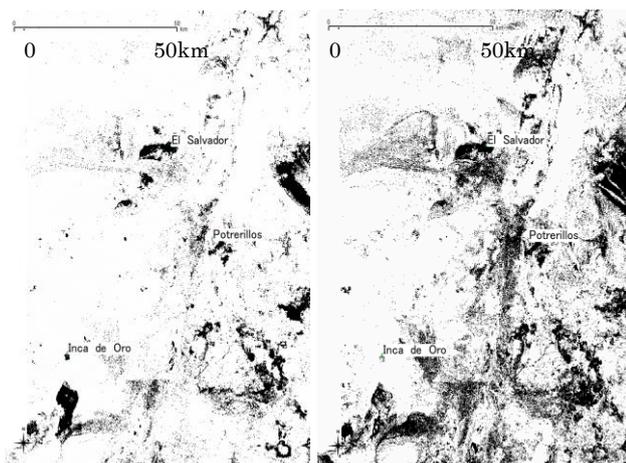
～2500 m で銅鉱量との相関係数が最大 (0.65) となるが、この大きさは斑岩銅鉱床の変質帯の一般的な大きさ (Silltoe, 2010) と調和的である。



第1図 本研究による斑岩銅鉱床に関連した熱水変質鉱物指数 (PCI) の分布

(チリ Escondida 鉱山周辺の例). 値が高い部分を黒色で表す. 丸は第3図での拡大域を表す.

第2図に El Salvador 鉱山周辺における PCI 分布, および単体の鉱物指数で最も相関が高かった絹雲母指数の分布を示す. 絹雲母指数単体よりも PCI の方が熱水変質帯を絞り込めており, Inca de Oro 鉱山周辺については, 高指数部がより集中していることが確かめられる.

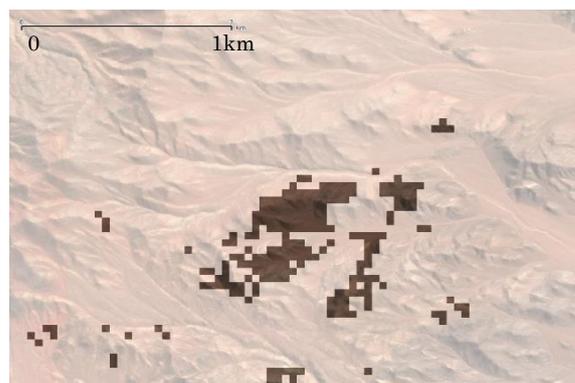


第2図 El Salvador 鉱山周辺の PCI 分布(左)と絹雲母指数 (SRI) 単体の分布(右)の比較. 値が高い場所を黒色で示す.

しかし, PCI では斑岩銅鉱床による熱水変質帯とそれ以外の熱水変質帯を分離できないことが問題点にあげられる. その一例が山頂付近に斑点状に分布する変質帯であり, これは火山活動に起因した熱水変質帯であると考えられる. 数値標高モデルや他の鉱物指数などのデータと組み合わせることで, 精度向上を図るのが今後の課題検討である.

### 3.2 鉱床有望地抽出の試み

PCI の応用として, PCI 値が高い部分のうち, 以下の4つの条件を満たすものを鉱床有望地と定義した.



第3図 Escondida 鉱山北東部での鉱床有望地

- ・山頂付近の変質帯ではない.
- ・鉱山として開発可能な地理条件にある.
- ・地質が周囲と同じ火成岩である.
- ・高指数部の面積がある程度の大きさをもつ.

これらを満たす部分として, Escondida 鉱山北東部が抽出でき (第1図の丸の領域), その拡大図を第3図に示す. 文献等をもとに抽出結果の妥当性について調査中である.

## 4. まとめ

世界衛星画像データベースである GRIAS を用い, 南アメリカ大陸の  $S11^{\circ}\sim 45^{\circ}$  に位置する斑岩銅鉱床の 53 鉱山について熱水変質の程度と銅鉱量との相関解析を行った.

熱水変質に関連する 6 種の鉱物を選び, ASTER データに対する鉱物指数を適用した結果, 絹雲母・明礬石・カオリナイト指数は銅鉱量と正の相関を示したのに対し, 緑泥石・緑簾石・方解石指数は負の相関を示した.

鉱物指数単体で最も相関が高かったのは絹雲母であり, バッファ直径 2500m で相関係数が 0.53 となった. さらに相関を高めるために, 正の相関から負の相関を示した鉱物指数を差し引いた斑岩銅指数 PCI を提案したところ, PCI と銅鉱量の相関係数はバッファ直径が 2500 m で 0.65 と増加し, PCI の有効性が実証できた. さらに, PCI の応用として地理・地質・規模の制約条件を設定し, 鉱床有望地の特定を試みたところ, Escondida 鉱山北東部に該当箇所を見出した.

**謝辞:** 貴重な GRIAS システムをご提供いただいた宇宙システム開発利用促進機構の立川哲史, および鉱物指数について種々ご教示いただいた JX 金属探開(株)の三箇智二氏に深甚の謝意を表したい.

## 文 献

- 藤田 勝・汐川雄一・立川哲史・土田 聡・高木哲一・浦井 稔・大野哲二・児玉信介・山本浩万・両角春寿・矢島太郎・百瀬 敦 (2014) 資源地質情報システム GRIAS について, 資源地質, vol. 64(2), pp. 79-84.
- 藤田 勝・立川哲史・光畑裕司・中村英克 (2016) 資源地質情報システム GRIAS の更新, 資源地質, vol. 66(2), pp. 75-80.
- 小池克明・古宇田亮一 (2016) 金属鉱物・地熱資源探査へのリモートセンシング応用技術とその最近の動向, Journal of MMIJ, vol. 132(6), pp. 96-113.
- Ninomiya, Y. (2003) A stabilized vegetation index and several mineralogic indices defined for ASTER VNIR and SWIR data, Proc. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, vol. 3, pp. 1552-1554.
- Silltoe, R. H. (2010) Porphyry copper systems, Economic Geology, vol. 105, pp. 3-41.