

# 地球統計学的手法を用いた斑岩銅鉱床の富鉱部の空間モデリングと形成要因の解釈

龍前祥太郎\*・Vitor Ribeiro de Sá\*・小池克明\*・田中隆之\*\*

## Geostatistical Spatial Modeling of High-grade Zone in a Porphyry Copper Deposit and Interpretation of Its Formation Factors

Shotaro Ryumae\*, Vitor Ribeiro de Sá\*, Katsuaki Koike\* and Takayuki Tanaka\*\*

\*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 615-8540, Japan.  
E-mail: ryumae.shotaro.22k@st.kyoto-u.ac.jp

\*\*日鉄鉱業(株) Nittetsu Mining Co., Ltd. 2 Marunouchi Chiyoda-ku, Tokyo 100-8377, Japan.

キーワード: 斑岩銅鉱床, 熱水変質, 地球統計学, 主成分クリギング

Key words: Porphyry copper deposit, Hydrothermal alteration, Geostatistics, Principal component kriging

### 1. はじめに

近年, 再生可能エネルギーや半導体産業の発展などに伴い, 銅をはじめとする金属資源の需要が急増している. 一方で, 新規鉱山開発には多大なコストと時間を要し, 既存鉱山での鉱石品位が低下し続けており, 安定供給へのリスクが増大している. そのリスクを軽減させ, 金属資源の需要増大に対応するためには, ボーリング調査データから鉱石品位分布と変質帯分布を正確に予測し, 鉱量評価と鉱山開発計画の精度を高めることが不可欠である.

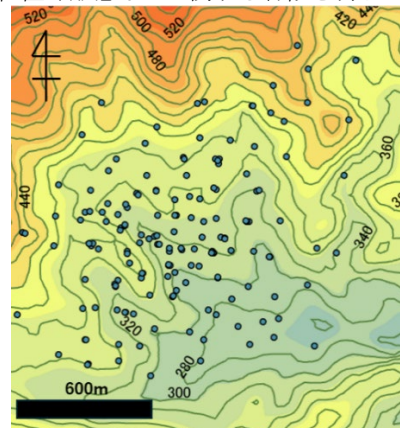
そこで本研究では, 主要な銅・金の供給元である斑岩銅鉱床に注目し, ボーリング調査データから地球統計学的手法によって 3 次元品位分布形態と変質帯分布を明らかにするとともに, これらを組み合わせ, 高品位部の特徴抽出とその形成要因の特定を行うことを目的とした. 解析対象として大規模鉱床の存在が推測されているフィジーのワイソイ斑岩銅鉱床 (田中ほか, 2003) を選んだ.

### 2. 解析対象地域と手法

南太平洋に位置するフィジーでのワイソイ鉱床はビティ・レブ島の中央ナモシ地区に位置する. 本研究ではワイソイの西側に注目し (以下, 西鉱床), 164 本のボーリング調査データを解析に用いた. 西鉱床域の地形とデータ位置を第 1 図に示す. 解析領域の大きさは東西 1200 m・南北 1600 m で, 標高 200 m から地表面までを 25 m×25 m×5 m のセルで分割した. ワイソイ鉱床の地質は, ワイニマラ層群とマンドゥラウスズ層群からなる安山岩類を主とする母岩, および石英閃緑岩・角閃閃緑岩・石英斑岩からなる貫入岩類で構成される (田中ほか, 2003). また, ボーリング調査により斑岩銅鉱床の一般的な変質帯 (カリウム, フィリック, プロピライト, 粘土化) および石英のストックワークで特徴付けられる珪化変質帯が確認されている.

解析には銅・金の品位データ, および変質鉱物の組み合わせから分類した 5 つの変質帯の位置データを用いた. 品位

データの空間モデリングには代表的な地球統計学的シミュレーション法である回転バンド法 (TBS) (de Sá *et al.*, 2024) と逐次ガウスシミュレーション (SGS) を用いた. また, 変質帯分布モデルには, 各変質帯間の空間的相関関係を考慮できる主成分クリギング (PCAK) を用いた (Koike *et al.*, 2022). これは主成分分析と通常クリギングの組み合わせによる. 得られた品位分布と変質帯分布モデルを統合し, 高品位部の形成位置や形態などに関する特徴を明らかにした.



第 1 図 ワイソイ西鉱床のボーリング地点 (青点) と地形.

### 3. 結果と考察

#### 3.1 品位と変質帯分布のモデリング結果

TBS と SGS による品位分布シミュレーション結果の精度を検証したところ, TBS の方が高かったため以下では TBS の結果を用いる. まず, シミュレーション結果の累積分布に基づく上位 10%以上の品位を高品位と定義した. これによれば銅 0.4 wt%, 金 0.18 g/t 以上が高品位部となる. これらの 3 次元分布を真上から鳥瞰した第 2 図から, いずれも N20°E 方向に高品位部が連続するのが明瞭であり, この方向に断層あるいは亀裂が発達し, それに沿って高品位部が形成さ

れたことが示唆される。また、金の高品位部の方がこの方向により強い直線的に連続していることがわかる。

PCAK による変質帯分布の東西断面図(第 3 図)から、珪化変質帯は貫入岩体上部で形成されたと推察できるとともに、カリウム変質帯は珪化変質帯を取り囲むような形状であることがわかる。また、粘土化とプロピライト変質帯の分布は地下浅部や鉱床周縁部に見出される。

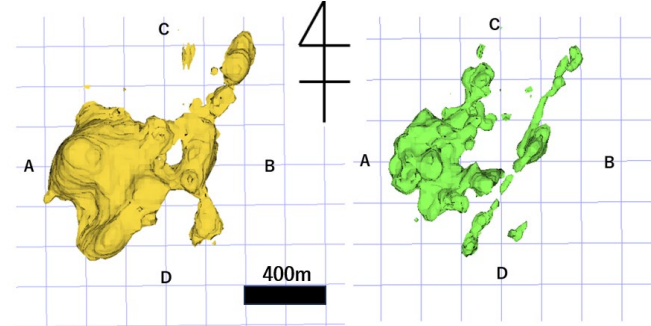
3.2 品位と変質帯分布の統合結果

TBS による品位分布と PCAK による変質帯分布を重ね合わせると、高品位部の大部分はカリウム変質帯とその周辺部、および珪化変質帯に重なることがわかった(第 4 図)。さらに、変質帯ごとの銅・金の品位分布をボックスプロットで表すと、いずれもカリウム変質帯と珪化変質帯で品位の中央値が最も高いことが示された(第 5 図)。斑岩銅鉱床では一般にカリウム変質帯とその周辺に高品位部が集中することが知られているのに対して、ワイソイ西鉱床ではカリウム変質帯に加えて珪化変質帯でも高品位部が形成されていることを明らかにできた。

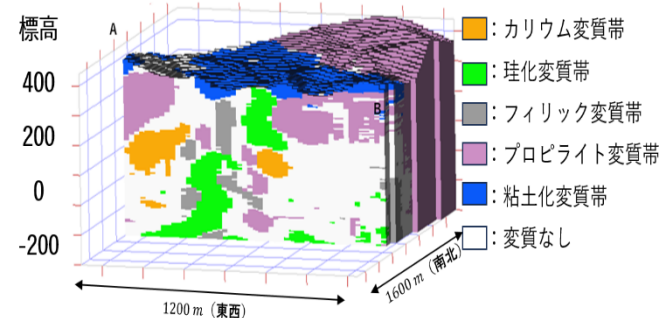
4. まとめと今後の課題

本研究では地球統計学的手法を用い、ワイソイ西鉱床における銅・金の品位と変質帯分布のモデリングを行い、これらの 3 次元分布の特徴、およびカリウム・珪化変質帯での高品位部の形成を明らかにできた。しかし、貫入岩体の詳細な位置や変質帯の化学的特徴などはまだ考慮していない。本研究で得られた結果をもとに、ボーリングコアの元素組成や岩相を解析し、ワイソイ鉱床全体の富鉱部の特徴とその形成要因を明らかにすることが今後の課題である。

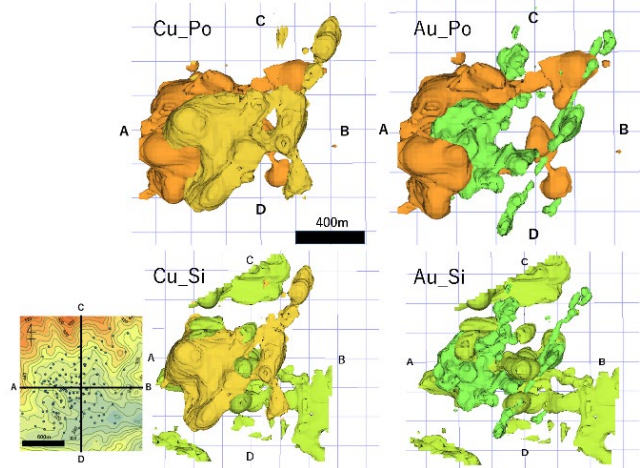
謝辞：ワイソイ鉱床のボーリング調査データを提供いただいた Newmont 社, Namosi Joint Venture, 日鉄鉱業(株), 三菱マテリア(株)に深く感謝の意を表したい。



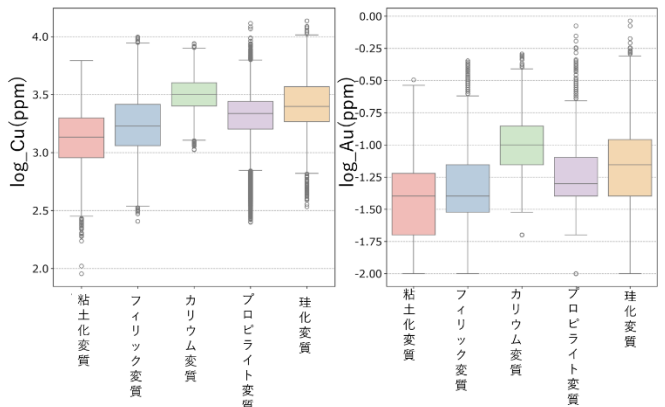
第 1 図 銅 (左) と金 (右) の高品位分布 (真上からの鳥瞰図, A~D の位置は第 4 図参照)。



第 3 図 変質帯分布の東西断面図 (断面図の位置は第 4 図の A-B)。



第 4 図 銅・金の高品位部 (黄と緑) とカリ変質帯 (Po : 橙)・珪化帯 (Si : 黄緑) の重ね合わせ (第 2 図と同じ視線方向)。



第 5 図 各変質帯における銅 (左) と金 (右) 品位分布 (対数値) のボックスプロット。

文 献

田中隆之・森田誠也・高畑裕之・安永健太郎・今井亮・石川信明 (2004) フィジー諸島共和国ナモシ地域ワイソイ鉱床の銅探鉱とその成果. 資源地質, vol.54(1), pp.1-12.  
 de Sá, V. R., Muraoka, T., Koike, K., and Takahashi, H. (2024) Specification and formation process of enriched portions in Au veins in an epithermal deposit via clustering and geostatistical approaches. *Ore Geology Reviews*, vol. 166, 105891. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2024.105891>  
 Koike, K., Kiriya, T., Lu, L., Kubo, T., Heriawan, M. N., and Yamada, R. (2022) Incorporation of geological constraints and semivariogram scaling law into geostatistical modeling of metal contents in hydrothermal deposits for improved accuracy. *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 233, 106901. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2021.106901>