

浅熱水性鉱脈型鉱床における富鉱部の分布形態モデリングと 鉱床生成プロセスの解釈

村岡 俊季*・Vitor Ribeiro de Sá**・富田 昇平**・小池 克明**・高橋 洋***

Spatial modeling of enriched zones in an epithermal vein-type deposit and interpretation of deposit-formation process

Toshiki Muraoka*, Vitor Ribeiro**, Shohei Tomita**, Katsuaki Koike**, Hiroshi Takahashi***

* 京都大学大学院総合生存学館, Graduate School of Advanced Integrated Studies in Human Survivability, Kyoto University. Kyoto University Yshida, Sakyo-ku, Kyoto 606-8306, Japan. E-mail: muraoka.toshiki.86e@st.kyoto-u.ac.jp

** 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, Japan.

*** 伊藤忠鉱物資源株式会社, Itochu Mineral Resources Development Corporation, 2-5-1 Aoyama, Minato-ku, Tokyo 107-0061, Japan.

キーワード: 冷水トラップ, 地球統計学, 浅熱水性鉱床, 鉱脈, シラワイ鉱床

Key words: Cold-water trap, Geostatistics, Epithermal deposit, Vein, Sirawai 鉱床

1. はじめに

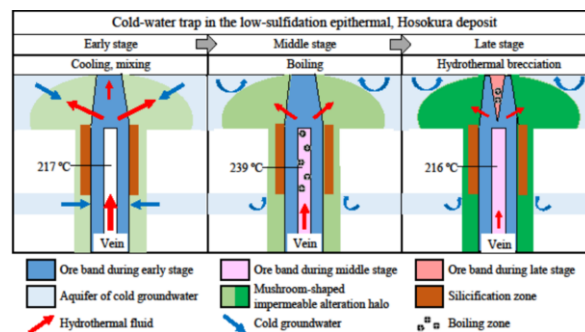
近年, 世界的な経済拡大や人口増加に伴って金属需要が急増しており, 金属資源枯渇の危惧や価格の高騰, 採掘に伴う環境負荷の増大などにより, 安定供給に対するリスクが高まっている。そのため, 未発見の金属鉱床の探査, 開発を促進することにより, 金属資源問題の解決につながることを期待できる。そこで本研究では, 主要な金・銀資源の産出元である浅熱水鉱脈型鉱床に注目し, 富鉱部の分布形態とその生成プロセスを明らかにすることを目的とする。Takahashi *et al.* (2021)により, 第1図に示すような熱水と地下水との混合による「冷水トラップ」が熱水鉱床の生成要因であることがわかったが, 富鉱部と熱水流動, 熱水の沸騰・冷却・混合というプロセスの関連性は明らかになっていない。

本研究では, 地球統計学的手法によって富鉱部の分布形態をモデル化し, それと熱水流動・地質分布とを統合することにより, 鉱床生成の主要な要因とプロセスの解明を目指す。

2. 研究対象と解析データ

代表的な浅熱水性鉱脈型鉱床であるフィリピンのSirawai 鉱床(第2図)を研究対象に選び, 調査ボーリングデータ69本を解析に用いた。対象地域はミンダナオ島の西部, サンボアング半島に位置し, 比高60m(標高275m~335m)の丘陵地であり, 水平方向250m×250m, 垂直方向90mの領域を5m×5m×1mのセルで区切った。解析対象データは, 金・銀・銅・鉛・亜鉛の品位(ppm), 鉱化ステージ, 岩相, 粘土変質・珪化変質の強度である。

Sirawai 鉱床域の地質は, 白亜紀の基盤岩類とそれを覆う中新世~更新世の火山岩類・堆積岩類から成る。本研究では, 岩相を新規火山砕屑岩(高透水性), 新規溶岩(中透水性), 古期火山砕屑岩(中透水性), 古期溶岩(低透水性)の4種類に分類して考察に加える。なお, これらの岩相(水理地質区分)は, 熱水の侵入しやすさを示す指標となる。また, 鉱床域中央部



第1図 「冷水トラップ」の概念図 (Takahashi *et al.*, 2021) .

に多数分布する石英脈の露頭から, 鉱脈の走向は第2図の赤線のように N15°~25°W で, 65°~75°西側傾斜であった。また, 7本の鉱脈の中で最長はV3であり, 500mに及んでいる。それにV4・V5と続き, これらは400mほどの連続性である。鉱脈の幅は1.0~5.1mで, 最大はV5の平均幅2.9mである。

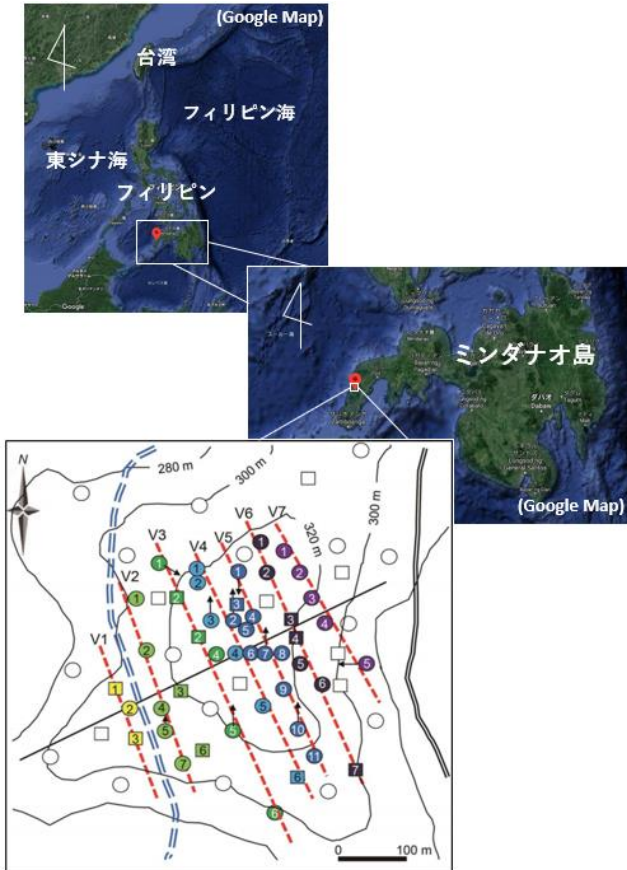
3. 手法

金属の品位分布モデリングには次式に示す通常クリギング(OK), およびシミュレーション法である逐次ガウスシミュレーション(SGS)と回転バンド法(TB)を用い, 各手法の精度を比較した。

$$z_k^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i \quad (\text{ただし, } \sum \lambda_i = 1)$$

ここで, z_k^* は推定値, λ_i は重み係数, n はデータ数を表す。

これに加えて, 岩相分布モデルを複数ガウスシミュレーション(PGSIM)によって作成し, 金属品位分布, TOUGH2による熱水流動シミュレーション結果と統合し, 鉱床の生成プロセスを解釈した。

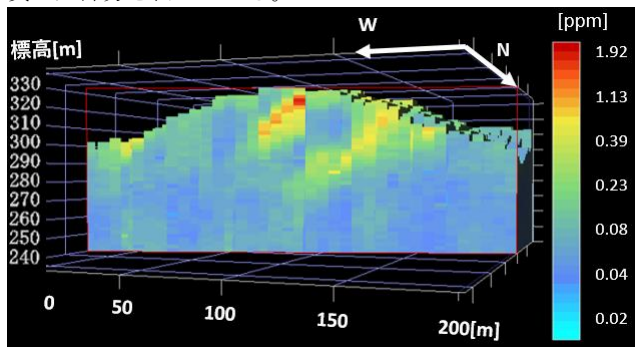


第2図 主要鉱脈(V1-V7)に沿ったボーリング位置とその番号。東北東-西南西の線分は第3・4・5図での垂直断面の位置を表す。

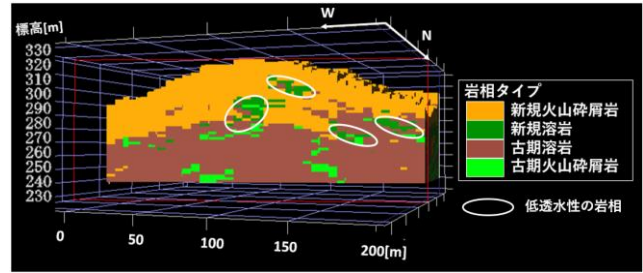
4. 結果と考察

領域中央で、7本の主要鉱脈の走向に直交する方向の測線(第1図の黒線)を例にとり、TBによる金の品位分布の垂直断面図を第3図に示す。これは、OKおよびSGSによる品位分布と比較して、TBが最も平滑化効果の影響が少なく、濃度変化がよく表れていたためである。第3図には走向N20°W・傾斜60°SW程度の高品位部が明瞭に5条現れており、この方向は鉱脈と調和する。また、第4図のPGSIMによる地質分布図では、鉱床域の大部分を古期溶岩と新規火山砕屑岩が構成し、標高280m付近を境に古期溶岩の卓越から新規火山砕屑岩の卓越した地層へと変化しているのがわかる。この地域は白亜紀の基盤岩類を中新世~更新世の火山岩類が覆っているため、この推定結果は妥当といえる。

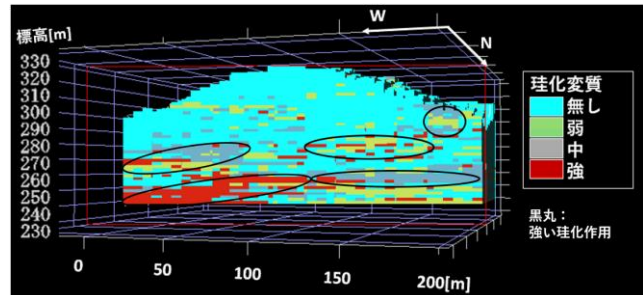
第5図では、珪化変質の強度別でPGSIMを行い、珪化変質の度合いの分布を求めた。この図でも標高280m付近を境として、珪化変質の有無が明瞭に分かれており、上部は未変質が大部分を占めている。



第3図 TBによる金の品位分布モデルの垂直断面図。



第4図 PGSIMによる地質分布モデル。



第5図 PGSIMによる珪化強度の推定分布。

次に第3図と第4図・第5図をそれぞれ比較する。第3図と第4図と統合することで、第4図でマークした低透水性の部分と金を高品位部が分布しているという特徴を見出せる。これから熱水が透水性の比較的高い第四紀新規火山砕屑岩と古期溶岩の層を浸透し、鉱脈を形成したと解釈できる。

第3図と第5図の比較では、鉱脈は珪化変質部を通っているが、高品位部と珪化変質部は重なっていないことがわかる。鉱脈生成は珪化変質と関連すると考えて珪化変質の情報が取得されたが、統合結果は予想に反している。しかしながら、鉱床域には水長石($K \cdot Na)AlSi_3O_8$)が分布することから、高品位部が密集する鉱脈上部では、珪化変質よりもアルカリ熱水変質が卓越していることが推測される。ここから、熱水が鉱脈を下部から上昇する過程で母岩との交代作用が生じ、熱水の化学的性質が酸性からアルカリ性へと変化したと解釈できる。しかし、現段階では熱水と母岩の化学組成に関するデータが不足しているため、具体的な化学反応については今後の検討課題である。

さらに、シミュレーションによる熱水の温度・圧力と比較すると、鉱化作用が生じたと解釈できる位置と高品位部とが概ね対応し、富鉱部生成の熱水の温度・圧力条件を推定できた。

5. まとめ

フィリピンの浅熱水性鉱脈型鉱床を対象とし、回転バンド法によって富鉱部の分布形態をモデル化し、それと熱水流動・地質分布モデルとを統合した結果、熱水が透水性の比較的高い岩相を浸透して鉱脈を形成したと解釈できること、および鉱化作用が生じたと解釈できる位置と高品位部とが概ね対応することなどを明らかにできた。

文献

Takahashi, H., Tomita, S. A., Koike, K. and Yoshiyama, H. (2021) A cold-water trap as an essential process for the generation of low-sulfidation epithermal deposits: Geological and numerical studies of the Hosokura deposit, northern Japan. *Ore Geology Reviews*, vol. 128, 103780. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103780>