

## 能登半島，富来鉱山の金鉱脈の形成過程を説明

2022年8月17日  
国立大学法人金沢大学  
北陸電力株式会社

金沢大学理工研究域地球社会基盤学系の濱田麻希助教，平松良浩教授，環日本海域環境研究センターの長谷部徳子教授，北陸電力株式会社の共同研究グループは，志賀町の協力のもと，能登半島にある富来鉱山の金鉱脈が約1760万年前の日本海拡大に伴って形成したことを解明しました。

富来鉱山の旧生神鉱区東郷三番坑内の石英脈中から，金と銀を含むエレクトラム（※1）金を含むウィッテンボガード鉱，フィシェサー鉱，銀を含む硫化銀-セレン化銀固溶体鉱物が見つかったため，これらが金や銀の鉱石として採取されていたと考えられます。そのほかに，セレンに富むピアース鉱，卑金属を含む黄鉄鉱，黄銅鉱，閃亜鉛鉱，錫石，自然ビスマス，黄銅，自然銅の産出も確認しました（図1）。セレンに富むピアース鉱の報告は世界で2例目であり，国内では初めて見つかった鉱物です。

また，年代測定の結果から富来鉱山の金鉱脈はおよそ $1768 \pm 41$ 万年前であること，鉱床周辺の安山岩の年代も $1752 \pm 43$ 万年前であることから，1350-2100万年前の日本海の拡大時代に金鉱脈が形成したと考えられます。この時代に形成した他の断層と同じく，北東-南西走向の富来川南岸断層が富来鉱山鉱区の北部に存在するため，以下のような形成プロセスが考えられます。①約1760万年前に日本海拡大に伴って火山活動が活発化し，安山岩が噴出，②同時期に富来川南岸断層の元になる断層の活動により，安山岩中に割れ目が形成，③地下から金などの元素を多く含む熱水が割れ目を通して上昇し，④エレクトラムなどの資源鉱物が晶出・濃集することで富来鉱山が形成した，と考えられます。

本研究の結果は，日本列島形成時代以降，日本海側の鉱山や能登半島で起きた地質イベントの詳細を明らかにする上で重要な知見となるものです。

本研究成果は，2022年6月14日に資源地質学会誌『Resource Geology』のオンライン版に掲載されました。

## 【研究の背景】

石川県内では金属資源として銅，鉛，亜鉛などのほかに金や銀も採掘されていました。金属鉱床の中でも特に金鉱床は，金や銀などの有用元素を含む熱水が地表近くまで上昇し，脈状に鉱脈を形成するため浅熱水鉱脈鉱床（※2）に分類されます。富来鉱山もこのタイプの鉱床です。金・銀を産出する鉱脈鉱床は 1500 万年前頃から始まった日本海拡大に伴う激しい海底火山活動（グリーンタフ（※3）の形成）や，第四紀の陸成火成活動によって形成することが知られています。1500 万年前の海底火山活動に伴い形成されたグリーンタフは東北地方に多く見られ，同地域に金銀を産出する鉱山が多く存在します。同様の地質は能登半島でも確認されていますが，能登半島の鉱山の形成過程との関連はまだ検討がされていません。これらの鉱床の形成と時代背景を明らかにすることで，日本列島形成時代以降，能登半島で起きた地質イベントの詳細を解明できると考えられます。

## 【研究成果の概要】

本研究では富来鉱山に産する資源鉱物を含む石英脈の観察及び分析を行い，金と銀を含むエレクトラム，金を含むウィッテンボガード鉱，フィシェサー鉱，銀を含む  $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Ag}_2\text{Se}$ （硫化銀－セレン化銀）固溶体鉱物，Se（セレン）に富むピアース鉱の産出を確認しました（図 1）。このほかに，卑金属を含む黄鉄鉱，黄銅鉱，閃亜鉛鉱，錫石，自然ビスマス，黄銅，自然銅も存在します。Seに富むピアース鉱は国内では初めて見つかった鉱物であり，富来鉱山以外ではスロバキアのクレムニカ鉱山で報告があるのみです（Števkó et al., 2018）。これらの鉱物組み合わせから，富来鉱山は Se-type の浅熱水鉱床（Shikazono et al., 1990），及び低硫化型鉱床（White and Hedenquist, 1995）に分類されることが明らかになりました。

富来鉱山の形成年代は K-Ar 年代測定法（※4）により決定されました。試料は富来鉱山を形成した熱水により変質したと思われる粘土鉱物（イライトースメクタイト混合層鉱物）と新鮮な安山岩中の斜長石です。それぞれの形成年代は  $1768 \pm 41$  万年前， $1752 \pm 43$  万年前であるため，安山岩の噴出と同時期に，金鉱床を形成した熱水の活動があったと考えられます。富来鉱山が形成した約 1760 万年前は，日本海の拡大時期である 1350–2100 万年前にちょうど一致します（Yoshida et al., 2005）。日本海拡大の時期には北東－南西方向の断層が数多く形成されていること，さらに富来鉱山鉱区の北部に存在する富来川南岸断層も同じ走向をしていることから，富来鉱山の形成に富来川南岸断層が関係していると考えられます。現在，富来川南岸断層は逆断層であることがわかっていますが，先行研究により過去に正断層として活動していた時期があることが解明されています（Hiramatsu et al., 2019）。したがって，約 1760 万年前に安山岩が噴出し，その後富来川南岸断層のもととなった断層が，正断層として活動した際に安山岩中に割れ目を形成し，その割れ目を通して熱水が上昇することで，熱水の温度の低下に伴いエレクトラムなどの資源鉱物が割れ目に晶出・濃集し，富来鉱山が形成したと考えられます。

## 【今後の展開】

本研究により、能登半島に存在する金鉱床の一つの成因が解明されました。今後同じく、能登半島および北陸地方に分布する浅熱水金銀鉱床、またはそのほかの金属鉱物を産する熱水鉱床の成因を検討することで、石川県だけでなく北陸地方全体での資源の形成プロセスや、日本列島形成時代以降に能登半島で起きた地質イベントの詳細の解明が期待されます。

## 【引用文献】

- Števkó, M., Sejkora, J., Dolníček, Z and Pavel Š. (2018) Selenium-rich Ag-Au mineralization at the Kremnica Au-Ag epithermal deposit, Slovak Republic. *Minerals*, 8, 572.
- Shikazono, N., Nakata, M. and Shimizu, M. (1990) Geochemical, mineralogic and geologic characteristics of Se- and Te-bearing epithermal gold deposits in Japan.
- White, N.C. and Hedenquist, J.W. (1995) Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 36, 445-474.
- Yoshida, T., Nakajima, J., Hasegawa, A., Sato, H., Nagahashi, Y., Kimura, J., Tanaka, A., Oky Dicky Ardiansyah, P. and Ohguchi, T. (2005) Evolution of Late Cenozoic magmatism in the NE Honshu arc and its relation to the crust-mantle structures. *The Quaternary Research*, 44, 195-216 (in Japanese).
- Hiramatsu, Y., Sawada, A., Kobayashi, W., Ishida, S. and Hamada, M. (2019) Gravity gradient tensor analysis to an active fault: a case study at the Togi-gawa Nangan fault, Noto Peninsula, central Japan. *Earth, Planets and Space*, 71:107, <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1088-5>.

本研究は、平成29年度受託研究（志賀町）および、平成30年度 女性研究者等研究支援制度 研究ネットワーク構築部門の支援を受けて実施されました。

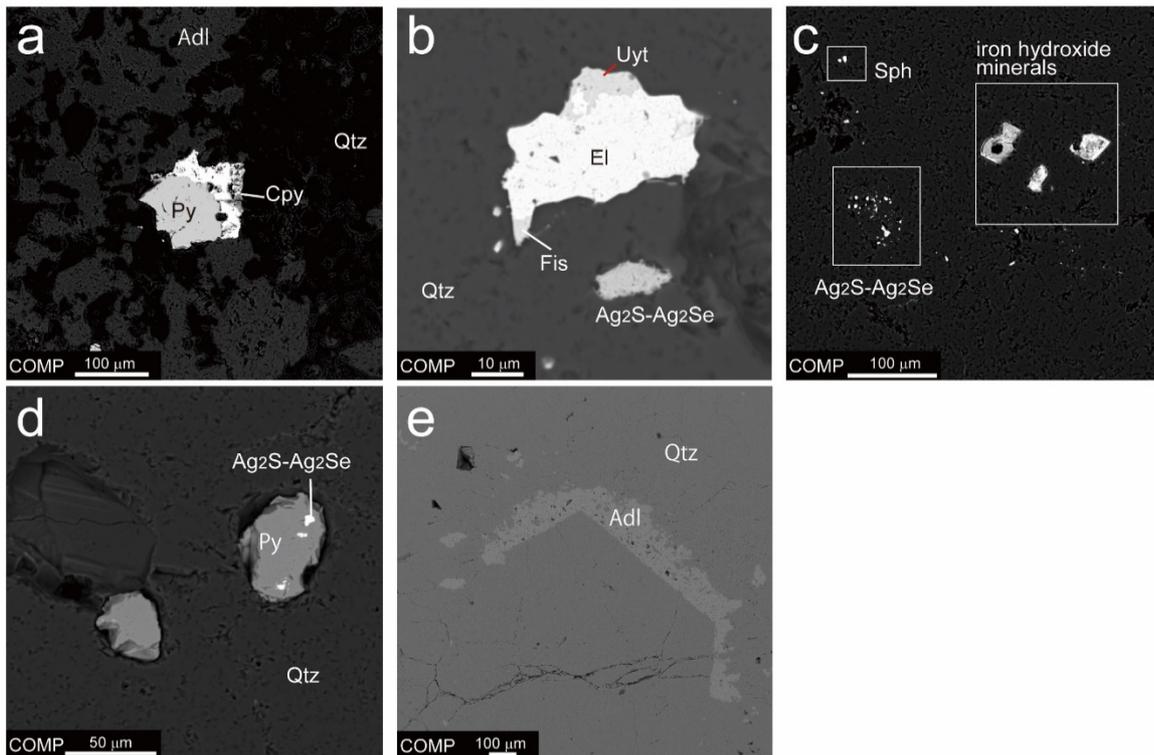


図1 富来鉱山で産出する資源鉱物と脈石鉱物

(a) 石英脈中で共生する他形の黄鉄鉱と黄銅鉱, (b) ウィッテンボガード鉱, フィシェサー鉱,  $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Ag}_2\text{Se}$  固溶体鉱物と共生するエレクトラム, (c) 閃亜鉛鉱, 水酸化鉄鉱物の近くに産する  $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Ag}_2\text{Se}$  固溶体鉱物の小粒子の集合体, (d) 黄鉄鉱中に包有される  $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Ag}_2\text{Se}$  固溶体鉱物, (e) 石英の自形面上に成長する他形の氷長石。

Py : 黄鉄鉱, Cpy : 黄銅鉱, Qtz : 石英, Adl : 氷長石, El : エレクトラム, Uyt : ウィッテンボガード鉱, Fis : フィシェサー鉱, Sph : 閃亜鉛鉱,  $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Ag}_2\text{Se}$  :  $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Ag}_2\text{Se}$  固溶体鉱物

### 【掲載論文】

雑誌名 : Resource Geology

論文名 : Mineralogy, chronology and formation process of the epithermal gold-silver vein deposits in the historical Togi mine, Noto Peninsula, Japan (能登半島富来鉱山における浅熱水金銀鉱床の鉱物学的, 年代学的研究および形成過程の解明)

著者名 : 濱田麻希, 小林航, 平松良浩, 長谷部徳子

掲載日時 : 2022年6月14日にオンライン版に掲載

DOI : <https://doi.org/10.1111/rge.12294>

## 【用語解説】

### ※1 エレクトラム

金と銀との合金であり，金や銀を産する鉱床で典型的にみられる資源鉱物。熱水性鉱脈の主に石英脈中にほぼ単独，あるいは他の鉱物に伴って産出する。

### ※2 浅熱水鉱脈鉱床

マグマ起源の熱水溶液から，地下1～2 kmでかつ，350度以下で生じた鉱床。日本の主要な金，銀，水銀，銅，鉛，亜鉛の鉱床は浅熱水鉱脈鉱床が多い。

### ※3 グリーンタフ

中新世前期～中期に生じた大量の火山岩・火山砕屑岩が変質した緑色凝灰岩。日本海拡大に伴う火成活動によって形成した地層。

### ※4 K-Ar（カリウム-アルゴン）年代測定法

$^{40}\text{K}$ が $^{40}\text{Ar}$ に放射壊変することを利用して，鉱物や岩石の年代を測定する方法。通常10万年より古い年代の測定ができ，雲母類，カリ長石，普通角閃石，海緑石などの鉱物を使って分析を行う。

以 上