

## 鉍床探査家のためのポーフィリー鉍床学（1）

=ポーフィリー鉍床とは=

渡 辺 寧\*

はじめに

ポーフィリー鉍床は銅・モリブデン・錫・タングステン等の重要な供給源であり、特に銅については、世界で生産される全鉍石のうちの約60%がこの型の鉍床から採掘されています。平均的なポーフィリー銅鉍床の銅の生産・埋蔵総量は約290万トンで、日本最大の銅鉍山である別子と足尾鉍山の生産量（それぞれ約70万トン）を1桁（最大級のものと比べると2桁）上回ります。ポーフィリー鉍床の鉍石の平均銅品位は1%~0.6%程度と低いものの、多くは露天掘りで採掘されるため生産コストが安く、現在でも鉍山会社の多くが最も重要な鉍床タイプと考えています。

ポーフィリー鉍床の開発は、米国ユタ州のビンガム（Bingham）鉍山を端緒としています。それまでビンガム溪谷では、約6%の銅品位の鉍脈が小規模に掘られていましたが、1904年に操業形式ががらりと変えられ、0.75%~2.5%の品位の鉍石を大規模に採掘するようになりました。ビンガムでの成功は、すぐに米国南西部の鉍床群やチリのチュキカマタの開発に引き継がれました。これらの鉍山の開発をもたらしたもう1つの原因は、銅硫化鉍物の浮遊選鉍技術の開発でした。

これらの鉍山についての研究論文は1900年初頭から報告されてきました。特に1960年代には膨大な数の論文が報告され、それらをもとに1970年代前半にはポーフィリー鉍床の様式や形成モデルがLowellやSillitoe等によりまとめられました（Lowell and Guilbert, 1970; Sillitoe, 1972, 1973）。日本でも石原舜三さんがポーフィリー銅鉍床の記載を2冊の本にまとめ（石原, 1969, 1970）、1976-78年

---

\* 地質調査所資源エネルギー地質部 主任研究官

には資源地質学会にポーフイリー銅鉱床研究委員会が設けられました。1979年には資源地質学会の主催で、アジアのポーフイリー鉱床に関する国際討論会が開催されています (Ishihara and Takenouchi, 1980)。ポーフイリー銅鉱床に関しては、佐藤壮郎さんにより「ほなんざ」でも解説されています (佐藤, 1979)。これらのまとめや形成モデルは、20年以上経過した現在でもほとんど変更する必要もなく、鉱床探査に応用されています。このようにポーフイリー鉱床は研究し尽くされた様に見えるが、なぜ今ポーフイリー鉱床なのでしょう？

### なぜ今ポーフイリー鉱床か？

金属鉱業事業団技術開発部は、1996年から地化学探査技術の開発 (同位体地化学探査) 事業の一部として、チリのエルサルバドル鉱床の研究を開始しました。鉱化作用に関連した鉱物の同位体組成を分析し、その結果を鉱床探査に役立てようと言うのです。金属鉱業事業団はエルサルバドル鉱床の持ち主であるチリ国銅供給公社 (CODELCO) と共同研究契約を結び、また同位体分析に関しては同じく共同研究契約を結んだ地質調査所で行うことになりました。

私は、同年、金属鉱業事業団の目次さん達とともにサンチアゴを訪れました。折からの銅景気に沸く首都 (写真1) では、建造中の高層ビルが目白押しで、バブル期の日本を思わせます。その原動力となっているのが銅の輸出であり、チリは世界で生産される銅の約4分の1を供給しています。そして、その鉱石のほとんどがポーフイリー鉱床から掘り出されています。ではなぜチリにはポーフイリー鉱床が多いのでしょうか。鉱床の数が多いだけではありません。世界のポーフイリー銅鉱床の生産+埋蔵量のトップテンは、チュキカマタ、エルテニエンテ、エスコンディーダ、リオブランコ、チュキノルテ等と、ほとんどチリの鉱床に占められています。

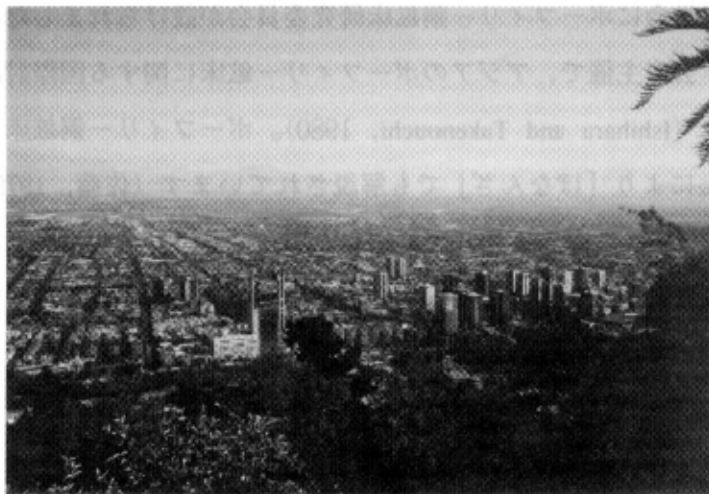
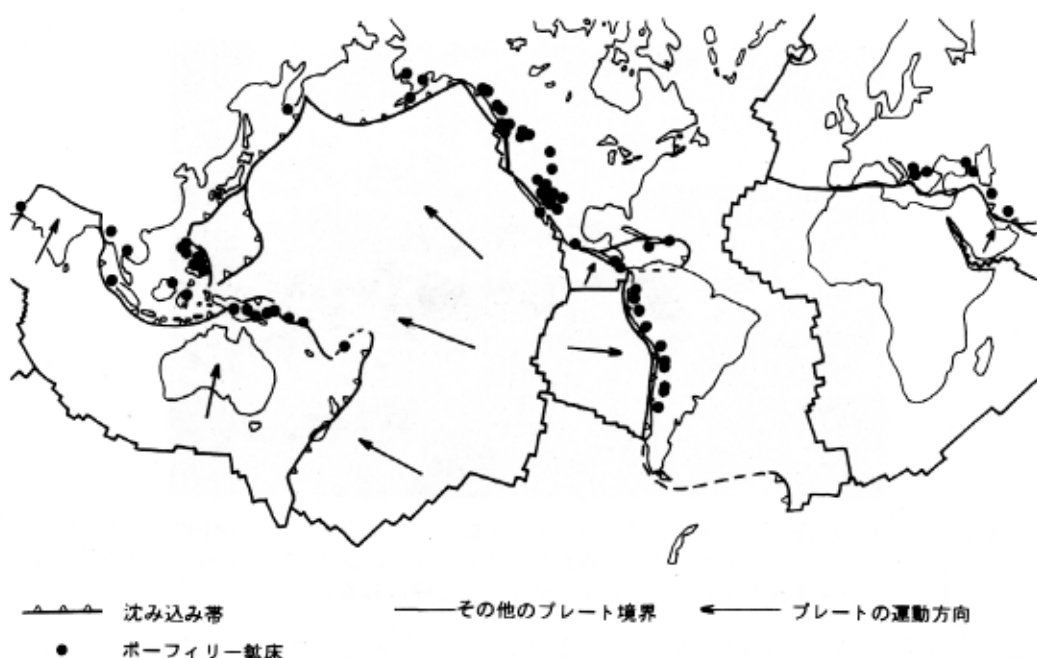


写真1 サンチアゴ市街の様子。1996年時に比べて現在ではさらに高層ビルの数が増えている。

この問題に対する明確な答えはまだ得られていません。さらに言えば、同じような火山弧である日本になぜポーフィリー銅鉱床が見つかっていないのか。存在するが見つかっていないのか、そもそも存在しないのか、等不明の点が未だ多く残されています。鉱床が発見されてからその鉱床の成因を研究していればよい”研究者”と異なり、鉱床探査家はこのような疑問に答えを用意しておかなくてはなりません。このシリーズでは、ポーフィリー銅鉱床の分布とプレートテクトニクスとの関係を見直し、また変質銅物の酸素・水素同位体組成に基づいたポーフィリー銅鉱床の成因モデルを加味することにより、これらの問題を考えてみたいと思います。ただしシリーズを通して書かれる内容は、私の独断と偏見に満ちていることをお断りしておきます。今後は、(2)プレートテクトニクスとポーフィリー銅鉱床、(3)ポーフィリー銅鉱床と広域応力場、(4)ポーフィリー銅鉱床の成因論、(5)ポーフィリー銅鉱床の上部に火山は必要か？、(6)日本にポーフィリー銅鉱床は存在するか？、(7)ポーフィリー銅鉱床の探査指針、と進んで行く予定です。その前にポーフィリー銅鉱床とはどういうものか簡単におさらいをします。

### ポーフィリー銅鉱床とは

ポーフィリー銅鉱床は海洋プレートの沈み込み域である島弧や陸弧—特に環太平洋地域—に分布しています(第1図)。この銅鉱床は、火山弧に平行な細長い帯状の地域に集中して分布することが多く、また特定の期間(時代)に集中して形成



第1図 “若い”時代のポーフイリー鉱床の分布 (Uyeda and Nishiwaki, 1980)

されます。 鉱床形成に関与した火成岩のほとんどは、花崗岩質～閃緑岩質であり、磁鉄鉱系列のカルクアルカリ岩に属しますが、一部にはアルカリ岩に伴う鉱床も存在します。鉱床は、鉱床に含まれる金属元素の種類によりポーフイリー銅、ポーフイリーモリブデン鉱床という風に分類されます。この中でも、特にアルカリおよびシリカに富む流紋岩～花崗岩質貫入岩に伴われるモリブデン鉱床は、クライマックス型と呼ばれています。多くのポーフイリー銅鉱床はモリブデンを副産物として含んでおり、また一部のポーフイリー銅鉱床は金に富んでいます。

個々の鉱床は、マグマが地下浅所（～3 km）へ貫入し冷却する際に、マグマが放出した熱水により形成されます。熱水を放出した貫入岩は、一般に数100m～2 kmの直径を持っています。平均的な鉱床は447百万トンの鉱石（品位0.64%）を持ち (Titley and Beane, 1981)、2次富化鉱を伴います。鉱床は貫入岩の内部や周辺の母岩に形成された細脈群からなり、熱水により形成された鉱化帯や変質帯は貫入岩を中心とした累帯構造を持っています。

例えばエルサルバドル鉱床（写真2）の場合、中心部から縁辺部にかけて斑銅鉱－黄銅鉱帯、黄銅鉱－黄鉄鉱帯、黄鉄鉱帯へと鉱石鉱物の組み合わせが変化し



写真2 アタカマ砂漠中のエルサルバドル市街（手前）と鉍山全景。後方の山地の下部に鉍床が位置する。インディオが死んで横たわっているように見えることから、山地左端の頂上はインディオムエルト（死んだインディオ）と呼ばれる。

ます。変質に関しても中心部で黒雲母やアルカリ長石で特徴づけられるカリウム変質（写真3）が認められ、縁辺部ではプロピライト変質へと移り変わります。また鉍床の上部にはセリサイト変質帯が広がり、さらにその上部には明ばん石やパイロフィライトで特徴づけられるアドバンスト・アージリック（advanced argillic）変質（渡辺，1998）と呼ばれる酸性変質帯が分布しています（第2図）。このポーフィリー鉍床上部の酸性変質帯には、日本でもおなじみの高硫化系浅熱水性金鉍床が胚胎することもあります（第2図）。

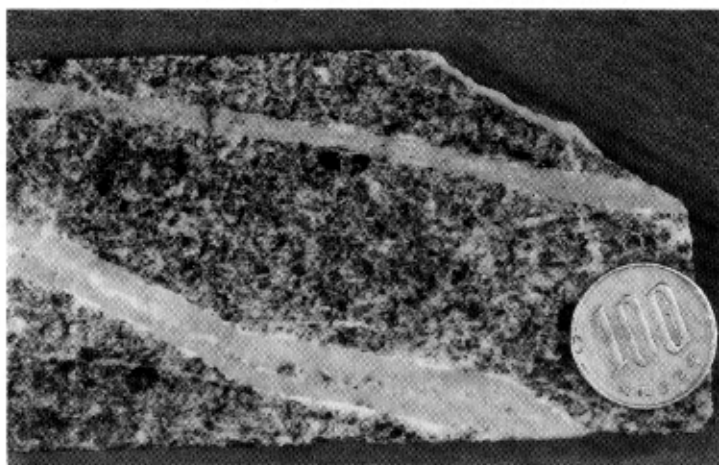
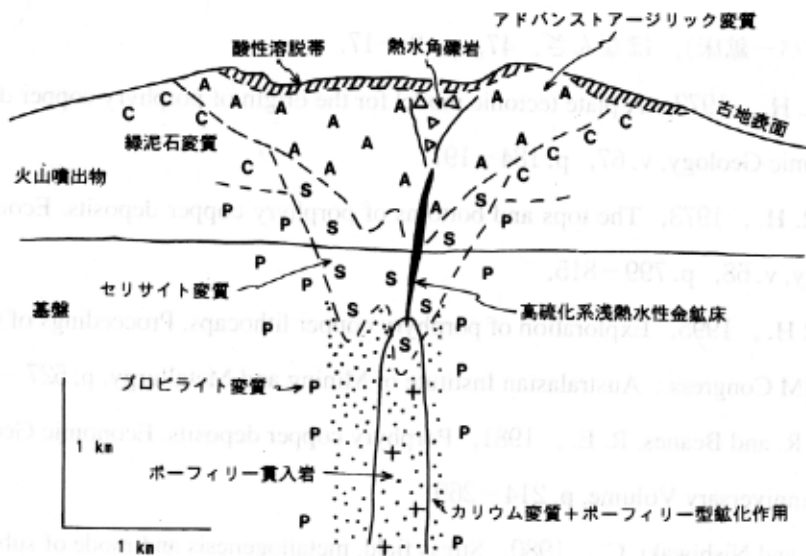


写真3 エルサルバドル鉍床の中心に位置する貫入岩（黒雲母変質を受けた花崗閃緑岩）とそれを貫く石英細脈。細脈の縁にはアルカリ長石のハローが認められる。中央の細脈の中心部には硫化鉍物が含まれている。



第2図 ポーフィリー-鉱床形成場の模式的全体像 (Sillitoe, 1995).

鉱化・変質作用の順序としては、比較的高温の熱水（600-400℃）により、最初にカリウム変質と周辺部のプロピライト変質が起こります。次に熱水の温度の低下（～350℃）と共にセリサイト変質が起こります。銅やモリブデンといった金属元素は、カリウムまたはセリサイト変質時に硫化鉱物として細脈に沈澱します（写真3）。ボーフィリー-鉱床は、しばしばダイアトリームと呼ばれる、径が数100mから1kmに及ぶ巨大な熱水角礫岩を伴い、メキシコのカナネア鉱床のように熱水角礫岩が鉱化しているものもあります。

#### 引用文献

- 石原舜三, 1969, ポーフィリー-銅-鉱床入門 [I]. 丸善, 260p.  
 石原舜三, 1970, ポーフィリー-銅-鉱床入門 [II]. 丸善, 252p.  
 Ishihara, S. and Takenouchi, S. (eds), 1980, Granitic magmatism and related mineralization. Mining Geology Special Issue, No. 8, 247p.  
 Lowell, J. D. and Guilbert, J. M., 1970, Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits. Economic Geology, v. 65, p. 373-408.  
 佐藤壮郎, 1979, 酔っぱらいのための鉱床学 (3) 銅鉱床-その1 (ポーフィリ

ーカッパー鉱床). ほなんざ, 47, p. 9-17.

Sillitoe, R. H., 1972, A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits. *Economic Geology*, v. 67, p. 184-197.

Sillitoe, R. H., 1973, The tops and bottoms of porphyry copper deposits. *Economic Geology*, v. 68, p. 799-815.

Sillitoe, R. H., 1995, Exploration of porphyry copper lithocaps. *Proceedings of the 1995 PACRIM Congress: Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, p. 527-532.

Titley, S. R. and Beanes, R. E., 1981, Porphyry copper deposits. *Economic Geology, 75th Anniversary Volume*, p. 214-269.

Uyeda, S. and Nishiwaki, C., 1980, Stress field, metallogenesis and mode of subduction. *Geological Association of Canada, Special Paper*, 20, p. 323-339.

渡辺 寧, 1998, Advanced argillic alteration. *地球科学*, v. 52, p. 55-56.