

学位論文題名

Genesis of Jinchuan PGE—Cu—Ni
Ore Deposits, Gansu Province, China

（中国甘肅省金川超塩基性貫入岩中の PGE—Cu—Ni 鉱床の成因）

学位論文内容の要旨

I. はじめに

1958年に中国で発見された超塩基性貫入岩に伴う金川Cu-Ni-PGE鉱床は、その研究例が少なく、そこでの硫化物鉱床や白金族鉱床の形成過程はほとんど明らかではない。本研究では、特にマグマ包有物、Cr-Fe-Ti酸化鉱物及びPGE（白金族元素）鉱物の産状と化学組成に主眼を置いて、その生成機構と成因の解明を行う事を目的とした。

II. 地質及び鉱床

中国西部先カンブリア代の金川超塩基性貫入岩は、北西に伸びるレンズ状形態（幅200—300m、延長1000m、深度方向約1100m）を有する大規模な岩体である。岩相は、レーゾライト、ダナイト、斜長石レーゾライト、ウェブスタライトの4種からなり、主にカンラン石—輝石—斜長石からなる。PGEに富む部分では、これらはしばしば完全に蛇紋石、磁鉄鉱、透閃石、緑泥石等に変質している。又、本岩体はいわゆる層状貫入岩体で、上部、下部、周縁部に区別され、マグマ分化過程でのマグマ混合や新規マグマパルス存在の可能性が強く指摘されている。

硫化物鉱床は100以上の鉱体からなり、大部分は貫入岩体の中部又は底部に胚胎し、鉱石はその組織から5タイプ（海綿鉱、鉱染鉱、塊状鉱、脈状鉱、礫状鉱）に区分される。このうち、PGEは礫状鉱中に濃集する傾向が強く、その主な鉱物組合せは黄銅鉱—キューバ鉱—磁鉄鉱—ベントランド鉱—マッキーノ鉱である。全体的には、岩体中のS、Cu、Ni、Coは下部から上部へ次第に減少し、硫化物存在量の変化を反映する。

III. マグマ包有物

超塩基性岩中に認められるマグマ包有物は、次の3タイプに分類される：(1)結晶質包有物、(2)硫化物-ガラス包有物、(3)流体-メルト包有物。レーザーラマン及びEPMA分析により、包有物中の娘鉱物（Cr-スピネル、硫化鉄鉱、珪酸塩鉄鉱）と多量に認められる流体組成（CO₂、N₂、H₂O、H₂S）を同定した。包有物中のCl-rich相（1.0～2.3 wt% Cl）の存在は、珪酸塩マグマから起因したCl-rich流体の存在を示唆し、それは母岩からの硫化鉄鉱やPGEの抽出、運搬、沈澱作用に重要な役割を果たしたと考えられる。PGE濃集部のクロム鉄鉱中には、しばしば磁硫鉄鉱、ペントランド鉄、黄銅鉄等の液滴状初生硫化物包有物が認められる。

IV. Cr-Fe-Ti酸化鉄鉱物の産状と化学組成

金川鉄床における主な不透明酸化鉄鉱物は、チタン鉄鉱、クロム鉄鉱、硫鉄鉱で、中でもクロム鉄鉱は、硫化鉄鉱粒間やカンラン石中の包有物として産出し、PGE濃集部では特徴的な累帯組織を示す。

A) Cr-Fe酸化鉄鉱物のタイプと化学組成

クロム鉄鉱には4種の主要鉄鉱物組合せが認められ、Type I、II、IVはPGE濃集体に産し、明瞭な磁鉄鉱又は含鉄クロム鉄鉱の変質rimを伴う。一方、Type IIIは、PGE濃集体には認められず、磁鉄鉱rimも存在しない。EPMA分析によれば、広い組成領域を有する。組成変動の傾向から、変質作用の進行過程でAl₂O₃、Cr₂O₃のFeO、Fe₂O₃による置換が生じた事が判る。

B) チタン鉄鉱のタイプと化学組成

チタン鉄鉱は比較的豊富に産出する鉄鉱物で、3タイプ（レンズ状～粒状、板状～独立粒状、二次的割れ目中の不規則形状）の産状が区別される。EPMA分析では、かなりのAl、Mn、Mgを含む。(2)の産状のものは、クロム鉄鉱中での(111)離溶ラメラとして、(3)はクロム鉄鉱中の割れ目に制約されて産出する。

V. PGMの化学組成と鉄鉱物共生

PGE鉄化作用は、再動性Cu-Ni硫化物、特にCu-rich鉄石に密接に伴う。約100個のボーリングコア及び露天採掘露頭サンプルの検討結果、次の4種の鉄鉱物群が認められた：(1)Arsenides (Sperrylite)、(2)Tellurides (moncheite, kotulskite, merenskyite, altaite)、(3)Bismuthides (froodite)、(4)Tellurobismuthides (michenerite)。

VI. 考察

A) 硫化物鉱床の成因

マグマ包有物の検討結果から、不混和硫化物メルトの分離は急激な温度低下に伴う硫黄過飽和状態によって生じたと考えられる。つまり、硫化物メルトの遊離は、カンラン石の晶出時あるいは、それに先行したと推定される。クロム鉄鉱中に捕獲された硫化物包有物は、硫化物メルトがクロム鉄鉱の生成と同時又は先行して分離された事を示す。

B) PGE鉱床の成因

マグマ包有物の検討により、金川超塩基性岩は CO_2 - H_2S - SO_2 - H_2O -Cl-richマグマから形成され、PGEを伴う硫化物不混和マグマはこの揮発性成分に富むマグマから分離されたと考えられる。PGM形成に加え、蛇紋石化作用を始めとする二次的な熱水変質作用に伴う生成物も存在する。クロム鉄鉱に見られる組成累帯構造は、金属を随伴する蛇紋石化作用を生じた熱水と初生クロム鉄鉱との反応生成物と考えられ、金川超塩基性岩中での初生PGEの後期熱水活動によるPGE再移動と固定現象を裏付ける。

C) 硫化物鉱床の岩石学的・鉱床学的モデル

本論文では、深部断層を通じての上部マントル起源の硫黄に富む超塩基性マグマの下部地殻への貫入を仮定した。そこでは、温度・圧力低下に伴う熱対流によりマグマ溜り頂部への熱輸送と温度低下による硫化物メルト不混和が考えられる。マグマが依然として液体と酸化物メルトに富む、初期に生じた重力分化作用は、マグマ溜り底部又は初期生成鉱物の層間にそれらを沈積・集積したと考えられる。数度に渡るパルス的なマグマ貫入が金川岩体に生じ、最初にCu-Ni-PGEに枯渇したマグマがマグマ溜り頂部から貫入し、次いで硫化物に富むマグマ及び硫化物メルトが貫入したと考えられる。

D) PGE鉱床の鉱床形成モデル

マグマ結晶化後期及び固結後の熱水活動は、PGE、Sn、Te、Bi、Sb等と密接な関係を有する。金川鉱床では、3種の異なる温度、pH、 f_{O_2} 流体（貫入岩体頂部起源と他の2つのマグマ溜り起源）が鉱床形成部付近で遭遇し、条件変化に伴いPGEを沈澱させたと考えられ、本論文ではそれらを考慮に入れた鉱床形成モデルを提唱した。

学位論文審査の要旨

主査 教授 石原舜三
副査 教授 荒牧重雄
副査 助教授 松枝大治

学位論文題名

Genesis of Jinchuan PGE-Cu-Ni Ore Deposits, Gansu Province, China

(中国甘肅省金川超塩基性貫入岩中の PGE-Cu-Ni 鉱床の成因)

白金 (PGE)、クロム、ニッケルなどは近代産業にとって不可欠なレアメタル資源であり、その多くは南アフリカ共和国、カナダなどに遷在している。これら諸国のブッシュフェルト、サッドベリーなどの鉱床は超塩基性在中に産出し、マグマ固結過程の分離、晶出作用により有用成分が濃集したものと考えられている。

一方、中国では近年甘肅省金川において巨大な PGE-Cu-Ni 鉱床が発見され、今後の資源供給に大きな期待が寄せられている。その鉱床は構造帯に産出するためにマグマ過程のほか、より後期の各種変質作用により有用成分が濃集したという特異性があり、その複雑性、発見の後進性のために、十分な学問的研究がなされていなかった。

申請者、楊軒柱君はこの難問に対し、当大学における近代機器を使用して立ち向かい、精巧な実験室作業を積み重ねて、遂にその複雑な生成過程を明らかにした。同君の重要な研究成果は次の四点に要約される。

1) マグマ包有物の研究：申請者はマグマ包有物を用いて、マグマの成因を導くことに着目し、まずマグマ包有物を3タイプに分類した。レーザラマン、EPMA等により、包有物の娘鉱物や流体の種類および化学組成を明らかにし、鉱石成分の起源と晶出条件を明らかにした。

2) Cr-Fe-Ti 酸化鉱物の研究：クロム鉄鉱には4種類の主要組合せがあることを明らかにし、そのうち PGE 濃集を伴うものは磁鉄鉱、含鉄クロム鉄鉱などの変質リムを伴い、FeO, Fe₃O₄ が置換する変質作用と共に PGE が再移動、再濃集したことを明らかにした。

3) PGE 硫化物の共生関係の研究: PGE 鉱物は Cu-Ni 硫化物と密接に共存し、特に Cu と正相関を示すこと、そして a) Arsenides, b) Tellurides, c) Bismuthides, d) Tellurobismuthides の 4 グループに分類できることを明らかにした。一般的な鉱物は sperrylite (PtAs₂), moncheite (PtTe₂), kotulskite (PdTe), merenskyite (PdTe₂), altaite (PbTe), michenerite (PdBiTe), froodite (PdBi₂) などである。

4) 金川鉱床生成モデルの提唱: 金川超塩基性岩の原マグマは上部マントル起源で、CO₂-H₂S-SiO₂-H₂O-Cl に富んでいた。このマグマは断層沿いに上昇し、下部地殻で急激な温度低下により、硫黄化合物が過飽和状態となり、不混和硫化物メルトが生じ、珪酸塩メルトから分離した。その時期は、かんらん石やクロム鉄鉱晶出時である。マグマ上昇は複数回に及び、PGE 枯渇相から富化相の順に活動した。最末期には熱水活動が生じ、蛇紋岩化と共に硫化物、PGE 鉱物の再移動が生じ、今にみる富鉱体を形成した。

申請者は以上の研究の一部を在学中に二篇の国内および国際誌に論文として発表しており、現在第三篇を投稿準備中で国際的なレビューアーによる評価を受けている。本論文は、アジアの構造帯に産出する多成因の複雑な背景を持つ PGE-Ni-Cu 鉱床の生成過程を独自の発想で解明した点に大きな意義があり、学位論文としてふさわしいものと認定した。