

論文の内容の要旨

Resource Assessment of Chinese Copper Deposits and Suggestions for Exploration

(中国の銅資源の評価とそれに基づく探査への助言)

張 欽礼

経済の急速な成長に伴い、中国では銅の需要が急激に増加している。一方、発見される銅の埋蔵量が少ないため、国内生産はこの巨大な需要を満たせない。中国はすでに銅の純輸入国になっている。さらに、経済の継続的な成長に伴って、世界における銅の市場にもっと顕著な影響を及ぼすと考えられる。したがって、中国だけではなく、世界にとっても、中国における銅鉱床を十分に評価して、将来の探査に有効な提案を行うことは非常に重要なことである。

多くの銅鉱床、たとえば、世界の 61%、中国の 73%の銅鉱床が多金属である。銅鉱床を厳密に定義するために、鉱石中の銅価格の割合 (R_{Cu}) によって二つのグループに大別した。すなわち銅を主産物とする鉱床 (MC: $R_{Cu} \geq 0.5$) と副産物とする鉱床 (AC: $R_{Cu} < 0.5$) に分ける必要がある。また、多金属については、随伴金属を銅品位に換算した銅相当品位 (ξ) を導入した。統計学解析によると、品位と金属量、品位と鉱量はほとんど相関しないのに対し、金属量は鉱量と強く相関している。

現在のデータによると、鉱床の品位は全体として対数正規分布する。しかし、0.3%以下になると、対数正規確率紙上で分布が平になる。頻度分布の高品位部は MC と AC の和で決まるのに対し、低品位は、AC で決まる。金属量と鉱量はいずれも対数正規分布をするが、山西省に位置している中条山鉱床区 (ZT) の影響で、累積頻度が平になっていると考えられる。

多くの場合、低品位あるいは小型の鉱床は報告されないため、現在のデータでは品位、金属量および鉱石量は両対数グラフが小さい値の部分で水平になり、パレート分布を示さない。直線性を示す値の大きい範囲にパレート分布を適用すると、品位 x 、金属量 m および鉱石量 t の累積数に対してそれぞれ以下の式で表わされる：

$$(i) \quad N(x) = 0.0031x^{-2.34}$$

$$(ii) \quad N(m) = 1.1 \times 10^5 m^{-1.26}$$

$$(iii) \quad N(t) = 2.45 \times 10^5 t^{-0.8}$$

ここで、 N は鉱床の累積数である。

中国の銅鉱床には Cu-(Au+Ag), Cu-(Pb+Zn), Cu-Mo, Cu-Fe と Cu-Ni という 4 種類の

金属組合せがある。Cu-(Pb+Zn), Cu-Mo, Cu-Fe, Cu-Ni 金属組合せの鉱床はそれぞれ火山性塊状硫化物 (VMS), 斑岩 (porphyry), スカルン (skarn), 正マグマ成 (orthomagmatic) を主な型とする。これに対し、Cu-(Au+Ag) 組合せの鉱床は各種の鉱床型で見られ、それを特徴づける特定の型はない。

中国には、6つの構造区に69の鉱床区がある。鉱床数と金属量の比密度 (=各鉱床区の単位面積当たり密度/全中国の単位面積あたり密度) によると、比密度が3以上の銅鉱床区が10ヶ所ある。そのうち、中条山 (ZT)、長江中下流 (YT) と康デン (KD) は最も重要な銅鉱床区である。各銅鉱床区は表4-8に示すように、一つか二つの主要な鉱床型および一つの主要な生成時期によって特徴づけられる。斑岩型鉱床と火山性塊状硫化物鉱床は規模が大きく、火山性塊状硫化物鉱床と鉱脈 (Vein) 鉱床は品位が高いという傾向を示す。

品位-鉱量モデルは資源評価に対する最も有用な手法のひとつである。ある品位 x とその品位以上の鉱床の累積鉱量 $T(x)$ との関係は以下のような指数関数で表せる：

$$T(x) = T_0 \exp(-x/x_c)$$

ここで、 T_0 と x_c はそれぞれ定数であり、 x_c を臨界品位という。すべての鉱山が臨界品位以上で操業しているかぎり、品位の減少に伴っても、より多くの金属量を確保できるので、その資源は楽観的と評価される。逆に、いくつかの鉱山が臨界品位以下で操業している場合には、品位をさらに下げても金属量の増加はたいして望めないで、その資源は悲観的と評価される。

品位-鉱量モデルから、以下の品位-金属量モデルを本論文では導いた：

$$M(x) = T(x) \cdot (x + x_c)$$

ここで、 $M(x)$ は x より品位が高い鉱床の累積金属量である。また、多金属鉱床に対する銅相当品位-鉱量モデルと富化比 (enrichment ratio) -鉱量モデルも調べた。なお、これらのモデルで、銅資源を評価するときは MC グループの鉱床だけを対象とした。なぜなら、AC グループの鉱床は銅鉱床ではなく、他の主産物金属の鉱床として評価されるべきである。

中国における MC 鉱床の品位-鉱量モデルは高品位部 ($> 3.0\%$) と低品位部 ($< 2.0\%$) を表す二つの指数関数の組合せで近似できる：

$$\log(T/kt) = \log[\exp\{\ln 10 \times (5.13 - 31.39x)\} + \exp\{\ln 10 \times (7.44 - 128.53x)\}]$$

低品位部を表す指数関数から得られる臨界品位は 0.34% である。現在いくつかの鉱山が臨界品位付近で操業しているので、中国の銅資源は悲観的状态に移りつつあるといえる。

中国における MC 鉱床の銅相当品位-鉱量モデルは 1.8% の銅相当品位を境に二つの部分に分ける。これらを組み合わせると：

$$\log(T/kt) = \log[\exp\{\ln 10 \times (6.33 - 41.91\xi)\} + \exp\{\ln 10 \times (7.41 - 101.63\xi)\}]$$

となる。臨界銅相当品位は 0.43 % である。臨界銅相当品位で見ても、中国の銅資源は悲観的状态に入っている。

世界における MC 鉱床の品位—鉱量モデルと銅相当品位—鉱量モデルも求めた。世界における銅鉱床の臨界銅相当品位は中国と大体同じだが、臨界品位は高い。したがって、世界における銅資源はもっと悲観的と評価される。

多金属鉱床の評価に対しては、銅相当品位—鉱量モデルの方がより有効であると考えられるが、銅相当品位と累積鉱量との関係は銅品位—鉱量モデルと大差はない。したがって、銅資源の統計学的評価には、品位—鉱量モデルで行えば十分である。

経済的観点から見ると、大型、特に超大型鉱床は非常に重要である。大型銅鉱床の主要な型は斑岩である。半分以上が多金属鉱床であり、最も重要な随伴金属はモリブデンである。中国の大型銅鉱床の平均品位は 0.81% で、世界と較べて低い。

パレート分布を仮定すると、似た地質環境で生成された潜在の大型銅鉱床を予測できる。YT 鉱床区におけるスカルン型鉱床のパレート係数は 0.8391 である。当鉱床区の中に 3 個の超大型鉱床を含む 21 個の大型スカルン型鉱床が存在すると推定された。これらの鉱床の埋蔵量は 29.4Mt に達する。チベットに位置している玉竜 (YL) 鉱床区における斑岩型鉱床のパレート係数は 1 であり、26 個の潜在大型斑岩型鉱床が総計で 51.2Mt の埋蔵量を持っていると予測される。

中国では、単位 GDP あたり銅の消費量が多く先進国だけではなく、多くの発展途上国に較べても高い。現在の GDP と銅消費量の関係から、中国の銅消費量はすくなくとも今後の 10~15 年間これまでの傾向が続くと予想される。これまでの中国の銅の年間消費量 c_t ($\text{Mt} \cdot \text{y}^{-1}$) は以下のような時間 t (y) の指数関数で近似できる：

$$c_t = 2.078 \cdot \exp\{0.074(t - 2001)\}$$

また、リサイクル量 p_t^S ($\text{Mt} \cdot \text{y}^{-1}$) は t 年度までの累積消費量 C_t (Mt) と次の関係にある：

$$p_t^S = 0.013 + 0.014C_t = 0.003 + 0.401 \cdot \exp\{0.074(t - 2001)\}$$

さらに、2001 年に基づく物価指数で換算された累積投資 I_t (10 億元、G¥) と探査された累積金属量 M_t (Mt) との関係は以下に示した関数で近似できる：

$$M_t = M_{2001} \left(\frac{I_t}{I_{2001}} \right)^{0.6}$$

ここで、 $I_{2001} = 9.67 \text{ G¥}$ と $M_{2001} = 77.70 \text{ Mt}$ はそれぞれ 2001 年までの累積投資と累積探査金属量である。この式によると、同じ投資でも探査で得られる金属量は毎年減少する。

将来必要な探査金属量と必要な投資額を (i) 2002 年の自給率 (33%) の維持する、(ii) 25 年の可採年数を維持するという二つの条件の下に推定した。推定結果によると、2002 年から 2015 年の間に、獲得しなければならない金属量は消費量と同じの年率 (7.2 %) で増加しなければならない。一方、必要な投資額は 7.9-8.6 % というさらに高い年率で増加しなければならない。必要な獲得金属量は総計 20.2Mt、必要な投資額は総計 4.5GY (2001 年の物価指数を基準) である。