

火成岩の白金族元素の含有量

正路 徹也

PGE contents of igneous rocks

Tetsuya Shoji*

* 東京大学 The University of Tokyo, Tokyo 113-8639, Japan. E-mail: t-t_shoji@jcom.home.ne.jp

キーワード：火成岩，白金族，地殻存在度

Key words: Igneous rocks, PGE, Crustal abundance

1. はじめに

金鉱床の品位と高品位側から累積した鉱量との関係は、3つの指数関数の和で近似でき、片対数グラフで下に凸の滑らかな曲線を描く「典型的パターン」を示す。この典型的パターンは、鉱石価値 (OV = ore value : 金属品位 × 金属価格の和) と累積鉱量との間では、白金族 (PGE = platinum group elements) 鉱床を含むか含まないかに関係なく成り立つ。これに対し、富化比 (ER = enrichment ratio : 金属品位 / 地殻存在度の和) と累積鉱量との間では、白金族鉱床を含まない場合は成り立つが、含む場合には局部に上に凸の異常なパターンが現れる。その理由を Shoji (2020) は PGE 鉱床の富化比が他の鉱種の鉱床に較べて異常に高いためとし、その原因として、1) PGE 鉱床の地質学的特異性と、2) PGE の地殻存在度が低すぎる可能性を挙げた。本研究では、第2の可能性を探るために、既発表の PGE の分析データを使ってその統計的特性を調べた。なお、今回の解析対象には、Os, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd, Re の PGE 7 元素以外に Ag と Au も加えた (順序は最も多い分析値の表記配置で、周期表では、第5周期の8~12族の Ru, Rh, Pd, Ag, 第6周期の7~12族の Re, Os, Ir, Pt, Au)。

2. 解析データ

今回の研究の目的は、PGE 鉱床の富化比が他の鉱種のそれに較べて異常に高いことの原因究明である。したがって、火成岩や堆積岩という岩石種に関係なく、データを集めることが妥当なように思える。しかし堆積岩の PGE を分析する目的は、その濃集の結果が採掘対象となり得るか否かの判定に使う場合が多いのに対し、火成岩に関してはその形成過程の解明に利用しようとする場合が多くなってきている。また、堆積岩は二次性の産物で、初生的には火成岩を起源とする。そこで、今回の解析対象は、火成岩中の PGE に絞った。さらに、南アフリカの Bushveld 複合岩体中の鉱床に代表されるように、PGE は火成岩そのものの形成過程で濃集した場合が多いと考えられている。しかし、今回の研究目的は、PGE の地殻存在度を決めた背景を解明することなので、このような PGE 鉱床となっている火成岩の分析値は対象から除外した。

解析データを得るために参照した論文の数は31、そのうち SiO₂ あるいは MgO の分析値を含む論文が24篇、PGE デ

ータのみの論文が7篇である。SiO₂ の分析値が与えられている論文のほとんどは全岩分析値が与えられているのに対し、PGE 以外に MgO の分析値のみが与えられている論文が5篇あった。これらの論文で分析値が与えられていた試料の総数は792である。

3. 統計分布

各 PGE について分析値データの累積頻度図を第1図に示す。各点列とも、左端の横軸の値が該当する元素の検出限界である。分析値で「検出限界以下」と記されている試料が示す累積頻度は、これより左にプロットされると仮定して、試料の総数に加えた。したがって、この左端の点より上の縦軸の長さがその割合を示す。しかし、実際の検出限界は文献によって異なり、左端より右の場合もある。これは、左端の値と当該検出限界の間の値をもつ試料が、この間の頻度としては計数されていないことを意味し、それがいくつかの点列で左端に近づくにつれて傾斜が緩くなっている理由かもしれない。

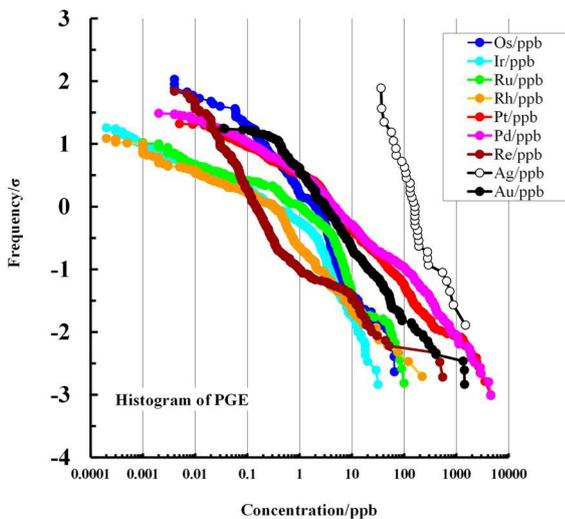
第1図は、正規確率紙で、横軸が各元素の濃度の対数である。したがって、図上で点列が直線的に並べば、そのデータは対数正規分布をなすと結論できる。各点列とも直線状に並んでいるとはいえないが、直線で近似することは許されるであろう。実際、点列の決定係数 (相関係数の2乗) は、Os が 0.94, Ir が 0.87, Ru が 0.86, Rh が 0.97, Pt が 0.99, Pd が 0.99, Re が 0.92, Ag が 0.95, Au が 0.99 と高い。そこで、各点列を直線で近似し、その近似式から得られる対数正規分布の平均を求めた。得られた平均 (ppb) は、Os が 1.3, Ir が 0.3, Ru が 0.7, Rh が 0.2, Pt が 3.9, Pd が 3.5, Re が 0.2, Ag が 255000, Au が 3.5 である。これらを、Shoji (2020) の Table 6 で引用される16篇の文献の値 (引用されているのは Pt, Pd, Au の3元素だが、ここでは上記の9元素) と比較する。ただし、Ag は極端に高いので議論から外す。他の8元素それぞれについては、今回得られた値すべてが、それらの最小と最大の間に入る。各文献値と今回の値の差の平方の平均を見ると、理科年表2000年版が引用している Taylor and McLennan (1985) の値が最小で、6.6 ppm² であった。

3. SiO₂ および MgO との相関

SiO₂あるいはMgOを横軸に、各PGEの含有量の対数を縦軸に散布図を描いた。それらの間の相関係数は、横軸がSiO₂の場合、Osが-0.53、Irが-0.42、Ruが-0.40、Rhが-0.47、Ptが-0.05、Pdが-0.07、Reが-0.05、Agが0.67、Auが-0.09、MgOの場合、Osが0.62、Irが0.71、Ruが0.68、Rhが0.49、Ptが0.16、Pdが0.00、Reが-0.20、Agが-0.70、Auが0.07である。相関係数の絶対値が0.5を越えたのは、SiO₂に対してはOsのみで、MgOに対してはOr、Ir、Ru、Agの4元素である。いずれにしても最も相関が高かったのはMgO-Irの組合せの0.71で、主成分元素とPGEとの間の相関は全体として低いと結論される。

第2図にSiO₂-MgOの散布図を示す。一般的に描かれているこの種の図と比較すると、SiO₂とMgOが負の相関を示す点は同じであるが、SiO₂が低くMgOが高い(SiO₂<50でMgO>10)部分にプロットされている点が多い。これは、試料の多くが、苦鉄質および超苦鉄質岩に属することを意味する。実際、SiO₂の分析値が与えられた391試料のうち、SiO₂>60%が9%、SiO₂>70%が1%である。また、MgOに関しては、MgO<10%が52%、MgO>40%が19%で、その間の濃度の試料が少ない。

4. まとめと今後の課題



第1図. PGE分析値の頻度図.

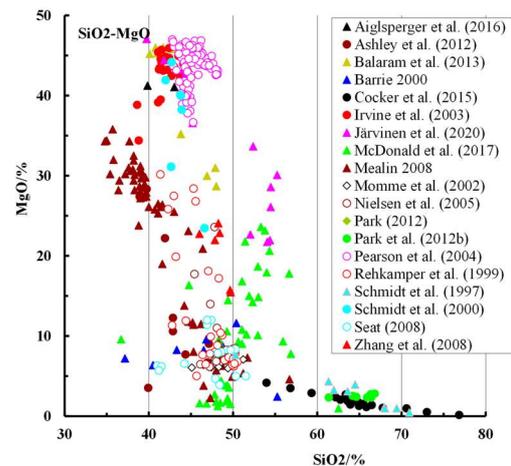
31の既発表論文から引用したPGEの分析データを基に、その統計的特性を調べ、次の結論を得た。

- 1) 各PGEデータに対数正規分布を当てはめて得られた平均(ppb)は、Osが1.3、Irが0.3、Ruが0.7、Rhが0.2、Ptが3.9、Pdが3.5、Reが0.2、Agが255000、Auが3.5である。
- 2) SiO₂濃度と各PGE含有量、MgO濃度と各PGE含有量との間の相関は低い。

今回参照した論文の数は31と限られている。また、本文中で言及したように、試料のSiO₂やMgO含有量は自然界に分布する岩石のそれらに較べてかなり偏っているようである。全体的傾向を把握するためには、これらの点を考慮して、さらに多くの文献を参照する必要がある。

引用文献

- Shoji, T. (2020): PGE deposits are peculiar: is the cause crustal abundances or formation mechanism? *Natural Resources Research*, <https://doi.org/10.1007/s11053-020-09650-2>.
- Taylor, R. S., and McLennan M. (1985). *The Continental Crust*. Blackwell Scientific Pub., Oxford, 312p.



第2図. SiO₂-MgO図.