

ザクロ石の化学組成累帯構造形成の前進モデル

Forward calculation of the formation of chemical zoning in garnet

乾 睦子[1]

Mutsuko Inui[1]

[1] 国土館大・工

[1] Kokushikan Univ.

顕著な組成累帯構造を示す変成岩中のザクロ石を使うと、鉱物間の化学平衡からギブス法によって変成作用の温度圧力経路を導出することができる。しかし、微分系の定式化であるギブス法では温度圧力の差だけが算出されて絶対値が決まらない上、ザクロ石が成長するのかどうかをチェックできない。そこで、材料となる緑泥石が特定の温度圧力経路をたどるときに、熱力学的にどのようなザクロ石が成長すべきかを、前進モデルを使って確かめた。熱力学的データが発表されている端成分を用い、ザクロ石と緑泥石の非理想的挙動も考慮して計算した結果、Fe-Mg-Mn系で、三波川変成帯で広く観察される正累帯構造の形成を再現することができた。

三波川変成帯の泥質片岩にはザクロ石が多く含まれ、顕著な組成累帯構造を示す。このような累帯構造は、その時々々の温度圧力に依存してマトリクスと化学平衡を保っていた結晶表面部分が、その後の成長によって内側に閉じこめられつつ保存されてきたと考えられている。三波川変成岩中にもっとも一般的に見られる累帯構造は、ザクロ石中心部から外に向かってMn濃度が減少しMg/Fe比率が増加するものであり、正累帯構造と呼ばれている。

正累帯構造が鉱物間の化学平衡を満たしつつ形成されたとすると、ギブス法によって変成作用の温度圧力経路を導出することができる。この方法によって、正累帯構造を示すザクロ石は温度圧力の上昇を記録していることが示されている。しかし、微分系の定式化であるギブス法では、温度圧力の差が算出されるだけで絶対値が決まらないため、経路上の少なくとも一点の温度圧力条件を別の方法で決める必要がある。また、導出された温度圧力経路においてザクロ石が実際に成長するのかが判別されないため、得られた結果の妥当性を検証することが難しいという問題があった。そこで、本研究では、材料となる緑泥石が特定の温度圧力経路をたどるときに、熱力学的にどのようなザクロ石がどのくらいの量で成長すべきなのかを、前進モデルを使って確かめた。

今回のモデルでは、緑泥石における拡散は常に完全であり、ザクロ石は限りなく拡散が遅い、という従来からの前提を採用した。すなわち、系全体の化学組成はその時々々の緑泥石の化学組成と等しく、ザクロ石の成長につれてザクロ石内部に閉じこめられた分だけが系の化学組成から取り除かれる。扱う系は緑泥石とザクロ石が共存するFe-Mg-Mn系とし、反応に関わる石英と水は、常に過剰に存在するものとした。ザクロ石の端成分はFe、Mg、Mn端成分の3つとし、Ca成分は固定した。緑泥石は、Fe、Mg、Mn端成分に加えて、Mg端成分におけるチェルマク置換を表すAl端成分を用いて4つで表現した。これによって、発表されている熱力学データベースを利用することが可能になった。ザクロ石と緑泥石の活動度モデルと非理想混合についても、最新のデータを用いた。

以上の系において、化学平衡条件の他に、Fe-Mg-Mnに関して閉鎖系であるという制約を導入すると、系の自由度は2となる。したがって、系全体の組成と温度と圧力を与えれば、緑泥石とザクロ石の量および各端成分の濃度をすべて一義的に決定することができた。ただし、系の制約条件のうち3つが非常に複雑な非線形方程式となるため、繰り返し計算による最適化を行って解を求めた。あるステップで解が得られたら、成長したザクロ石に入った化学組成を系の全体組成から取り除いた上で、次のステップの計算を開始した。ギブス法で得られた三波川変成作用の温度圧力経路に沿って計算を進めたところ、緑泥石のみの系から徐々にザクロ石が成長する様子が再現できた。また、算出されたザクロ石の化学組成変化は、三波川変成帯で広く観察される正累帯構造と同様であった。

この前進モデルによって、推定した温度圧力経路の検証が可能になる。また、多相系の化学平衡条件を直接解いているため非常に汎用性が高く、他の鉱物も系に取り入れれば、変成岩の進化を追跡する強力な手段となることが期待される。