

粒子線励起X線分析法による流体包有物の微量元素分析

Quantitative analysis of trace elements in single fluid inclusions by micro-PIXE

黒澤 正紀^{1*}, 笹 公和², 石井 聡²

Masanori Kurosawa^{1*}, Kimikazu Sasa², satoshi ishii²

¹筑波大院・生命環境, ²筑波大・応用加速器

¹Life Envir. Sci., Univ. Tsukuba, ²Tandem Accel., Univ. Tsukuba

流体包有物は、惑星内部での流体の組成や挙動を示す直接的証拠で、その組成情報は鉱床・岩石・地質体の形成プロセスを検討する上で重要な手がかりとなる。流体包有物はサイズが微小で含有流体も微量、しかも鉱物単結晶内には組成や起源の異なる複数の包有物が存在する。そのため、流体による地質現象の関与を高い分解能で検討するには、結晶内の個別包有物をマイクロビームで高感度に分析することが必要となる。流体包有物の組成分析は、主成分組成については分光学的手法やマイクロサーモメトリーによる手法が確立されており、微量成分分析についてもレーザーアブレーションによる質量分析や加速器を用いたX線分析が成果を挙げている。ここでは、その中の粒子線励起X線分析法 (PIXE) による単一流体包有物中の微量元素分析について紹介する。

PIXEは、加速器からのプロトンビームを試料に照射し、そこから放出される特性X線を半導体検出器で分析する手法で、原理的に電子線によるSEM-EDS分析に類似する。分析上の特徴は、非破壊、多元素同時分析、ppmレベルの元素定量可能、ビーム浸透深さが鉱物に埋没する包有物分析に適切などの特徴がある。希土類など重元素の検出感度は質量分析に劣るが、流体の起源を検討する上で重要なハロゲン元素(Cl, Br)が容易に検出可能で、第一原理的な定量分析が可能のために分析の正確度が高い。我々のグループでは、筑波大学研究基盤センターのタンデム加速器の1.92 MeVプロトンビームを用いてPIXE分析を実施している。定量分析は、検出されたX線強度に対し、鉱物中への包有物の埋没に起因するX線発生とX線の自己吸収の効果を補正し、さらに検出感度を考慮することで行っている。定量精度を検討するため、既知濃度と既知形状を持つ模擬的な流体包有物をこの手法で定量した結果、流体包有物中の数ppm?数wt.%の元素を相対誤差7%で定量できることが分かった。天然の流体包有物分析では、この誤差にさらに包有物の埋没深度の決定誤差が加わり、標準的な測定条件では、Clで約±40%、K, Caで約±20%、Mn, Fe, Cu, Zn, Br, Rb, Sr等で約±10%の分析誤差となる。検出限界 (下限) は、原子番号や包有物のサイズ、分析条件に依存するが、平均的な分析条件では、Clで2300 ppm、原子番号25?38の元素 (Mn?Sr) に対して15?40 ppmの検出限界となる。長時間測定では検出感度が向上し、より低濃度の元素の検出が可能となる。

現在、島弧の花崗岩起源流体の組成と挙動を明らかにするため、花崗岩体の石英中の流体包有物をこの手法で分析している。試料には、山梨県甲府市北方の甲府花崗岩体を構成する御岳昇仙峡型花崗岩のペグマタイト・晶洞・石英脈の石英を用いた。殆どの流体包有物は、均質化温度300?480°C、塩濃度5?15wt.%NaClの2相包有物で、標高1200m前後の石英脈には、塩濃度30?38wt.%NaClで岩塩を含む多相包有物が認められた。分析の結果、晶洞とペグマタイトの包有物には約8 wt%のCl, 2?6 wt%のK, Ca, 1000?3000 wt. ppmのFe, Ba, 200?500 ppmのMn, Zn, Pb, Cu, Br, Ge, 数十ppmのRb, Srが含まれていた。この濃度は花崗岩固結直後に放出された流体の組成を示すと考えられる。低濃度の石英脈の2相包有物も同様な濃度であった。全体として、初生包有物の方

が二次包有物よりも濃度がやや高い傾向を示す。また、岩塩を含む多相包有物には、約17 wt%のCl, 2.3 wt%のK, Ca, 2000?10000 ppmのFe, Mn, Zn, 200?700 ppmのPb, Cu, Br, Sr, Ba, Rb, 20?30 ppmのGeが含まれていた。これらの濃度は、大陸地域の花崗岩起源の熱水鉱脈の流体包有物から報告された値とほぼ一致する。岩塩を含む高塩濃度流体は、固結直後に放出された流体が割れ目に沿って岩体上方へ移動した際の減圧沸騰で生じた可能性が高い。高い金属元素濃度も沸騰の際の水蒸気?塩水間の元素分配で生じたと考えられる。今回の結果から、花崗岩固結直後に生じた熱水は塩濃度10%程度で金属元素濃度も200?500 ppm程度であったが、岩体の割れ目に沿って断熱的に上昇した流体の一部は減圧沸騰し、塩濃度30%以上の高金属濃度流体を形成、その一部は金属鉱床を形成したという過去の流体システムを読み取ることができた。今後、他の花崗岩体の流体包有物の分析も行い、島弧の花崗岩起源流体の組成と挙動を明らかにしたいと考えている。

キーワード:流体包有物,微量元素分析, X線分析,花崗岩, PIXE,イオンビーム

Keywords: Fluid inclusion, trace element, X-ray analysis, granite, PIXE, ion beam