

粒子線励起 X 線分析法 (PIXE) による対馬花崗岩の流体包有物分析

Quantitative PIXE analysis of trace elements in fluid inclusions from the Tsushima granite pluton, Japan

黒澤 正紀 [1]; Shin Ki-Cheol[1]; 石井 聡 [2]; 笹 公和 [3]

Masanori Kurosawa[1]; Ki-Cheol Shin[1]; satoshi ishi[2]; Kimikazu Sasa[3]

[1] 筑波大・生命環境; [2] 筑波大・応用加速器; [3] 筑波大・数理解物質

[1] Grad. Sch. Life Environ. Sci., Univ. Tsukuba; [2] UTTAC, Tsukuba Univ; [3] Pure & Appl. Sci., Univ. Tsukuba

花崗岩体の結晶分化により生じる熱水流体は、金属鉱床・変質帯・周辺深部地下水組成の形成に大きな役割を果たしている。この花崗岩起源流体は、岩体内部を移動する際の様々な過程で組成が変化するので、地質現象での流体の役割を理解するには組成変化の追跡が必要となる。また、この移動流体は、脈岩や既存鉱物中に流体包有物として捕獲されることが多く、さらに一部の捕獲流体は、その後の地殻応力による包有物の破壊で外部に漏出し、天水による希釈を経て深部地下水にも影響する。今回は、地殻浅部に貫入した花崗岩体の花崗岩起源流体組成を検討するため、長崎県の対馬花崗岩の流体包有物を粒子線励起 X 線分析法 (PIXE) で分析した。

対馬花崗岩体は堆積岩中に貫入した第三紀中新世の黒雲母花崗岩で、約 5 km × 4 km の露出面積をもつ小規模な岩体である。貫入深度が 2-6 km と浅く、マグマ混合による塩基性包有物を多数含む。小規模な晶洞が所々に点在し、わずかに石英脈も認められる。岩体周囲には大規模な鉛-亜鉛鉱床が発達している。一般に、晶洞は固結直後の流体、脈岩は岩体内部の移動流体を包有物として含み、花崗岩は岩体を通過した全ての流体の包有物を含む。対馬花崗岩は、岩塩を含む多相包有物を多量に含むのが特徴で、多相包有物の均質化温度は 200-740 °C、塩濃度は 30-87 wt.% NaCl である。気泡あるいは液相に富む 2 相包有物も同一結晶中に含まれる。晶洞も多数の多相包有物を含むが、均質化温度は約 200-460 °C、塩濃度は約 28-48 wt.% NaCl である。2 相包有物の均質化温度もほぼ同程度である。石英脈は多量の多相包有物とやや少ない 2 相包有物を含むが、それらの均質化温度と塩濃度は晶洞の包有物とほぼ同じである。これらの流体包有物を、筑波大学研究基盤センターのタンデム加速器による 1.92 MeV の陽子線を用いて分析した。今回の条件では、流体包有物中の Cl を ± 45% 以下、Ca を ± 29%、Mn を ± 25%、Fe、Cu、Zn、Ge、Br、Rb、Sr を約 ± 20% の誤差で定量できる。検出限界は、1 μC のビーム照射量の時に、Cl で 2300 wt. ppm、原子番号 25-38 の元素で 15-40 ppm である。ビーム照射量を増やすと共に検出限界は改善できるので、低濃度の包有物では長時間測定を行った。

予察的な分析では、晶洞の多相包有物には、平均で約 25 wt% の Cl、7 wt.% の Fe、1-5 wt% の K、Ca 及び Mn、7000 ppm の Ba、1000-3000 ppm の Zn、Pb、Cu、Br、100-300 ppm の Rb と Sr が含まれていた。この濃度は、花崗岩固結直後の放出流体の組成に相当すると考えられる。また、この濃度は、より貫入深度の深い甲府花崗岩体の晶洞の包有物の平均組成よりも数倍高く、斑岩銅鉱床の石英に含まれる多相包有物の元素濃度にほぼ匹敵する。花崗岩中の石英脈の多相包有物は平均元素濃度がそれよりもやや低い。花崗岩中の石英脈と花崗岩に一番近い鉛-亜鉛鉱床に含まれる石英脈の多相包有物の平均元素濃度はほぼ同じであった。

対馬花崗岩は貫入深度が比較的浅いため、花崗岩の固結条件が塩水の沸騰条件と重なる。そのため、花崗岩マグマからの熱水は分離の段階で完全に沸騰し、沸騰の際の水蒸気-塩水間の NaCl と金属元素の分配を考慮すると、高塩濃度・高金属濃度の塩水 (あるいは hydro-saline fluid) の発生が予想される。今回の晶洞の多相包有物の高塩濃度・高金属濃度は、この沸騰の程度が大きいことに起因したと考えられる。つまり、浅い貫入深度が、高塩濃度・高金属濃度の流体発生に本質的に重要であることを示す。岩体の貫入深度が浅いと、外部からの地表水 (海水) の流入が生じる可能性も高い。花崗岩中の包有物の一部よりも晶洞の包有物の方が塩濃度が低いという傾向は、岩体固結時での地表水による希釈の影響を示すのかもしれない。しかし、花崗岩の石英脈と近接鉱床の石英脈の包有物の元素濃度に大きな差がないという結果は、一番近い鉱脈への移動過程ではそれほど希釈されていないことを示唆する。沸騰程度が高いことによる高金属濃度流体の発生と途中での希釈が少ないことが、大規模な鉛-亜鉛鉱床の形成につながったと考えられる。