

長崎県対馬の浅所貫入花崗岩体の熱水流体の組成

Chemical compositions of hydrothermal fluids derive from a shallow emplacement granite body in Tsushima, Japan.

黒澤 正紀^{1*}, Shin Ki-Cheol², 石井 聡³, 笹 公和⁴

Masanori Kurosawa^{1*}, Ki-Cheol Shin², Satoshi Ishii³, Kimikazu Sasa⁴

¹ 筑波大・生命環境, ² 総合地球環境学研究所, ³ 筑波大学・研究基盤セ, ⁴ 筑波大・数理物質

¹Life Env. Sci., Univ. Tsukuba, ²Res. Inst. Hum. Nat., ³Res. Fac. Center, Univ. Tsukuba, ⁴Puru Appl. Sci., Univ. Tsukuba

花崗岩体の結晶分化で生じる熱水流体は花崗岩起源流体と呼ばれ、島弧の上部地殻での重要な流体の一つである。この流体は、移動過程で温度圧力低下・鉱物析出・2相分離などにより組成が多彩に変化し、それに応じて様々な地質現象に影響を与える。特に、金属鉱床・変質帯・周辺深部地下水の形成には大きな役割を果たす。通常、移動流体の一部は、脈岩や既存鉱物中に流体包有物として捕獲されるので、流体包有物の分析を通じて流体の組成と挙動および地質現象への影響の情報を得ることができる。今回は、島弧地殻の最浅部に貫入した花崗岩体の熱水流体の化学的特徴を明らかにするため、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。

対馬花崗岩は海底堆積物に貫入した小規模な中新世花崗岩体で、固結深度が2~6 kmと浅い。小規模な晶洞とわずかな石英脈を含み、岩体周囲に大規模な鉛-亜鉛鉱床を伴う。今回は、晶洞・岩体内部の石英脈・岩体に最近接した金属鉱床の石英脈に含まれる流体包有物を試料とした。晶洞は岩体固結時の流体成分が集合してできたガス穴で、その包有物は岩体の初生流体の情報を持つ。対馬花崗岩は、岩塩を含む多相包有物を多量に含み、他に気相・2相、少量の液相に富む低濃度2相・CO₂の各包有物を含む。多量の多相包有物の存在は、流体発生の際に沸騰状態にあったことを示す。晶洞と岩体内石英脈の包有物もほぼ同様である。晶洞の多相包有物の均質化温度は約200~460℃、塩濃度は約28~60 wt.% NaClである。2相包有物の均質化温度もほぼ同じである。岩体内石英脈の多相包有物と2相包有物の均質化温度・塩濃度は晶洞とほぼ同じである。鉱床石英脈は多量の2相包有物を含み、多相・気相・低濃度2相・CO₂の各包有物を含む。多相包有物の均質化温度は約250~450℃、塩濃度は約28~49 wt.%である。2相包有物の均質化温度もほぼ同じである。これらを筑波大学研究基盤センターのPIXEで分析した。

分析の結果、晶洞の多相包有物は、平均で約25 wt%のCl、約1~5 wt%のK・Fe、数百~数千 ppmのCa・Mn・Ba・Zn・Pb・Br、200~400 ppmのCuとRb、百 ppm以下のSr・Geを含む。この組成が、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。これらの濃度は、より深い貫入深度を示す甲府花崗岩体の初生流体よりも数倍高く、斑岩銅鉱床の多相包有物の濃度に匹敵する。対馬花崗岩は貫入深度が浅いため、花崗岩固結条件が塩水の沸騰条件と重なる。そのため、沸騰による水蒸気・塩水間の元素分配で生じた高塩・高金属濃度流体から多相包有物は生じたと考えられる。岩体内部と鉱床の石英脈の多相包有物は、晶洞とほぼ同様な濃度であるが、岩体内石英脈は晶洞よりもFe・Cu・Baが高く、鉱床石英脈のものはZn・Pb・Brが高い。これは流体の移動や発生条件による組成変化を意味し、日本の熱水脈ではやや深部の鉱床に銅鉄鉱脈が、浅所に鉛亜鉛鉱脈が多いという経験則と調和的である。元素濃度の多くはCl濃度に比例し、多くの元素同士でも正の相関を示す。但し、晶洞・岩体内石英脈・鉱床石英脈の各包有物での元素相関の傾きは異なり、形成条件の違いを示唆する。

流体の起源と挙動を検討するため、2相包有物のBr/Cl比(重量比)を見ると、晶洞は約0.0014、岩体内石英脈は0.0022、鉱床石英脈は0.0027、と海水の値の0.0034より低い。一方、多相包有物の値は、晶洞で0.0015~0.0043、岩体内石英脈で0.0020~0.0108、鉱床石英脈で0.0019~0.0124、と産状により大きく異なる。このような高Br/Cl比の流体は稀で、産状によるBr/Cl比の大きな違いもこれまで数例しか報告がない。流体のBr/Cl比は、岩塩析出・塩素を優先的に取り込む鉱物の析出・岩石-水反応・マグマ-流体間のBr-Cl分配の温度圧力変化などで変化する。今回は、マグマ-流体間の元素分配と沸騰条件での2つのBr-Cl分配によって、多相包有物のBr/Cl比の検討を試みた。その結果、約1 kb・600~800

でマグマからの熱水分離・沸騰が生じると晶洞の多相包有物のBr/Cl比が説明可能で、約0.9 kb・670~600での分離・沸騰によって岩体内石英脈の値が、0.6~0.45 kb・550~450での分離・沸騰によって鉱床石英脈の値も説明可能なことが示唆された。この結果を考慮すると、今回観察された流体は、ある深度にマグマだまりが定置しつつも、その後の堆積物の削剥や日本海形成の伸張場のテクトニクスの影響で、結果的に浅所へと移動しながら冷却固化し、岩体全体の圧力と温度の低下によって発生流体の組成が変化したと解釈できる。単純には、定置した貫入岩体内部での異なる深さ・温度条件でマグマから分離して形成されたとも解釈できる。

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