

交流磁化率による黒曜石中の超常磁性—単磁区境界の粒径分布

Magnetic granulometry of superparamagnetic-single domain particles in obsidians using alternating current susceptibility

福間 浩司[1]

Koji Fukuma[1]

[1] 同志社大学工学部環境システム学科

[1] Dept. Environ. Sys. Sci., Fac. Engi., Doshisha Univ.

黒曜石に含まれる超常磁性から単磁区の Ti-poor のチタノマグネタイトの粒径分布を交流磁化率を用いて推定した。超常磁性—単磁区境界の粒子の交流磁化率は温度や交流磁場の周波数に対して鋭敏に変化する。従来から、例えば Bartington 社製の磁化率計で 2 つの周波数 (0.47 kHz と 4.7 kHz) での磁化率から超常磁性粒子の寄与を見積もるためにこの変化は利用されてきた。今回は、Quantum Design 社の超伝導磁化率計 MPMS で温度 20-300 K, 周波数 0.1-1000 Hz で交流磁化率を測定し、in-phase 成分と out-of-phase 成分に分けて粒径分布を推定した。

黒曜石は考古時代に石器として広く流通し多くの遺跡で発掘される。化学組成はデイサイト～流紋岩に当たり、ガラス質であるがガラス内部に晶出したサブミクロンの Ti-poor のチタノマグネタイトの粒子を多量に含む。従って、超常磁性—単磁区境界の粒子が担う粘性残留磁化を用いた年代推定に適した試料であると予想され、また黒曜石の産地によって SP-SD 境界の粒子の粒径分布に違いが生じると考えられる。試料は北海道白滝、長野県和田峠、佐賀県腰岳、島根県隠岐島後、鹿児島県牛鼻の 5 サイトで得られた黒曜石である。いずれのサイトも石器に使われた黒曜石の産地として知られているが今回用いた試料は露頭から得られた原石である。

磁性鉱物の種類は、熱磁気天秤 (夏原技研製 NMB-2000, 測定条件: 磁場 0.4 T, 空気中) によってキュリー点を求め、MPMS を使い 10 K, 2.5 T で与えた等温残留磁化を 10-300 K で warming して Verwey 転移の有無を調べた。5 地点の黒曜石のキュリー点は 540-580 であり Ti-free ないし Ti-poor のチタノマグネタイトが含まれることを示す。Verwey 転移はキュリー点が約 580 の北海道白滝の試料で明瞭に見られる他は、磁化の温度変化の差分によってわずかに見えるか全く見えないかであった。試料振動型磁力計で測定した磁気ヒステリシスパラメータを Day plot にプロットすると、北海道白滝、長野県和田峠、佐賀県腰岳の試料は単磁区—多磁区の混合もしくは疑似単磁区の線上に載るのに対し、島根県隠岐島後、鹿児島県牛鼻の試料はこの線から大きく右上にずれ超常磁性粒子が多く含まれることを示唆する。また、前者 3 試料の磁気ヒステリシスループは正常な形を示すのに対して、後者 2 試料は原点付近が狭い wasp-waisted ループを示す。

交流磁化率は、キュリー点が約 580 の北海道白滝の試料では in-phase 成分は周波数に依らず Verwey 転移点の 120 K 付近でピークを持ち、out-of-phase 成分はほとんどゼロに等しい。これは粒径に対する依存性ではなく、stoichiometric な magnetite の Verwey 転移によって交流磁化率が支配されていることを示す。長野県和田峠、佐賀県腰岳の試料は周波数依存性は小さく out-of-phase 成分も小さい。長野県和田峠の試料は 20-300 K で in-phase 成分は単調に 20% 程度増加し、佐賀県腰岳の試料の in-phase 成分は 250 K 辺りで周波数に依らず極大を示す。この 2 試料には Ti-poor のチタノマグネタイトの少量の超常磁性粒子が含まれるが、多くの粒子は単磁区～多磁区ないし疑似単磁区であることを示している。一方、島根県隠岐島後、鹿児島県牛鼻の試料は in-phase 成分と out-of-phase 成分がほぼ同じ大きさを持ち、周波数に対して大きく変化し、温度依存性は in-phase 成分と out-of-phase 成分共に明瞭なピークをもち、ピーク温度は周波数に応じてシステムティックに変化する。これは超常磁性粒子が島根県隠岐島後、鹿児島県牛鼻の試料で卓越していることを示す。