

広帯域磁化率の逆たたみ込みから得られる粒径分布

福岡 浩司 [1]
[1] 同志社大・理工

Grain-size distributions from deconvolved broadband magnetic susceptibility

Koji Fukuma[1]
[1] Dept. Env. Sys. Sci., Doshisha Univ.

A magnetic susceptibility meter with several-decade frequency band has recently made it possible to obtain superparamagnetic grain-size distributions only by room-temperature measurement. A rigorous deconvolution scheme of the broadband susceptibility data is already available. I have made some corrections on the deconvolution scheme and present its applications to broadband susceptibility data on loess and volcanic rocks.

Deconvolution of frequency dependence of susceptibility was originally developed by Shchervakov and Fabian [2005]. Suppose an ensemble of superparamagnetic grains distributed for two independent variables of volume (grain-size) and energy barrier against magnetization rotation. Applying alternating magnetic field with varying frequency results in differentiating grains by energy barrier - not directly by volume. Since the response function for frequency is known, deconvolution of frequency dependence of magnetic susceptibility provide a rigorous solution for the second moment of volume on the volume-energy barrier distribution. If accepting a common assumption of a linear relation between volume and energy barrier, we can obtain analytical volume or grain-size distributions of superparamagnetic grains without discretization or assuming any a priori parametric distribution function.

A ZH broadband susceptibility meter comprises of two separated devices for lower (SM-100, 65 - 16kHz) and higher (SM-105, 16k - 512kHz) frequency ranges. At every frequency susceptibility calibration was conducted using three kinds of paramagnetic rare earth oxides [Fukuma and Torii, 2011]. Measurements were carefully performed; Inch-core or cube specimens were placed exactly at a same position within an exciting coil, data with high noise indices were deleted and re-measured, and drift correction was made.

Almost all samples exhibited seemingly linear dependences of in-phase susceptibility on logarithmic frequency. This indicates that the measured data do not suffer serious noise, and that the second moment of volume is relatively constant against energy barrier. Nonetheless, third-order polynomial fittings revealed slight deflections from the quasi-linear susceptibility - logarithmic frequency relations. Deconvolving the polynomials showed that such slight deflections come from peaks or troughs in varying second moment of volume against energy barrier. Assuming a linear relation between volume and energy barrier, peaks or troughs around $1 \times 10^{-24} \text{ m}^3$ were found for the volume distributions derived from the deconvolution. Long-tailed volume distributions from Chinese loess samples would suggest the broad superparamagnetic grain-size distribution.

広い周波数帯域をもつ磁化率計を用いれば、室温での測定のみによって超常磁性粒子の粒径分布を得ることができる。磁化率の周波数依存性データの厳密な逆たたみ込みはすでに利用可能である。今回逆たたみ込みに関するいくつかの修正を行い、黄土や火山岩についての磁化率の周波数依存性データに適用した。

磁化率の周波数依存性データの逆たたみ込みは、もともと Shchervakov and Fabian (2005) によって開発された。体積(粒径)および磁化の回転に対するエネルギー障壁の2つの独立変数にかかる分布関数をもつ超常磁性粒子の集合体を考える。交流磁場を周波数を変化させれば、体積ではなくエネルギー障壁によって磁性粒子を分別することになる。周波数に対する応答関数がわかっているので、磁化率の周波数依存性の逆たたみ込みは、体積-エネルギー障壁分布関数上の体積の二次モーメントの厳密解を与える。体積とエネルギー障壁との間に直線関係があるとする一般的な仮定を受け入れると、離散化、または任意の先験的なパラメトリック分布関数を仮定することなく、超常磁性粒子の解析的な体積または粒径分布を得ることができる。

ZH 広帯域磁化率計は、低い周波数 (SM-100, 65-16k Hz) と高い周波数 (SM-105, 16k- 512kHz) の2つの分離したデバイスで構成される。全ての周波数ステップで常磁性の希土類酸化物三種類を用いて磁化率の較正を行った。測定は慎重に行った。具体的には、インチコアまたはキューブを励磁コイル内の同じ位置に正確に置き、高い雑音指数を有するデータは削除して再測定し、ドリフト補正も行った。

ほとんどすべてのサンプルについて、in-phase 磁化率は周波数の対数に対してほぼ線形の依存性を示す。これは、測定データがノイズに重大な影響を受けていないこと、さらに、体積の二次モーメントはエネルギー障壁に対してほぼ一定であることを示している。それにもかかわらず、三次の多項式フィッティングは、ほぼ線形の対数周波数-磁化率関係にわずかな屈曲があることを明らかにした。多項式を逆たたみ込みすると、このわずかな屈曲はエネルギー障壁に対する体積の二次モーメントにピークまたはトロフが存在することから来ていることがわかる。体積とエネルギー障壁の間の線形関係を仮定すると、 $1 \times 10^{-24} \text{ m}^3$ (10 nm) 辺りにピークをもつ体積(粒径)分布が逆たたみ込みから得られた。また、中国の黄土サンプルからのロングテール型の分布は広い超常磁性粒径分布を示唆する。