

交流磁化率の周波数スペクトルとその温度変化にみられる磁気緩和と磁区構造の関係

#小玉 一人 [1]
[1] 高知コアセンター

Frequency spectrum of AC magnetic susceptibility at low temperature: Correlation between magnetic relaxation and domain structure

Kazuto Kodama[1]
[1] Kochi Core Center, Kochi Univ.

Low-field alternating current magnetic susceptibility (MS) is among the most commonly used magnetic property, not only in rock and mineral magnetism but also in environmental magnetism studies. This study proposes a new rock magnetic property, Frequency Spectrum of MS (FSM), which is the MS measured over a wide range of frequency (128 Hz to 512 kHz). This study also presents FSM results at low temperatures obtained from a variety of natural rocks with SP to SD grain sizes, including acidic to basic volcanic rocks in Japan and a basalt in Hawaii. The FSMs from the andesite samples show susceptibility increase, as much as 5%, which was observed over a specific frequency interval (16 kHz to 128 kHz). In contrast, FSMs of basalts from Oshima and Hawaii show no such peak, but a typical pattern indicating the presence of SP grain ensembles. The anomalous FSM from the andesites suggests a new rock magnetic or mineral magnetic property indicating a magnetic resonance or a magnetic relaxation. Considering the anomalous FSM patterns and their variations at low temperatures, it is suggested that the hypothetical resonance could be relevant to some magnetoelastic phenomenon, in which magnetic energy would be dissipated through a long-range, magnetostructural coupling, most likely, magnetostriction. The fact that the annealed andesite samples showed less developed FSM anomaly strongly supports this hypothesis, because annealing generally lowers the internal stress leading to reduction of resistance in a forced oscillation system. Analyses of the low temperature results confirmed a magnetic relaxation phenomena taking place at low temperatures, and consequently supports the above interpretation.

弱磁場下の交流磁化率 (Low-field Alternating Current Magnetic Susceptibility, 以下 MS) は、地層対比や鍵層の特定、さらには気候変動の定量的指標として活用されてきた。これには、Bartington 磁化率計など市販測定器の普及によるところが大きい。その測定量は MS の実数成分 (k') だけであり、それらの値を磁性鉱物の総量を反映する指標として利用しているにすぎない。本来 MS は複素磁化率であり、その複素成分 (k'') は磁気緩和時間と密接に関連している。したがって、その測定から SP 粒子のような極微細粒子の磁性ばかりでなく、MD 粒子の磁区構造や磁壁のダイナミクスなどに関する情報を得ることができよう。本報告では、広い周波数帯域 ($\sim 10^4$) の複素磁化率周波数スペクトル、およびそれらの温度変化 (10-300 K) から明らかとなった新たな諸現象を紹介する。

測定方法は、ZH Instruments 製 SM100/105 による k' の室温広帯域測定 (128 Hz ~ 512 kHz)、MPMS による複素磁化率の低温広帯域測定 (10 ~ 300 K、1 Hz ~ 1 kHz) および低温磁気ヒステリシス測定である。試料は、内外各地 (ハワイ、伊豆大島、桜島、雲仙、大山、八ヶ岳、御岳) の SD ~ MD 火成岩類である。結果の概要は以下のようである。

1) 大島を除く 5 カ所 (桜島、雲仙、大山、八ヶ岳、御岳) の溶岩試料はいずれも、室温の k' スペクトルが特定の周波数範囲 (16 kHz ~ 128 kHz) で局所的増加を示す。2) これらの局所的増加を除けば、磁化率は 512 kHz までほぼ単調な減少を示す。3) 特に多段階熱消磁を行った桜島試料は、消磁していない試料に比べて一様に磁化率が約 30% 減少するが、4) 上記ピークの生ずる周波数範囲に変化はない。5) これらの試料は、10-140 K の範囲で、 k'' の周波数スペクトルに顕著なピークが現れ、そのピーク周波数は温度低下につれて低周波側にシフトする。6) ただしこの間、 k' スペクトルにはピークは表れず、周波数増加につれて単調に減少するのみである。7) ハワイや大島の玄武岩では、低温でも k' や k'' の周波数スペクトルに局所的増加はみられない。

2) や 6) は、SP 粒子集団の MS 周波数依存性と考えられるが、1) は従来の超常磁性理論で説明することができない。これら 5 カ所の火山岩試料が、数 10 micron の MD サイズ斑晶を共通して含むことを考えると、外部磁場周波数と同期した MD 粒子の共鳴現象を示している可能性が高い。一般に磁気緩和 (余効) をもつ粒子は、交流磁場周波数と緩和時間の積で決まる位相遅れを生ずる。すなわち上記の共鳴現象とは、MD 粒子の緩和時間が交流磁場の周期と一致していることを意味する。MD 粒子内の磁壁振動かもしれない。この推測は、3) から支持される。熱消磁というアニリングによって、磁壁振動の障害となる内部応力が低減された結果と考えれば説明がつく。これは、一般的な線形振動モデルにおいて、速度に比例した抵抗力が減少することに相当する。さらに、4) は、この振動が粒子のサイズ・形状・弾性などの巨視的な要因によることを示唆する。一般的な強磁性振動や磁壁振動などスピンの動力学が支配する微視的領域の共鳴振動数 (数 100 MHz ~ GHz) と比較して著しく低周波であることも、この推測を支持している。5) の結果をもとに、温度の逆数を横軸、ピーク周波数の対数を縦軸としたプロット (Neel-Arrhenius plot) をすると、それらがいずれも直線となることから、磁気緩和現象であることがわかる。7) は、これらの玄武岩試料が概して非常に均一細粒に見えるものの、実際には SP 領域に及ぶ広い粒度分布をもつことを示す。このように、広帯域交流磁化率スペクトルとその温度変化は、粒子サイズやその分布ばかりでなく、粒子の磁気弾性や内部応力など多様な物性を反映していると考えられる。