

広帯域交流磁化率スペクトルの測定と応用

小玉 一人 [1]

[1] 高知コアセンター

Frequency spectrum of alternating current magnetic susceptibility: A new rock magnetic property and its application

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. In addition, frequency dependent susceptibility, defined as the change in susceptibility per decade frequency, has also been widely used for detecting the presence of fine-grained magnetic particles around SP to SD threshold. However, as it is not sufficient to fully characterize SP-SD particles, I propose a new rock magnetic property, Frequency Spectrum of MS (FSS), which are MSs measured over wide range of frequency (128 Hz to 512 kHz) with a new device. I also presents FSS obtained from a variety of natural rocks with SP to MD grain sizes. The samples include andesite (Sakurajima, Japan), basalt (Kilauea, USA), granite (Minnesota, USA), and paleosol (Luochuan, China). The FSS from andesite samples show a susceptibility increase, as much as 5%, which is observed over the specific frequency interval (16 kHz to 128 kHz). In contrast, the FSS of granite shows no frequency dependence, while the basalt and paleosol exhibit the FSS pattern indicating the presence of SP grain ensembles. The anomalous FSS from the andesite suggests a new rock magnetic or mineral magnetic property, that is, a magnetic resonance of MD grains in volcanic rocks, the frequency of which corresponds to that of applied AC field. Considering the anomalous FSS frequency, the hypothetical resonance appears to 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 sample shows less developed FSS anomaly strongly supports this hypothesis, because annealing generally lowers the internal stress leading to the reduction of resistance in a forced oscillation system. I also measured both k' and k'' at low temperatures using MPMS, because k'' should be maximized at the resonance frequency. The results confirmed a similar resonance phenomena taking place at low temperatures and consequently supports the above interpretation.

弱磁場の交流磁化率 (Low-field Alternating Current Magnetic Susceptibility, 以下 MS) は、Bartington 磁化率計や KapaBridge など市販測定器の普及によって、岩石鉱物磁気の基礎研究から環境磁気学などの応用研究まで広範な分野で活用されてきた。これらは、磁性鉱物量を反映する MS の性質を利用することにより、地層対比や鍵層の特定のための半定量的パラメータとして活用する機会が多い。一方、中国古土壌の MS 時間変動と海底堆積物中の酸素同位体比変動との一致の発見以来、全球気候変動を反映する環境指標として、MS 測定は環境磁気学において重要な役割を果たしている。反面、これら市販機器の原理や性能に由来する制約、すなわち 2 - 3 の特定周波数での MS 測定という制約から、MS という基礎的磁性が本来もつ多くの情報を活用できていないのも事実である。本報告では、これまでにない広い周波数帯域の MS 測定器による代表的な火成岩やレスの測定から明らかとなった新たな現象を紹介する。

測定方法は、ZH Instruments 製 SM100/105 による広帯域測定 (128 Hz ~ 512 kHz)、MPMS による低温低周波測定 (10 ~ 300 K、10 Hz ~ 1 kHz) である。必要に応じて、Day-plot 用のシステリシス測定も行った。試料は、SD ~ MD の火成岩類 (ハワイ玄武岩、桜島溶岩、ミネソタ花崗岩)、SP ~ SD の中国古土壌試料である。まず桜島溶岩の広帯域測定から以下の結果が得られた。1) 噴出時期の異なる 2 種の溶岩 (大正溶岩と昭和溶岩) はいずれも、16 kHz から 128 kHz の範囲に磁化率の局所的増加 (3-5%) が見られる、2) これらの局所ピークを除けば、磁化率は 512 kHz まで約 10% の単調減少を示す、3) 多段階熱消磁を行った試料は、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、4) ただし上記ピークの周波数範囲に変化はない。2) は、石基内の SP サイズ細粒磁性粒子集団の MS 周波数依存性と考えられるが、その他の結果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すのではないだろうか。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。おそらく、MD 粒子内の磁壁移動が原因であろう。この推測は、3) 4) から支持される。熱消磁というアニーリングによって、磁壁移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、このアニーリング後で共鳴周波数帯が変化しないという 4) の事実は、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。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、上の推測を支持している。さらに MPMS による低温 MS 測定からは、上記の解釈を裏付ける複素磁化率ピークの温度依存性が確認された。これに対し、典型的な MD と考えられるミネソタ花崗岩には、MS の周波数依存性が全く見られない。溶岩流と比較して、磁壁がほとんど抵抗なく移動できるため、交流磁場との位相遅れが生じないのである。一方ハワイ溶岩は、中国古土壌のような SP 粒子集団特有の単調な周波数依存性を示す。溶岩流の外縁ガラス質部分から採取した試料なので非常に均一細粒に見えるが、実際には SP 領域にまで広がる粒度分布をもつのである。このように、広帯域交流磁化率スペクトルは、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。岩石磁気鉱物磁気における新たな定量的磁性指標として活用できるよう、今後も基礎的実験を継続していきたい。