

kHz から mHz 帯の含水岩石の誘電分散の基礎研究 - 湿潤ガラスビーズの誘電分散について

Basic study of dielectric dispersion of moist rocks at kHz to mHz range - dielectric dispersion observed in moist glass beads

松本 裕史 [1]

Hiroshi Matsumoto[1]

[1] 富山大学

[1] Toyama Univ.

[はじめに]

含水岩石の電気伝導度、誘電率はそれぞれ粒界水によるイオンの伝導、固液界面でのイオンの滞留による誘電分極の特性を反映しており、含水の程度や状態に応じて桁の変化を示す。電気伝導度は一般に周波数依存性を持たないが、誘電率は低周波で誘電率が增加する型の周波数依存性を持つ。これは誘電分極の印加電場に対する応答の遅れが原因で生じる現象で誘電分散と呼ばれる。含水岩石の電気物性について定量的な理解が得られれば、電気伝導度と誘電率、または両者を組み合わせた複素誘電率 ($\epsilon^* = \epsilon' + j\epsilon''$ 、 j は虚数単位) の解釈により岩石の含水状態についての情報を得ることができる。地下構造の電磁探査では電気伝導度が観測の対象になっているが、電磁アクロス (熊澤、2004、中島他、2004) などの手法により複素誘電率の観測が実現すれば、地質構造や水の分布についてより詳細な情報を得ることができると考えられる。

従来、探査に有用な kHz 以下の周波数では含水岩石の多くは顕著な誘電分散を示さず、電気的性質は純コンダクタンスであると考えられてきた。しかし過去研究の中には、高精度の測定により花崗岩や砂岩の試料で kHz - mHz の広い周波数範囲で誘電率が周波数の逆比で増加する型 (1/f 型) の誘電分散が観測された例 (Lockner & Byerlee 1985) がある。この現象を生じると誘電性の大きさを表す角度 $\theta = \tan^{-1}(\epsilon''/\epsilon')$ (損失角の余角) は周波数によらず一定値になり、低周波でも一定の誘電性が保たれる。低周波での誘電分散の原因となる金属鉱物や粘土鉱物の少ない岩石が誘電分散を示したことは、これまで誘電分散を生じないと思われていた含水岩石の多くが 1/f 型の誘電分散を示す可能性を示唆しており、注目すべきことである (松本他、2004)。

ここでは含水岩石が 1/f 型の誘電分散を示す原因を調べるために、塩水で表面を濡らしたガラスビーズを含水岩石の模擬試料として用いて複素誘電率スペクトルの測定を行った。誘電分極と導電性のメカニズムを調べるために飽和度、塩水の伝導度による複素誘電率の変化を調べた。

[実験]

粒径 1mm のガラスビーズを脱イオン水で洗浄・乾燥後、一定量の塩水を加えて攪拌し、アクリル製の試料セルに詰めて複素誘電率測定を行った。塩水は電気伝導度を 10^{-2} から 10^{-4} Sm^{-1} に調整した NaCl 水溶液を用いた。四電極法により測定を行い電流電極の分極の影響を避けるとともに、試料の測定部位を変えて複素誘電率が試料厚さに依存しないことを調べて電極の分極の影響を受けずに試料の物性を測定していることを確認した。

[結果]

塩水で不飽和状態にしたガラスビーズは 1/f 型の誘電分散を示した。複素誘電率の飽和度による変化を調べたところ、飽和度により導電機構の違いがあること、また同時に θ の関係に変化があることが分かった。飽和度が 0.1 以下の領域では固液界面の電気二重層の導電性 (界面伝導) が支配的で、 θ が増加すると θ は急激に増加した。飽和度が 0.1 以上の領域では液バルクの導電性 (バルク伝導) が支配的で、 θ が増加すると θ は式 $\theta = -0.01 \log w + b$ に従い減少することが分かった。このことは誘電分極は界面伝導の過程で生じること、飽和度が増加するとバルク伝導の効果が大きくなり誘電分極の効果が相対的に小さくなることを示唆している。 $\log w$ の係数は粒界の溶液の形状を反映していると考えられるが、0.01 という値になる理由はまだ分からない。定数 b は w が大きいとより大きな値をとる傾向があったが、これは水中のイオン濃度の増加により電気二重層の導電性が増加する効果だと考えられる。

ガラスビーズと水の系で 1/f 型誘電分散が生じること、誘電分極が固液界面の電気二重層を流れる電流に関係していることを明らかにした。誘電分極の大きさを表す角度 θ と溶液の電気伝導度 σ の間の経験式を見出した。今後より詳細な実験を行い誘電分極の原因を明らかにするとともに、ガラスビーズでみられた θ と σ の関係式の岩石への適用性を調べていくことを予定している。

References

熊澤峰夫、月刊地球号外 No.47, 16-25, 2004.

中島崇裕、熊澤峰夫、茂田直孝、國友孝洋、長尾大道、松本裕史、月刊地球号外 No.47, 174-178, 2004.

松本裕史、茂田直孝、熊澤峰夫、中島崇裕、月刊地球号外 No.47, 192-199, 2004.

Lockner, D. & Byerlee, J., 1985, J. Geophys. Res. 90, 7837-7847.

Shahidi, M., Hasted, J. B. & Jonscher, A. K. Nature 258, 595-597, 1975.