

4. QSM

— QSMの原理と臨床応用

吉田 篤司*1, 2 / 工藤 與亮*2

*1 札幌北辰病院放射線診断科 *2 北海道大学病院放射線診断科

定量的磁化率マッピング (quantitative susceptibility mapping : QSM) は, MR 信号から得られた位相情報を基に磁化率 χ を定量的に求めてマップ化するものである。磁化率 χ は, 物質や組織が持つ基礎的で固有な物性値であり, χ を知ることによって組織中の分子情報や化学組成などを知ることが可能になるが, 最近ではさまざまな疾患に対して QSM を用いた定量解析が応用され始めている。

本稿では, QSM の画像コントラストの基となる磁化率とは何かという点から始め, 磁化率を変化させる物質・要因, QSM 解析の手法とその問題点, QSM の臨床応用について, 磁化率強調画像 (susceptibility weighted imaging : SWI) と対比しながら順を追って説明する。

磁化率とは¹⁾

すべての物質は外部磁場に対して何らかの磁気的応答を示すが, このような性質を磁性 (magnetism) と言い, 磁場に対して順方向に磁化を起し磁束密度を増加させるものを常磁性 (paramagnetism), 逆方向に磁化を起し磁束密度を減少させるものを反磁性 (diamagnetism) と言い, ほかに強磁性や反強磁性といったものもある。このような物質の持つ磁性を定量的に表現するものが磁化率 χ である。ある物体が強さ H の静磁場内に存在し, 物体の磁化の強さが M であるとき, $M = \chi H$ と定義される。常磁性体や強磁性体では, M と H が同方向であるため $\chi > 0$ となり, 反磁性体

では反対方向に磁化されるので $\chi < 0$ となる (図1)。

磁化率変化による位相変化

磁性体には同量の磁荷を持つ N 極と S 極が対となって存在し, これらの磁荷は単独では存在できないため, これが磁気的最小単位であり, 磁気双極子 (magnetic dipole) と呼ばれている。磁性体による周囲の磁束密度変化は, この双極性の磁場により生じるため, 磁性体からの距離や, 磁性体が常磁性か反磁性かによって局所磁化の影響は異なる (図2)。また, ボクセル内には無数の磁気双極子が存在するため, 磁性体の周囲には不均一な磁場が生じることになり, ボクセル内で回転している ¹H 原子核磁気モーメントの周波数に差が生まれ, 位相が変化

することになる。常磁性体は, 静磁場と同方向では磁束密度を増加させるため位相が遅れるが, 静磁場に直交する方向では磁束密度が減少して位相が進む。三次元的には, ドーナツの上下に球形構造があるような形態である (図2 b)。実際の画像でも出血による常磁性体の存在により, 位相画像の横断像 (静磁場に直交) では低信号の周囲に高信号が見られる (図2 c)。

なお, ボクセル内の位相分散が進めばエコーの収束が困難となり, T2* 短縮が生じる。これは強度画像での信号低下として観察される。

位相画像と SWI

MR 信号は, QD コイルでの直交検波では実成分 (real, 同位相成分) と虚成分 (imaginary, 直交位相成分) から成

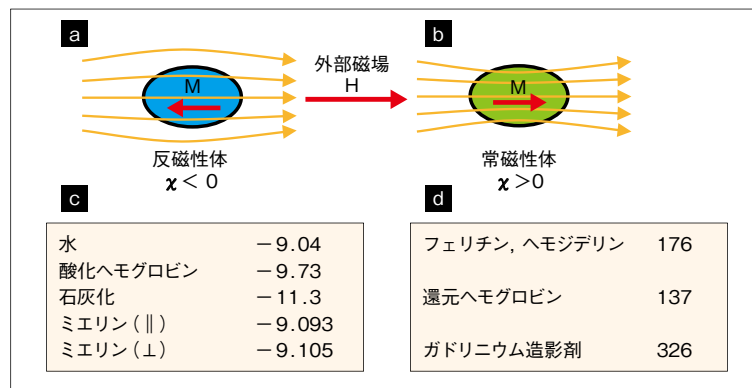


図1 外部磁場と磁化率

磁性体が強さ H の磁場内に存在するとき, 局所磁場 M が H と反対方向に形成されるものを反磁性体 (a), 同方向に形成されるものを常磁性体 (b) という。主な物質の磁化率を反磁性体 (c), 常磁性体 (d) それぞれで示す²⁾。摂氏 37°C 時, SI 単位 (ppm)。