

# 6. 生体構造・代謝物マッピングの最新動向

## —MT, MWF, CEST イメージングを中心に

金澤 裕樹

徳島大学大学院医歯薬学研究部医用画像物理学分野

MRIの緩和時間計測法を意味するMR relaxometryを用いた生体の構造解析は、マルチ水プールモデルを仮定して取得したMR信号から、髄鞘(ミエリン鞘)や軸索などの各構造物の水分量や代謝の情報を定量的に算出し可視化する技術として、近年注目されている。核磁気共鳴における現象に大別すると、磁化移動(magnetization transfer: MT)効果、T2減衰、T1緩和、化学交換飽和移動(chemical exchange saturation transfer: CEST)が代表的なものである。本稿では、生体構造・代謝物マッピングに関して、臨床応用が期待される技術を中心に紹介する。

### MT イメージング

MT効果は、バルク水と高分子周りについている結合水が互いに相互作用を起こし磁化が移動することで、MRIでもバルク水の信号が受けた変化を通して間接的に観察することが可能である。生体組織のMT効果は、Wolff & Balabanによる報告<sup>1)</sup>に始まり、MRAでの背景組織抑制や病変の性状評価など、臨床応

用されてきた。magnetization transfer ratio (MTR)は、簡易的にMT効果を数値化できるが、MTパルスの種類や強度、緩和特性、パルスシーケンスの影響を受けやすい。定量的磁化移動法(quantitative magnetization transfer: qMT)は、MT効果に内在するパラメータをモデル化することで、MTRよりも高い定量性を示すことができる。qMTは生体組織の水素原子の交換が、バルク水プールと制限プールの2つの間で行われていると仮定されるバイナリスピンモデルに基づいている<sup>2)</sup>(図1)。qMTの撮像に用いるパルスシーケンスはさまざまであるが、T1値計測に用いる一般的なインバージョンリカバリ(inversion recovery: IR)法や可変フリップアングル(variable flip angle: VFA)法に、いくつかのオフセット周波数を可変させたデータセットがqMTの計算に必要となる。qMTはパラメータ数が多く、その解釈が複雑なため、現在の臨床現場ではあまり普及していない。その一方で、qMT解析により、ミエリンの損傷により機能が低下する多発性硬化症

(multiple sclerosis: MS)の診断に有用であるという報告もある<sup>3)</sup>。また、マサチューセッツ工科大学のグループから配布されているオープンソースソフトウェアの「qMRLab」(<http://qmrlab.org/>)の中に、qMT解析ツールが提供されている。このソフトウェアは、MATLAB/Octave上で動作し、グラフィックユーザーインターフェイス(GUI)で操作でき、データセットもIR法やVFA法などに対応し、各種プールモデルも選択でき汎用性に優れているので、比較的臨床に導入しやすい。

さらに、不均一磁化移動(inhomogeneous magnetization transfer: ihMT)イメージングが注目されている。この手法は、同一強度のMTパルスを照射し、単一周波数( $\Delta f$ )オフセット飽和から生じる信号から、正負の周波数を交互に照射した二重周波数( $+\Delta f$ および $-\Delta f$ )オフセット飽和から生じるMT信号を減算することによって、画像化することができる<sup>4)</sup>(図2)。ihMT信号は、脂質のメチレン基には強い双極性相互作用が存在することがよく知られ

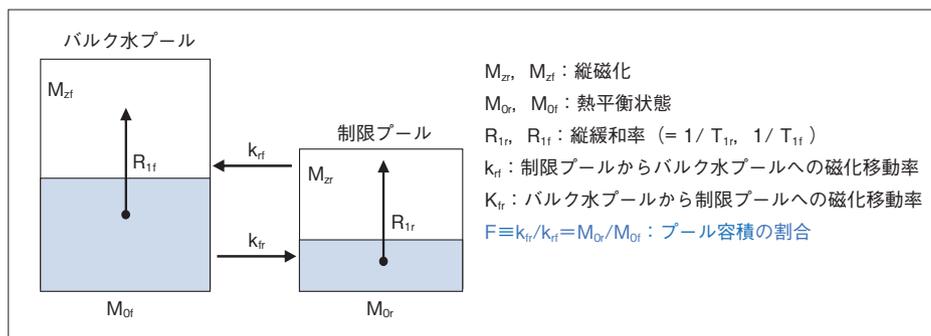


図1 qMTバイナリスピンモデルの概略図  
バルク水プールと制限プールをモデル化する。ここで、 $M_0$ は熱平衡状態、 $M_z$ は縦磁化、 $R_1$ は縦緩和率、 $k$ は磁化移動率である。各下付き文字は、 $f$ はバルク水プール、 $r$ は制限プールを示す。パラメータ $F$ は、プール容積の割合を表し、高分子濃度に比例する。