

＜拡散 MRI の基礎と応用 目次＞

第 1 章 MRI と生体内水分子の拡散 3

第 1 節 はじめに	3
第 2 節 MRI の基本原理	3
(1) MRI 装置の構成・3	
(2) 原子核の磁気モーメントと巨視的磁化・4	
(3) T1 緩和と T2 緩和：P1-1・7	
(4) Bloch 方程式・10	
(5) RF 磁場による励起・15	
(6) パルスシーケンスと画像再構成・16	
(7) 画像のコントラスト・19	
第 3 節 拡散現象と拡散 MRI	20
(1) 拡散現象・20	
(2) MRI による拡散現象の検出・21	
(3) 拡散テンソルと拡散 MRI 信号・28	
(4) 生体内水分子の拡散と 2- 指数関数モデル・39	
プログラム.....	42

第 2 章 Bloch 方程式の数値解法45

第 1 節 離散化された外部磁場に対する Bloch 方程式の解法	45
第 2 節 Bloch 方程式の数値解を求めるプログラム：P2-1	52
(1) プログラムの構造・52	
(2) 実行例 1：スライス選択励起のプロファイル・54	
(3) 実行例 2：グラジエントエコーの発生・58	
(4) 実行例 3：短い TR でスポイルド・グラジエントエコーの信号を 連続取得したときの過渡現象・60	
プログラム.....	64

第 3 章 磁化拡散方程式67

第 1 節 はじめに	67
第 2 節 物質の拡散	67
(1) 拡散方程式・67	
(2) デルタ関数状の初期分布の場合：P3-1・69	
(3) 矩形関数状の初期分布の場合：P3-2・71	

(4) ガウス関数状の初期分布の場合：P3-3, P3-4・73	
第3節 磁化の拡散	76
(1) 磁化の拡散方程式・76	
(2) 拡散検出傾斜磁場 (MPG) が加わらない条件下での拡散の例・77	
(3) 拡散検出傾斜磁場 (MPG) が加えられた条件下での拡散の例・85	
第4節 有限差分法による磁化拡散シミュレーション	91
(1) 磁化拡散方程式の差分化・91	
(2) 矩形関数状の初期磁化分布の拡散：P3-11・92	
(3) ガウス関数状の初期磁化分布の拡散：P3-12・94	
プログラム.....	99

第4章 細胞膜モデルを組み込んだ 拡散 MRI 信号シミュレーション 119

第1節 はじめに	119
第2節 細胞膜と水分子	119
(1) 細胞膜の構造・119	
(2) 神経細胞と神経細胞膜・120	
(3) 生体内水分子とアクアポリン・120	
第3節 拡散 MRI シミュレーションの構築	120
(1) プログラムの概要・120	
(2) 有限差分法を用いるための細胞膜モデル・121	
(3) MPG による位相変化および T2 緩和・123	
(4) 信号収集・124	
(5) シミュレーション条件：P4-1・124	
第4節 細胞内および細胞外空間のそれぞれ1点での評価：P4-2	139
第5節 細胞内拡散係数と細胞膜透過率の違いによる信号の変化：P4-3	141
(1) シミュレーション条件・141	
(2) シミュレーション結果・143	
プログラム.....	145

第5章 ラットおよびヒトの脳の拡散テンソル解析 161

第1節 はじめに	161
第2節 脳の解剖	161
(1) ラットとヒトの脳・161	
(2) ヒトの脳皮質の構造・161	
第3節 ラットの脳の拡散テンソル解析	163
(1) 画像収集・163	

(2) ADC (見かけの拡散係数) 画像 : P5-1・164	
(3) Jacobi 法による固有値と固有ベクトルの計算・166	
(4) 固有値画像, MD 画像, FA 画像, カラー画像 : P5-2・170	
第 4 節 ヒトの脳の拡散テンソル解析	176
(1) 画像収集・176	
(2) b 値の違いによる信号値画像と ADC 画像の変化・176	
(3) MPG の印加方向の違いによる ADC 画像の変化 : P5-1・178	
(4) 固有値画像, MD 画像, FA 画像, カラー画像 : P5-2・179	
プログラム	182

第 6 章 細胞内拡散係数と細胞膜透過率の推定 189

第 1 節 はじめに	189
第 2 節 ラットの脳の測定と解析	189
(1) MRI 信号の収集・189	
(2) 拡散 MRI のシミュレーション : P6-1・189	
(3) 評価関数 : P6-2・192	
(4) 細胞内拡散係数と細胞膜透過率の推定・193	
第 3 節 ヒトの脳の測定と解析	193
(1) MRI 信号の収集・193	
(2) 細胞内拡散係数と細胞膜透過率の推定・194	
第 4 節 推定結果について	195
プログラム	196

第 7 章 生体導電率の画像化 207

第 1 節 生体組織の導電率	207
第 2 節 導電率を推定する方法	208
第 3 節 非線形最小二乗法	209
第 4 節 連立一次方程式	211
第 5 節 導電率の解析プログラム : P7-1	212
プログラム	217

第 8 章 緩和過程の画像化 223

第 1 節 Brain Web から 3 次元データのダウンロード (T2WI, T1WI, PWI 編)	223
第 2 節 Brain Web から 3 次元データをダウンロード (組織画像編)	226

第 3 節	3 次元データから 2 次元画像の作成 (T2WI, T1WI, PWI 編)	227
(1)	File format : raw byte (unsigned)	227
(2)	File format : raw short (12 bit)	230
第 4 節	3 次元データから 2 次元画像の作成 (組織画像編)	231
(1)	Discrete Model のデータを使用した緩和時間画像, プロトン密度画像の作成	233
(2)	Fuzzy Model のデータを使用した緩和時間画像, プロトン密度画像の作成	235
第 5 節	Image J を用いた 3 次元データの画像表示法	237
(1)	3 次元画像の表示	237
(2)	2 次元画像の表示	240
第 6 節	MRI の画像処理例	240
(1)	緩和現象とコントラスト	241
(2)	解析的な解による緩和画像	242
(3)	数値積分による緩和画像	242
(4)	フィルタ補正逆投影法 (FBP 法) による再構成画像	247
プログラム		251

付 録..... 293

A.	C 言語の開発環境の設定	293
B.	本書に必要な C 言語の基礎	297
C.	回転座標系における Bloch 方程式の導出	311
D.	3 次元の拡散方程式の解	314
E.	Rodrigues の公式	315
F.	行列 Ω_2 の逆行列 Ω_2^{-1} を求める.	316
G.	自由拡散条件における拡散方程式の解	318
H.	拡散の二乗平均距離	321
I.	ガウス関数における標準偏差と半値全幅 (FWHM) の関係	323
J.	複素数を含む誤差関数の計算方法および関数 complex_erf	324
K.	ラグランジュの偏微分方程式	328
L.	磁化拡散方程式の周波数空間における一般解	329
M.	磁化拡散方程式の実空間における一般解	331
N.	有限差分法	333
プログラム		335

参考文献・343

記号・略語・347

索引・351

著者略歴・356