

CONTENTS

Q1

原子核磁気モーメント— 役者は量子の世界に住んでいる —

Q1-1	^1H 以外は MRI の対象外か?	16
Q1-2	^1H 原子核からの信号をすべて検出しているか?	19
Q1-3	どうして ^1H 原子核が磁気モーメントなのか?	20
Annex	電気的に中性の中性子が磁気モーメントを持っているのは?	21
Annex II	磁気モーメントの単位は $\text{A} \cdot \text{m}^2 = \text{J/T}$ or $\text{Wb} \cdot \text{m}$?	23
Q1-4	水が磁石?	24
Annex	酸素原子は水の磁性に関係ない?	25
Q1-5	スピンは「自転」?	26
Q1-6	^1H の γ はどのくらい?	27
Annex	電子の磁気モーメントは陽子の何倍?	28
Q1-7	外部磁場にさらされた ^1H 原子核磁気モーメントの向きは?	29
Q1-8	2 群に分かれた ^1H 原子核は, どちらが多い?	32
Annex	わずかな α 群と β 群の差を外部から検出できるか?	34
Annex II	超偏極で両群の差を大きくすることができるか?	34
Q1-9	磁気モーメント μ は本当に回転しているか?	37
Annex	μ の歳差運動は間違っている?	39
Q1-10	熱平衡状態とは?	42
Q1-11	共鳴させるのに必要なものは何?	42
Annex	磁気回転比 γ の単位は?	44

Q2

巨視的磁化— その振る舞いは古典力学に則って —

Q2-1	磁気モーメント μ と巨視的磁化 M の関係は?	48
Q2-2	RF を照射すると巨視的磁化 M はどう動く?	49
Q2-3	回転座標って何?	52
Annex	回転座標で誤魔化している?	53
Q2-4	回転座標で巨視的磁化 M はどう動く?	54
Q2-5	90° , 180° パルスはどう決まるのか?	60
Q2-6	90° パルス照射時の μ の振る舞いは?	63
Q2-7	NMR 信号は巨視的磁化 M の回転によるものか?	65
Annex	90° パルス以外のフリップ角の NMR 信号は?	68

Q3

磁気緩和—演技の決め手は緩和時間—

Q3-1	緩和とは？	72
Q3-2	緩和時間と緩和速度の関係は？	72
Q3-3	T ₁ とT ₂ の違いは？	74
Annex	180°パルス後の横緩和の減衰は？	77
Q3-4	T ₁ の間に縦磁化はどの程度回復し、T ₂ の間に横磁化はどこまで減衰するか？	78
Q3-5	緩和過程で原子核磁気モーメント μ はどうなっているのか？	81
Q3-6	縦(T ₁)緩和と横(T ₂)緩和は同時に進行するか？	83
Q3-7	緩和のメカニズムは？	84
Annex	DDIは分子内でしか生まれない？	85
Annex II	水分子の局所揺動磁場 ΔB はどのくらい？	87
Annex III	± 7 ガウスの局所揺動磁場 ΔB は何秒で位相を分散する？	88
Q3-8	縦緩和のメカニズムは？	89
Annex	T ₁ は高磁場ほど長くなる？	91
Q3-9	T ₂ [*] とT ₂ の違いは？	91
Q3-10	どうして T ₁ \geq T ₂ \geq T ₂ [*] なのか？	93
Q3-11	BPP 理論って何？	93
Q3-12	緩和時間を短縮するには？	96
Q3-13	緩和能と緩和速度は同じか？	99
Annex	mM ⁻¹ s ⁻¹ と(mmol/L) ⁻¹ s ⁻¹ は同じ？	101
Q3-14	緩和時間の測定法は？	101
Q3-15	T _{1ρ} も組織に特有な緩和時間なのか？	102

Q4

MR 信号—台詞は暗号化されている—

Q4-1	NMR 信号は角周波数 ω_0 の正(余)弦波なのか？	108
Q4-2	実信号が本当の信号で、虚信号は偽物なのか？	111
Annex	実信号と虚信号が反対？	114
Q4-3	NMR 信号と横緩和の関係は？	114
Q4-4	NMR 信号の吸収モードと分散モードとは？	116
Annex	単一の周波数で成り立っている波のスペクトルに幅があるのはなぜ？	118
Q4-5	NMR 信号はもっと複雑？	120
Q4-6	NMR 信号の種類は FID, SE, GRE, STE ?	122
Annex	量子化された原子核磁気モーメント μ が x-y 面を回転したり、x'軸を半周したりするなんて？	125
Annex II	SE が T ₂ [*] を排除できるのに T ₂ 緩和を排除できないのは？	127
Q4-7	信号は何個生まれるのか？	132
Q4-8	NMR 信号の S/N は静磁場の強さに比例するか？	133
Q4-9	緩和時間はどのように測定されるのか？	134
Annex	1つの t で測定して大丈夫？	136
Annex II	FID の初期値は測定しにくいのでは？	137

Annex III 2つのTEで測定すれば大丈夫? 139

Q4-10 MRI信号と傾斜磁場の関係は? 142

Q4-11 MRI信号はすでにフーリエ変換されている? 142

Q4-12 NMR信号とMRI信号と画像の信号はどう違う? 147

Q5

k空間と画像構成 — 暗号を解読する舞台裏空間 —

Q5-1 k空間のkは何のこと? 150

Annex 波数と周波数は違う? 150

Q5-2 k空間の座標軸は? 151

Q5-3 フーリエ画像構成法とk空間の関係は? 152

Q5-4 磁場勾配のタイミングは? 154

Annex $G_{RO} = G_x, G_{PE} = G_y$? 155

Q5-5 G_{RO} が反転するのはなぜ? 157

Annex SEでは G_{RO} の反転は不要? 158

Annex II 片流れの信号ではMR画像を作成できない? 159

Q5-6 周波数エンコードと位相エンコードはどこが違う? 159

Annex どうして加算回数(NSA)を1/2にするのか? 163

Q5-7 MRI信号の左端はx座標の左端? 163

Q5-8 k空間はどのように埋められるのか? 165

Annex $\Delta\phi$ は $\pm\pi$ (rad)を超えてはいけない? 168

Q5-9 MRI信号はどのようにデジタルサンプリングされるのか? 170

Annex -(マイナス)の周波数? 172

Q5-10 k空間からMR画像はどのように作られるのか? 173

Annex フーリエ級数は近似式? 175

Q5-11 強度画像と位相画像があるのですか? 178

Q5-12 k空間の中心部と周辺では画像作成の役割が違う? 180

Annex keyhole imagingは何のこと? 181

Annex II 実空間周辺部のボクセルほど内部のisochromatの位相差 $\Delta\phi$ が大きい? 181

Q5-13 k空間が大きいほどボクセルは小さい? 188

Annex 0充填法は何のこと? 191

Q5-14 k空間のエルミート対称? 192

Annex k空間の1/4あれば画像はできる? 195

Q5-15 k空間軌跡? 197

Q5-16 パラレルイメーシング? 203

Q5-17 圧縮センシングは画像圧縮と違う? 212

Annex 部分フーリエ法やパラレルイメーシングも少数サンプリングによる高速撮像法? 215

Q6

パルスシーケンス — 好みのテーマを演出する魔術師 —

Q6-1 パルスシーケンスって何? 218

Annex 外的因子(TR, TE...)の信号への影響は? 221

Q6-2 SEは信号形態じゃなかったの? 222

Annex 180°再収束パルスは縦磁化の回復を妨げる? 224

Annex II SEは不均一な静磁場の影響を受けない?	225
Q6-3 FSEとTSEは同じか?	226
Annex FSEの画像はSEの画像と同じか?	231
Annex II FRFSEの画像はFSEと同じか?	233
Q6-4 T ₁ (画)像とT ₁ 強調(画)像, T ₂ (画)像とT ₂ 強調(画)像は同じ?	236
Annex T ₁ 強調(画)像で高信号を見たか?	238
Q6-5 さまざまなGRE系シーケンスはどう違う?	239
Annex GREシーケンスでは、なぜ部分フリップ角 α を使うのか?	244
Annex II SEシーケンスでは、なぜ部分フリップ角 α が使われないのか?	246
Q6-6 スポイルドGREはT ₁ 強調?	248
Annex スポイルドGREで大きい α (60~90°)ではなく中程度の α (30~50°)を使うのはなぜ?	250
Q6-7 共鳴オフセット角 β とFLASH bandの関係は?	250
Q6-8 横磁化のスポイリング法は?	254
Q6-9 MP-GREを説明してください	258
Q6-10 コヒーレントGREのFISP, PSIF, TrueFISPはどう違う?	260
Annex RARE ROASTとROASTの違いは?	263
Q6-11 DESS, CISSとbalanced SSFPの違いは?	264
Annex SSFPは腹部でも大丈夫?	267
Q6-12 EPIで位相エンコード方向に化学シフトアーチファクトが現れるのはなぜ?	268
Annex EPIの実効TE(TE _{eff})は?	273
Q6-13 EPIが最速のパルスシーケンス?	274
Annex MB-EPIはどのようなシーケンス?	275
Q6-14 反転回復(IR)パルスはT ₁ 強調の予備パルスなのか?	279
Annex IRシーケンスでバックグラウンドより低い信号があるのはなぜ?	281
Q6-15 STIRとFLAIRもIRシーケンス?	283
Annex STIRとSPIRはどこが違う?	286
Annex II FLAIRでCSFが部分的に高信号になるのはなぜ?	287
Annex III Gd造影FLAIRで髄膜病変が明瞭になるのはなぜ?	288
Q6-16 DEパルスの目的は?	294
Annex 二項RFパルスはT ₂ 強調以外にも使われる?	295
Q6-17 SWIはT ₂ *強調像とはどこが違う?	295
Annex SWIでT ₁ を短縮するGd造影剤を使うと、血管内の信号が上昇して静脈が見えなくなる?	299
Q6-18 BOLD法で賦活部が高信号になるのはなぜ?	300

Q7

脂肪と蛋白質— 目立ちすぎる三枚目と密かに蠢く黒子 —

Q7-1 水と脂肪のプロトン(¹ H)の化学シフトの差は?	304
Annex 中性脂肪の ¹ Hの化学シフトはすべて水より約3.5ppm低い?	307
Q7-2 化学シフトアーチファクトは周波数エンコード方向だけ?	308
Q7-3 脂肪抑制と脂肪飽和は同じ?	311
Annex STIRで信号が低下すれば脂肪?	312
Annex II CHESS法で脂肪の信号は完全に抑制される?	318

Q7-4	Dixon 法は水と脂肪の化学シフト差を利用しているの？	319
Annex	Dixon 法は何に使われるの？	322
Annex II	同位相画像より TE の長い逆位相画像は使えない？	322
Q7-5	逆位相画像で脂肪の信号が低下しないのはなぜ？	323
Q7-6	逆位相画像で臓器が黒く縁取られるのはなぜ？	324
Annex	Dixon 法は低磁場でも可能か？	325
Q7-7	造影後に逆位相法で信号が低下するのはなぜ？	326
Annex	逆位相法以外に造影後に信号が低下するのは？	326
Q7-8	副腎皮質腺腫の信号が逆位相法で低下するのは？	328
Q7-9	Dixon 法は SE にはないのですか？	331
Q7-10	J カップリングと脂肪はどんな関係にあるのですか？	336
Annex	J は静磁場強度によって変化する？	340
Q7-11	「MT 効果」とは何？	341
Annex	MT 効果は $T_{1\rho}$ に似ている？	346
Q7-12	「CEST」とは何？	347
Q7-13	「高分子水和効果」とは何？	351
Annex	「表面効果」とは何？	352
Q7-14	「魔法角(magic angle)」とは何？	353
Annex	魔法角になると T_2 強調像で高信号になるのでは？	354

Q8

静磁場— 役者を生かす檯舞台 —

Q8-1	北極の方向に N 極があるのですか？	358
Annex	地球磁場の強さは？	359
Q8-2	地球の N 極が北極にほぼ一致していた？	360
Q8-3	静磁場の「静」は何のこと？	361
Q8-4	MRI 装置の静磁場はどのように作られるの？	362
Annex	超伝導コイルには無限の電流を流せる？	367
Q8-5	「クエンチ」って何？	368
Q8-6	液体ヘリウム 1L は気化すると何 L になるか？	370
Q8-7	「シムコイル」って何？	372
Annex	MRI における静磁場の均一性の程度は？	373
Annex II	静磁場を 0.1ppm まで均一にすると画像はよくなる？	373
Q8-8	ガウスとテスラの関係は？	374
Q8-9	磁場強度と磁束密度は同じなの？	374
Q8-10	磁場強度と磁束密度は比例関係？	381
Q8-11	磁化は磁場強度と磁束密度のどちらと同じ単位なの？	385
Q8-12	磁気の基本的物理量は磁荷(磁気量)ではないの？	386
Q8-13	静磁場の力学的作用は？	387
Annex	力学的作用以外の人体への影響は？	391
Q8-14	1 ニュートンはどのくらいの力？	391
Q8-15	磁場はどのように遮蔽されるのか？	392
Annex	永久磁石の能動磁気遮蔽は？	395

Q8-16	5 ガウスラインは何の線？	396
Q8-17	アクティブシールド（能動遮蔽型）MRI 装置は安全か？	396
Q8-18	3T と 1.5T の画像はどう違う？	398
Annex	3T の生体への影響は？	404
Q8-19	3T になると誘電効果が現れるのはなぜ？	406
Annex	肥満者の RF 磁場不均一が目立たないのは？	409

Q9

磁性— 役者を生かす名化粧 —

Q9-1	紙や水にも磁性がある？	412
Annex	磁化率が大きいとなぜ周囲への影響が大きくなるのか？	413
Annex II	磁化率効果を左右する因子は何？	415
Q9-2	反磁性体にはどんなものがあるのか？	416
Annex	反磁性体の MRI での役割は？	418
Q9-3	常磁性体にはどんなものがあるのか？	420
Annex	Na と Na ⁺ の磁性は同じか？	423
Annex II	常磁性体の MRI での役割は？	424
Q9-4	強磁性の特徴は磁化率が大きいことだけ？	425
Annex	キュリー点とは何？	428
Q9-5	強磁性体にはどんなものがあるのか？	428
Annex	強磁性体の MRI での役割は？	431
Q9-6	鳩の生体内で磁場を感知しているのは強磁性体？	432
Q9-7	体内にある「鉄」は強磁性？	435
Q9-8	なぜデオキシヘモグロビンは常磁性で、オキシヘモグロビンは反磁性なのか？	436
Annex	さまざまな「鉄」の磁性をまとめると？	440
Q9-9	ヘモジドリン、フェリチンは T ₂ (T ₂ [*]) 短縮効果が強く、 メトヘモグロビンは T ₁ 短縮作用が強いのはなぜ？	441
Annex	血腫の信号強度の時間経過は？	443
Q9-10	Gd は常磁性体？	446
Annex	Gd ³⁺ をそのままでは造影剤としては使えない理由は？	449
Annex II	NSF(腎性全身性線維症)の原因は遊離 Gd ³⁺ ？	449
Annex III	肝細胞特異性造影剤は腎からは排泄されない？	453
Q9-11	Gd ³⁺ 溶液や Fe ³⁺ 溶液が高濃度になると低信号になるのはなぜ？	454
Annex	Gd 造影剤が陰性造影剤として使われる？	458
Annex II	SPIO が T ₁ 短縮（陽性）造影剤として使われないのはなぜ？	459
Annex III	血液プール造影剤には何がある？	459
Annex IV	経口造影剤は常磁性体？	460
Q9-12	脂肪はなぜ造影されないのか？	461
Annex	Gd ³⁺ は圧倒的に多い水分子の T ₁ をどのようにして短縮するのか？	461
Q9-13	メラニンが T ₁ 強調像で高信号になるのはなぜ？	462
Q9-14	酸素分子(O ₂)が常磁性なのはなぜ？	466
Annex	O ₂ の磁化率効果が目立たないのはなぜ？	468

Q10 傾斜磁場— 舞台を彩る大道具 —

Q10-1	磁場傾斜と傾斜磁場は違うの？	474
Annex	磁場勾配が強い？ 負の磁場勾配？ 磁場勾配は何方向？	475
Q10-2	傾斜磁場 $B(x)$ の方向は x 方向？	478
Q10-3	磁場勾配はどのように作られる？	479
Annex	傾斜磁場コイルの電流は？	483
Annex II	斜め方向のスライスを撮影する時の磁場勾配は？	483
Q10-4	渦電流は傾斜磁場に影響する？	484
Q10-5	グラディエントモーメント (gradient moment : GM) ?	487
Q10-6	「スルーレート」と dB/dt は同じか？	489
Q10-7	高性能傾斜磁場コイルは何が高性能なの？	491
Q10-8	断層面はどのように決まるの？	492
Annex	断層を薄くするには送信バンド幅 (BW) を狭くすればよい？	494
Q10-9	スライス選択磁場勾配 G_{SS} の負のローブは何のため？	495
Q10-10	MR 検査中のトントントンという音は何？	496
Annex	傾斜磁場コイルの受ける力は？	497
Annex II	RF コイルからの音は？	498
Q10-11	傾斜磁場の人体への影響は？	498
Annex	傾斜磁場による誘導電流は加熱の原因にはならない？	504
Annex II	静磁場は被写体内に誘導電流を生じない？	505

Q11 RF— 阿吽の呼吸の舞台照明 —

Q11-1	RF って何？	508
Q11-2	RF はどのように作られる？	510
Annex	RF コイルを流れる電流は？	513
Q11-3	送信と受信は同じコイルを使うのか？	515
Annex	RF コイルの向きを制限するのは？	516
Q11-4	RF 磁場が x - y 平面を回転するのはなぜ？	519
Q11-5	直角位相コイル？	521
Annex	直角位相コイルそれぞれが逆方向の 2 つの回転磁場を形成する？	523
Annex II	直角位相コイルで S/N が $\sqrt{2}$ 倍になるのはなぜ？	525
Q11-6	RF 送信機は何をしているの？	525
Q11-7	シンク波が使われるのはなぜ？	527
Q11-8	実際に送信される RF パルスはどんな波？	533
Q11-9	共振回路とインピーダンス整合？	535
Q11-10	RF の単位は J, W それとも T ?	539
Q11-11	RF 加熱と SAR の関係は？	541
Q11-12	RF 磁場による dB/dt の人体への影響は？	546
Annex	静磁場, 傾斜磁場, RF 磁場の特徴と人体への影響は？	548
Q11-13	フェーズドアレイコイル？	549
Annex	磁化が誘導する起電力はコイルの大きさに関係ない？	550

Q11-14	コンポジットパルスと断熱高速通過パルスの目的は？	552
Q11-15	パラレル RF 送信の利点は？	558
Q11-16	RF スポイリング, RF 遮蔽などについて説明してください。	562

Q12 流れの MRI— 役者の動きを舞台に生かす —

Q12-1	「流れ」によって信号強度はどのように変化するのか？	564
Q12-2	血管内は栓流, 層流, 乱流あるいは渦流のどれ？	565
Annex	直径 1cm の血管で層流が保たれる速度は？	567
Q12-3	飛行時間(time of flight)効果とは何か？	569
Annex	high velocity signal loss と flow void は同じ？	572
Annex II	GRE で血管内が高信号になるのはなぜ？	573
Q12-4	血管の中心部分だけ低信号になるのはなぜ？	573
Q12-5	TOF 血管造影は TOF 効果を利用している？	575
Annex	G_{PE} に FC を使わないのはなぜ？	578
Q12-6	3D TOF-MRA は 2D とどこが違う？	579
Q12-7	^1H 原子核が流れていると位相がシフトする？	583
Annex	$2G_x$ を時間 T 受けた時と, G_x を $2T$ 受けた時の位相シフトは同じ？	584
Annex II	G_x を時間 $2T$ 受けた時, 前半の T と後半の T に受ける位相シフトは同じ？	585
Q12-8	流れによる位相分散とは？	586
Annex	位相シフトと位相分散は違うのでは？	586
Q12-9	流速補正はどのようにするのか？	589
Annex	偶数番エコー再収束とは？	592
Q12-10	PC-MRA ?	593
Annex	BPG の正負のローブが離れていても位相シフトは同じ？	598
Q12-11	bright blood MRA の血管内腔径は正確か？	599
Q12-12	空間飽和・反転パルスを MRA ではどう使う？	600
Q12-13	black blood MRA も TOF 効果を利用している？	603
Annex	GRE では black blood MRA にはならないのか？	604
Q12-14	流速によるゴーストはなぜ位相エンコード方向に現れるのか？	607
Annex	高信号と低信号のゴーストがあるのはなぜ？	610
Q12-15	拡張期偽同期とは？	611
Q12-16	FBI は bright blood MRA なの？	613
Annex	Time-SLIP も非造影 MRA ?	615
Q12-17	造影 MRA ?	619
Annex	造影 MRA の撮像タイミングは？	620
Annex II	MR-DSA は造影 MRA ?	620
Annex III	4D 造影 MRA とは？	622
Q12-18	DSC 灌流画像における信号低下と造影剤濃度は比例するか？	624
Annex	DSC で造影剤による T_1 短縮は関係ない？	626
Annex II	DSC-PWI のパルスシーケンスは？	626
Q12-19	転送関数 $h(t)$, 蓄積関数 $H(t)$, 残余関数 $R(t)$ の関係は？	627
Annex	平均通過時間(MTT)の意義は？	630
Q12-20	DSC 灌流画像で組織の血流量を測定できる？	631

Annex	$C_{VOI}(t)$ 曲線から F と MTT が求まるか?	636
Annex II	要約パラメータは何?	637
Annex III	脳以外の DSC は?	637
Q12-21	CASL と PASL は何ですか?	639
Annex	EPICSTAR で最初に飽和パルス照射するのは何のため?	648
Annex II	pCASL, tASL は何?	649
Q12-22	MRI で水の拡散や生体の硬さがわかる?	650

Q13 アーチファクト— 舞台を損なう迷役者 —

Q13-1	MRI のアーチファクトをまとめると?	654
-------	---------------------	-----

Q14 安全性— 舞台を護るガードマン —

Q14-1	静磁場の人体への影響はないのか?	658
Q14-2	傾斜磁場の安全性に関して考慮すべきことは?	660
Q14-3	RF の安全性で考慮すべきことは?	661
Q14-4	MRI の Gd 造影剤は安全か?	662
Q14-5	妊婦が MRI を受けても問題ないか?	666
Annex	Gd 造影剤は胎児に移行する?	666
Q14-6	IEC 規格は何?	666
Annex	音圧レベルと等価騒音レベルの違いは何?	671

付録 1	主な物理定数	673
付録 2	MKSA (SI) 単位と $E-H$, $E-B$ 対応	674
付録 3	オイラーの公式	675
付録 4	フーリエ級数	675
付録 5	フーリエ変換	677
付録 6	周波数と波数	680
付録 7	三角関数	681
付録 8	デルタ関数	683
付録 9	偶関数と奇関数	684
付録 10	たたみこみ積分 (接合積)	684
付録 11	MRI 用語 / acronym 比較表	685
付録 12	MRI 略語集	686

索引	692
----	-----