

第8章

MRIにおける アーチファクト

8

第7章までの計算機シミュレーションでは仮定したファントムをきれいに再構成することができたが、実際の装置における再構成画像には得られるべき画像ではないアーチファクトと呼ばれる虚像がさまざまな理由で混入してくる。

本章では、再構成画像に混入するアーチファクトから、計測中に被写体が動いたときに生じるモーションアーチファクト、境界線からリング状に波打つような筋が生じるギブスのリングアーチファクト、サンプリングの間隔によって折り返しが出てしまうエイリアジングアーチファクト、分子の構造によって共鳴周波数が増えることによりイメージングの検出位置がシフトしてしまう化学シフトアーチファクトをとり上げる。

〔第1節〕 投影再構成法におけるモーションアーチファクト

投影再構成法においては1方向に勾配磁場 G を加えるので、その方向における水素原子核の共鳴周波数はその方向で線形的に変化する。勾配磁場を加える方向を X とし、位置 X_0 に強度 S_0 で水素原子が存在するときの投影再構成法における計測データは、

$$s_{re}(t) = S_0 \cos[\gamma(B_0 + GX_0)t] \quad (8-1)$$

$$s_{im}(t) = -S_0 \sin[\gamma(B_0 + GX_0)t] \quad (8-2)$$

となる。ここで、 $s_{re}(t)$ は実部の計測データで、 $s_{im}(t)$ は虚部の計測データである。投影再構成法では、勾配磁場の方向を変えながら各方向の投影のフーリエ変換に相当するデータを計測していく。よって、計測データは X の関数となる。計測データ上の水素原子の位置 $X(\theta)$ は点の座標が (x_0, y_0) の場合、

$$X(\theta) = x_0 \cos \theta + y_0 \sin \theta \quad (8-3)$$

となる。したがって、計測データは、

$$s_{re}(t, \theta) = S_0 \cos[\gamma G(x_0 \cos \theta + y_0 \sin \theta)t] \quad (8-4)$$

$$s_{im}(t, \theta) = -S_0 \sin[\gamma G(x_0 \cos \theta + y_0 \sin \theta)t] \quad (8-5)$$

となる。

ここで、被写体が x 方向に速度 v_x で動いたとすると計測データは、

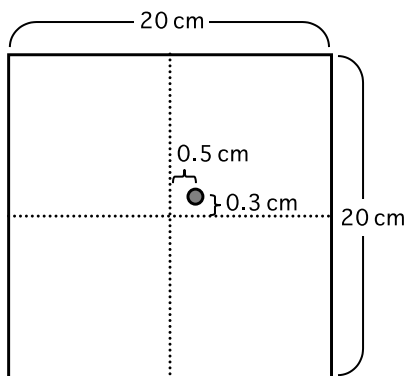


図8-1 1点にのみ水素原子がある画像
画像の大きさは20cm 正方形で，水素原子は
(0.5cm , 0.3cm) の位置にある．

$$s_{re}(t, \theta) = S_0 \cos[\gamma G \{(x_0 + v_x t) \cos \theta + y_0 \sin \theta\} t] \quad (8-6)$$

$$s_{im}(t, \theta) = -S_0 \sin[\gamma G \{(x_0 + v_x t) \cos \theta + y_0 \sin \theta\} t] \quad (8-7)$$

となり，また，動きが複数の投影計測にまたぐ場合の計測データは，

$$s_{re}(t, \theta) = S_0 \cos[\gamma G \{(x_0 + v_x t + n v_x TR) \cos \theta + y_0 \sin \theta\} t] \quad (8-8)$$

$$s_{im}(t, \theta) = -S_0 \sin[\gamma G \{(x_0 + v_x t + n v_x TR) \cos \theta + y_0 \sin \theta\} t] \quad (8-9)$$

となる．ここで， n は被写体が動き出してから投影を撮像した回数で， TR は投影を計測する繰り返し時間である．この計測において被写体が時間 t の間動いて静止したとすると，それ以降の計測は，

$$s_{re}(t, \theta) = S_0 \cos[\gamma G \{(x_0 + v_x \Delta t) \cos \theta + y_0 \sin \theta\} t] \quad (8-10)$$

$$s_{im}(t, \theta) = -S_0 \sin[\gamma G \{(x_0 + v_x \Delta t) \cos \theta + y_0 \sin \theta\} t] \quad (8-11)$$

となる．

(1) 1点画像のシミュレーション

モーションアーチファクトを含んだ計測に実際の値をあてはめて，シミュレーションを行う．静磁場強度を1Tとし勾配磁場 G を0.12G/cmとする．画像の視野を1辺が20cmの正方形と仮定し，図8-1のように画像の中心から(0.5cm, 0.3cm)のところに1点だけ水素原子が存在すると仮定する．計測のサンプリングを0.1msごとに行い，角度 θ は， $2\pi/128$ ごとに变化させ128個の投影を計測する．投影ごとの繰り返し時間 $TR = 1000$ msで，被写体が $v_x = 0.15$ cm/sの速さで x 方向に投影の $m = 54$ から74の間動いたとする．動いている間の計測は，

$$s_{re}(k, m) = \cos[2 \times \pi \times 42.58 \times 10^6 \times 0.12 \times 10^{-4} \times u(k, m) \times 0.15 \times k \times 10^{-4}] \quad (8-12)$$

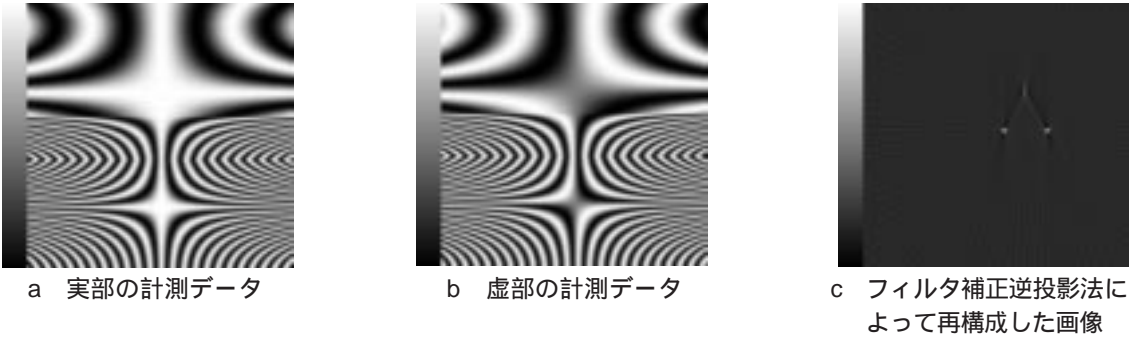


図8-2 投影再構成法における1点画像のモーションアーチファクト(1)

投影を撮像する繰り返し時間 $TR = 1000\text{ms}$ で、被写体(1点画像)が x 方向に $v_x = 0.15\text{cm/s}$ の速さで投影の $m = 54$ から 74 までの間動いたときの計測データと、そのデータをもとに再構成した画像。

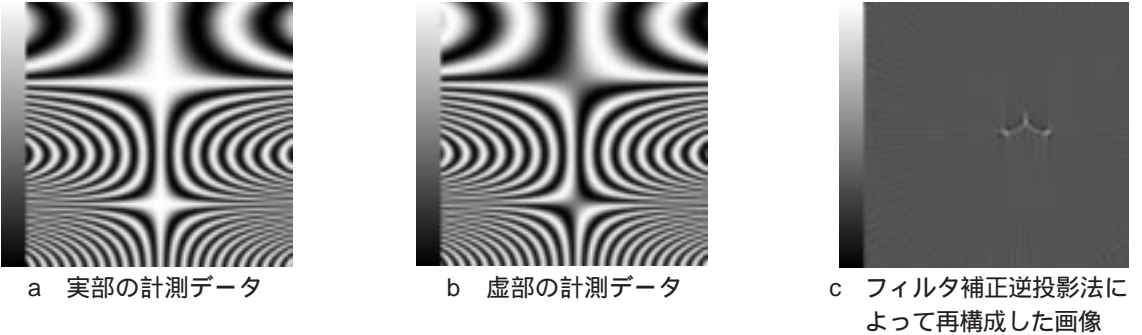


図8-3 投影再構成法における1点画像のモーションアーチファクト(2)

被写体(1点画像)が x 方向に $v_x = 0.05\text{cm/s}$ の速さで投影の $m = 34$ から 94 までの間動いたときの計測データと、そのデータをもとに再構成した画像。

$$s_m(k, m) = -\sin[2 \times \pi \times 42.58 \times 10^6 \times 0.12 \times 10^{-4} \times u(k, m) \times 0.15 \times k \times 10^{-4}] \quad (8-13)$$

ここで、

$$u(k, m) = (0.5 + 0.15 \times k \times 10^{-4} + [54 - m] \times 0.15 \times 1.0) \times \cos(2 \times \pi \times m / 128) + 0.3 \times \sin(2 \times \pi \times m / 128) \quad (8-14)$$

となる。この計測データは図8-2a, bのようになる。図8-2a, bの計測データをもとにフィルタ補正逆投影法で再構成した画像を図8-2cに示す。また、被写体が $v_x = 0.05\text{cm/s}$ の速さで投影の $m = 34$ から 94 の間動いたときの計測データと再構成画像をそれぞれ図8-3a, b, cに示す。さらに、被写体が $v_x = 0.025\text{cm/s}$ の速さで投影の $m = 4$ から 124 の間動いたときの計測データと再構成画像をそれぞれ図8-4a, b, cに示す。

次に、被写体が y 方向に動いた場合を考える。被写体が y 方向に速度 v_y で動いたとすると、計測データは、

$$s_{re}(t, \theta) = S_0 \cos[\gamma G \{x_0 \cos \theta + (y_0 + v_y t) \sin \theta\} t] \quad (8-15)$$

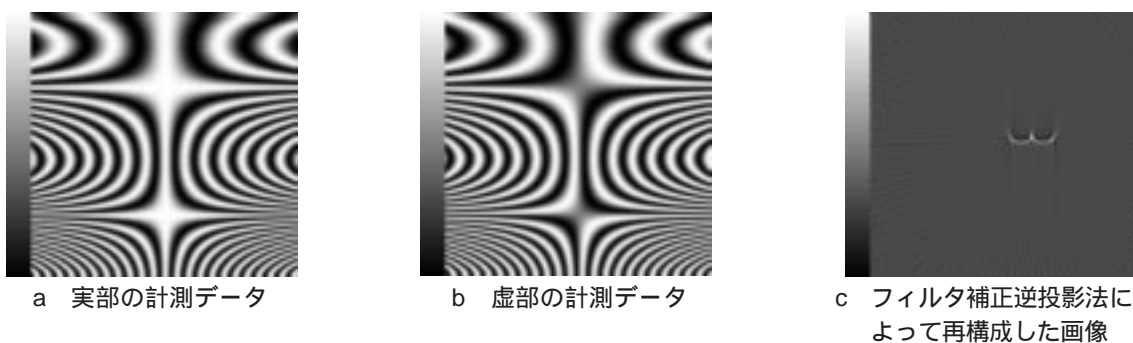


図8-4 投影再構成法における1点画像のモーションアーチファクト(3)

被写体(1点画像)が x 方向に $v_x = 0.025\text{cm/s}$ の速さで投影の $m = 4$ から124までの間動いたときの計測データと, そのデータをもとに再構成した画像.

$$s_{im}(t, \theta) = -S_0 \sin[\gamma G \{x_0 \cos \theta + (y_0 + v_y t) \sin \theta\} t] \quad (8-16)$$

となり, また, 動きが複数の投影計測にまたぐ場合の計測データは,

$$s_{re}(t, \theta) = S_0 \cos[\gamma G \{x_0 \cos \theta + (y_0 + v_y t + n v_y TR) \sin \theta\} t] \quad (8-17)$$

$$s_{im}(t, \theta) = -S_0 \sin[\gamma G \{x_0 \cos \theta + (y_0 + v_y t + n v_y TR) \sin \theta\} t] \quad (8-18)$$

となる. ここで, n は被写体が動き出してから投影を撮像した回数で, TR は投影を計測する繰り返し時間である. 被写体が時間 t の間動いて静止したとするとそれ以降の計測は,

$$s_{re}(t, \theta) = S_0 \cos[\gamma G \{x_0 \cos \theta + (y_0 + v_y \Delta t) \sin \theta\} t] \quad (8-19)$$

$$s_{im}(t, \theta) = -S_0 \sin[\gamma G \{x_0 \cos \theta + (y_0 + v_y \Delta t) \sin \theta\} t] \quad (8-20)$$

となる.(8-17), (8-18)式に x 方向への移動と同様の条件で, 被写体が $v_y = 0.15\text{cm/s}$ の速さで y 方向に投影の $m = 54$ から74の間動いたとすると, そのときの計測は,

$$s_{re}(k, m) = \cos[2 \times \pi \times 42.58 \times 10^6 \times 0.12 \times 10^{-4} \times u(k, m) \times 0.15 \times k \times 10^{-4}] \quad (8-21)$$

$$s_{im}(k, m) = -\sin[2 \times \pi \times 42.58 \times 10^6 \times 0.12 \times 10^{-4} \times u(k, m) \times 0.15 \times k \times 10^{-4}] \quad (8-22)$$

ここで,

$$u(k, m) = 0.5 \times \cos(2 \times \pi \times m / 128) + (0.3 + 0.15 \times k \times 10^{-4} + [54 - m] \times 0.15 \times 1.0) \times \sin(2 \times \pi \times m / 128) \quad (8-23)$$

となる. この計測データは図8-5a, bのようになる. 図8-5a, bの計測データをもとに再構成した画像を図8-5cに示す. また, 被写体が $v_y = 0.05\text{cm/s}$ の速さで投影の $m = 34$ から94の間動いたときの計測データと再構成画像をそれぞれ図8-6a, b, cに示す. さらに, 被写体が $v_y = 0.025\text{cm/s}$ の速さで投影の $m = 4$ から124の間動いたときの計測データと再構成画像をそれぞれ図8-7a, b, cに示す.

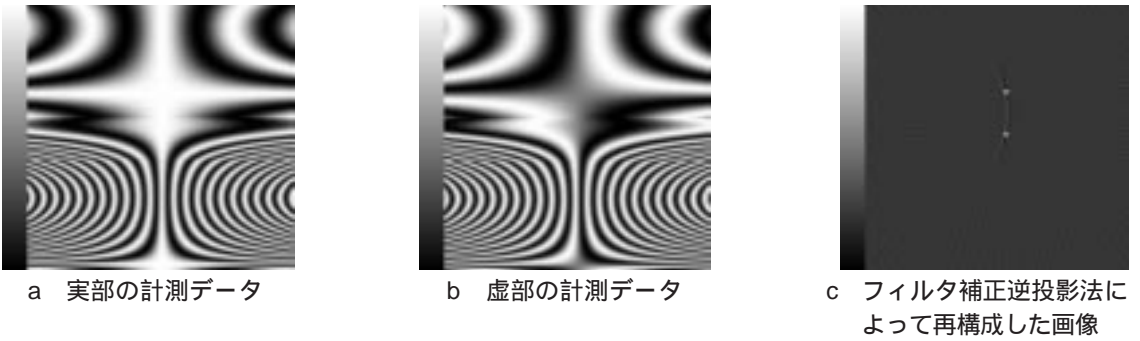


図8-5 投影再構成法における1点画像のモーションアーチファクト(4)

被写体(1点画像)が y 方向に $v_y = 0.15\text{cm/s}$ の速さで投影の $m = 54$ から74までの間動いたときの計測データと、そのデータをもとに再構成した画像。

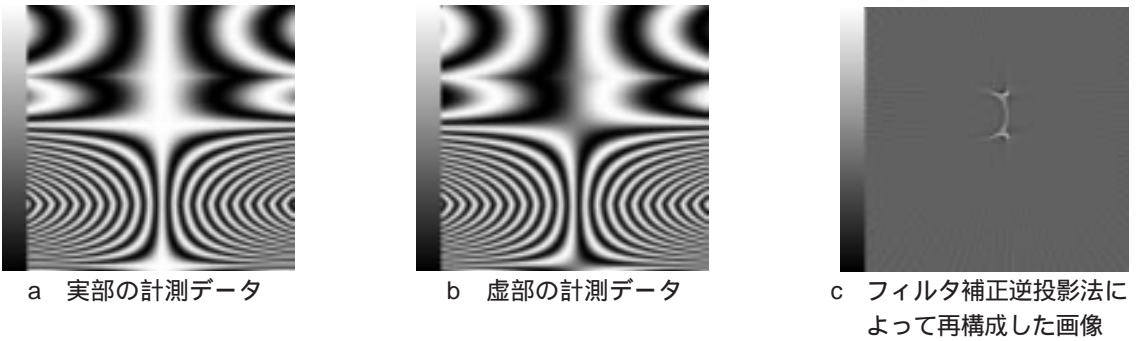


図8-6 投影再構成法における1点画像のモーションアーチファクト(5)

被写体(1点画像)が y 方向に $v_y = 0.05\text{cm/s}$ の速さで投影の $m = 34$ から94までの間動いたときの計測データと、そのデータをもとに再構成した画像。

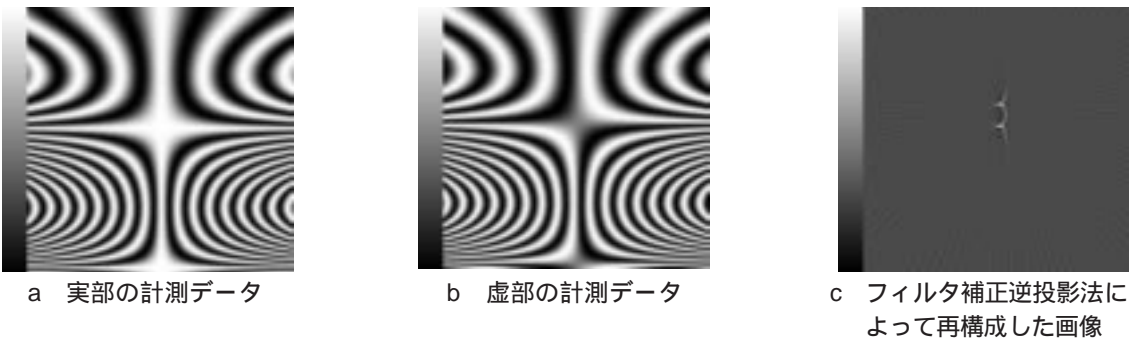


図8-7 投影再構成法における1点画像のモーションアーチファクト(6)

被写体(1点画像)が y 方向に $v_y = 0.025\text{cm/s}$ の速さで投影の $m = 4$ から124までの間動いたときの計測データと、そのデータをもとに再構成した画像。