

『今からでも大丈夫!! MRI入門Part3』

アーチファクトの基礎

ケミカルシフトアーチファクト
磁化率アーチファクトの基礎

横浜市立大学附属病院 平野恭正

2014年2月7日

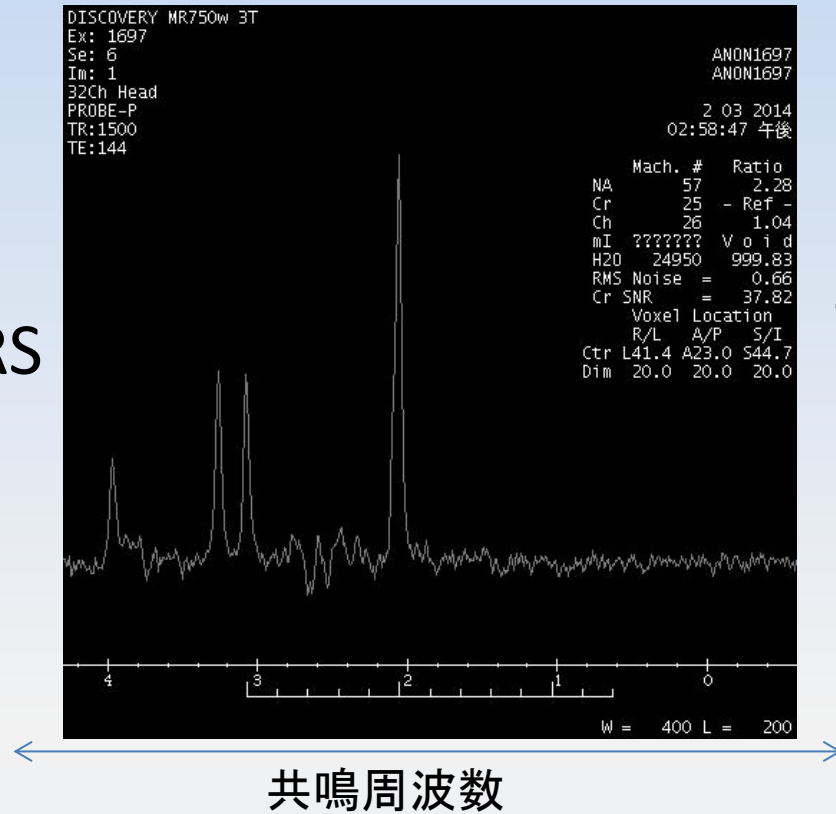
アーチファクトの種類

- ①動きによるアーチファクト(motion artifact)
拍動、脳脊髄液の流れによるもの
体動によるもの
- ②ケミカルシフトアーチファクト(chemical shift artifact)
- ③磁化率アーチファクト(magnetic susceptibility artifact)
- ④打ち切りアーチファクト(truncation artifact)
- ④折り返しアーチファクト(aliasing artifact)
- ⑤ジッパーアーチファクト(zipper artifact)
- ⑥クロストークアーチファクト(crosstalk artifact)
- ⑦外部磁場によるアーチファクト
などなど

ケミカルシフトアーチファクト

ケミカルシフトアーチファクトとは

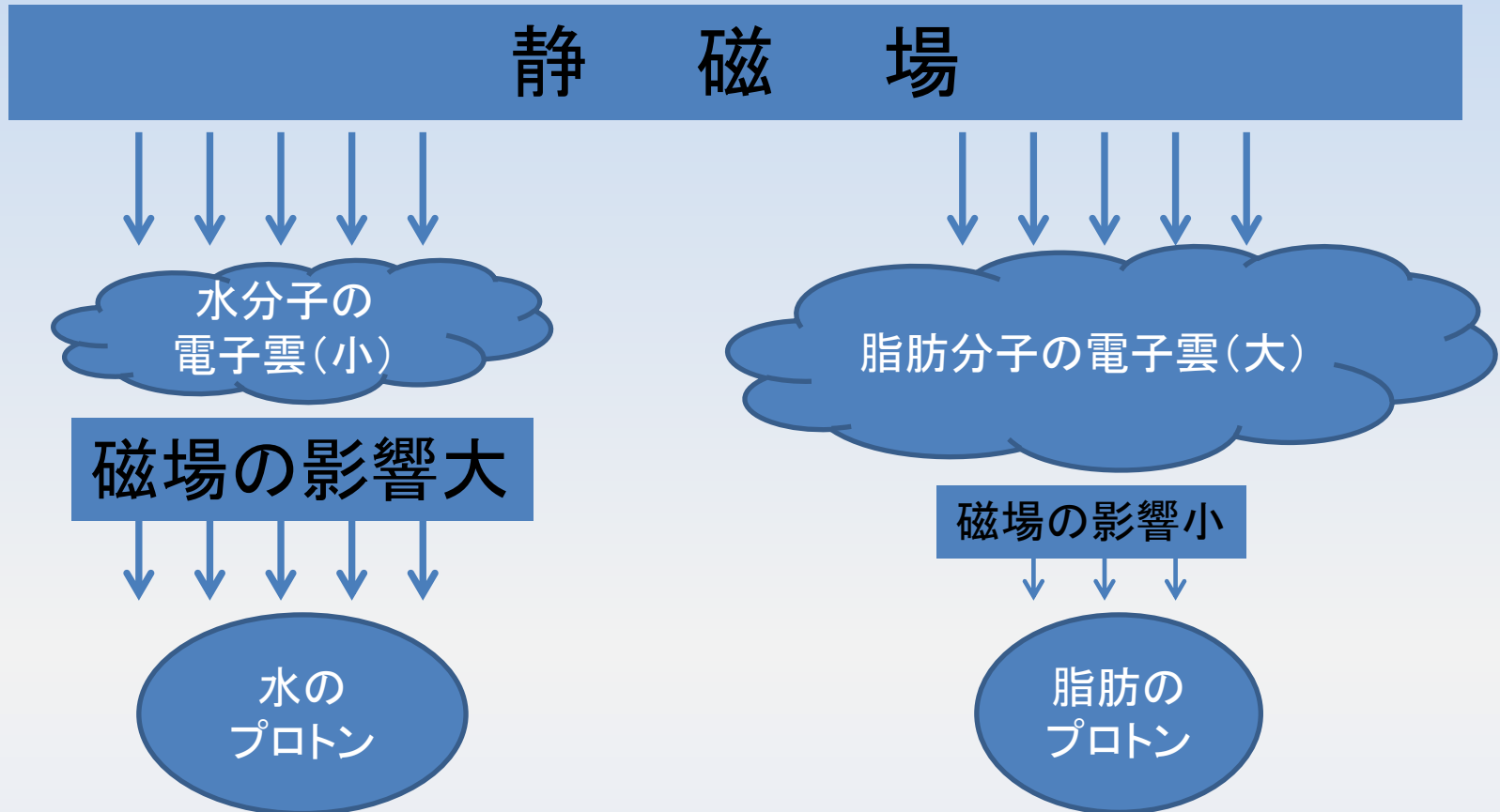
^1H -MRS



異なる物質のプロトンからは、
得られる共鳴周波数は異なる。

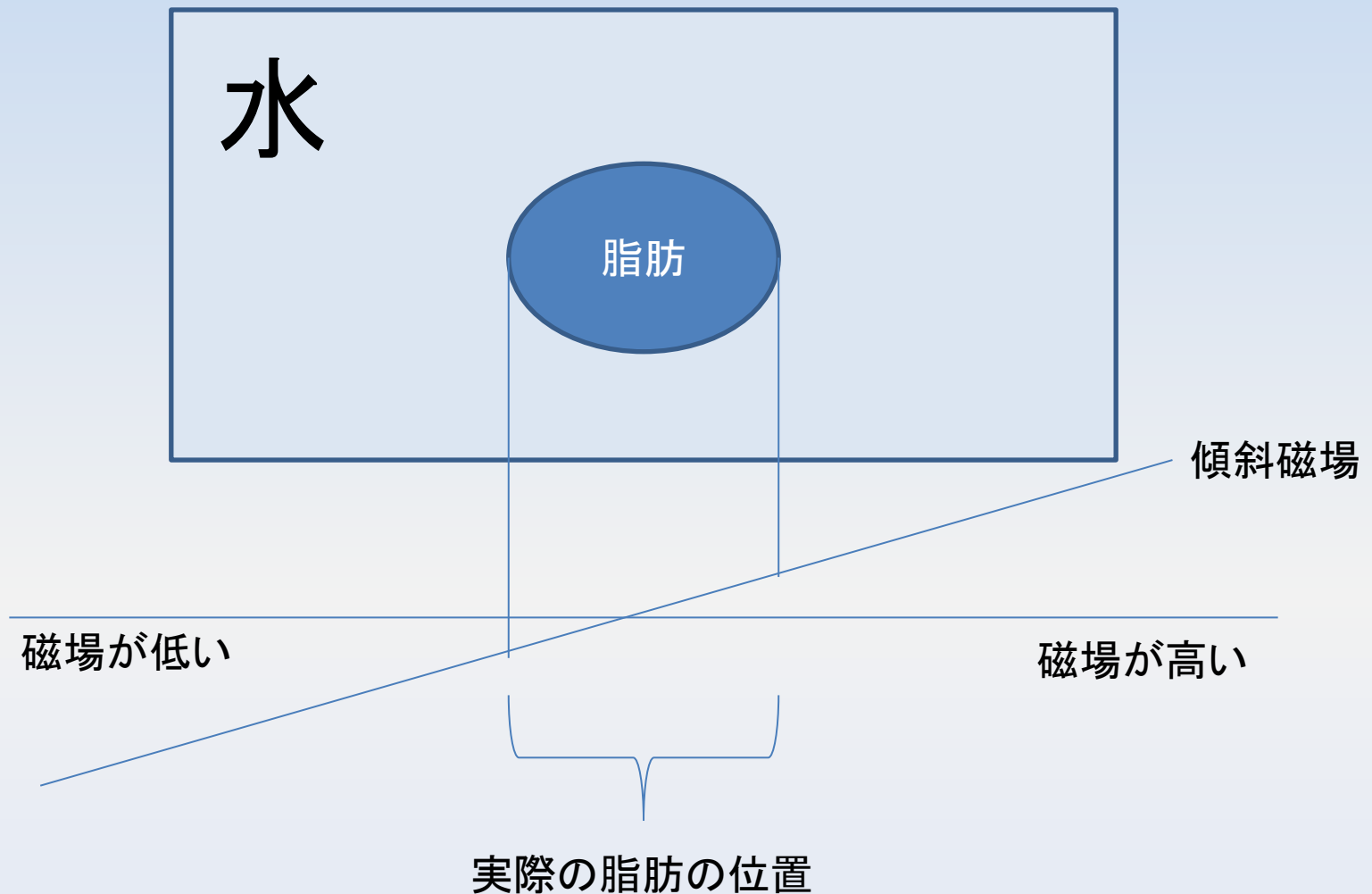
水と脂肪のプロトンの位置ズレが
ケミカルシフトアーチファクト

ケミカルシフトの発生原因について

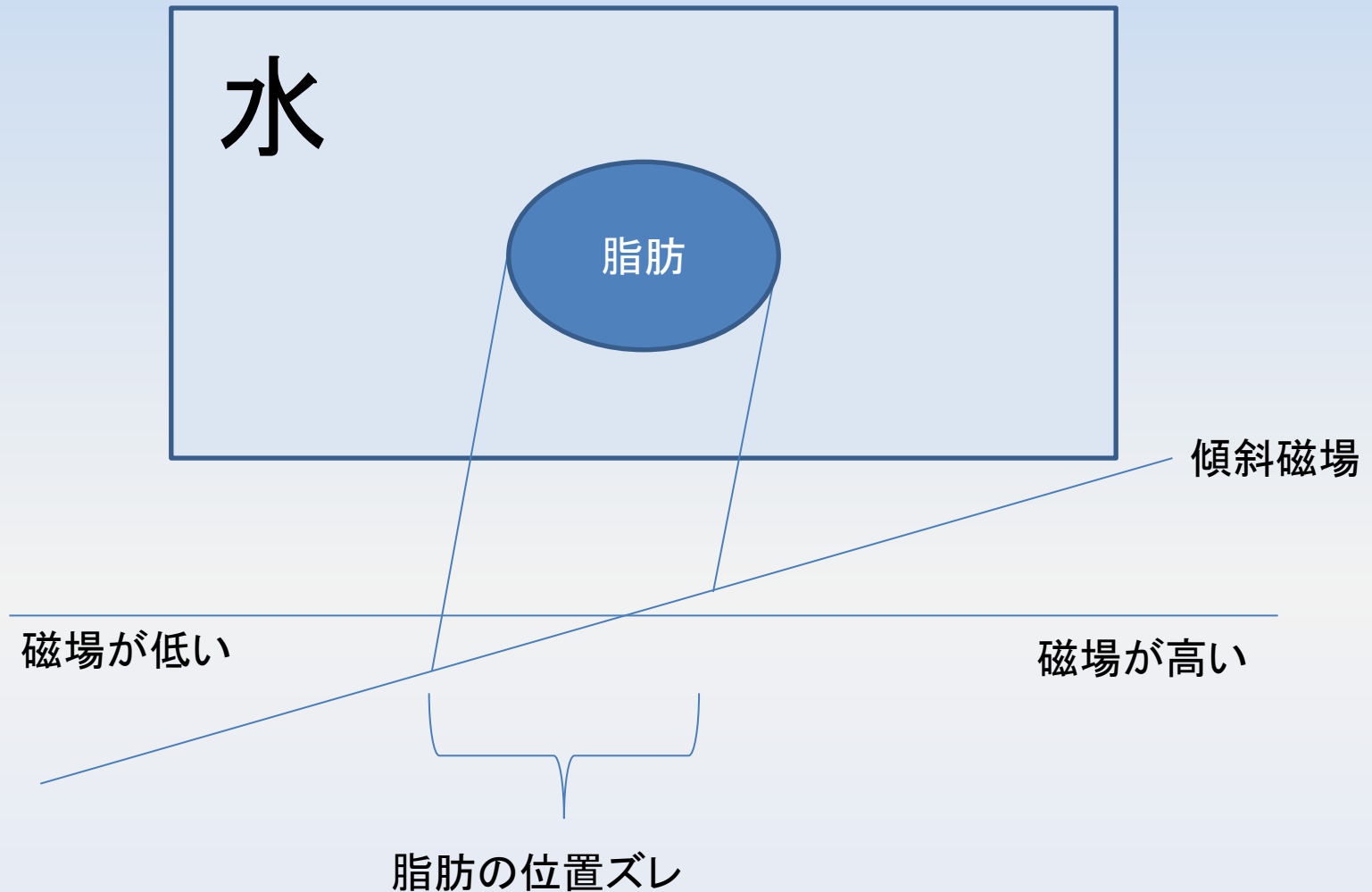


脂肪の方が同じ静磁場の影響を受けても磁場を弱く感じる
共鳴周波数が低くなる

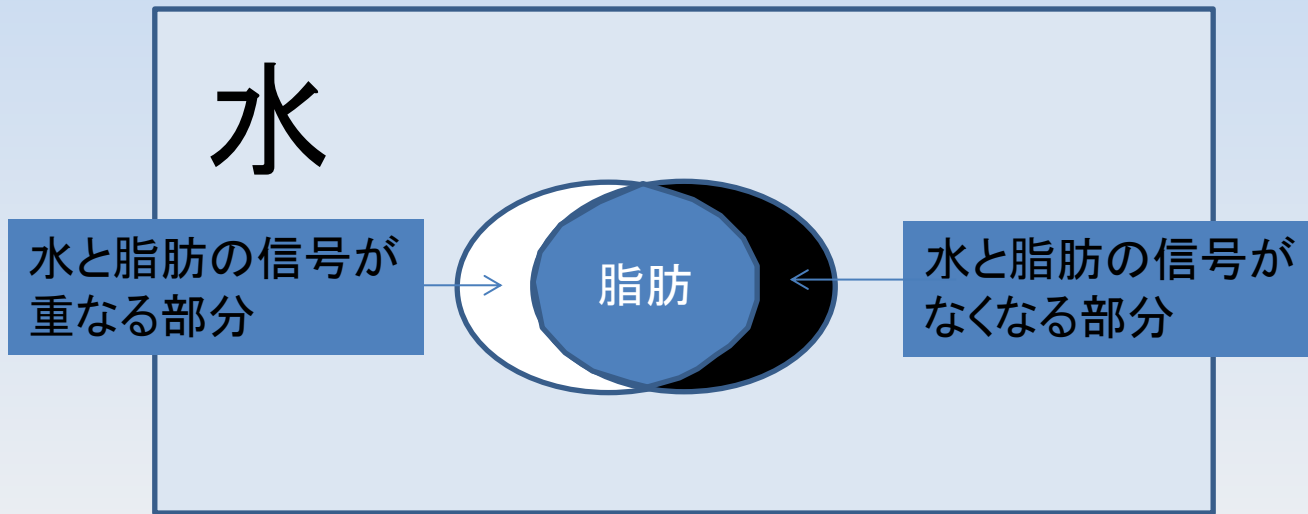
共鳴周波数の差が画像に与える影響



共鳴周波数の差が画像に与える影響

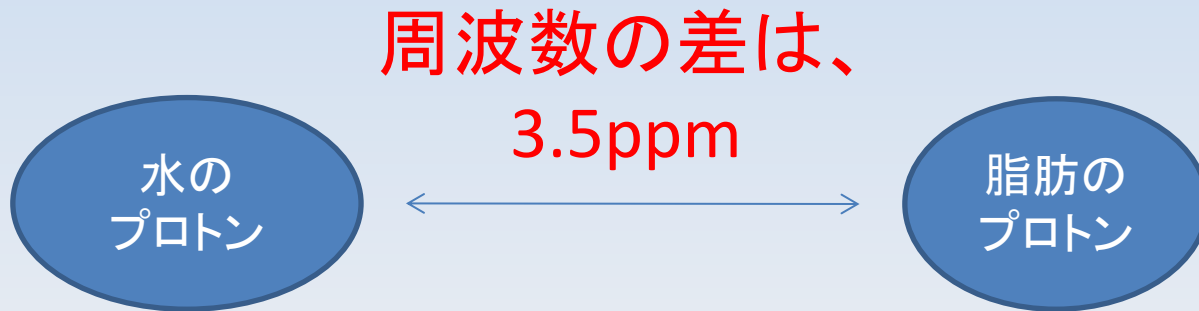


共鳴周波数の差が画像に与える影響



MRI上での信号

水と脂肪の周波数の差



通常MRIでは、中心周波数の差を「ppm」で表します。
「ppm」は、parts per millionの略で100万分に1を表します。
100万分の3.5だけ脂肪のプロトンが遅く回転している。

1.5Tでの水と脂肪の周波数の差

ラーモアの式 $\omega = \gamma B_0$

ω = 水素原子の周波数

γ = 磁気回転比 水素原子の場合42.6 (MHz/T)

B_0 = 外部磁場強度

静磁場1.5Tでのプロトンの周波数は:

$$\omega = 42.6 \text{ (MHz/T)} \times 1.5 \text{ (T)} = 63.9 \text{ MHz}$$

水と脂肪のプロトンの周波数の差は3.5ppmなので

$$63.9 \text{ MHz} \times 3.5 \times 10^{-6} = 223.7 \text{ Hz}$$

水のプロトンは、脂肪に比べて約224Hz周波数が高い

磁場強度ごとの水と脂肪の周波数の差

1.0Tの時:

$$42.6(\text{MHz}) \times 3.5 \times 10^{-6} = 149.1\text{Hz}$$

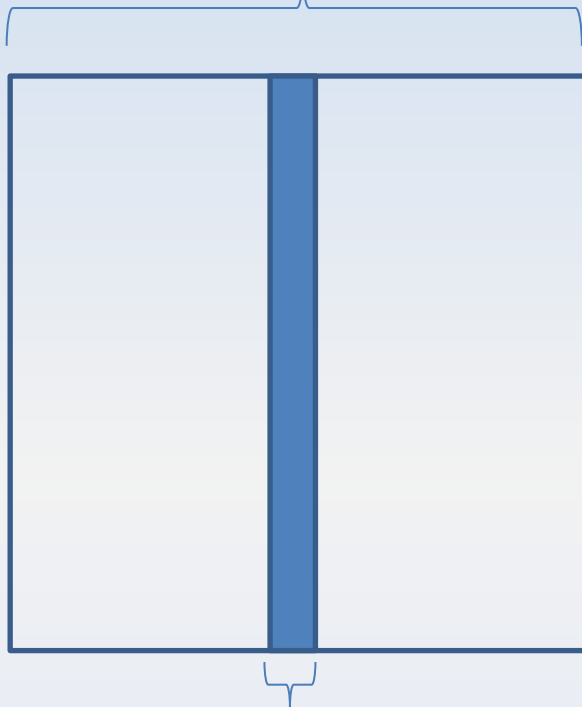
3.0Tの時:

$$127.8(\text{MHz}) \times 3.5 \times 10^{-6} = 447.3\text{Hz}$$

磁場強度	中心周波数	水と脂肪の中心周波数の差
1.0T	42.6MHz	約149Hz
1.5T	63.9MHz	約224Hz
3.0T	127.8MHz	約447Hz

1.5Tでの水と脂肪の中心周波数の 違いによるピクセルシフト

周波数方向: マトリックス256
バンド幅: 32kHz



1ピクセルあたりのバンド幅125Hz/pix

1ピクセルあたりのバンド幅は
 $32\text{kHz}/256 = 125\text{Hz/pix}$

各ピクセルが125Hzの情報を
持つてる

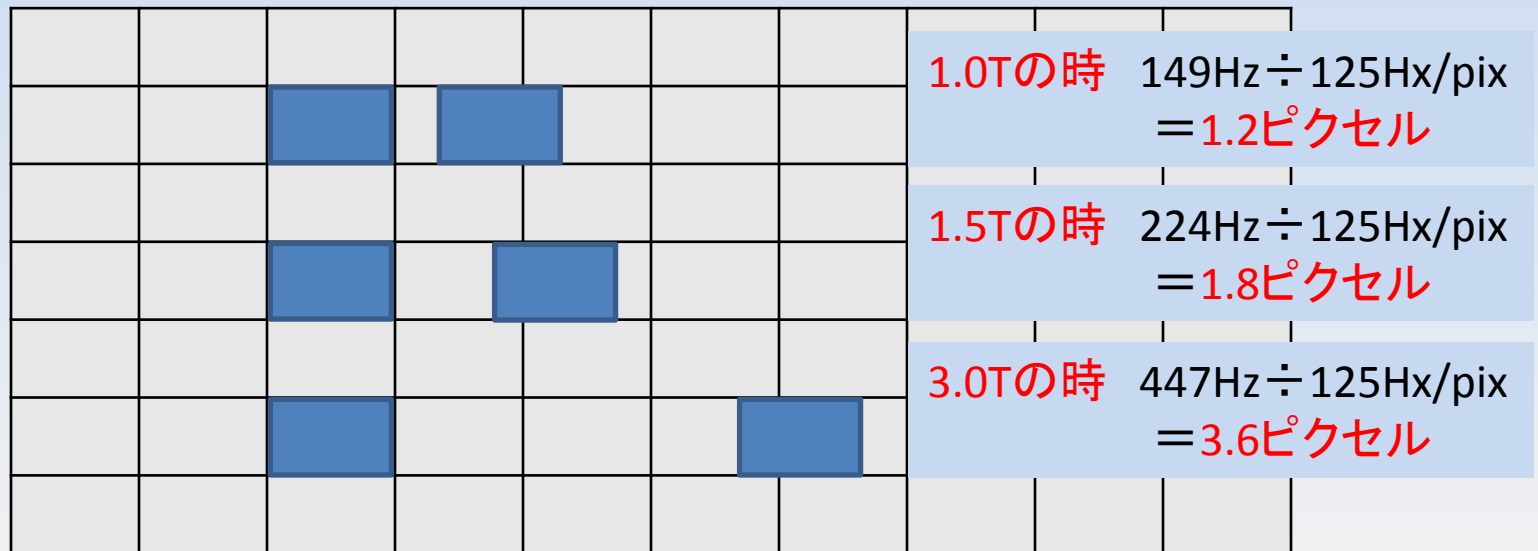
224Hz周波数が異なるプロトンの
位置ズレは、

$224\text{Hz}/125\text{Hz} = 1.8$ ピクセル

1.8ピクセルの位置ズレ

磁場強度の違いによるピクセルシフト

バンド幅: 32kHz (±16kHz) 1ピクセルあたりのバンド幅は、125Hz/pix



磁場強度に比例して、ケミカルシフトの影響は大きくなる

ケミカルシフトアーチファクトの対策

ケミカルシフトアーチファクトは、水と脂肪が混在する場所に必ず発生する。ただし、目立たなくすることは可能。

対策

- ①バンド幅を広くする。
- ②脂肪信号を低下させる。(脂肪抑制併用)
- ③磁場強度を低下させる。(ただし、静磁場は変更はできない)

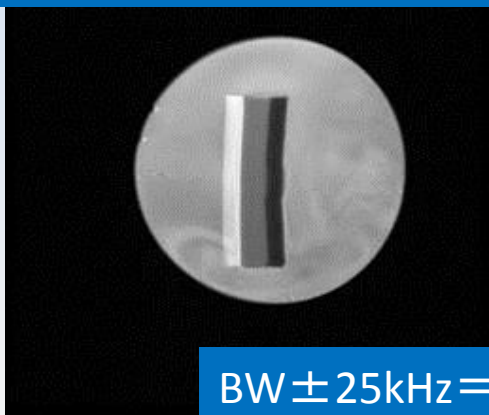
脂肪としてチーズを使い。
水にチーズを沈めて
撮影してきました。



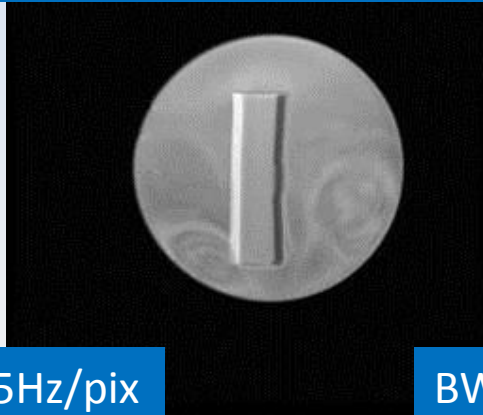
バンド幅を変化させた時の ケミカルシフトアーチファクト

マトリックス256 FOV128mm 高速SE法 TR500 TE14 静磁場3.0T

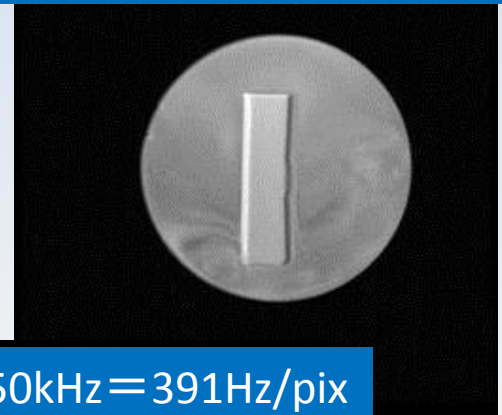
BW $\pm 6.4\text{kHz} = 50\text{Hz/pix}$



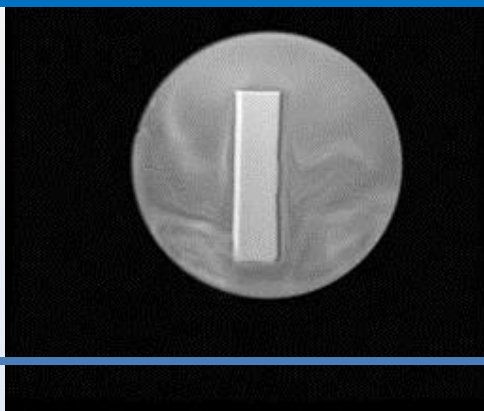
BW $\pm 12.5\text{kHz} = 98\text{Hz/pix}$



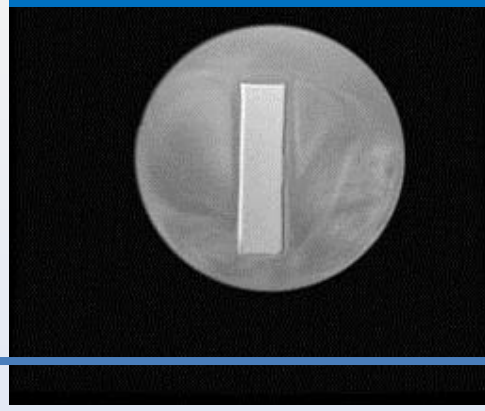
BW $\pm 19.2\text{kHz} = 150\text{Hz/pix}$



BW $\pm 25\text{kHz} = 195\text{Hz/pix}$



BW $\pm 50\text{kHz} = 391\text{Hz/pix}$

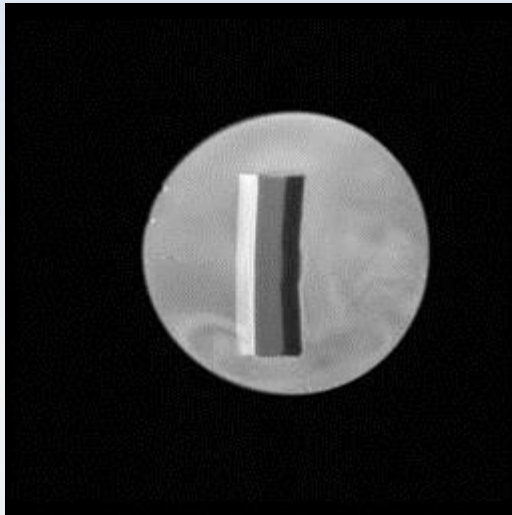


周波数方向

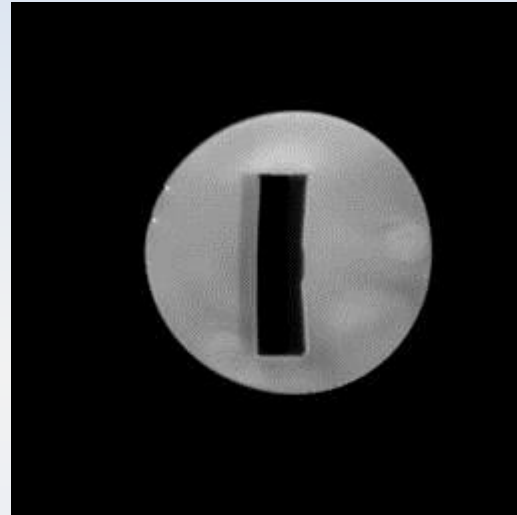


脂肪抑制併用の有無による ケミカルシフトアーチファクトの変化

マトリックス256 FOV128mm 高速SE法 TR500 TE14 静磁場3.0T



脂肪抑制なし



脂肪抑制あり

磁場強度の違いによる ケミカルシフトアーチファクトの変化 (1.5Tと3.0T)

BW±6.4kHz
=50Hz/pix

BW±12.5kHz
=98Hz/pix

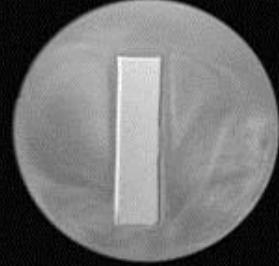
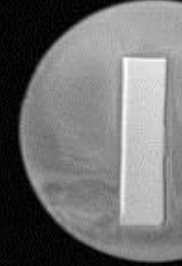
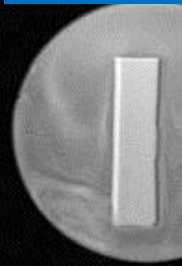
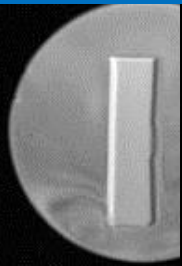
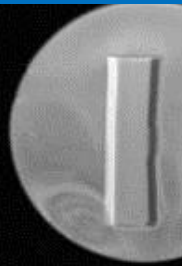
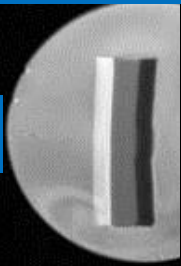
BW±19.2kHz
=150Hz/pix

BW±25kHz
=195Hz/pix

BW±35.7kHz
=279Hz/pix

BW±50kHz
=391Hz/pix

3.0T



Es1 cheese
20010101, M, 13Y

20010101, M, 13Y

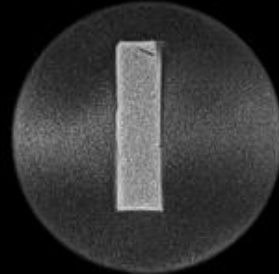
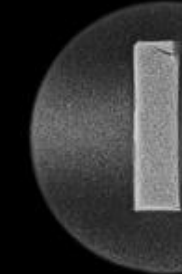
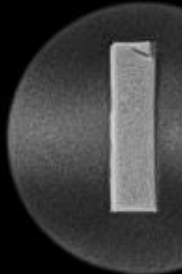
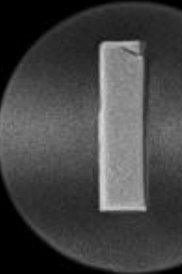
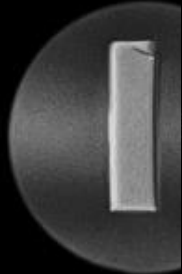
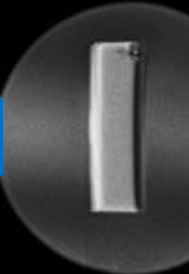
20010101, M, 13Y

20010101, M, 13Y

20010101, M, 13Y

20010101, M, 13Y

1.5T



MF 1.00

MF 1.00

MF 1.00

MF 1.00

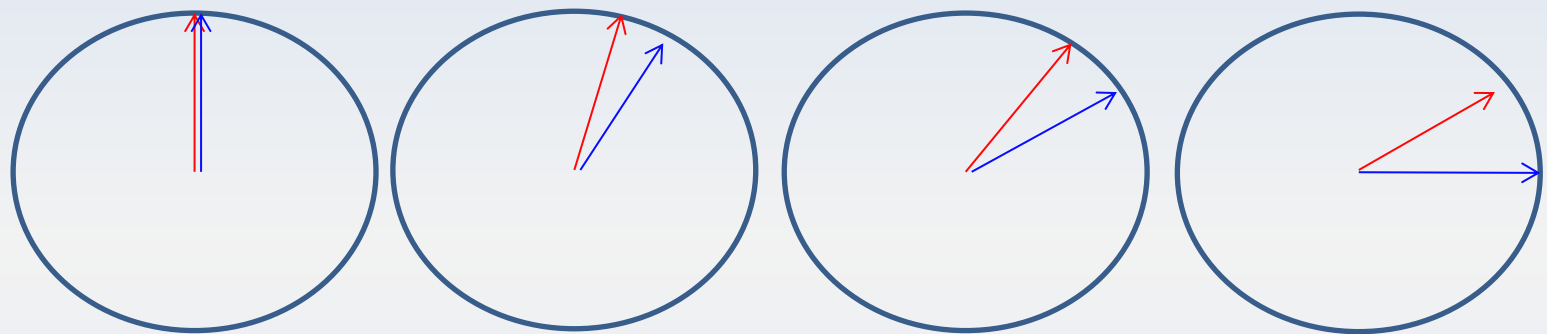
MF 1.00

MF 1.00

第2ケミカルシフト

→ 脂肪の横磁化
→ 水の横磁化

時間経過



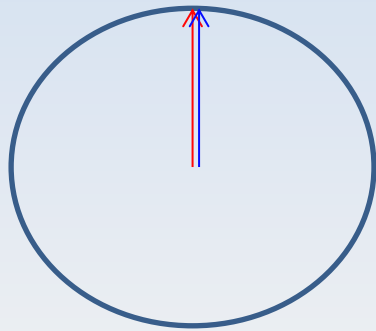
励起直後は
位相がそろってる

水と脂肪の周波数は異なるために
だんだん位相がずれる

第2ケミカルシフト

→ 脂肪の横磁化

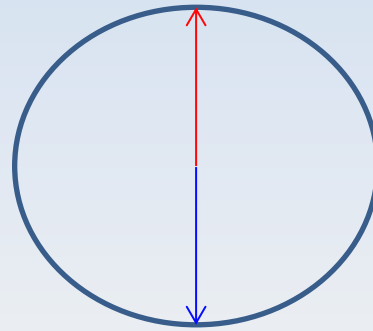
→ 水の横磁化



In phase
同位相になる時間

0msec
4.46msec
8.93msec

⋮



opposed phase
逆位相になる時間

2.23msec
6.68msec
11.15msec

⋮

1.5Tでは、
水と脂肪の周波数の
ズレは224Hz
同位相間隔は
 $= 1/224\text{Hz} = 0.00446\text{秒}$
 $= 4.46\text{msec}$

第2ケミカルシフトによるアーチファクト の対処法

適切なTEを設定する。(同位相になるTE)

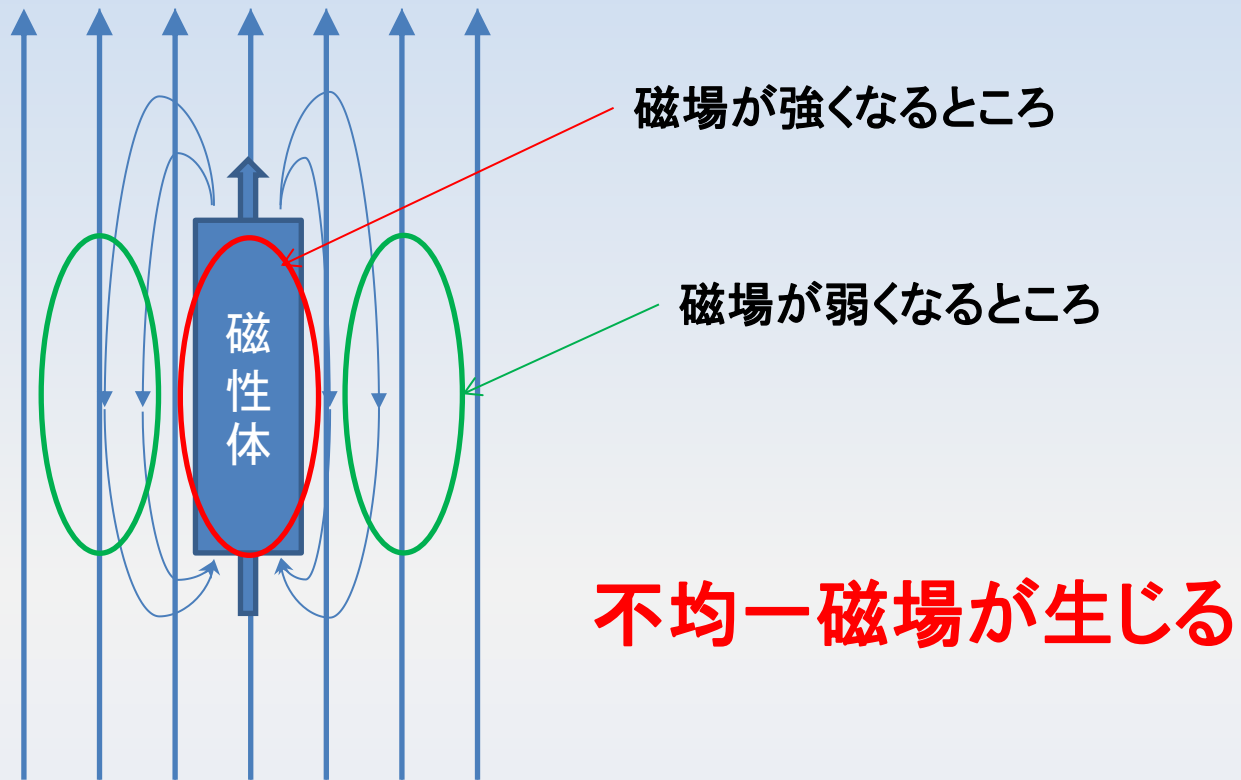
磁化率アーチファクト

磁化率について

あらゆる物質は、磁場にさらされると磁化されます。その磁化の程度を示すのが磁化率 (magnetic Susceptibility) です。磁化率によって3種類の磁性体に分けられます。

- **反磁性体**: 磁化率は負
人体のほとんどの組織がこの性質を持つ。
- **常磁性体**: 磁化率は小さく正
磁石を近づけても目に見える反応はしません。
- **強磁性体**: 磁化率は、大きく正
磁場にさらされると磁化し、磁石に強く引かれる。
鉄、コバルト、ニッケルなど

磁性体が均一な磁場に与える影響

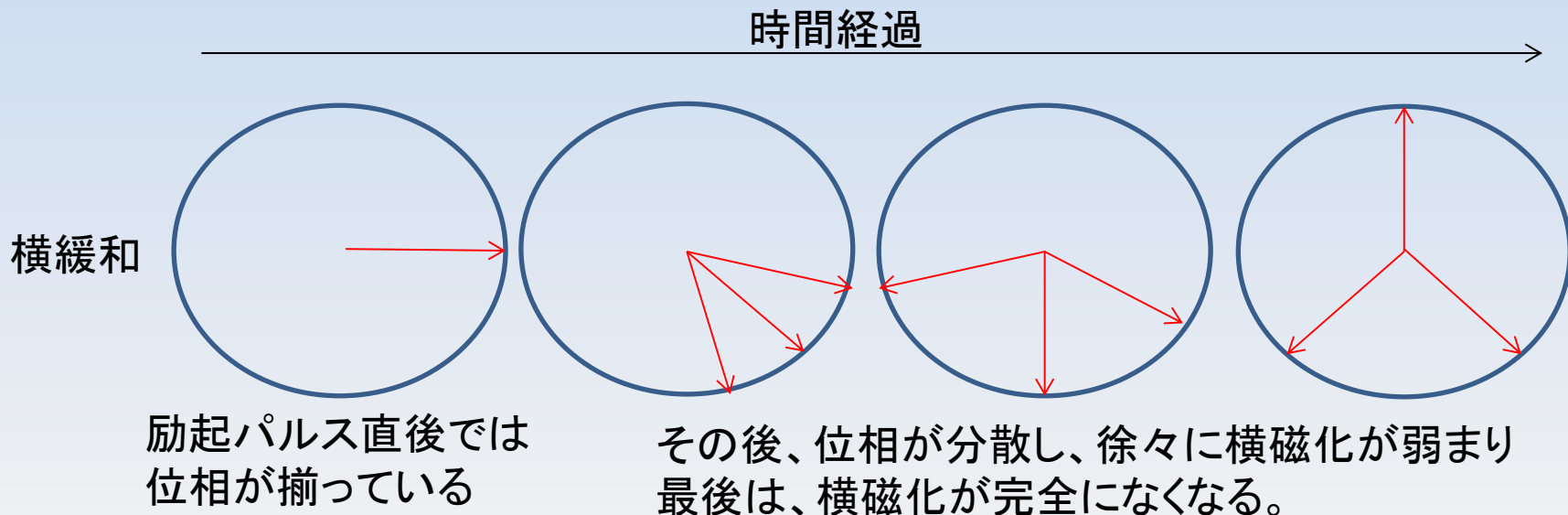


磁化率アーチファクトとは

磁化率の異なる境界に生じるアーチファクトです。

磁化率の違いにより、局所磁場の歪みを生じ、**スピンの位相の分散による信号低下や画像の歪**を起こします。

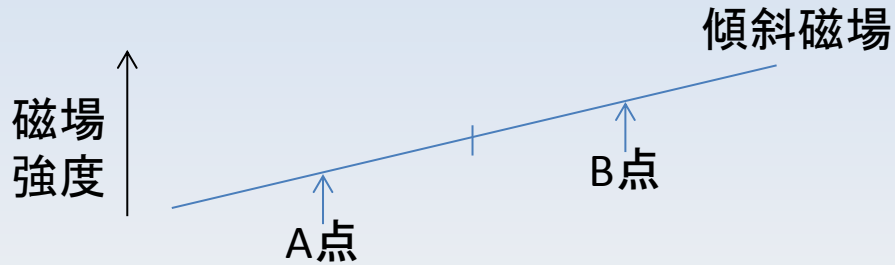
スピンの位相分散による信号の低下 の理由



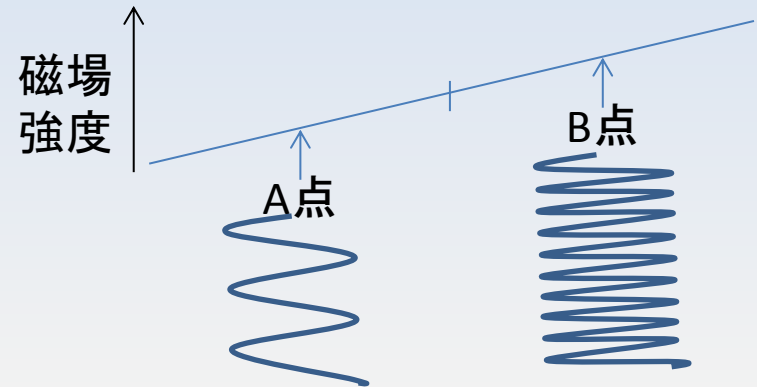
**磁化率の異なる境界面では、中心周波数がことなるため、
位相分散が促進される。
つまり、より早い時間で信号低下を起こす。**

画像が歪む理由

磁場が均一な場合



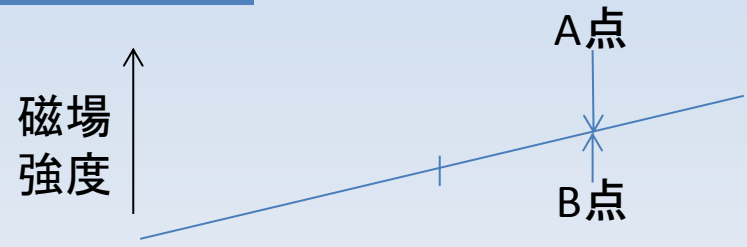
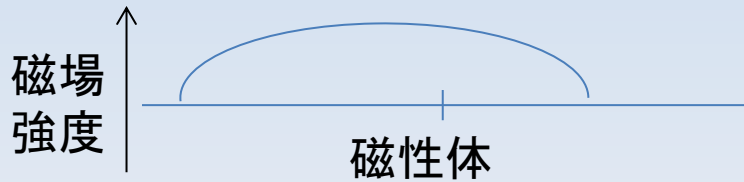
傾斜磁場がかかっている状態
(A点の磁場はB点よりも低い)



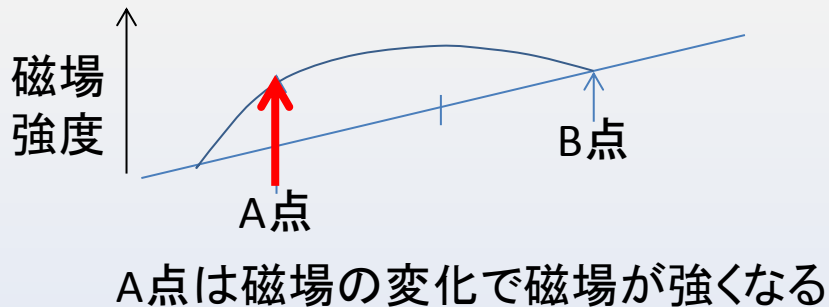
この状態でRF波を与えると
A点とB点では、周波数の異なる
電波が得られ位置情報を取得

画像が歪む理由

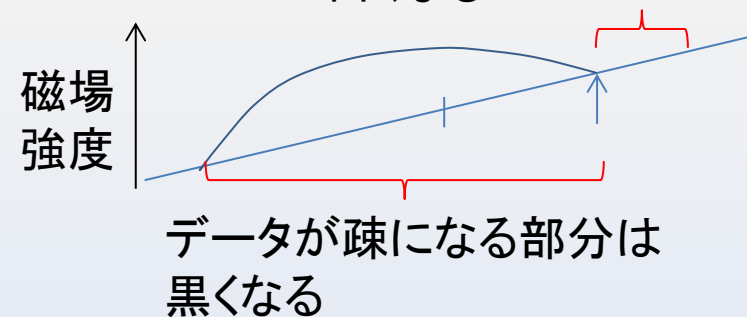
磁性体がある場合



A点とB点は同じ
位置情報になり、画像が歪む

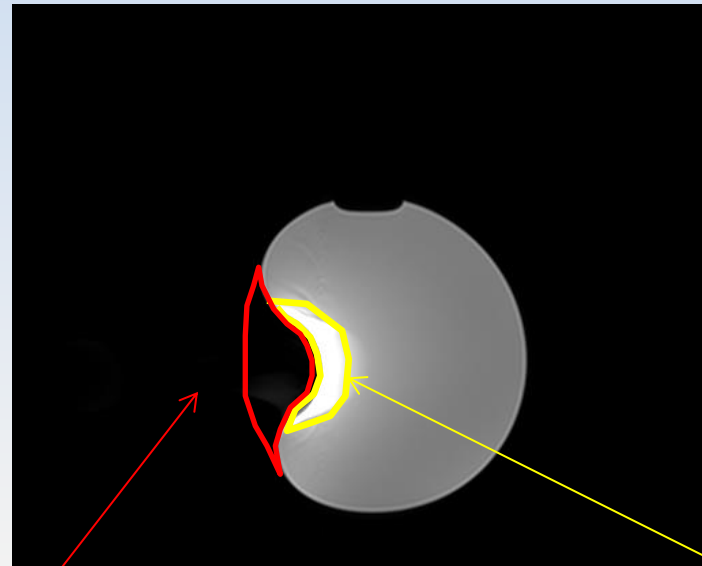


データが集約される部分は、
白くなる



画像が歪む理由

円柱ファントムにクリップをのせて撮像した画像



データが疎になり、
無信号の部分

データが集約され、
高信号になってる部分

周波数方向

磁化率アーチファクトの対策

- ①磁化率をできるだけ均一にする
- ②撮像パルスシーケンスを変更する
- ③磁場強度の低下させる。
(ただし、静磁場は変更はできない)
- ④バンド幅を広くする。
- ⑤EPIにおける、位相エンコードの低下
(パラレルイメージングの併用)

ファントム実験

磁性体として、クリップを配置した円柱ファントムを撮像した。

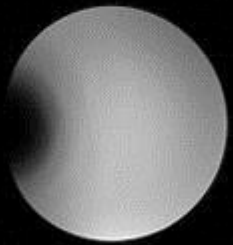


磁化率の違いによる 磁化率アーチファクトの変化

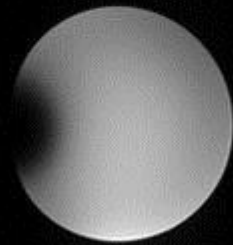
撮像条件: 1.5T 高速SE法 TR=3000 TE=78



パルスシーケンスの違いによる 磁化率アーチファクトの変化



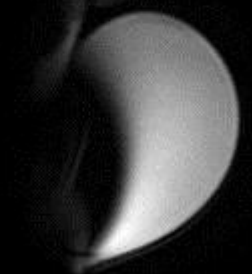
高速SE法



SE法



GRE法



EPI

高速SE法 \leq SE法 \ll GRE法 \ll EPI

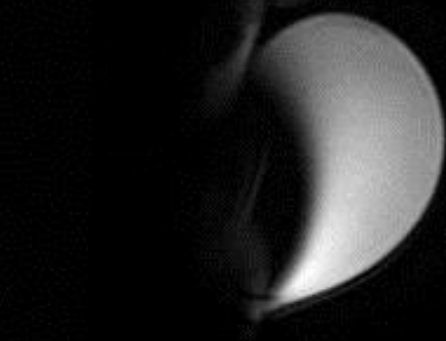
磁場強度の違いによる 磁化率アーチファクトの変化

高速SE法

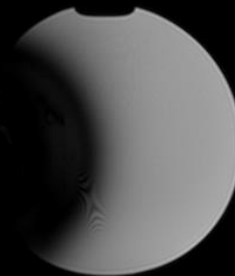
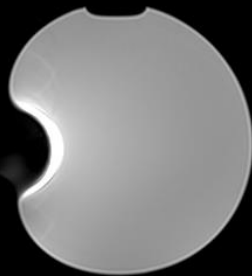
GRE法

EPI

3.0T
GE社製

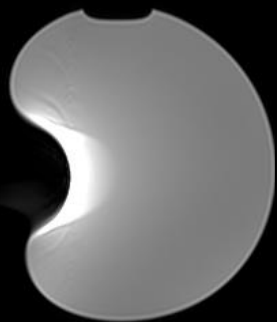


1.5T
シーメンス
社製

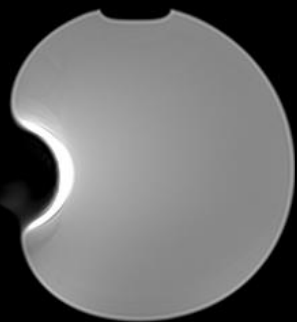


バンド幅の違いによる 磁化率アーチファクトの変化

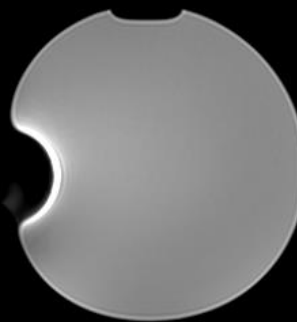
BW = 6.4kHz
(50Hz/pix)



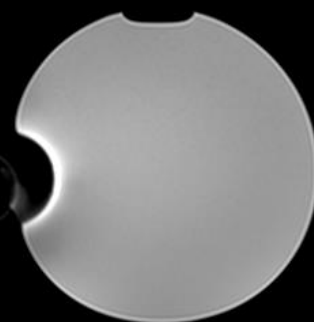
BW = 12.8kHz
(100Hz/pix)



BW = 25.6kHz
(200Hz/pix)



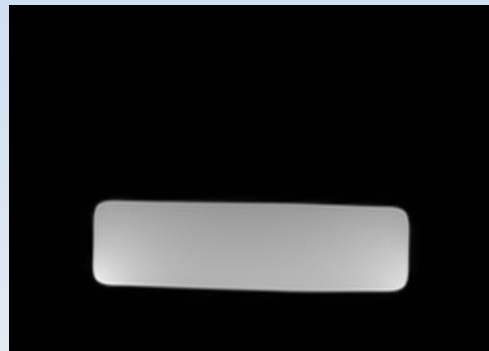
BW = 51.2kHz
(800Hz/pix)



撮影条件: 1.5T、TR3000、TE100、ETL16

EPIにおける位相エンコード数の変化

高速SE法



多い

位相エンコード数

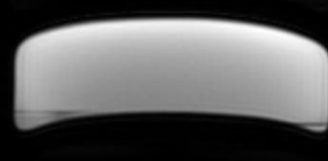
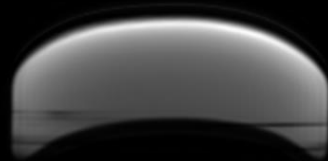
少ない

Single-shot EPI
パラレルイ
メージング
有り

ファクター=1

ファクター=2

ファクター=3



W = 12391 L = 6195



W = 8846 L = 4423



W = 8225 L = 4112

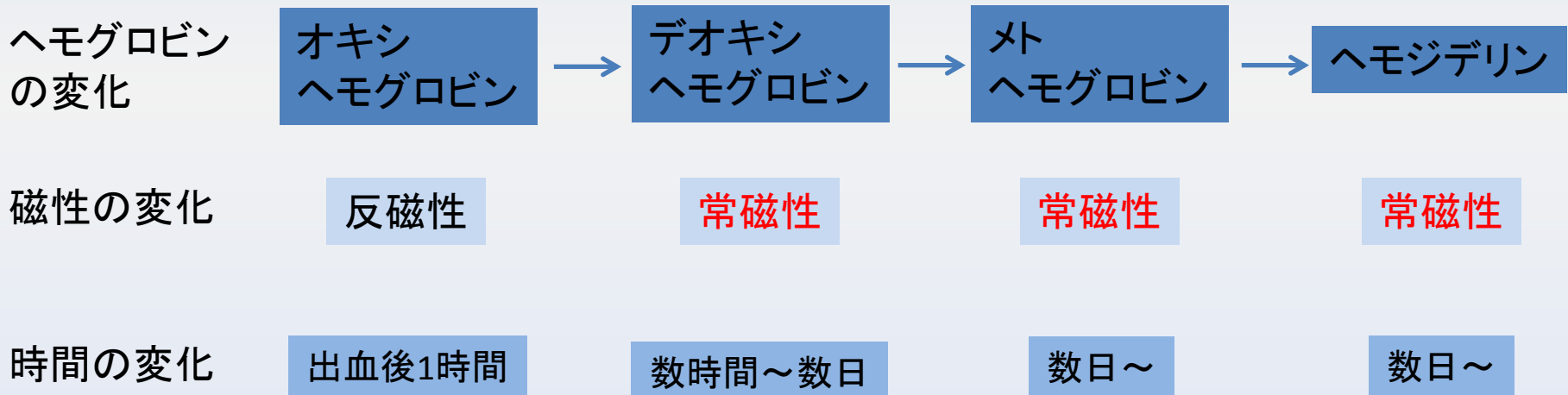
位相方向



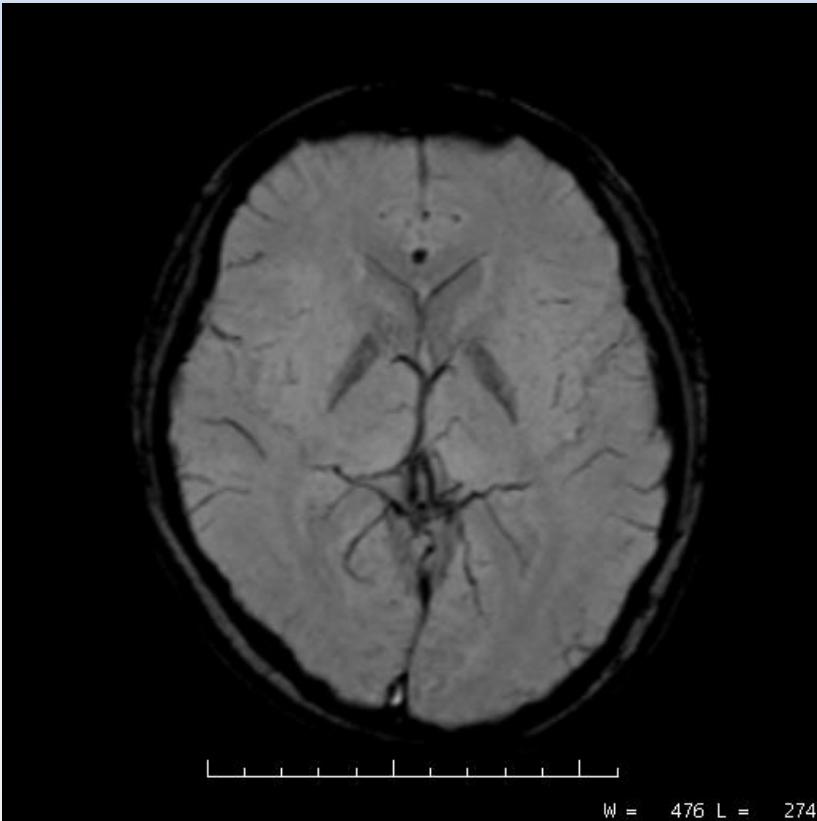
磁化率効果を使った診断

脳内出血の診断

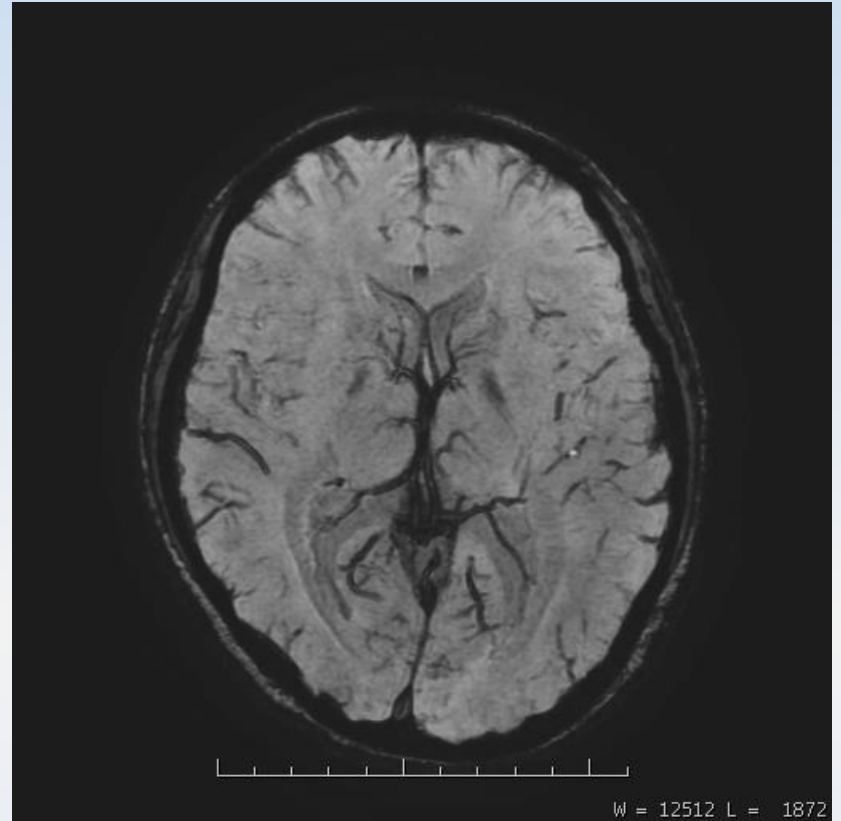
血液中のヘモグロビンは、血管外にでると磁性を示す物質に変化します。
このため、GRE 法を用いたT2* の違いを際立たせた
T2* 強調像で磁化率効果により、低信号を示します。



磁化率強調像



SWI 1.5T SIEMENS



SWAN 3.0T GE

まとめ

- ①ケミカルシフトアーチファクトと磁化率アーチファクトは、画像に悪い影響を与える効果と画像診断において重要な情報をもたらす良い効果の2面性をもったアーチファクトです。
- ②撮像条件を決める際には、これらアーチファクトの現象を考慮して、各パラメーターを設定することが必要です。特にバンド幅の設定に注意が必要です。

参考文献

- 決定版MRI完全解説 著者：荒木力
- MRIの基礎 パワーテキスト 監訳：荒木力
- MRI自由自在 著者：高原太郎
- 改訂版MRI応用自在 監修：蜂屋順一
- MRIの原理と撮像法 監修・編集：杉村和朗
- MRIのアーチファクト —ケミカルシフトアーチファクト編
埼玉医科大学病院 平野 雅弥