今からでも大丈夫！！　MRI入門Part1

SE法の基礎

横浜市立大学附属病院
平野　恭正

2013.7.19

内容

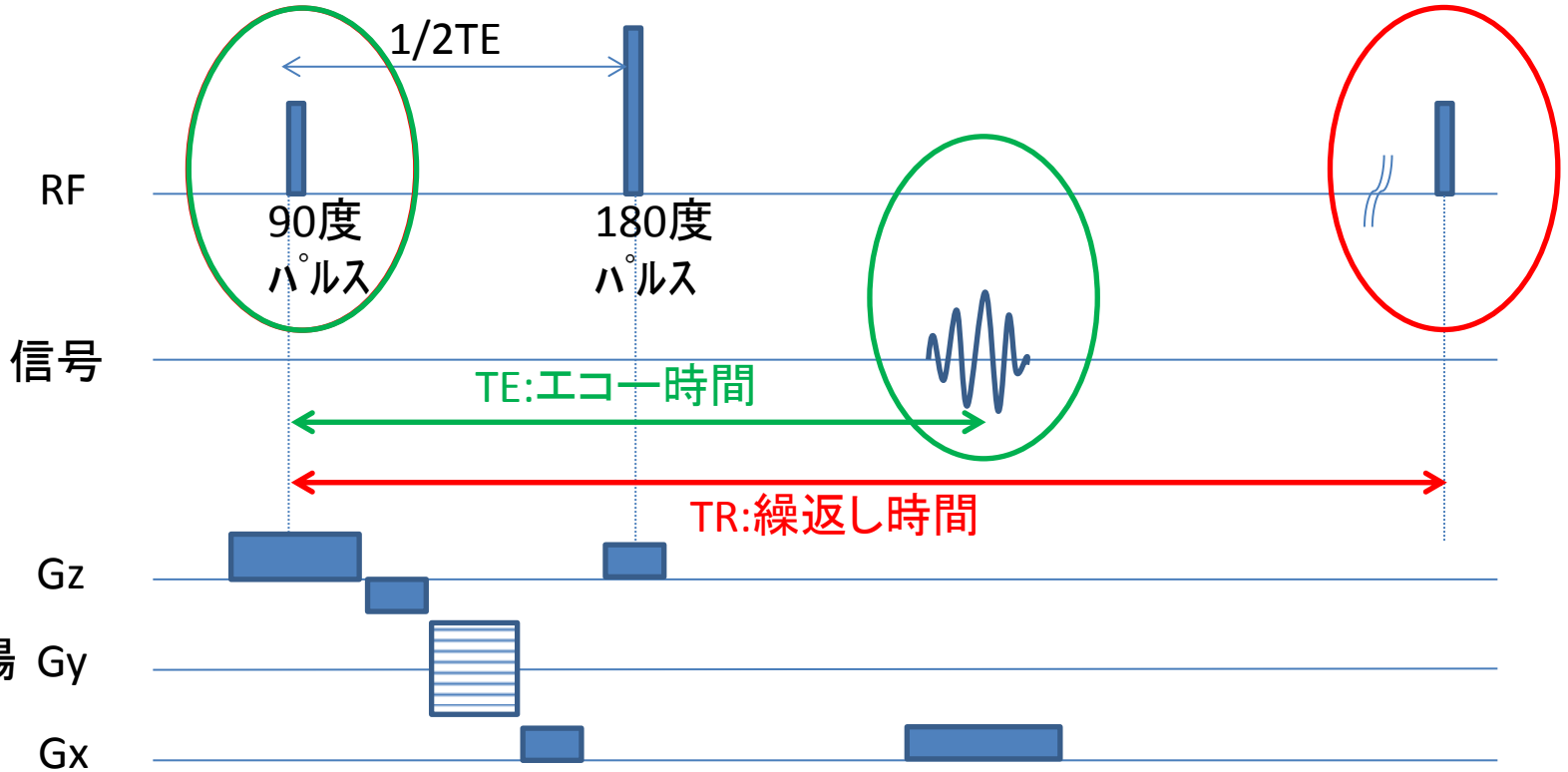
スピンエコー法について

高速スピンエコー法について

スピンエコー法について

スピンエコー法のシーケンスチャート

①90度パルスを印加
②1/2TE時間後に180度パルスを印加
③TE時間後MR信号(スピエコー信号)を取得



スピンエコー法の特徴

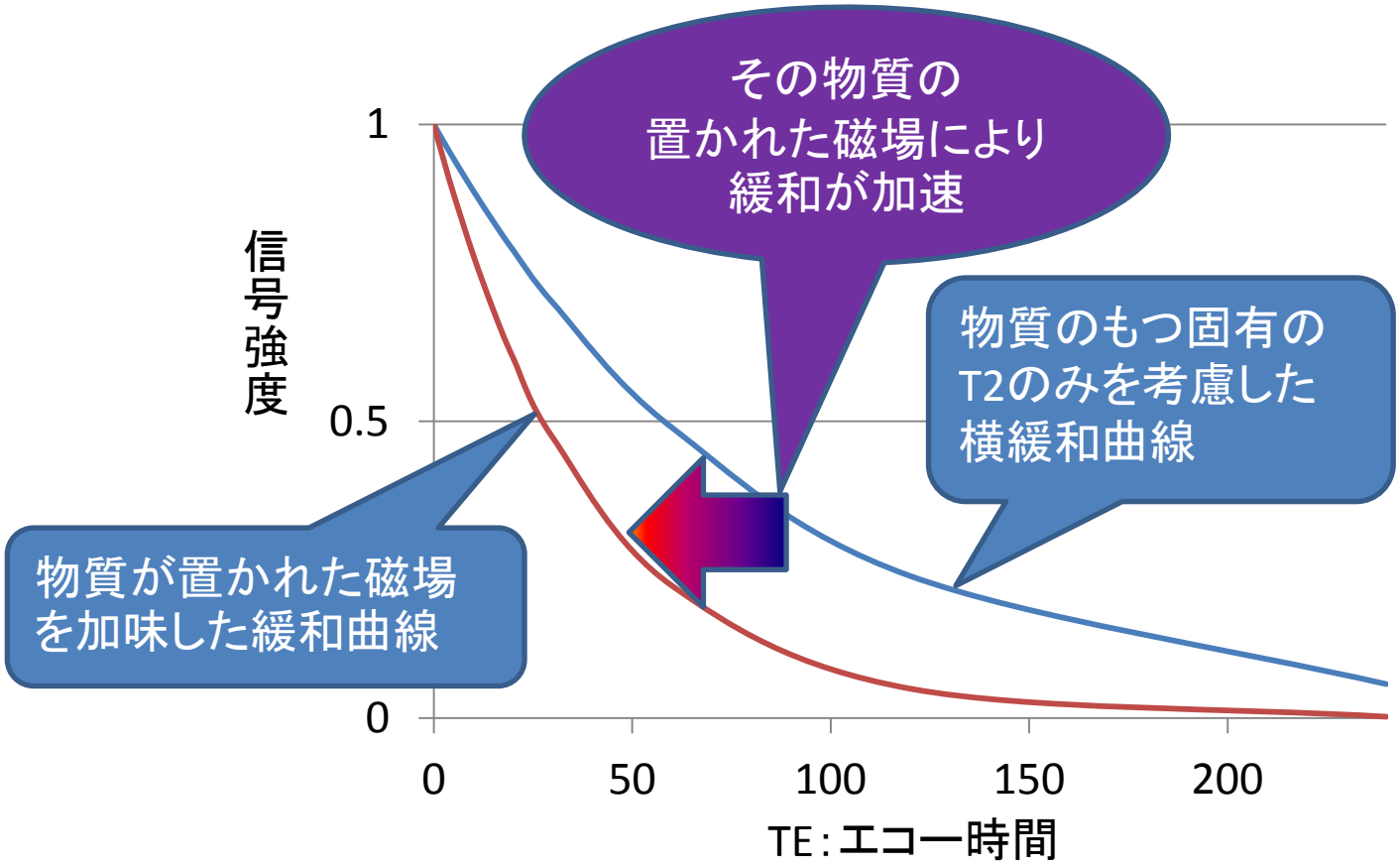
①180度パルスが介在するため、磁場の不均一を打ち消し、信号の高い綺麗な画像が得られる。

②180度パルスで再収束させるため時間がかかる。

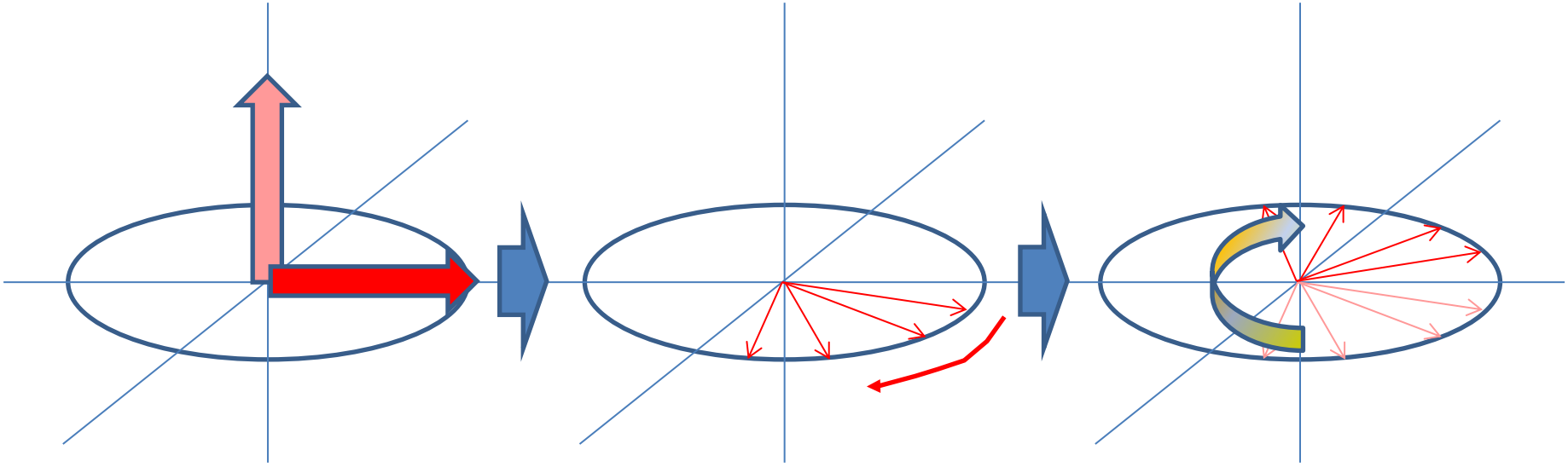
「綺麗」だけど「のろま」なパルスシーケンス

なんで綺麗なのか？

スピンエコーでは、物質の置かれている磁場の影響をキャンセルすることができ強い信号を得ることができる。



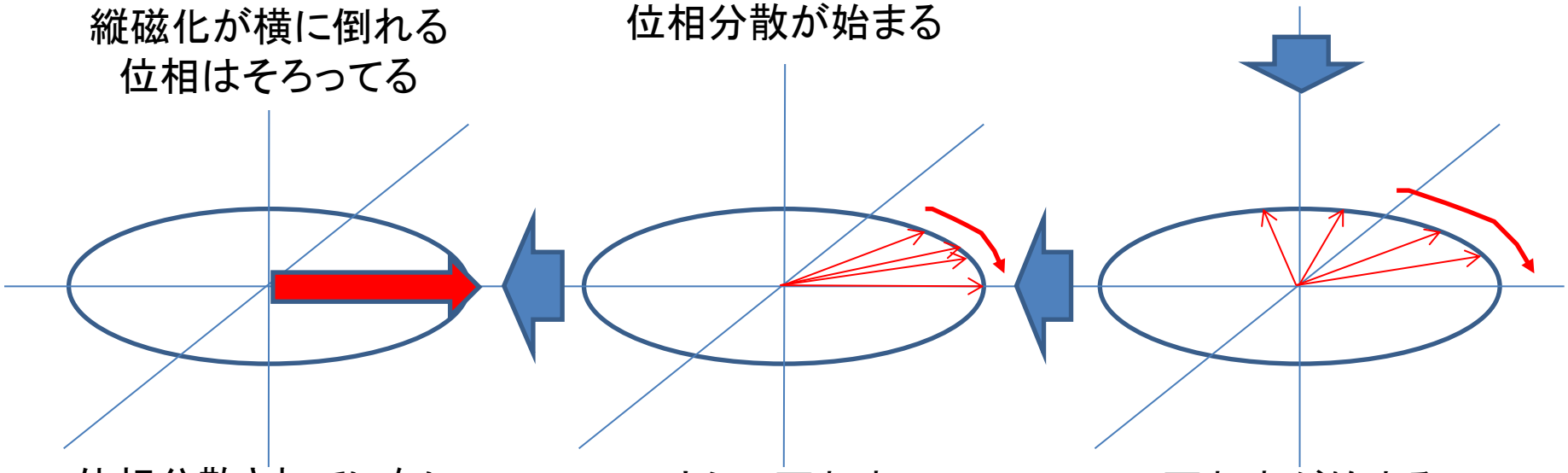
通常、横緩和は、物質のもつ固有のT2値とその物質が置かれた磁場により加速される。



90度パルスを印加すると
縦磁化が横に倒れる
位相はそろってる

90度パルスが切れると
位相分散が始まる

180度パルスを印加し反転

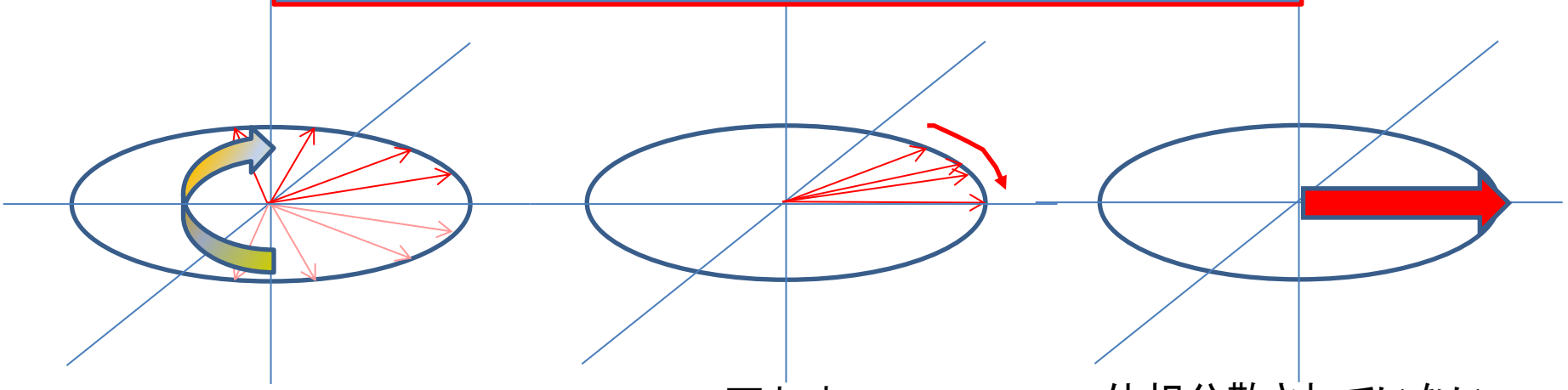


位相分散されていない
強い信号

さらに再収束

再収束が始まる

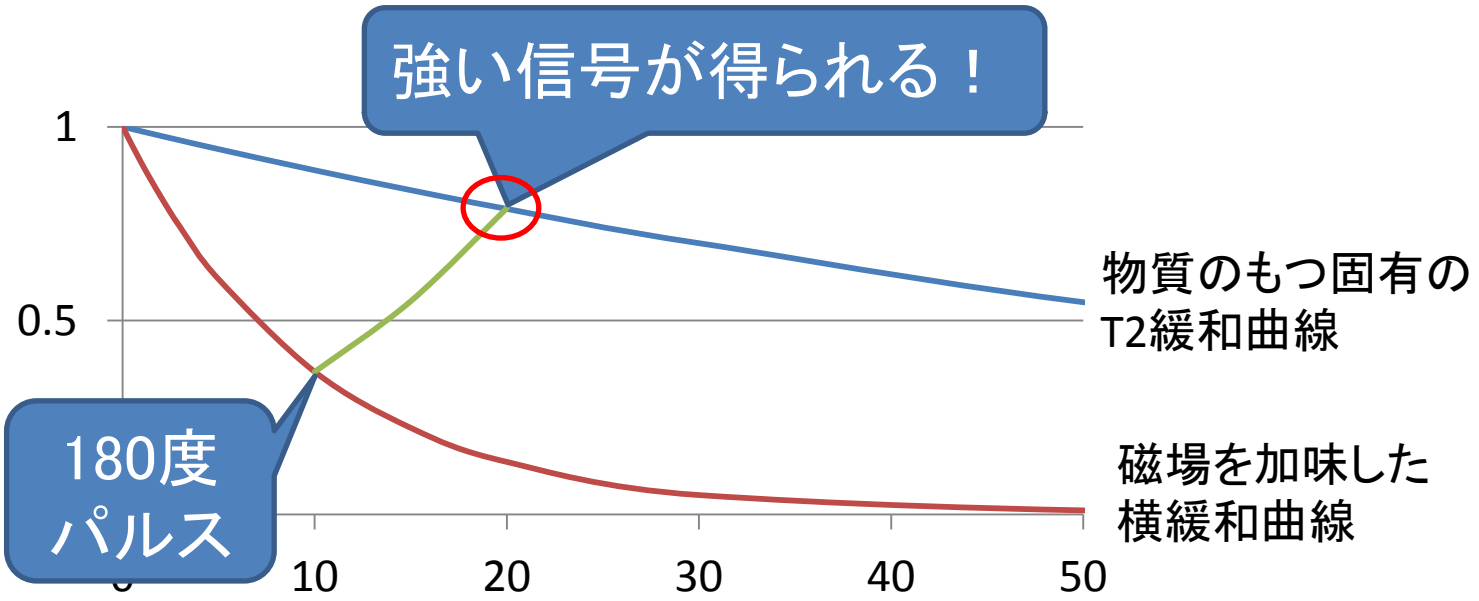
スピンエコーは、磁場の不均一を打ち消し、
信号の高い綺麗な画像が得られる。



180度パルスを印加する

再収束

位相分散されていない
強い信号



スピンエコー法の信号強度

$$SEの信号強度=\rho \cdot (1-e^{-TR/T1}) \cdot e^{-TE/T2}$$

この式から、TRとTEを決めると
信号強度が決まる！
（コントラストを変化させられる）

ρ：プロトン密度
TR：繰返し時間
T1：物質固有のT1値
TE：エコー時間
T2：物質固有のT2値
※静止している組織時

SE法の信号強度

$$SEの信号強度 = \rho \cdot (1 - e^{-TR/T1}) \cdot e^{-TE/T2}$$

プロトン密度の項　縦緩和の項　横緩和の項

プロトン密度を強調したい時・・・・ 縦緩和の項の影響↓　横緩和の項の影響↓

T1を強調したい時・・・・・・・・・・・・・縦緩和の項の影響↑　横緩和の項の影響↓

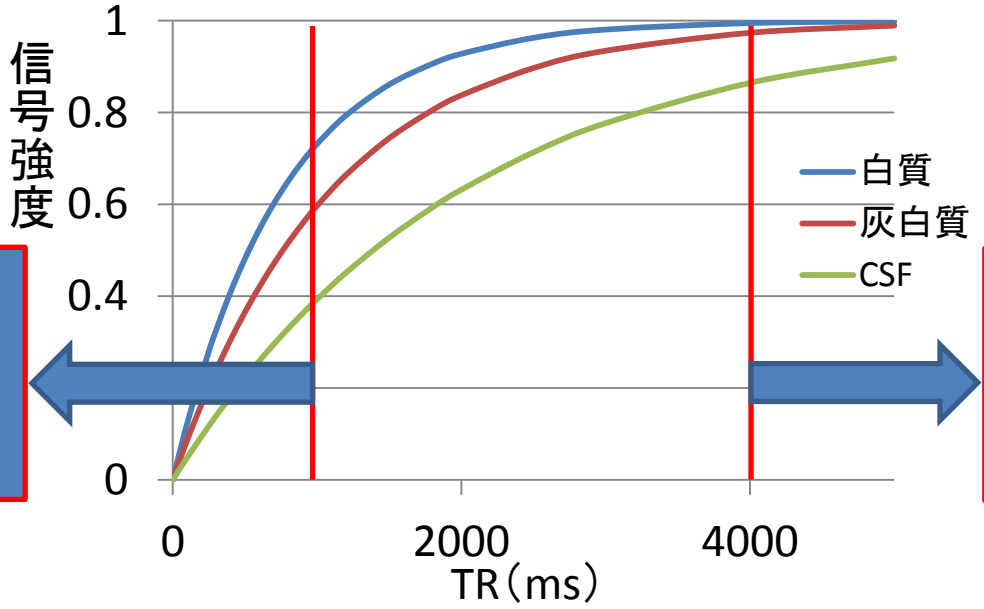
T2を強調したい時・・・・・・・・・・・・・縦緩和の項の影響↓　横緩和の項の影響↑

縦緩和の項と横緩和の項の影響を大きくしたり、小さくしたりして、
相対的に縦緩和（T1）を強調したり、横緩和（T2)を強調したりしてコントラルトを決める。

縦緩和の項の影響

$$SEの信号強度=\rho \cdot (1 - e^{-TR/T1}) \cdot e^{-TE/T2}$$

	プロトン密度	T1値	T2値
白質	70	760	80
灰白質	85	1100	90
脳脊髄液（CSF）	200	2000	200

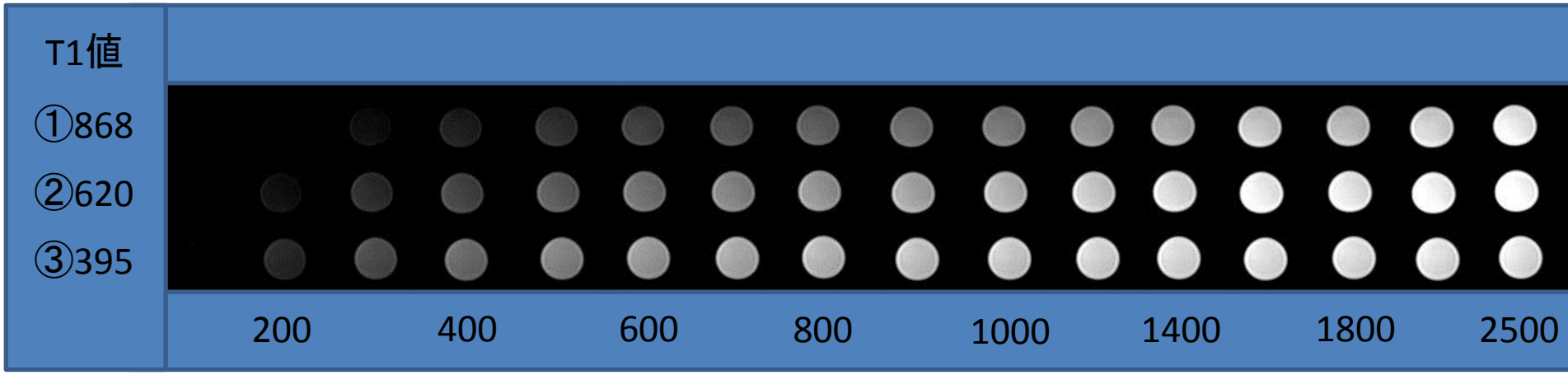


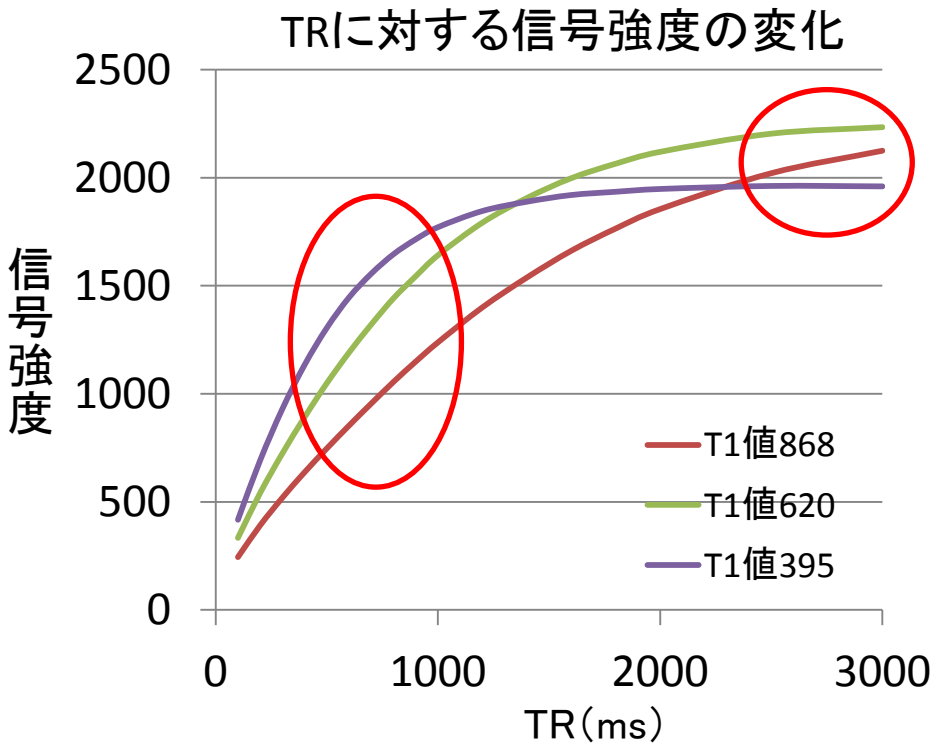
縦緩和の影響を
大きくするには
信号差の多い、
短いTRでデータ収集

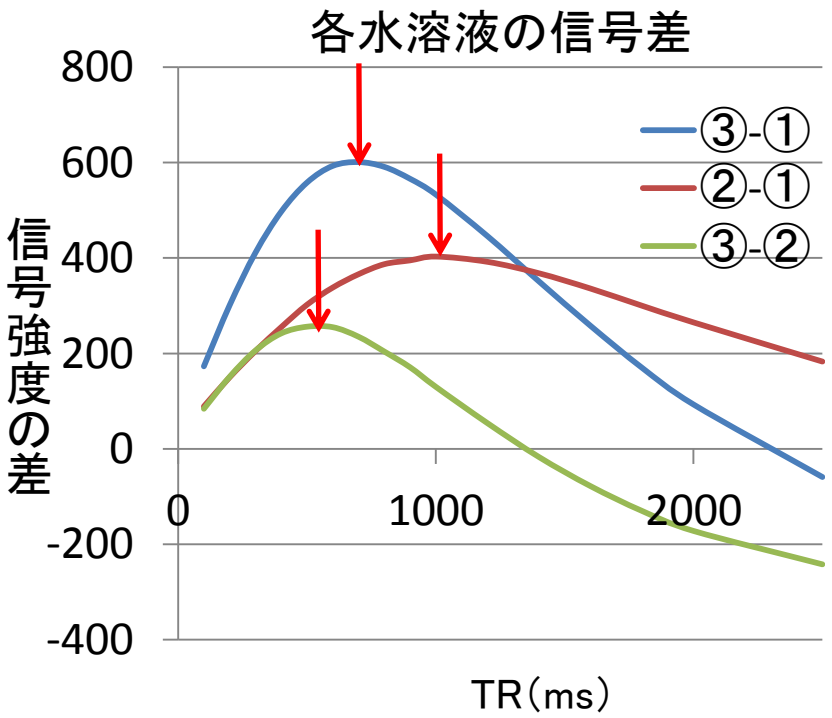
縦緩和の影響を
小さくするには
信号差の少ない
長いTRでデータ収集

TRの変化に対する信号強度

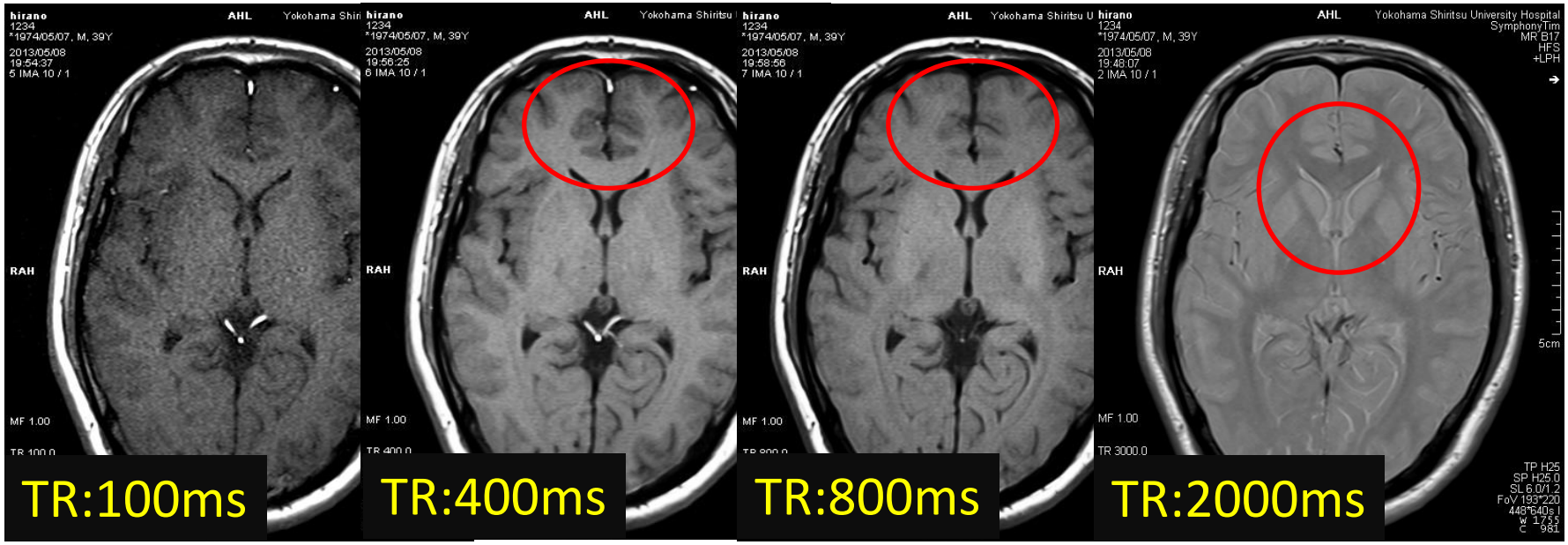
TEは、11ms固定







TE11msec 固定でTRを変化させたときの画像



SNが低い

白質/灰白質の
コントラストがより良い

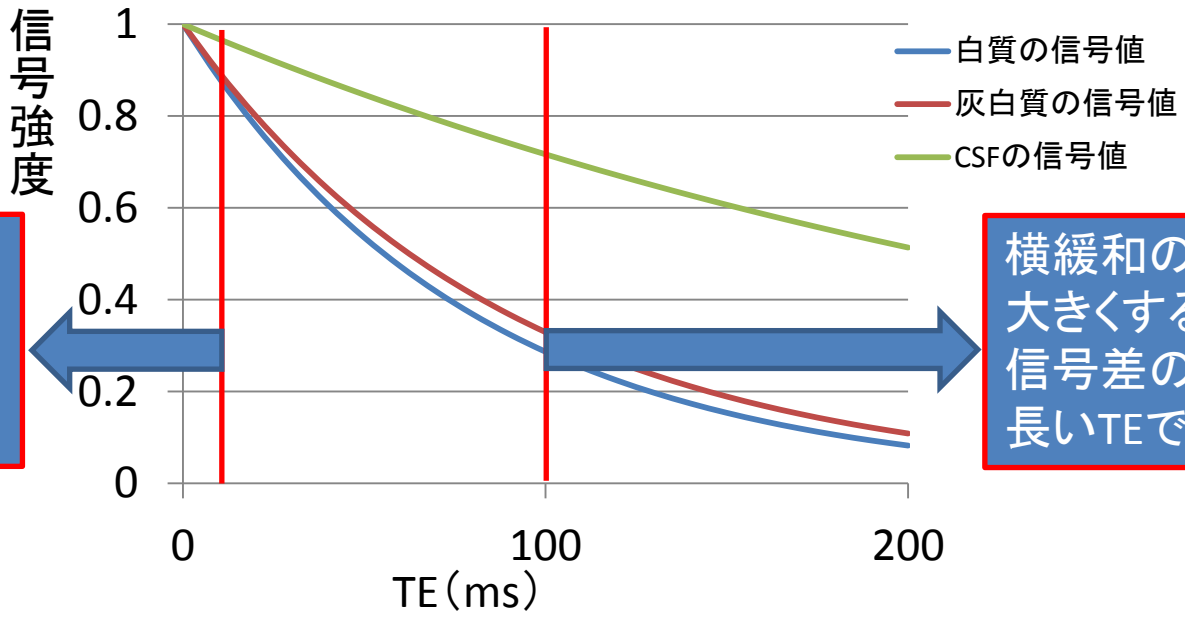
T1の影響が少ない画像
プロトン密度強調像

頭部T1強調像としては、TR400ms程度が適切

横緩和の項の影響

$$SEの信号強度=\rho \cdot (1-e^{-TR/T1}) \cdot e^{-TE/T2}$$

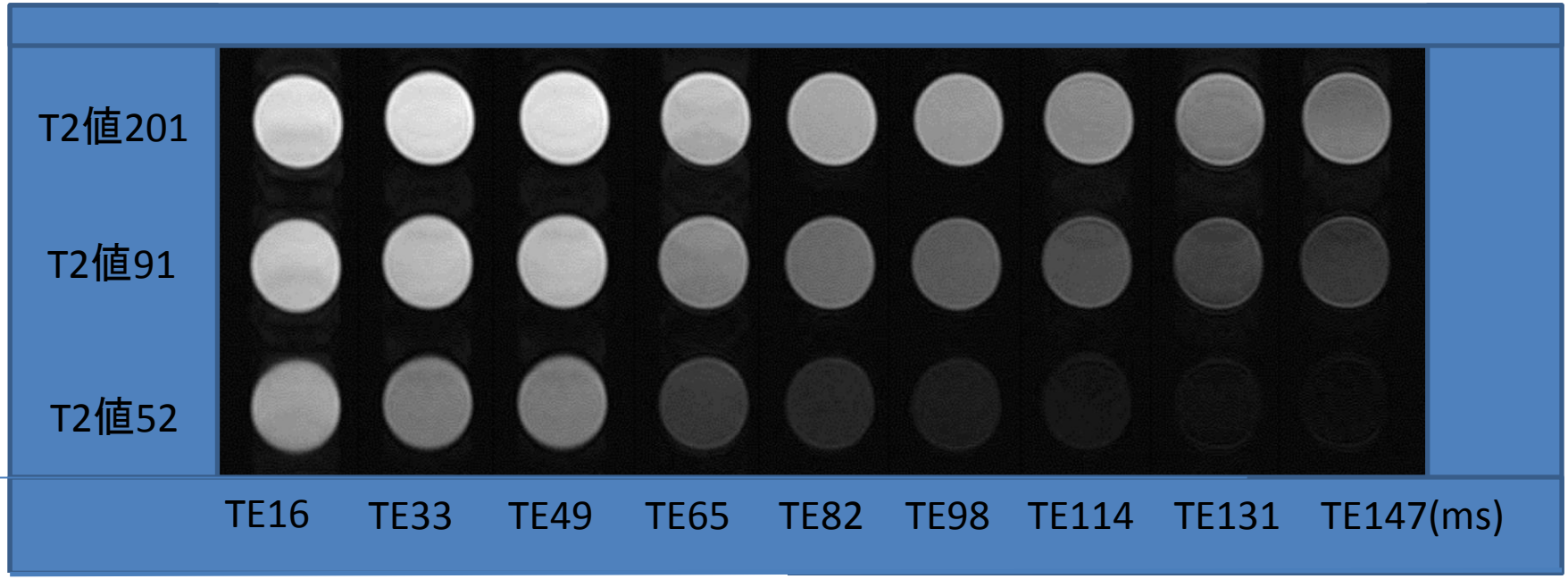
	プロトン密度	T1値	T2値
白質	70	760	80
灰白質	85	1100	90
脳脊髄液（CSF）	200	2000	200

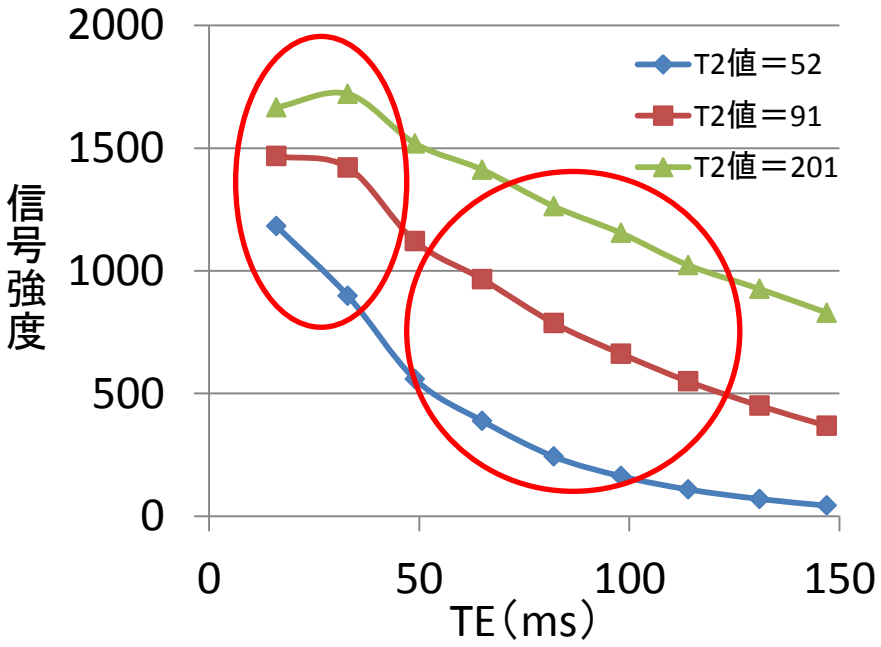


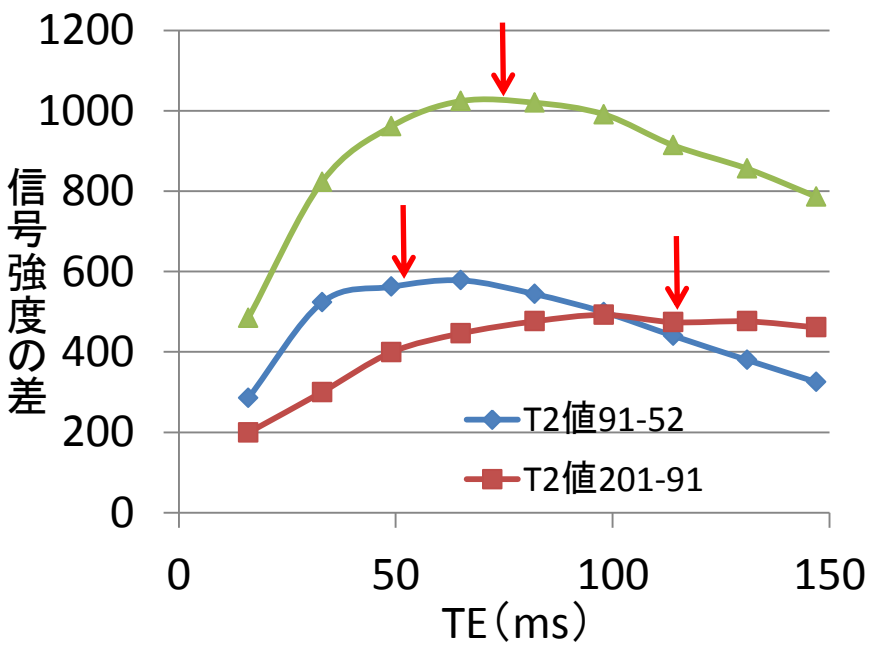
横緩和の影響を
小さくするには
信号差の少ない
短いTEでデータ収集

横緩和の影響を
大きくするには
信号差の大きい
長いTEでデータ収集

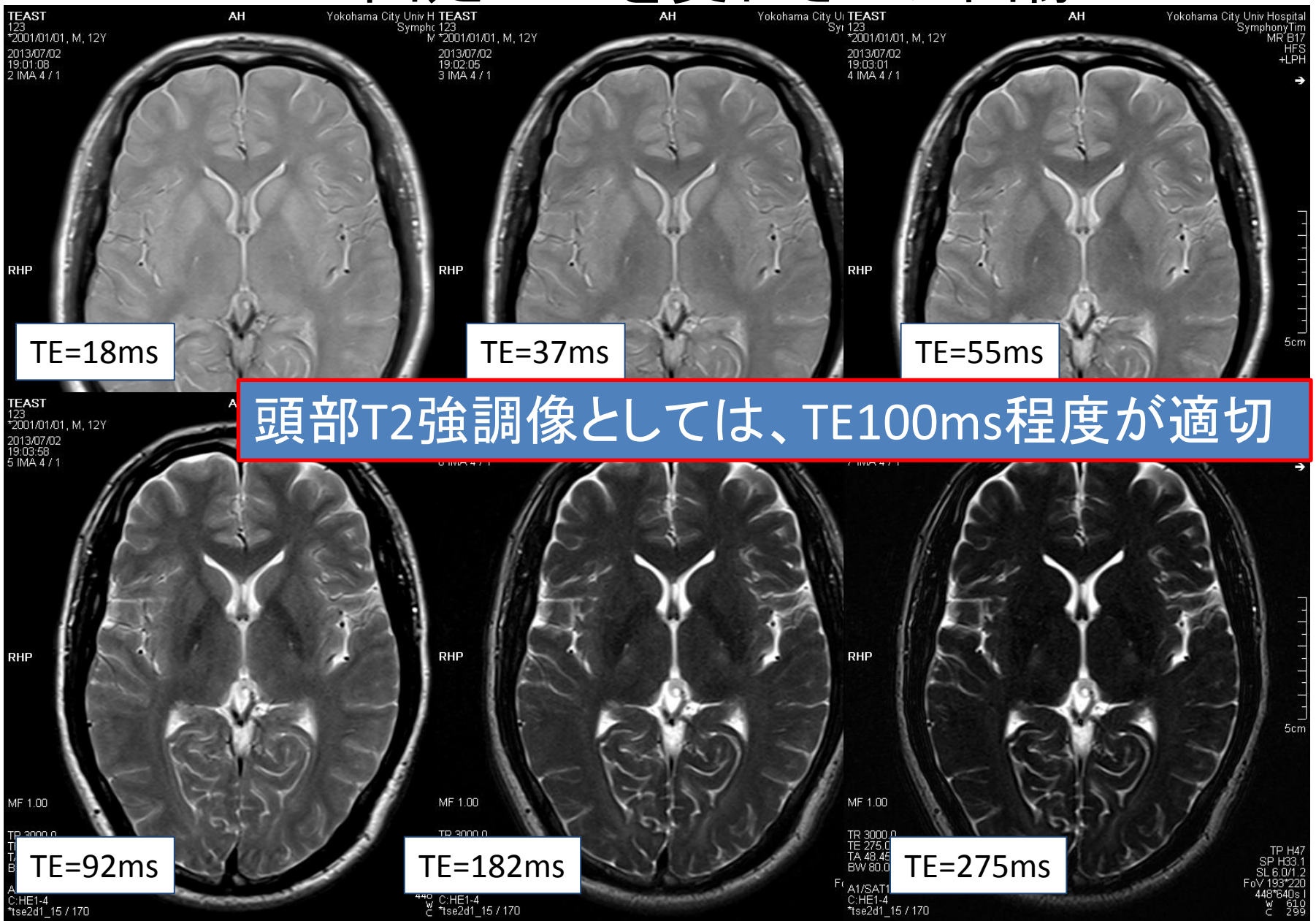
TEの変化に対する信号強度







TR3000msec固定でTEを変化させた画像



信号強度とコントラストのまとめ

	TE：短い（10～20ms）	TE：長い（100ms）
TR：短い（500ms）	T1強調像	／
TR：長い（3000ms）	プロトン密度強調像	T2強調像

一般的な各強調像のTRとTE

T1強調像
TR＜500ms　TE＜20ms

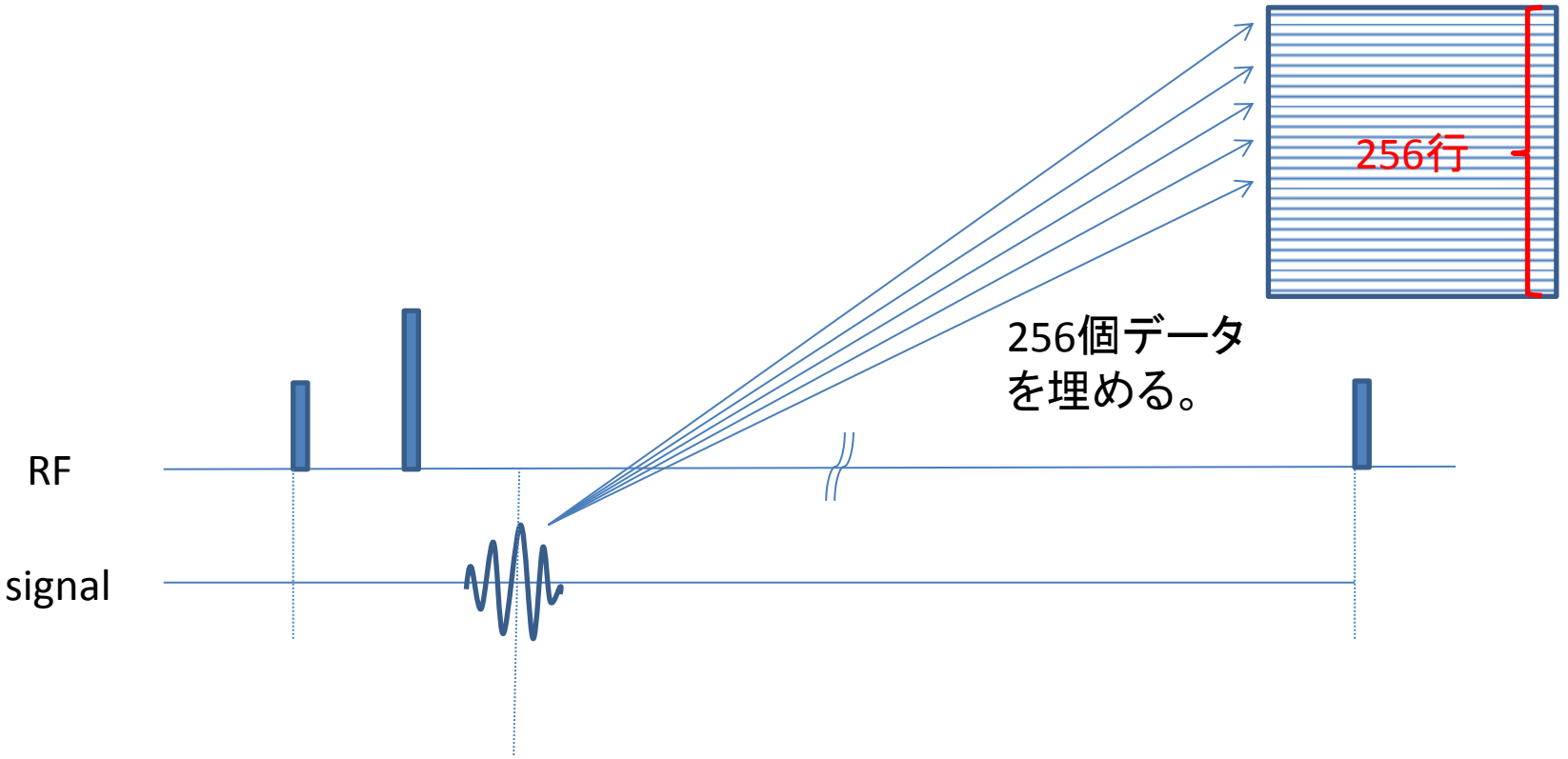
T2強調像
1500ms＜TR＜3000ms
60ms＜TE＜120ms

プロトン密度強調像
1500ms＜TR＜3000ms
20ms＜TE＜40ms

決定版　MRI完全解説　荒木力より

スピンエコー法の撮像時間

スピンエコー法の撮像時間 ＝TR×位相エンコード数×加算回数



スピンエコー法の撮像時間（具体的に）

T2強調像を撮像するとき

たとえば、
TR＝2000ms
位相エンコード数＝256
加算回数＝2

2000ms×256行×1回＝1024000ms＝1024秒
＝17分4秒

スピンエコー法の撮像時間（具体的に）

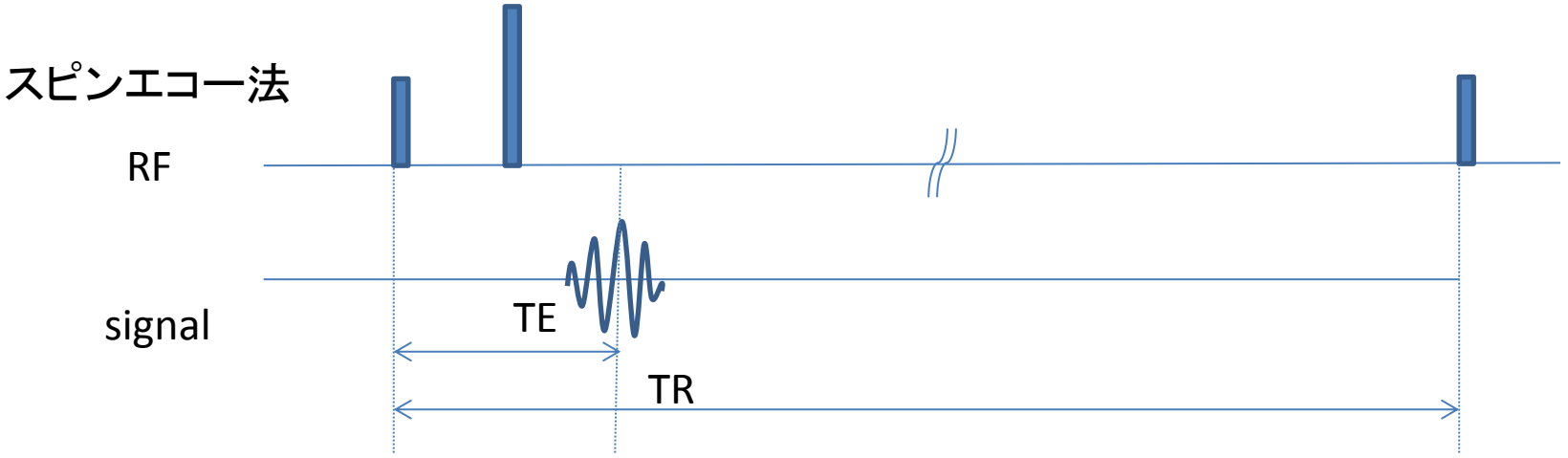
T1強調像を撮像するとき

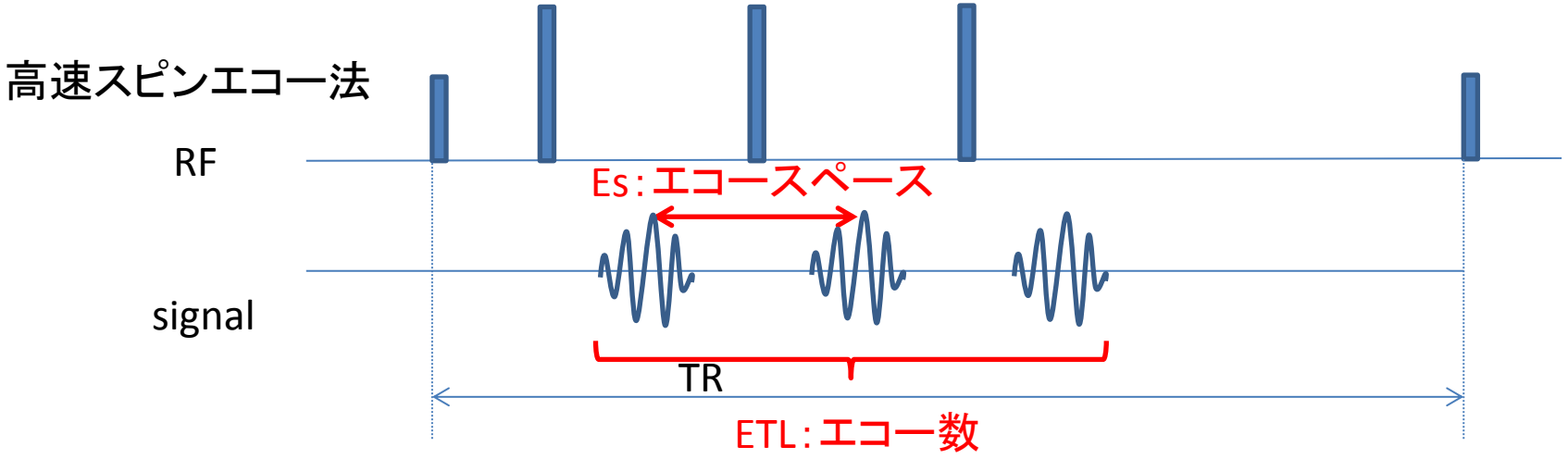
たとえば、
TR＝500ms
位相エンコード数＝256
加算回数＝2

500ms×256行×1回＝256000ms＝256秒
＝4分16秒

高速スピンエコー法について

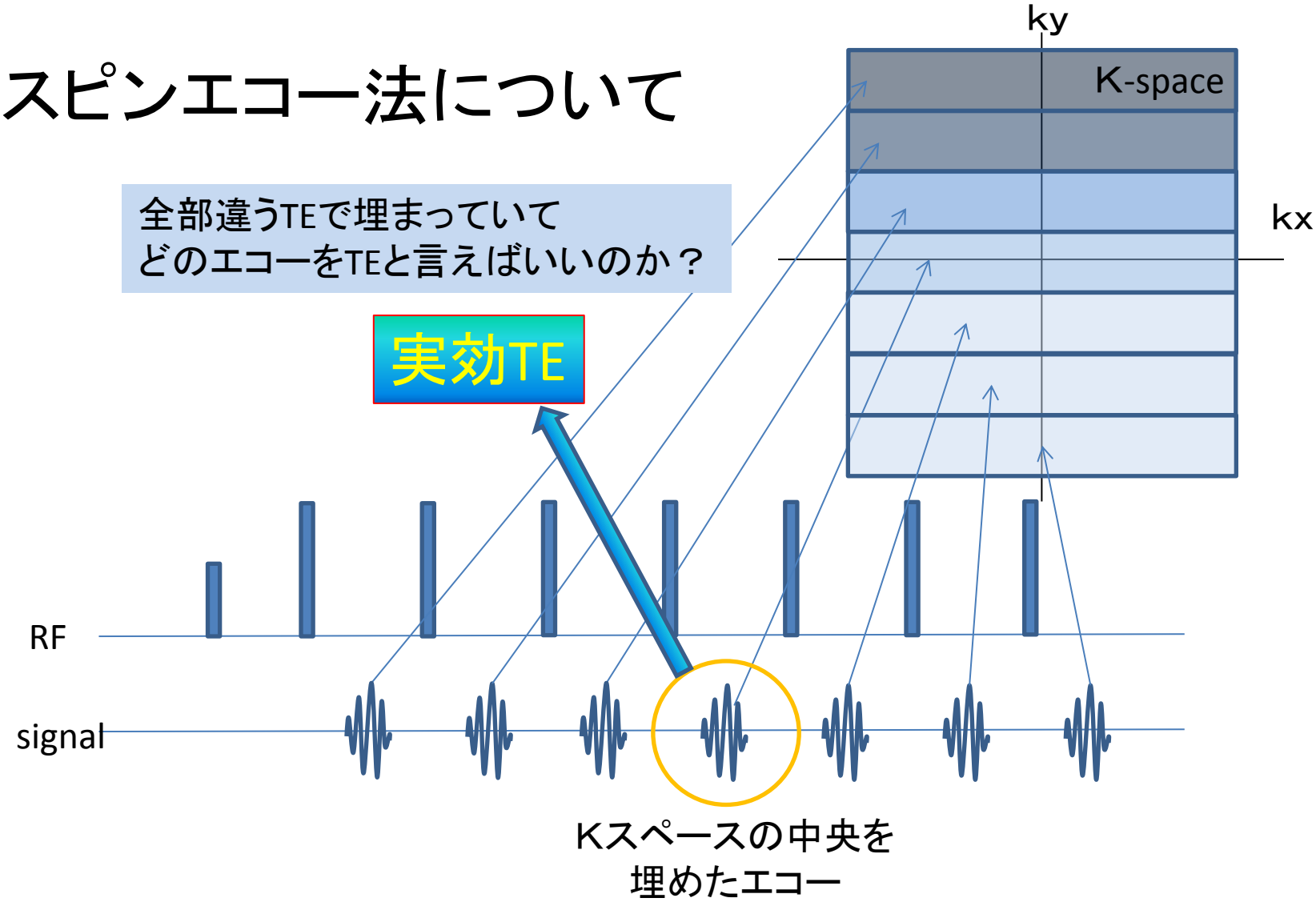
高速スピンエコー法について





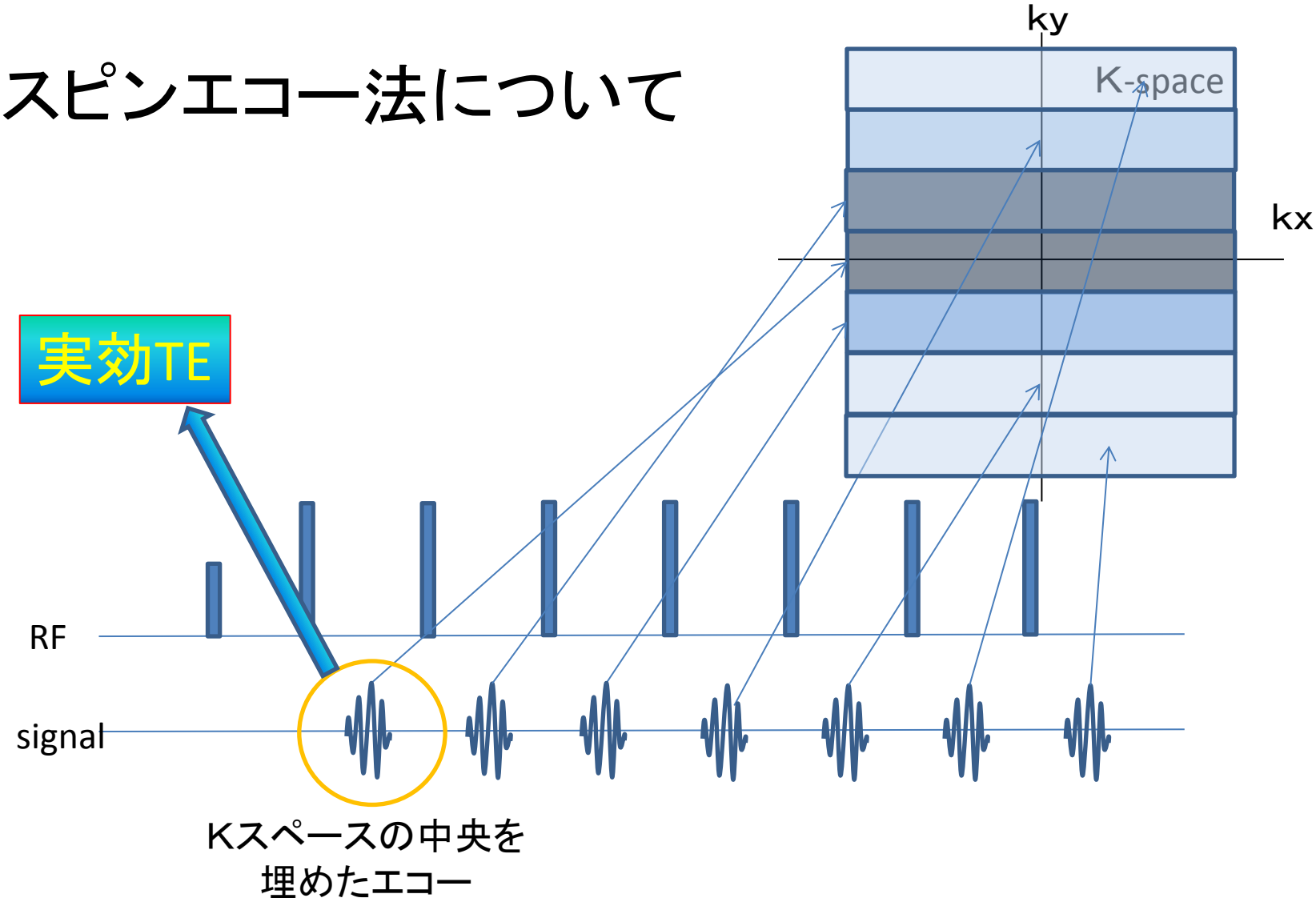
高速スピンエコー法について

全部違うTEで埋まっていて
どのエコーをTEと言えばいいのか？



高速スピンエコーでは、kスペースの中央を埋めるエコーを代表のエコー時間とし**実効TE**と言う。

高速スピンエコー法について



スピンエコー法と高速スピンエコー法の違い

①撮像時間の短縮

②コントラストの変化

③ぼけ効果

撮像時間の短縮

スピンエコー法でT2強調像を撮像するとき

TR＝2000ms
位相エンコード数＝256
加算回数＝2

2000ms×256行×2回＝1024秒＝17分4秒

撮像時間の短縮

エコー数8の高速スピンエコー法で
T2強調像を撮像するとき

TR＝2000ms
位相エンコード数＝256
加算回数＝2
エコー数＝8

1回のTRで8個のエコーが収集できるので、撮像時間は1/8になる。

$$\text{高速スピンエコーの撮像時間} = \frac{\text{TR} \times \text{位相エンコード数} \times \text{加算回数}}{\text{エコー数}}$$

撮像時間＝2分8秒

これでもう、「のろまとはいわせない！」

コントラストの変化

①脂肪信号の高信号化

②軟部組織のコントラストの低下

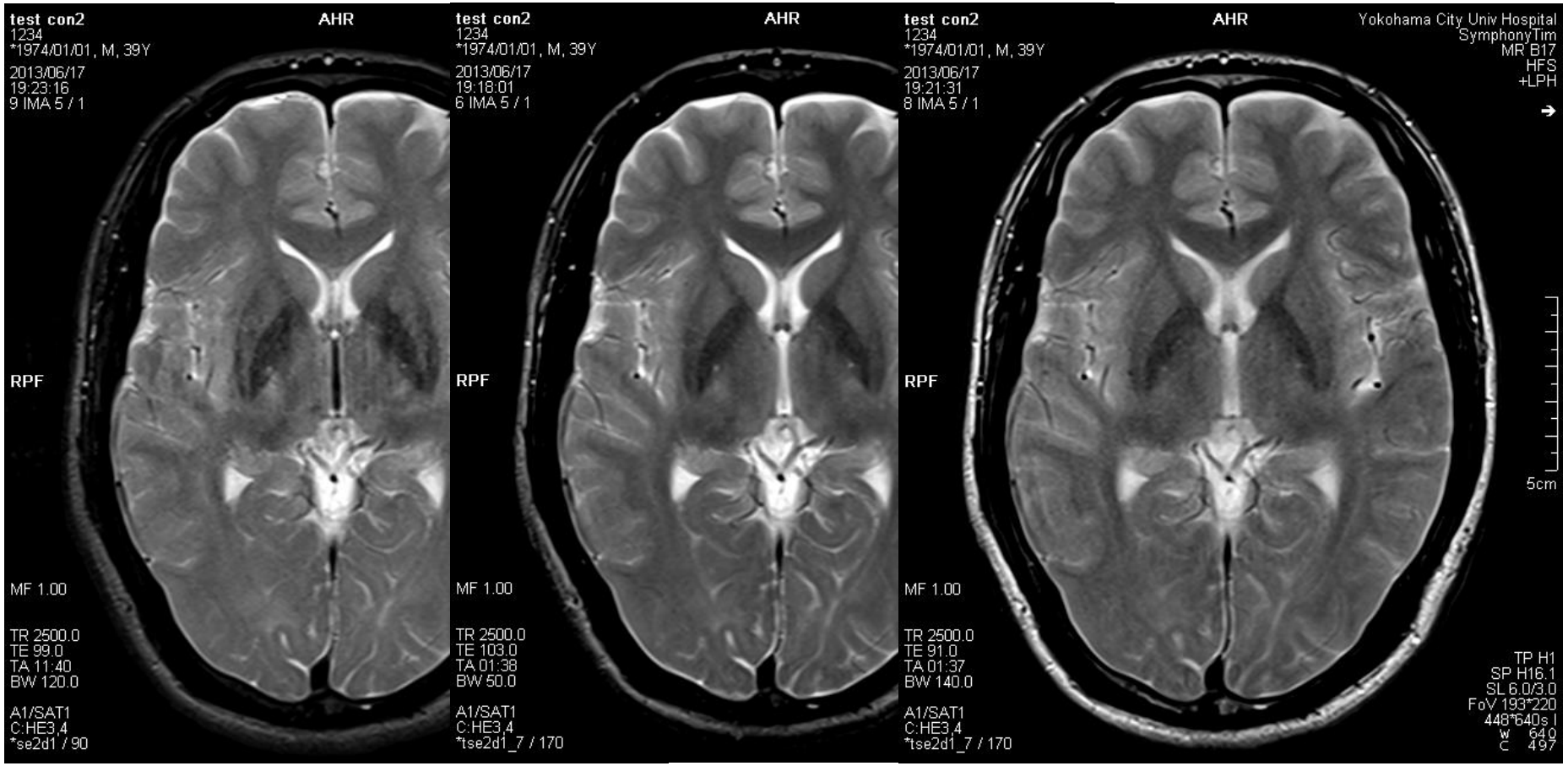
コントラストの変化の原因は、
Jcoupling，磁化移動MT効果，stimulated　echoes，複数の傾斜磁場を印加したことにより生じる位相分散などさまざまな影響が存在していると言われている。

脂肪信号の高信号化

スピンエコー法：T2強調像

高速スピンエコー法
エコースペース長い

高速スピンエコー法
エコースペース短い

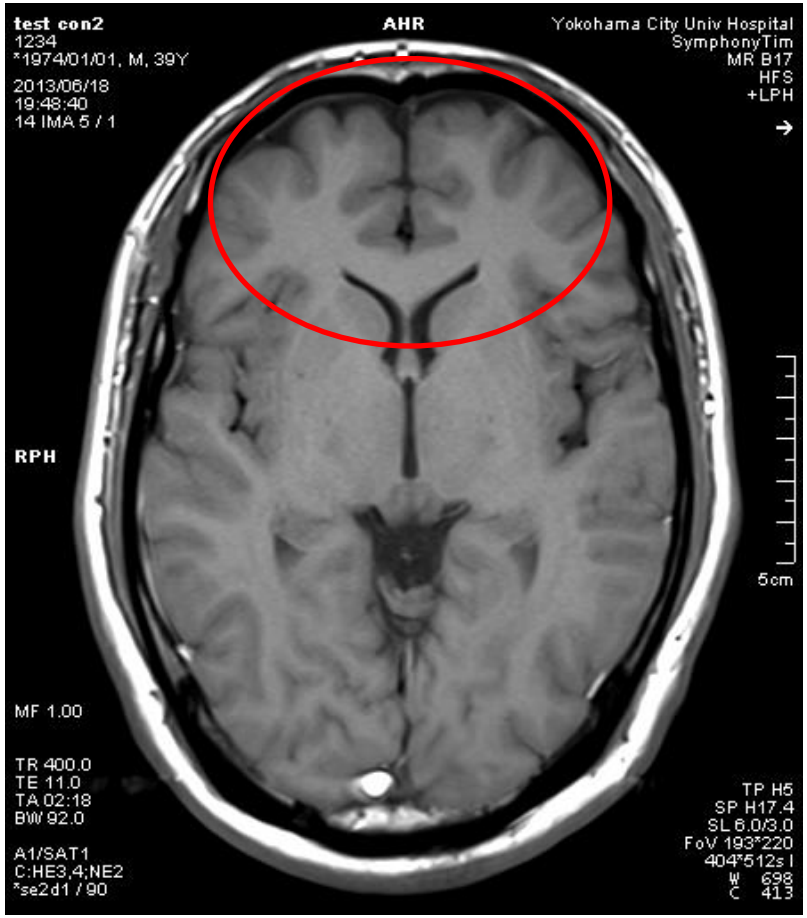


180度パルスの間隔が長い → 180度パルスの間隔が短い

180度パルスを当てる間隔が短くなると脂肪は高信号になる

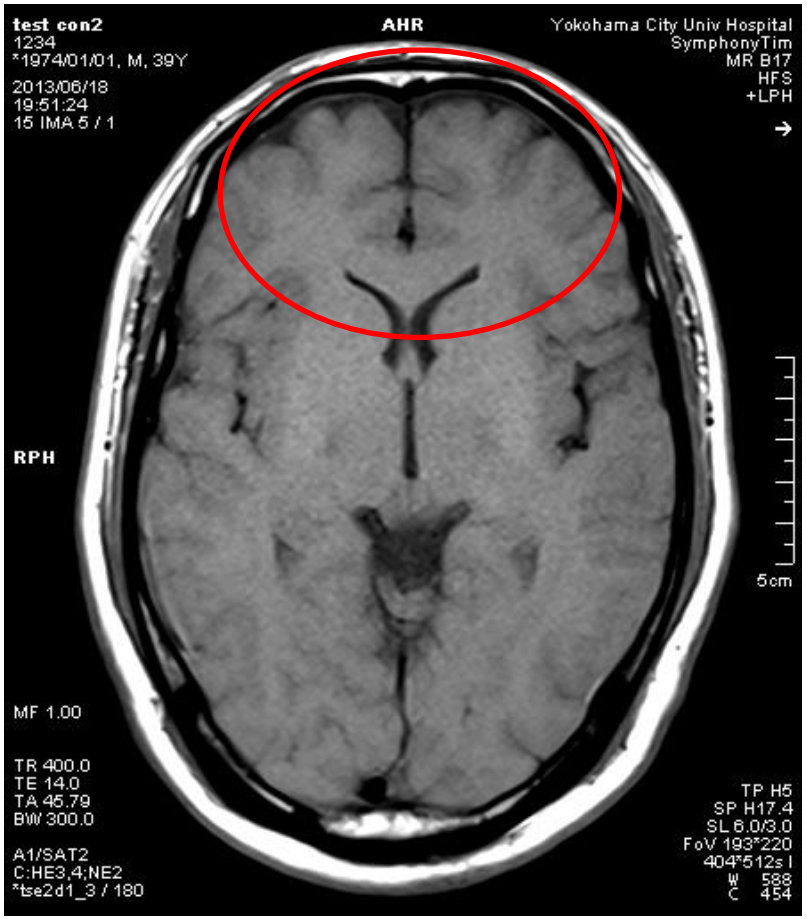
軟部組織のコントラストの低下（頭部）

スピンエコー法：T1強調像



撮像時間　2分22秒

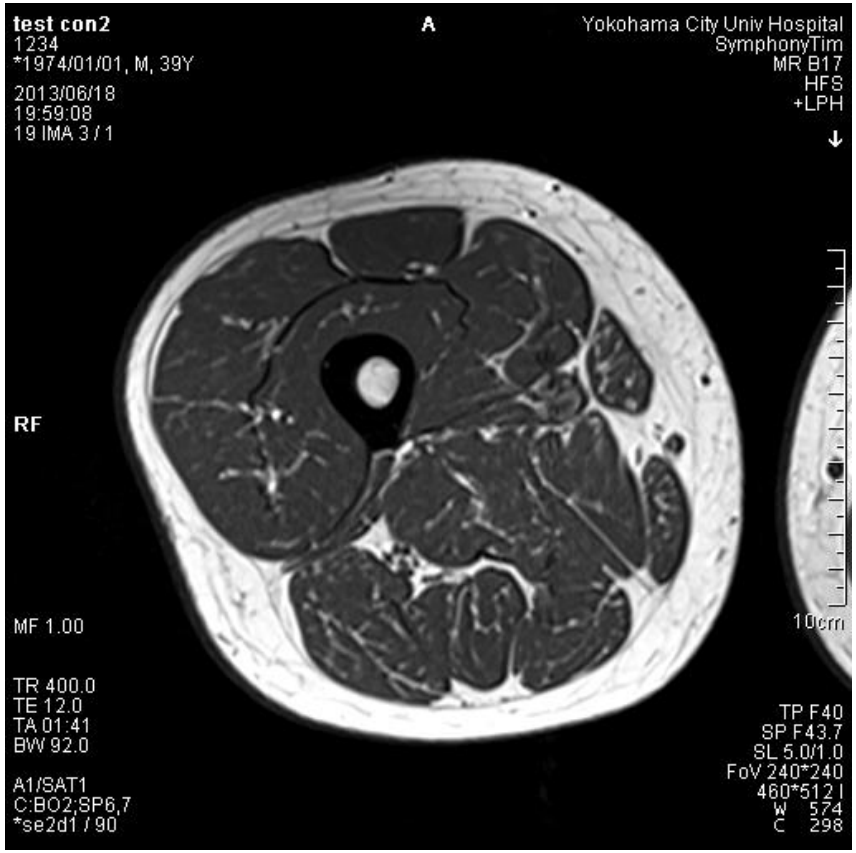
高速スピンエコー法：T1強調像（ETL=3）



撮像時間　48秒

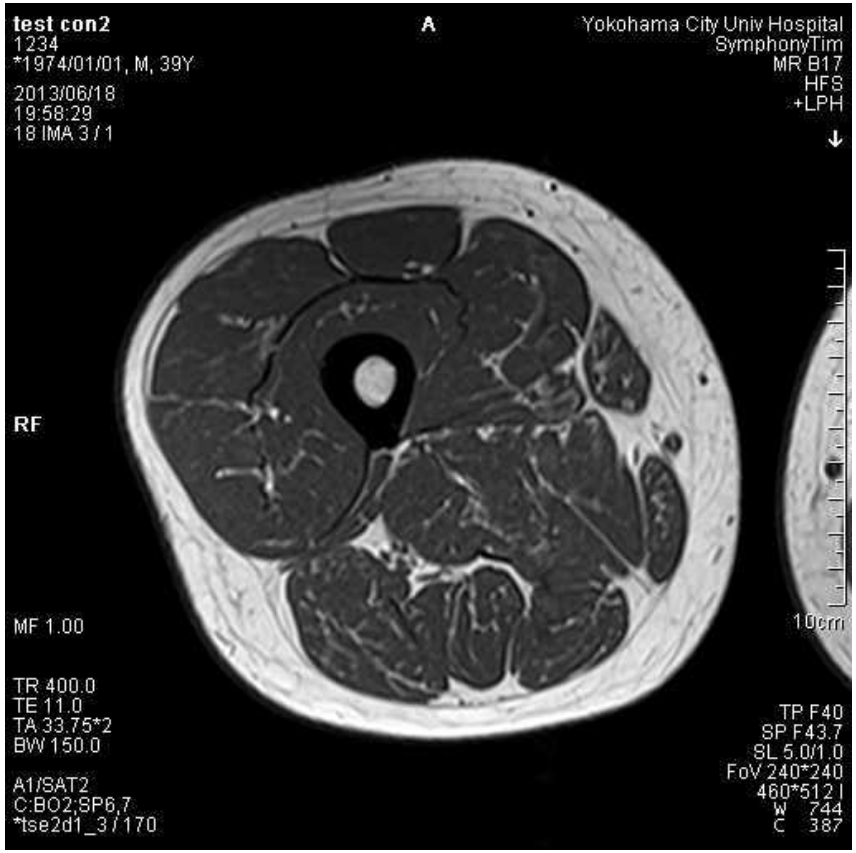
軟部組織のコントラストの低下（大腿部）

スピンエコー法：T1強調像



撮像時間　1分45秒

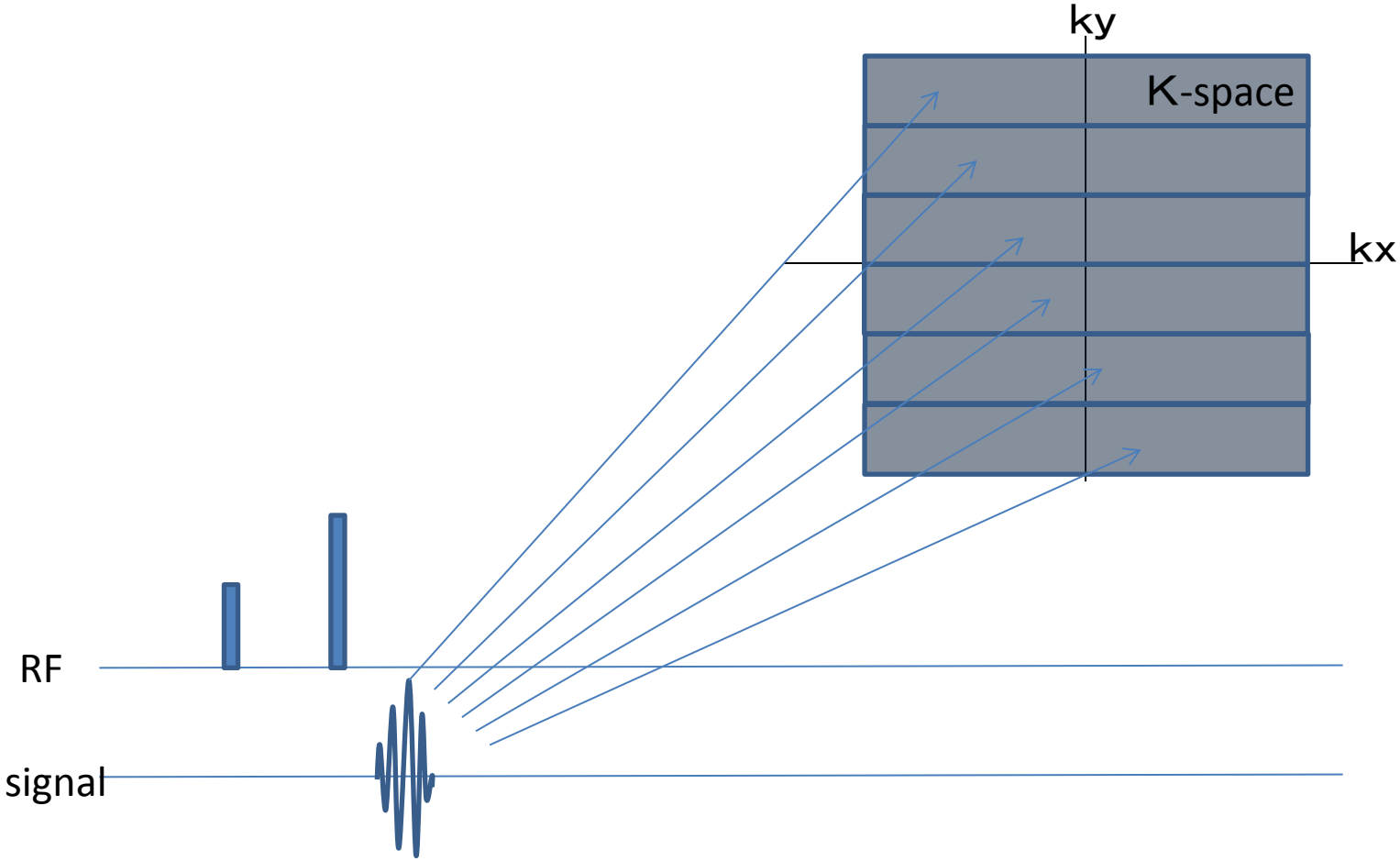
高速スピンエコー法：T1強調像（ETL=3）



撮像時間　34秒

ボケの効果

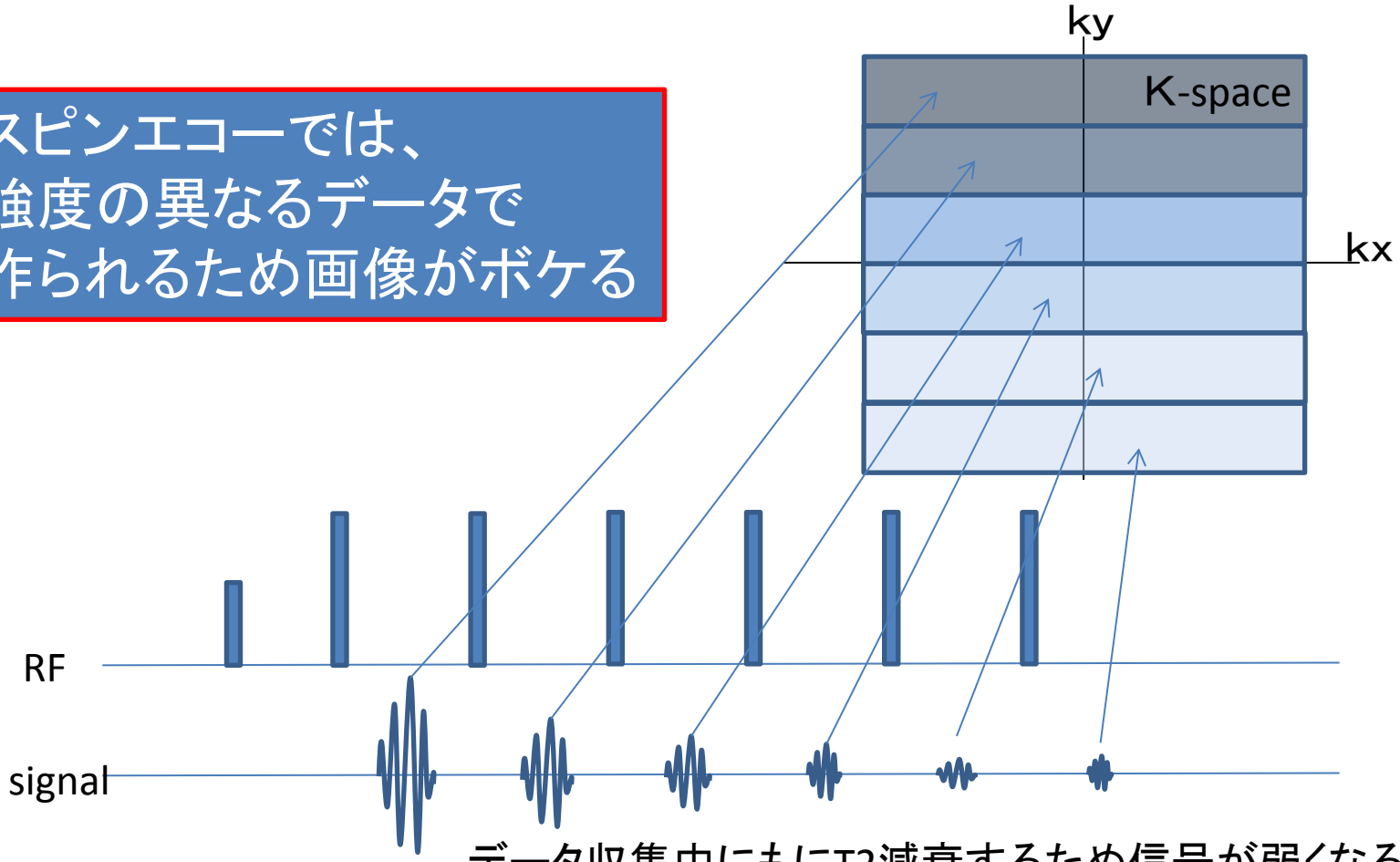
スピンエコーでは、同じTEでデータを収集し、k-spaceを埋めるため、
信号強度がそろう。



ボケの効果

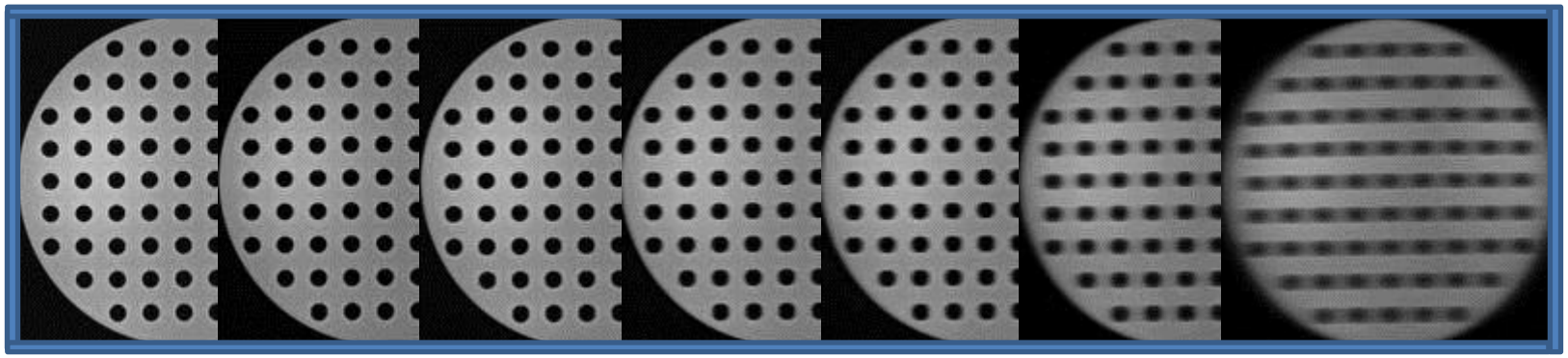
高速スピンエコーでは、複数の違うTEでデータを収集し、k-spaceを埋めるため、
信号強度が異なる。

高速スピンエコーでは、
信号強度の異なるデータで
画像作られるため画像がボケる

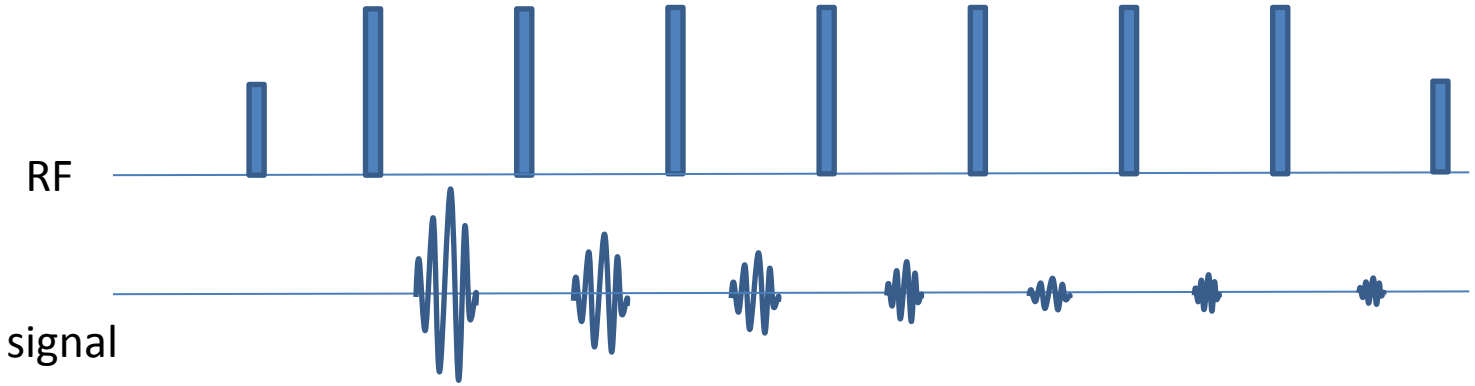


データ収集中にもにT2減衰するため信号が弱くなる

エコー数（ETL）とボケの関係

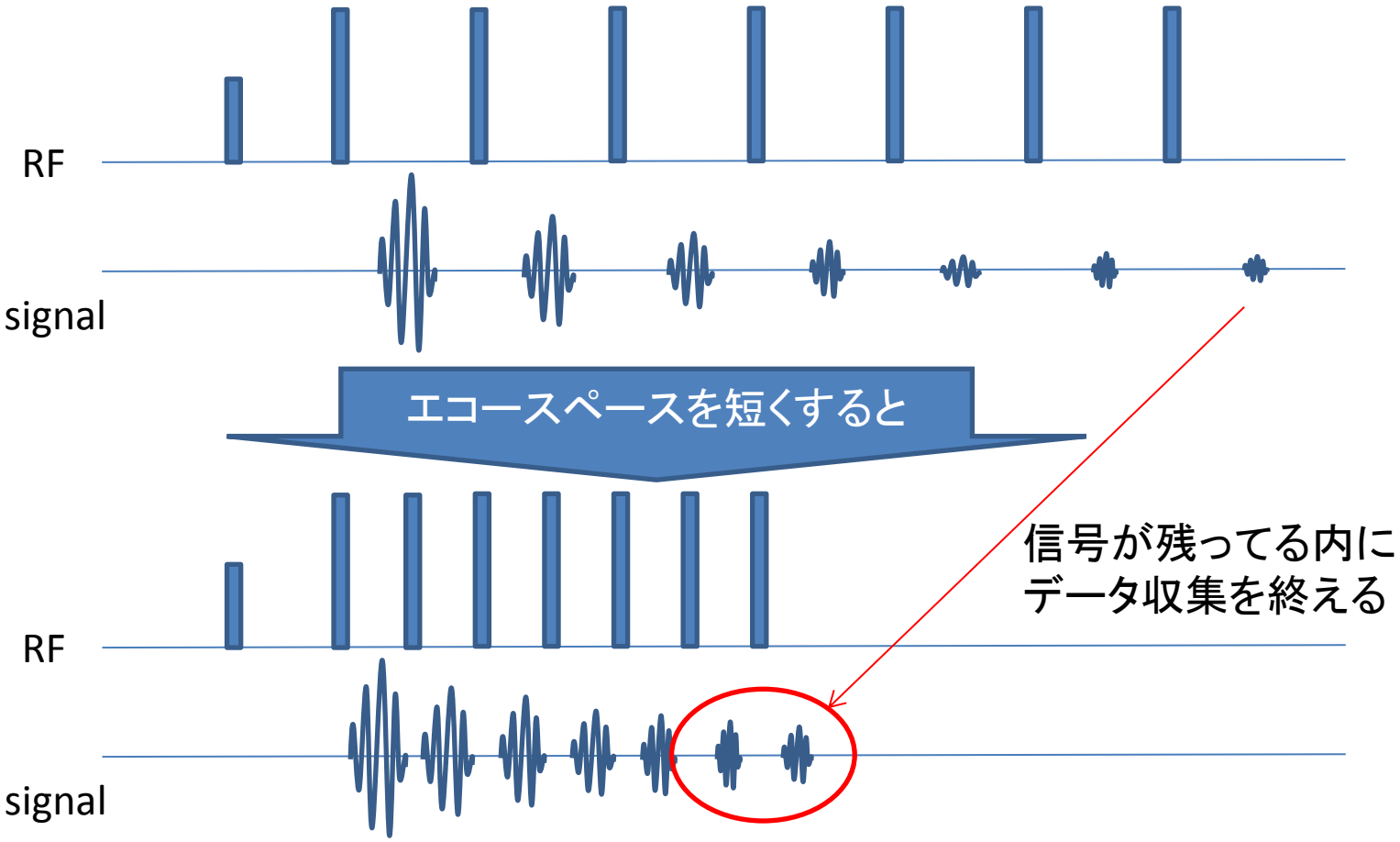


ETL=1　ETL=3　ETL=5　ETL=9　ETL=15　ETL=25　ETL=50

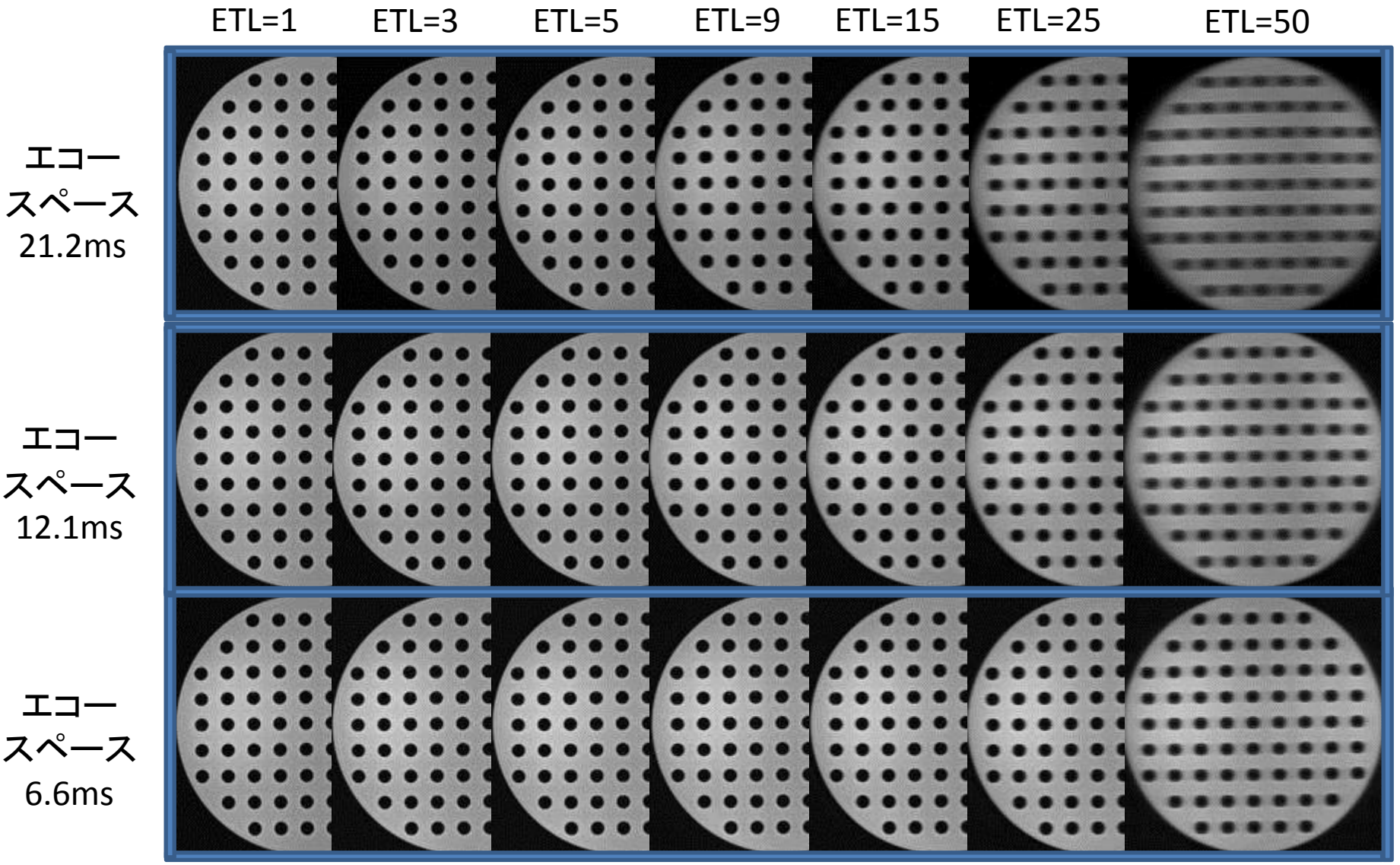


エコー数を増加させると、画像がボケる。

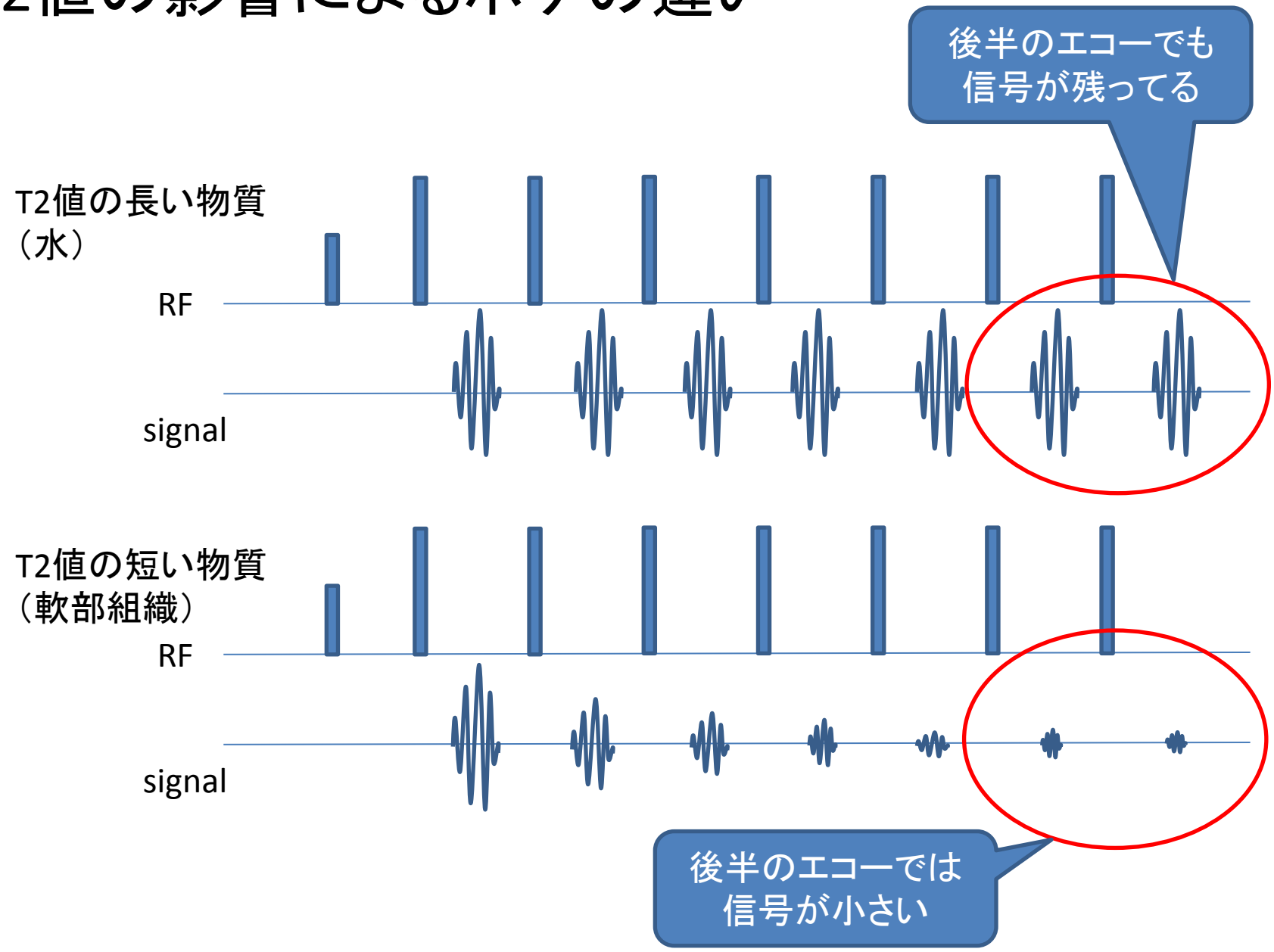
エコースペースとボケの関係



エコースペースとボケの関係

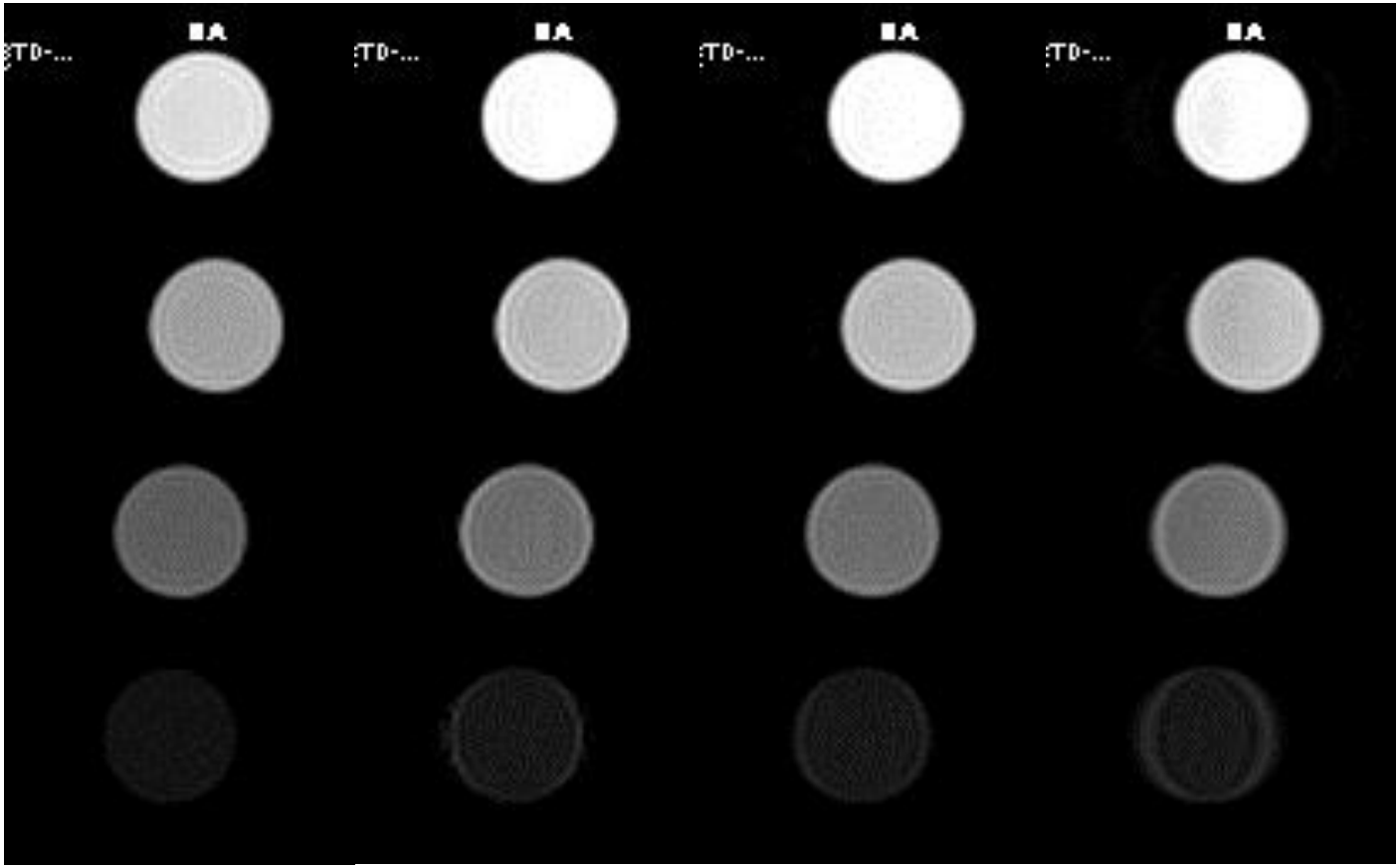


T2値の影響によるボケの違い



T2値の影響によるボケの違い

T2値の
長い物質



T2値の
短い物質

ETL=1　　ETL=7　　ETL=14　　ETL=21

スピンエコーのまとめ

①信号の高い綺麗な画像が得られる。

②時間がかかる。

③TRとTEでコントラストが決まる。

高速スピンエコーのまとめ

①スピンエコー法の高速バージョンです。

②軟部組織のコントラストが低下する。

③脂肪が高信号になる。

④画像がボケる。

参考文献

MRIの基礎　パワーテキスト
　基礎理論から最新撮像法まで　監訳：荒木力

決定版　MRI完全解説　　著：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