

2006.11.02 大阪大学医学部

臨床医工学融合研究教育センター・画像医学

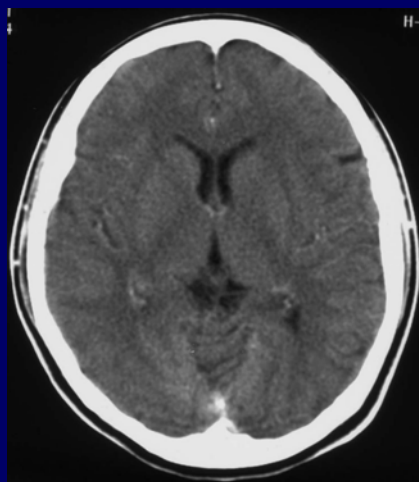
医用画像の基礎：  
MRIの原理と実際

国立循環器病センター・放射線診療部

内藤 博昭

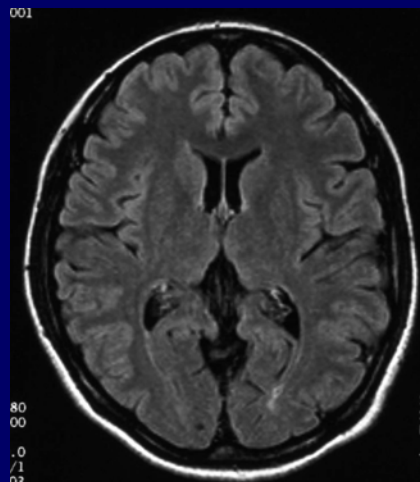
X線コンピュータ断層撮影法

X-Ray CT:  
Computed Tomography



磁気共鳴画像診断法

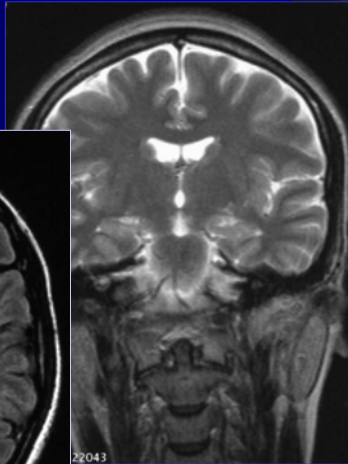
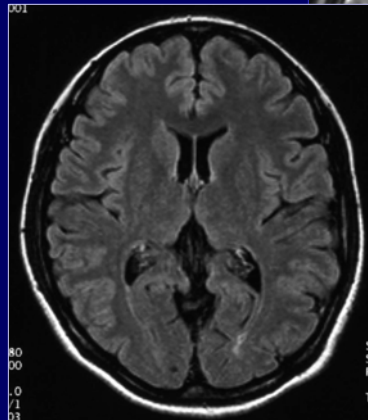
MRI: Magnetic  
Resonance Imaging



## MRI画像

頭部冠状断像

頭部水平横断像



頭頸部  
MR  
アンジオグラフィ

## 超伝導電磁石 の内部構造



シーメンス マグネトム H15  
(1984;NCVC導入, 1.5T装置)

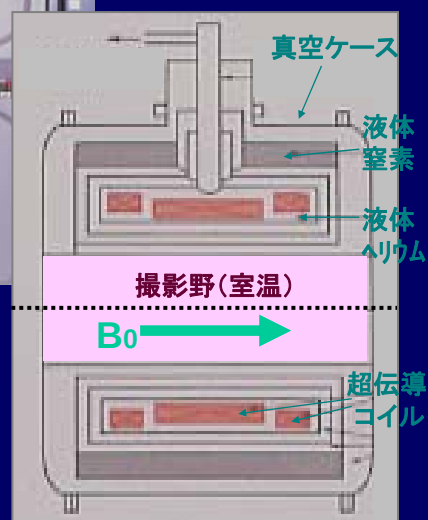


1テスラ = 10000ガウス

N.テスラ



K.F.ガウス





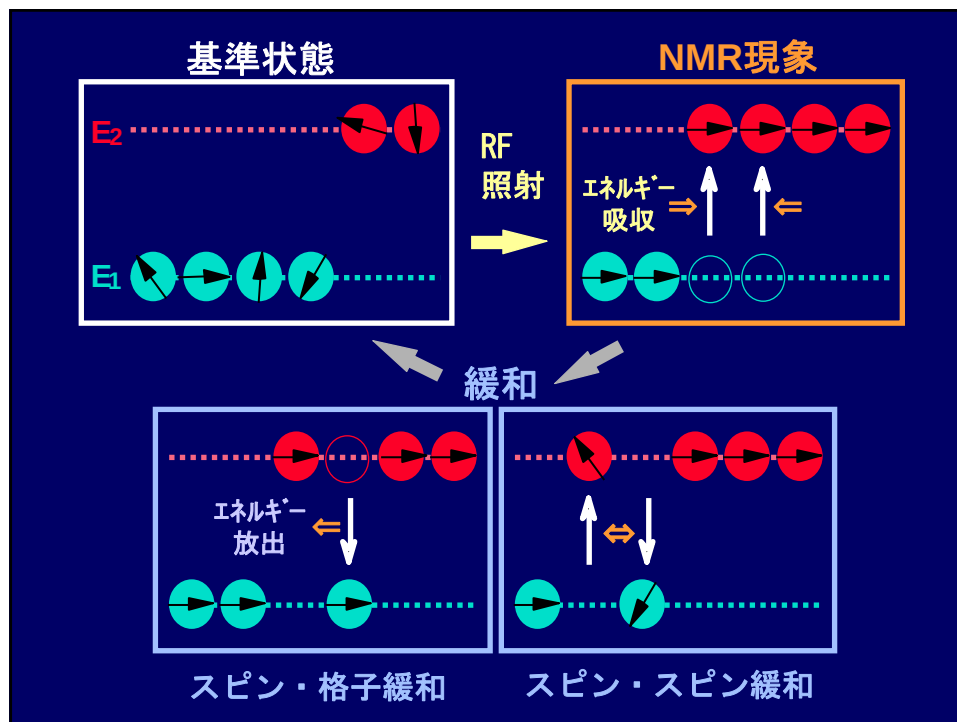
シーメンス  
マグネトム H15

+ ストレッチャ...  
(1988;レジデントにより導入)



## NMR現象を臨床医学へ

1. NMR現象とは
2. NMR信号のイメージング
3. 画像の信号強度と組織性状
4. スピンエコー法 / グラジエントエコー法
5. 常磁性体の影響・MR造影剤
6. 血流 / 分子運動イメージング
7. 高速撮像法・高磁場イメージング



F.ブロッホ



E.M.パーセル

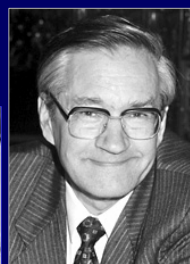
\* ブロッホ / パーセル:  
NMR発見(1946) (ノーベル賞1952)

\* ダマディアン:  
腫瘍の緩和時間延長(1971)

\* エルンスト:  
フーリエ変換NMR(ノーベル賞1991)

\* ローターバー / マンスフィールド:  
NMRイメージング(ノーベル賞2003)

R.ダマディアン



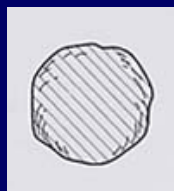
R.R.エルンスト



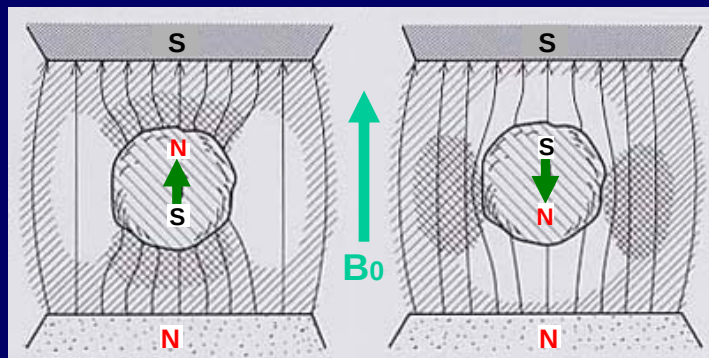
P.マンスフィールド

P.C.ローターバー

## 磁場と物質の磁性



磁性なし



常磁性:  
paramagnetic

反磁性:  
diamagnetic

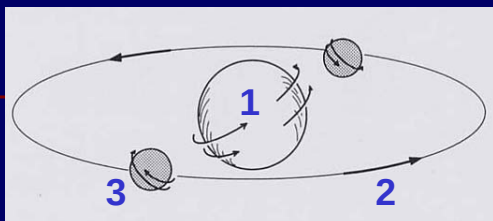
磁化率  $\chi_m$ :

正

負

## 原子・分子磁石

| 種類           | 磁性／相対強度  | 物質の磁気特性                       |
|--------------|----------|-------------------------------|
| 1. 原子核の自転    | 常磁性／1    | 寄与は小さい                        |
| 2. 電子の(軌道)運動 | 反磁性／-100 | 反磁性: 高磁場内                     |
| 3. 電子の自転     | 常磁性／1000 | 不対電子<br>常磁性: 高磁場内<br>超常磁性・強磁性 |



## MRI: 対象核種の決定

\* 核常磁性の有無:  
陽子または中性子が奇数

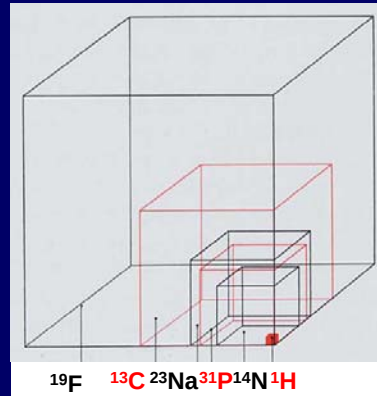
\* 生物学的感度  
・核種自身の物理的感度  
・同位体の自然存在比  
・体内存在量

\* 医学的意義



#イメージング対象核種: 水素原子核(プロトン)!

同じS/Nを得るための信号収集サイズ



(真野 勇: 図説MRI より)

## 原子核磁石と磁場

ラーモアの式  
 $\omega = \gamma \times B$

$\omega$  : ラーモア角周波数

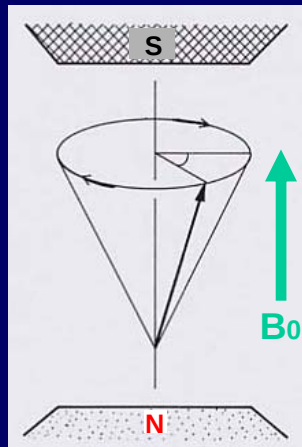
$\gamma$  : 磁気回転比

$B$  : 磁場強度

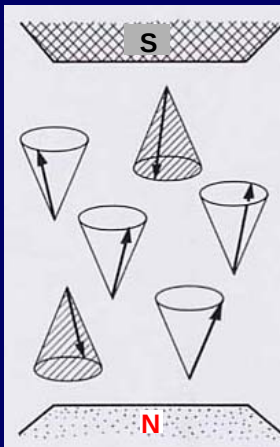
磁気回転比

42.6MHz/T ( $^1\text{H}$ )

17.2MHz/T ( $^{31}\text{P}$ )



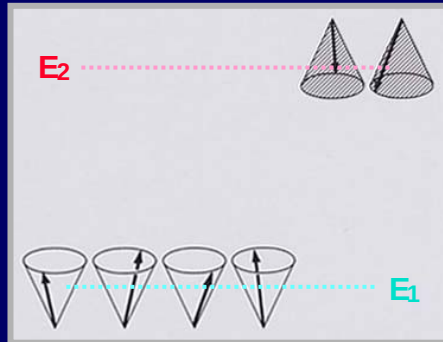
原子核磁石の  
歳差運動



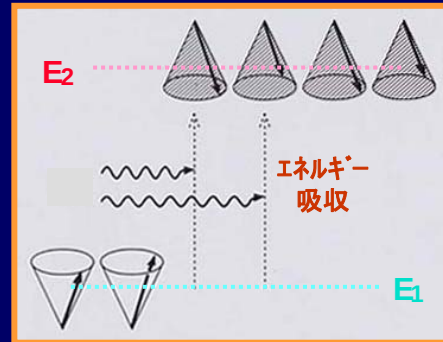
歳差運動の向き/傾き  
とエネルギー準位

## 核磁気共鳴現象：量子論的説明

基準状態：熱平衡

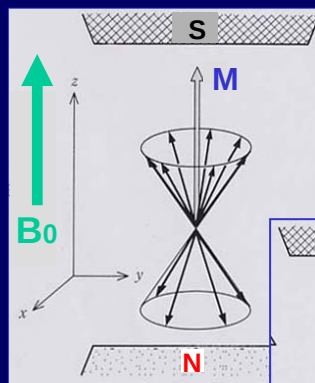


NMR現象

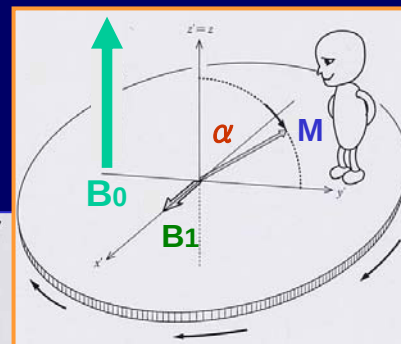
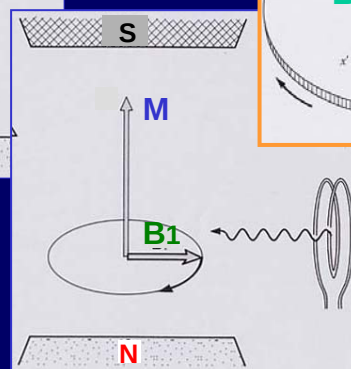


ラジオ周波数帯の電磁波 (RF) 照射

## 核磁気共鳴現象：古典力学的説明



M:  
巨視的磁化  
ベクトル



回転座標系での  
巨視的磁化ベクトル  
の動き

$\alpha$  : フリップ角



## 緩和現象：量子論的説明

基準状態：熱平衡

RF照射

NMR現象

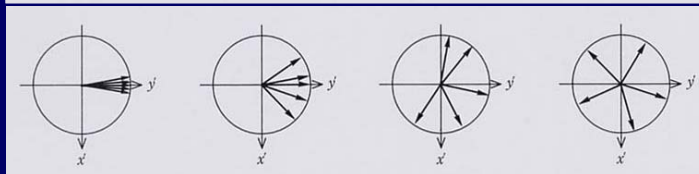
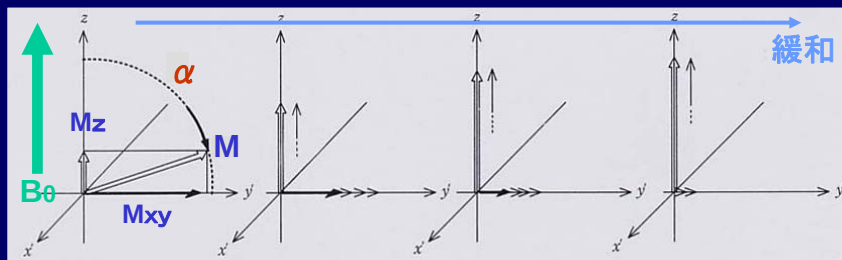
エネルギー  
吸収

エネルギー  
放出

スピン・格子緩和

スピン・スピン緩和

## 緩和現象：古典力学的説明



横緩和：  
スピン回転位相  
のばらつき

スピン格子緩和＝縦緩和

緩和時間T1: 縦磁化回復の時定数

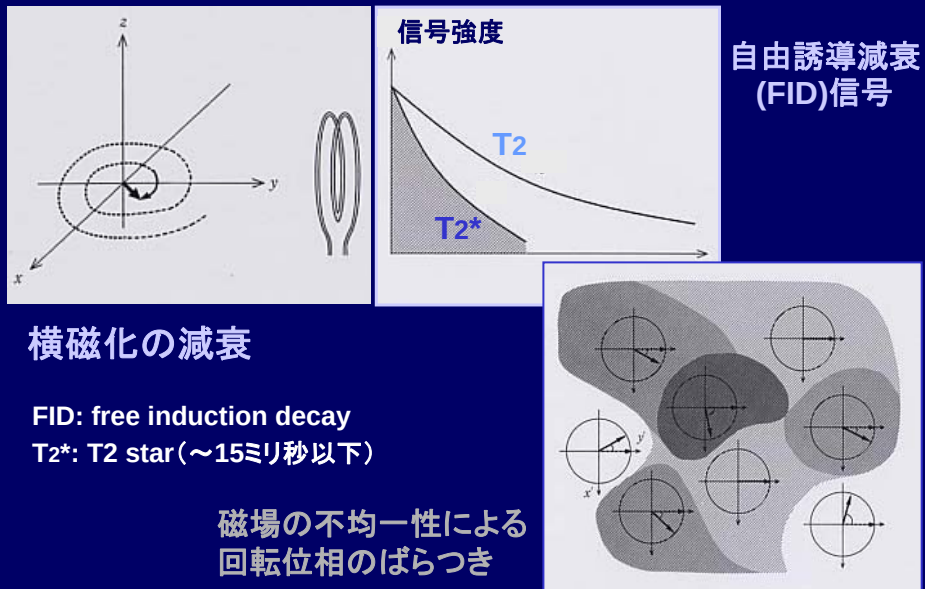
スピンスピン緩和＝横緩和

緩和時間T2: 横磁化減衰の時定数

\* 生体のT1: 数100ミリ秒～数秒 T2: 数10ミリ秒～数100ミリ秒(磁場1テスラ程度)



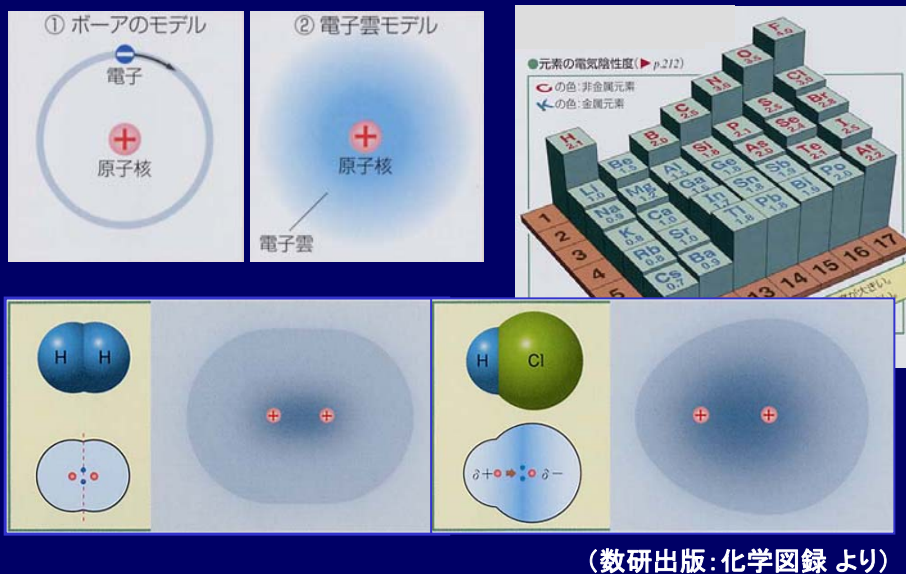
## 横磁化減衰がNMR信号を生む



## 磁場の不均一性

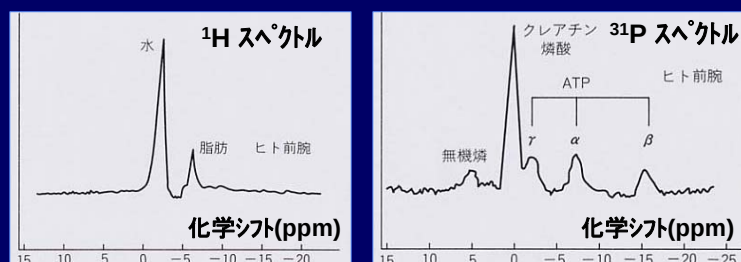
| 原因            | 磁場種類 | 強さ                              | 時間  | 対応         |
|---------------|------|---------------------------------|-----|------------|
| <b>* 装置側:</b> |      |                                 |     |            |
| ・静磁場不均一性      | 外部   | 1ppm/視野                         | 恒常的 | SE         |
| ・傾斜磁場の印加      | 外部   | 10mT/m~                         | 一時的 | 修正<br>傾斜磁場 |
| <b>* 生体側:</b> |      |                                 |     |            |
| ・対象の磁化率       | 内/外部 | 様々                              | 恒常的 | SE         |
| ・化学シフト        | 内部   | 3.5ppm/B <sub>0</sub><br>(水-脂肪) | 恒常的 | SE         |

## 電子の遮蔽効果と電気陰性度



## 化学シフト

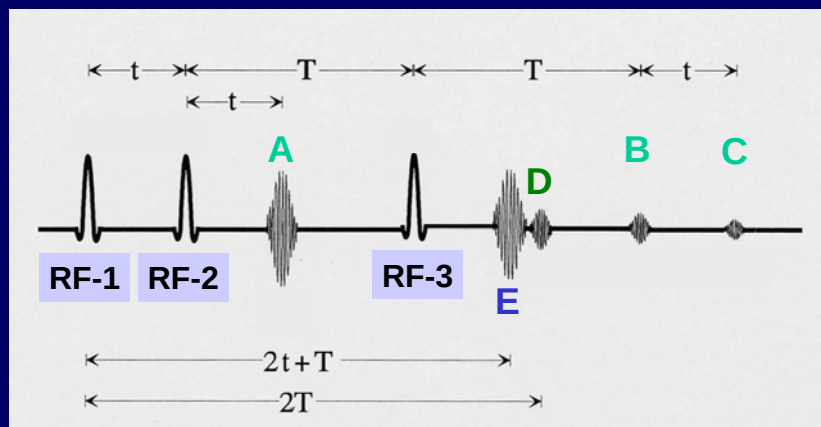
- \* 電子の原子 / 分子軌道ループ運動による反(常)磁性
- \* 電子雲の遮蔽効果: 結合元素の電気陰性度と関係
- \* 化学シフト: 同じ原子核の共鳴周波数のずれ
  - ・ 分子構造・化学結合に基づく感じる磁場の違い
  - ・ 外部磁場の強さに比例 (H: 水-脂肪; 3.5ppm)



## NMR現象を臨床医学へ

1. NMR現象とは
2. NMR信号のイメージング
3. 画像の信号強度と組織性状
4. スピンエコー法 / グラジエントエコー法
5. 常磁性体の影響・MR造影剤
6. 血流 / 分子運動イメージング
7. 高速撮像法・高磁場イメージング

## MRIの信号:エコー信号を作る



A・B・C:一次スピンエコー

D:二次スピンエコー

E:ステイミュレイテッドエコー

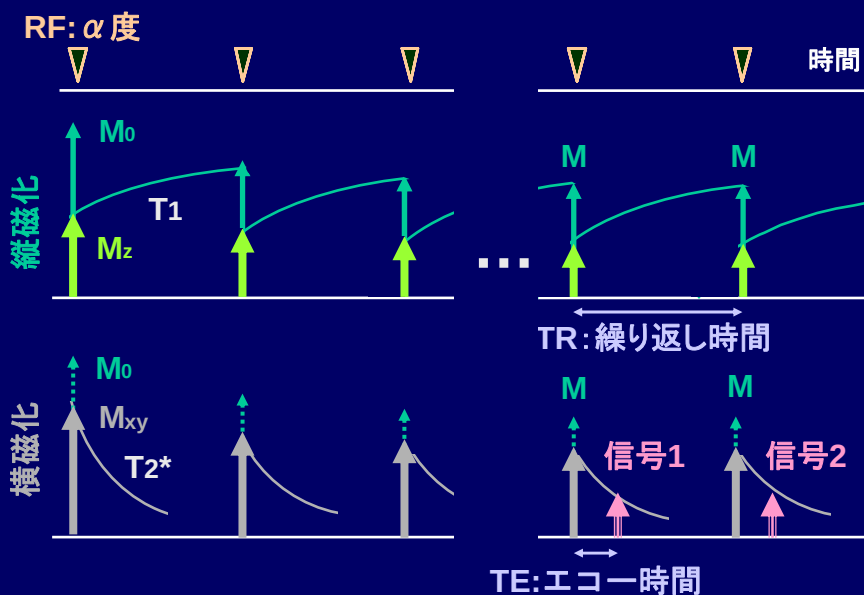
(エルスター:MR「超」講義 より)

## MR信号のタイプ

## 作り方

|                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| * 自由誘導減衰:FID      | 1つのRFパルス             |
| * エコー信号           |                      |
| ・グラジエントエコー:GRE    | 1つのRF+傾斜磁場反転<br>GRE法 |
| ・スピネコー:SE         | 2つのRFパルス<br>SE法      |
| ・ステミュレイテッドエコー:STE | 3つ以上のRFパルス           |

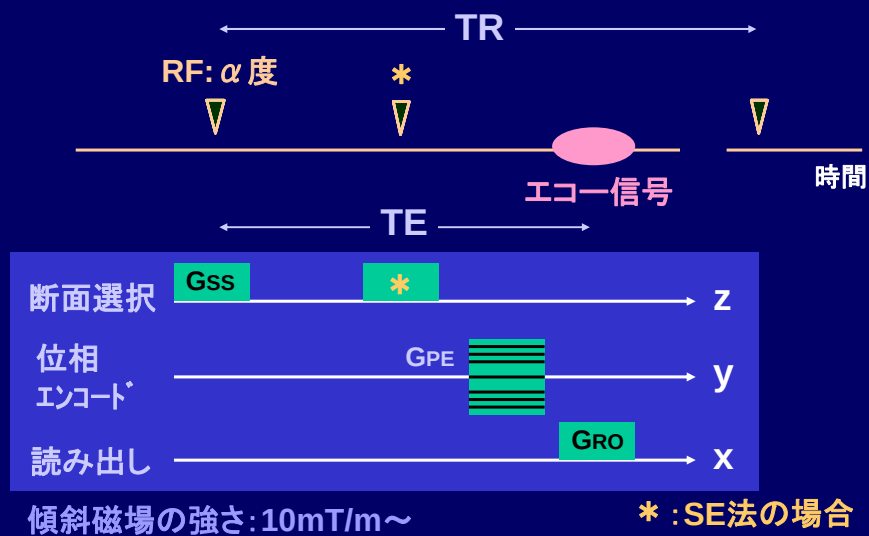
## スポイルド グラジエントエコー シーケンス

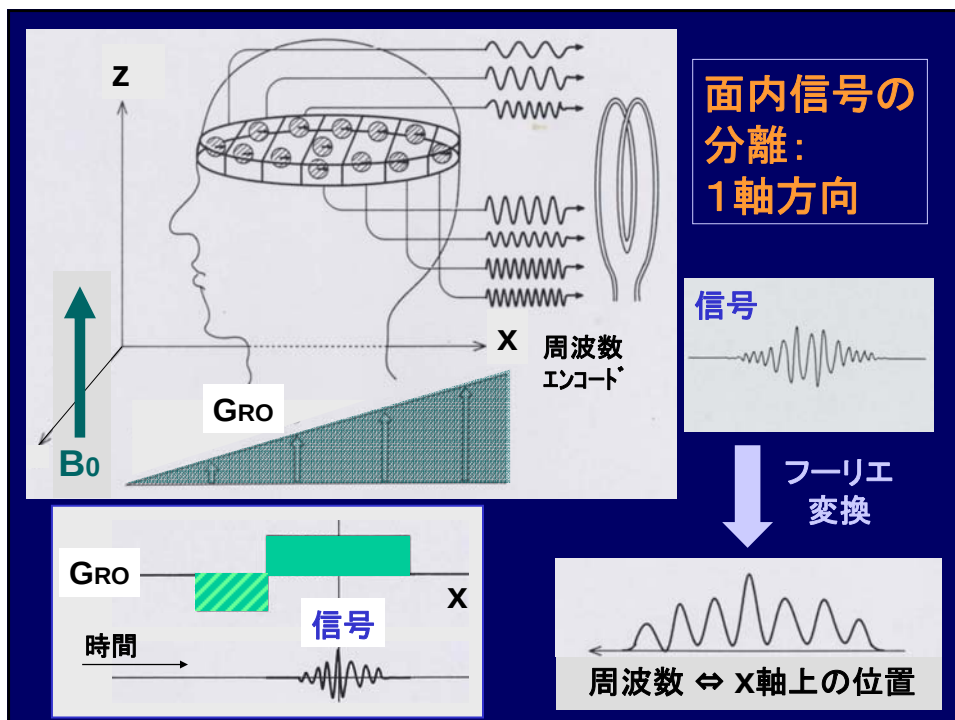
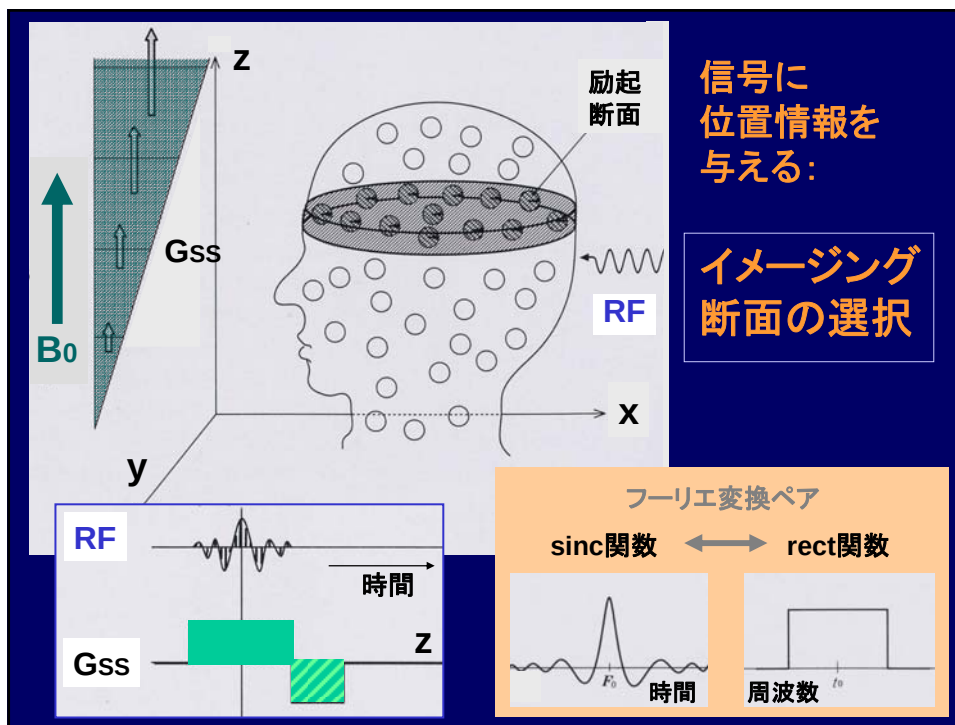


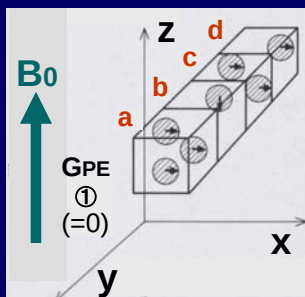
## MR画像の信号強度



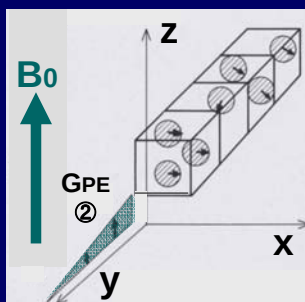
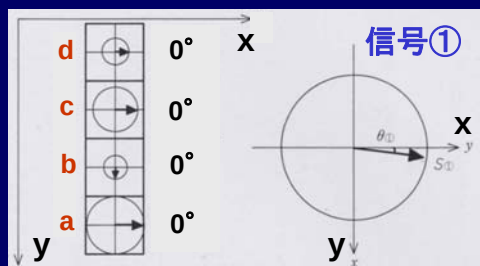
## 信号に位置情報を与える: 傾斜磁場の印加



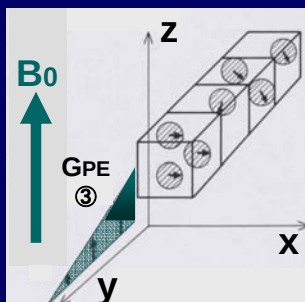
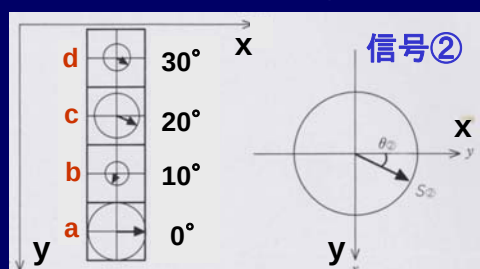




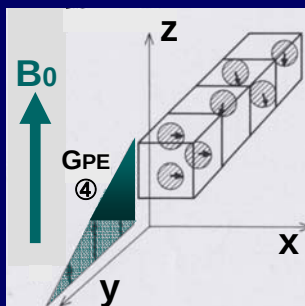
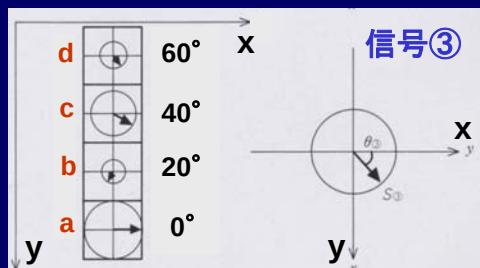
### 位相エンコードステップ①



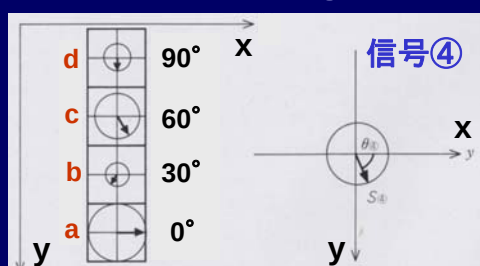
### 位相エンコードステップ②



### 位相エンコードステップ③

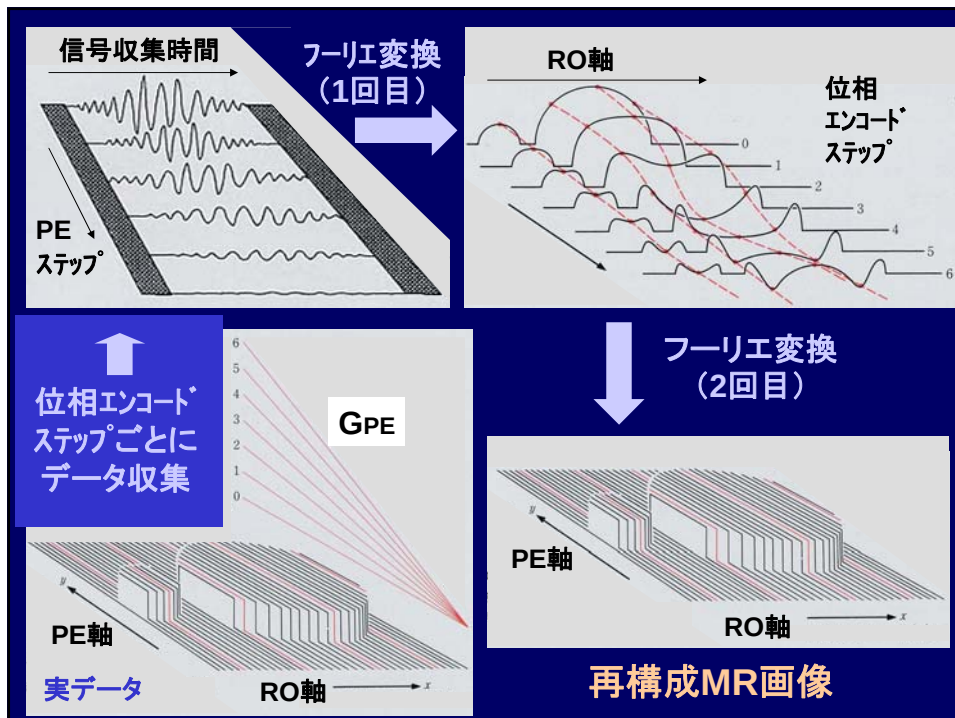
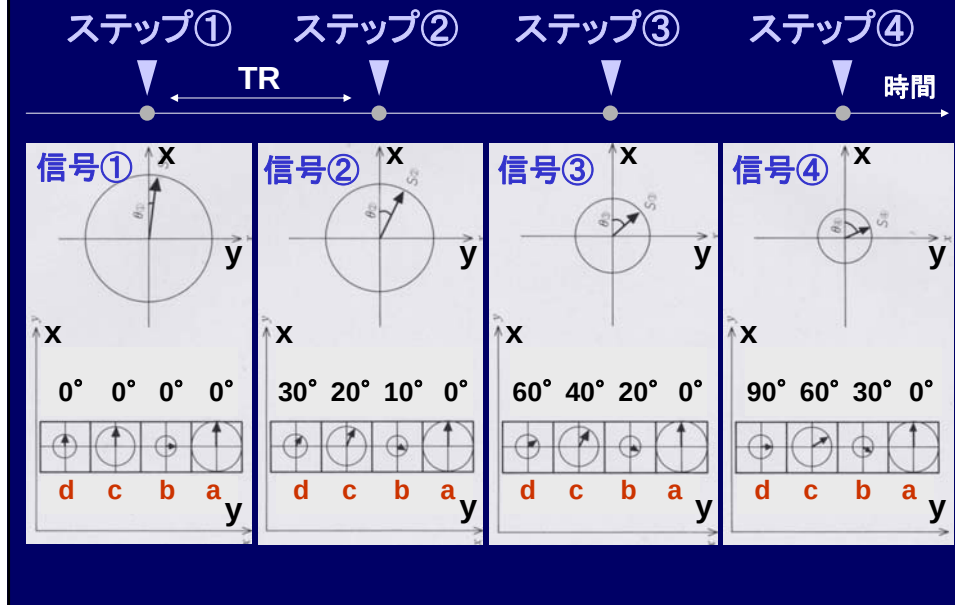


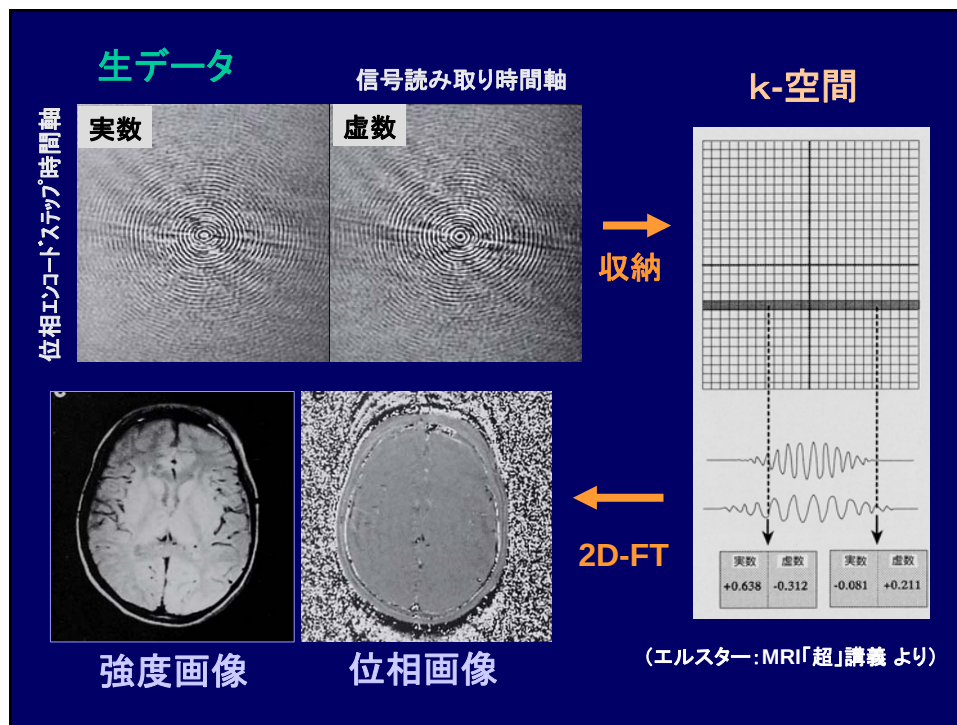
### 位相エンコードステップ④





## 位相エンコードステップごとの信号収集





## 傾斜磁場印加ステップ: 2D法 vs 3D法

### 2D-FT法

\* 断面選択(z軸)



\* 位相エンコード(y軸)



\* 周波数エンコード(x軸)



信号収集

### 3D-FT法

\* 断面選択(z軸)



\* 位相エンコード(y軸)

\* 位相エンコード(z軸)



\* 周波数エンコード(x軸)



信号収集

## NMR現象を臨床医学へ

1. NMR現象とは
2. NMR信号のイメージング
3. 画像の信号強度と組織性状
4. スピンエコー法 / グラジエントエコー法
5. 常磁性体の影響・MR造影剤
6. 血流 / 分子運動イメージング
7. 高速撮像法・高磁場イメージング

## MR画像の信号強度



## 人体の構成要素

### \* 元素／原子

- ・ O : 65%, C : 18.5%, H : 9.5%, N : 3.2%...

### \* 分子／化合物

- ・ 水(自由水, 結生水／構造水) : 60～65%
- ・ 脂質(中性脂肪, リン脂質, ステロイド...) : 15～20%
- ・ 蛋白質 + 関連物質 : 18%, 塩類 : 7%...

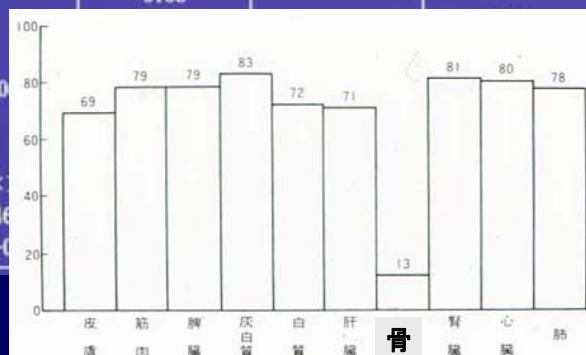
### \* 液体／体液(水+溶質)

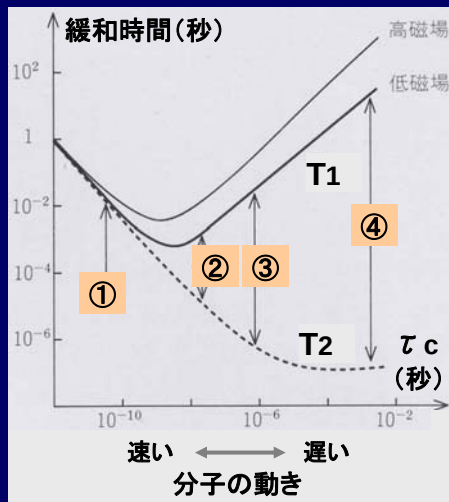
- ・ 細胞内液 + 細胞外液(血漿, 組織間液) : 60～70%
- ・ 細胞内液 : 40～45%, 細胞外液 : 20～25%
- ・ 血液(血漿 + 血球) : 8%(5 + 3%), 組織間液 : 15%

## 生体組織の原子組成

|                            | 脂 肪<br>(成人脂肪組織)       | 筋 肉<br>(横 紋 筋) | 水    | 骨<br>(大 腿 骨) |
|----------------------------|-----------------------|----------------|------|--------------|
| 組 成 重 量 %                  |                       |                |      |              |
| 炭 素                        | 57.3                  | 12.3           |      | 27.6         |
| 窒 素                        | 1.1                   | 3.5            |      | 2.7          |
| 酸 素                        | 30.3                  | 72.9           | 88.8 | 41.0         |
| ナ ト リ ウ ム                  |                       | 0.08           |      |              |
| マ グ ネ シ ウ ム                |                       |                |      |              |
| リ オ ウ ム                    |                       |                |      |              |
| イ カ リ ウ ム                  |                       |                |      |              |
| カ ル シ ウ ム                  |                       |                |      |              |
| 電子密度 (el / g)              | 3.34×10 <sup>23</sup> |                |      |              |
| 実効原子番号 (Z <sub>eff</sub> ) | 6.46                  |                |      |              |
| 密 度                        | 0.91～0.93             |                |      |              |

含水率(%)





- ①: 低粘度の液体    ③: 柔らかい固体  
②: 高粘度の液体    ④: 硬い固体

## 緩和時間:

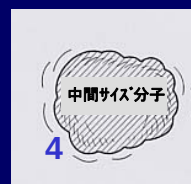
- \* 必ず  $T1 \geq T2$
- \*  $T1$ は共鳴周波数相当の分子運動状態で最短
- \*  $T2$ は分子運動が遅くなると著明に短縮

スピンと周囲環境(格子)とのエネルギーのやりとりは動きが一致したときに最も強く、スピンドロシのエネルギーのやりとりは動きがおそいときに容易となる

## プロトンMRIの信号源

| 種類                          | 分子運動    | $T1 \cdot T2$ |
|-----------------------------|---------|---------------|
| 1. 自由水                      | 非常に速い   | 極長・極長         |
| 2. 結合水／構造水                  | (速い～)遅い | (短)・短         |
| 3. 巨大分子: 蛋白質                | 非常に遅い   | (長)・極短        |
| 4. 中間サイズ分子: 共鳴周波数相当<br>中性脂肪 |         | 短・中間          |

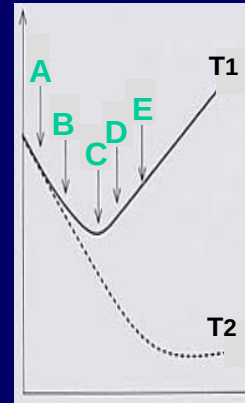
注) 体液: 体重の約65%    脂質: 約20%



## 生体組織の緩和時間

| タイプ     | 成分       | T1   | T2      |
|---------|----------|------|---------|
| A.自由水   | 自由水      | 長い   | 長い      |
| B.粘張液体  | 自由水, 結合水 | (長い) | (長い)    |
| C.脂肪組織  | 中性脂肪     | 短い   | (中間)    |
| D.細胞性組織 | 結合水, 蛋白質 | (中間) | (中間～短い) |
| E.硬い組織  | 蛋白質, 塩類  | (長い) | 短い      |

緩和時間

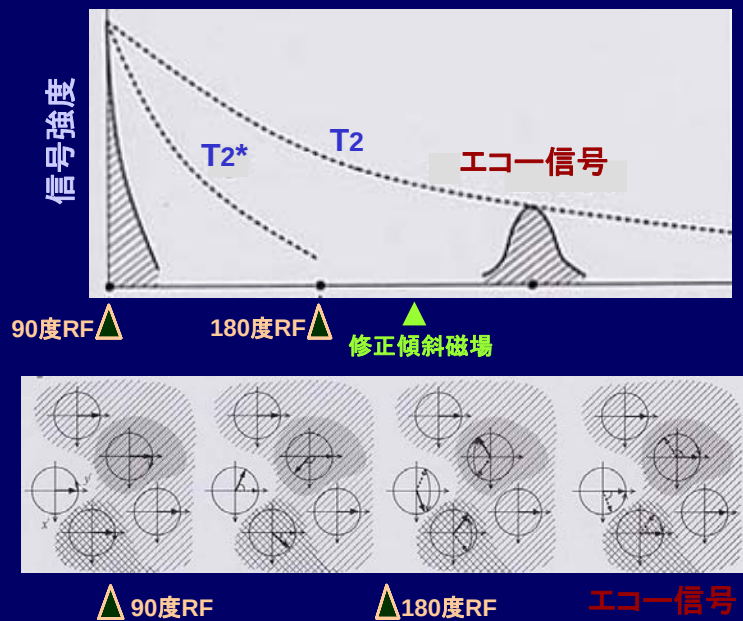


速い ← → 遅い  
分子の動き

## NMR現象を臨床医学へ

1. NMR現象とは
2. NMR信号のイメージング
3. 画像の信号強度と組織性状
4. スピンエコー法 / グラジエントエコー法
5. 常磁性体の影響・MR造影剤
6. 血流 / 分子運動イメージング
7. 高速撮像法・高磁場イメージング

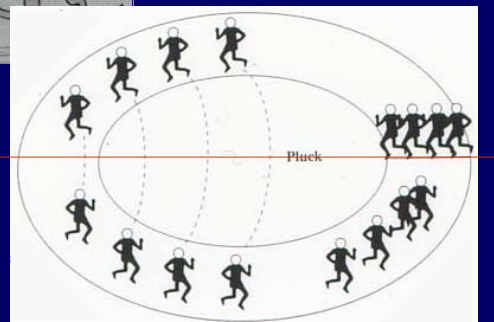
## スピンエコー法



180° パルス  
の意味は？



(RadioGraphics  
4: 1984 より)



## MR画像の信号強度



## スピンエコー法の信号強度

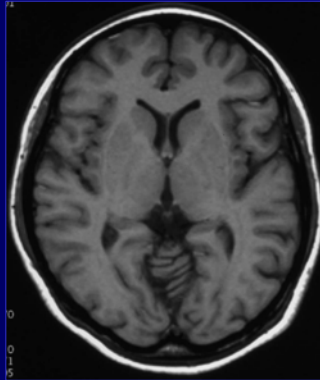
$$S \propto \rho \times (1 - e^{-TR/T_1}) \times e^{-TE/T_2}$$

(ただし  $TR \gg TE$  の場合)

- \*  $\rho$  : プロトン密度
- \*  $T_1, T_2$  : 縦緩和時間, 横緩和時間
- \*  $TR, TE$  : 繰り返し時間, エコー時間



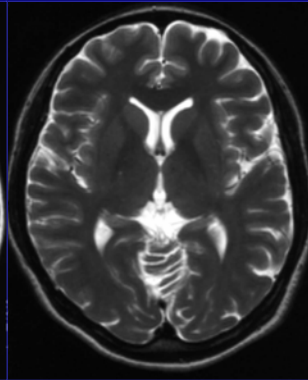
## MRI: スピンエコー法の画像



T1強調画像

TRを短く(+T2非強調)

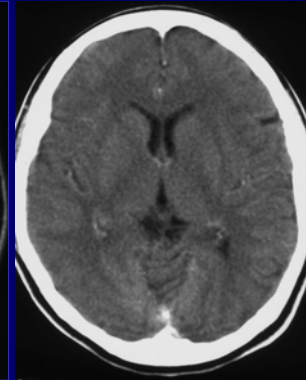
T1短いと高信号



T2強調画像

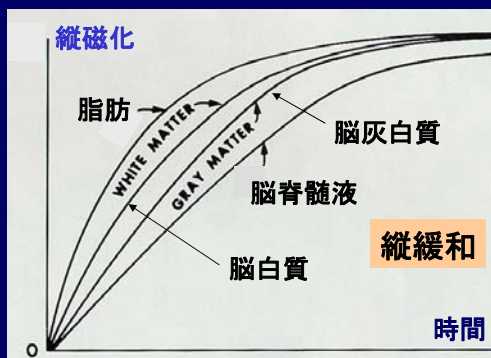
TEを長く(+T1非強調)

T2長いと高信号

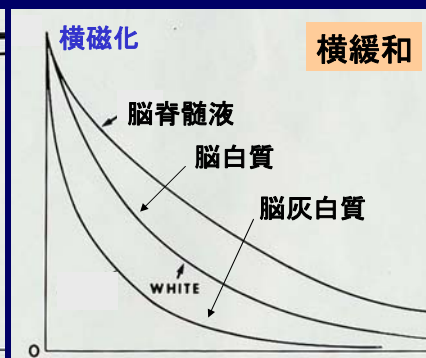


X線CT

X線減弱係数  
の表示



T1差の強調: TRを短く

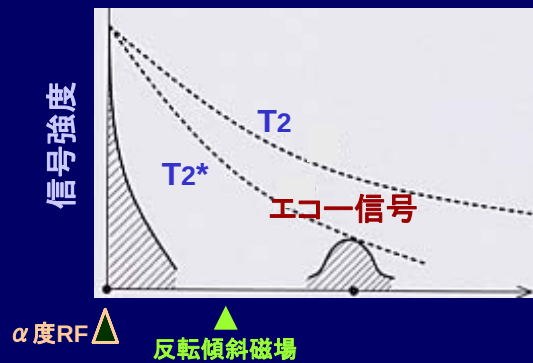


T2差の強調: TEを長く

### スピンエコー法での強調撮像:

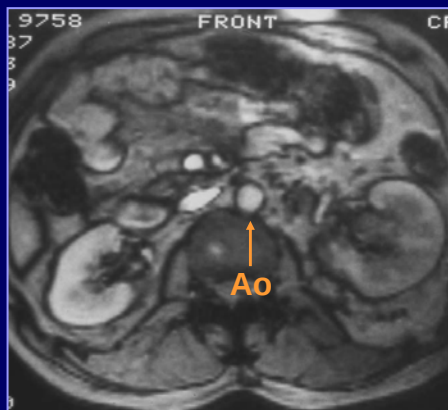
- \* T1強調: TR短く(T1強調)+TE短く(T2非強調)
- \* T2強調: TR長く(T1非強調)+TE長く(T2強調)
- \* プロトン密度強調: TR長く(T1非強調)+TE短く(T2非強調)

## グラジエントエコー法



- \* スポイルドGRE法: 横磁化の消去      FLASH / SPGR...
- \* 定常状態GRE法: 横磁化定常状態
- ・FID/SE/STEサンプル    T2/T1(液体)強調像      FISP...
- ・SE/STEサンプル        強いT2強調像              SSFP...

## スポイルド・グラジエントエコー法

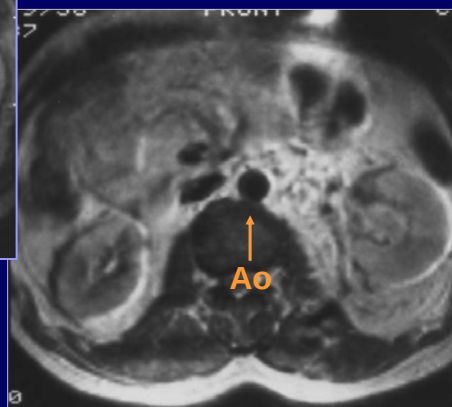


TR / TE / FA: 100ms / 27ms / 30°

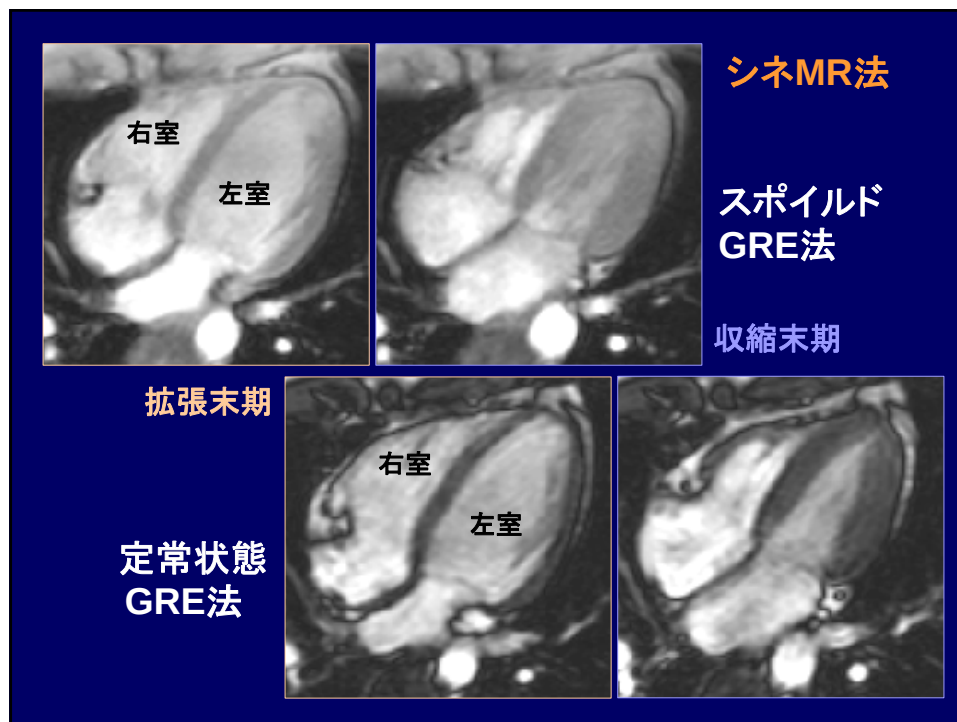
Ao: 腹部大動脈

## 腹部MRI: 水平横断像

### スピンエコー法



TR / TE / FA: 1900ms / 30ms / 90°



## スピネコー法

### #180° RFパルスあり

- \* 恒常的な磁場不均一性の影響を解消
- \* 撮像時間長い:分単位
- \* しっかりした信号  
良好な画像コントラスト
- \* 流出効果あり  
⇒血流部分は低信号
- \* 形態・組織性状診断

## グラジエントエコー法

### #180° RFパルス省略

- \* 恒常的な磁場不均一性の影響は残存
- \* 撮像時間の短縮可能
- \* 異なる組織の境界部の縁取り状低信号
- \* 流出効果なし  
⇒血流部分は高信号
- \* 血流・機能の診断

VS.

## NMR現象を臨床医学へ

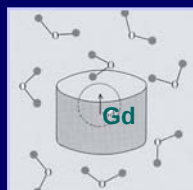
1. NMR現象とは
2. NMR信号のイメージング
3. 画像の信号強度と組織性状
4. スピンエコー法 / グラジエントエコー法
5. 常磁性体の影響・MR造影剤
6. 血流 / 分子運動イメージング
7. 高速撮像法・高磁場イメージング

## 常磁性体・超常磁性体による緩和時間短縮

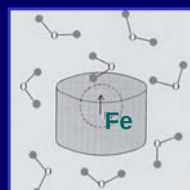
- \* 双極子-双極子相互作用の増強:
  - ・分子の接近が必要
  - ・低濃度でT1短縮, 高濃度でT2, T2\*短縮
- \* 磁場不均一性の増強・磁化率効果:
  - ・高濃度の局在分布で作用
  - ・T2, T2\*短縮 (特にT2\*短縮が強い)



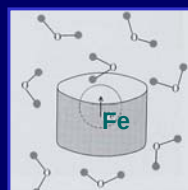
Fe, Gd, Mn...



ガドリニウム造影剤



デオキシヘモグロビン



オキシヘモグロビン

(山田直明:  
MRIの基礎  
と臨床 より)

**造影MRI**

ガドリニウム造影剤  
Gd-DTPA

心臓腫瘍  
左房粘液腫

造影前

造影後

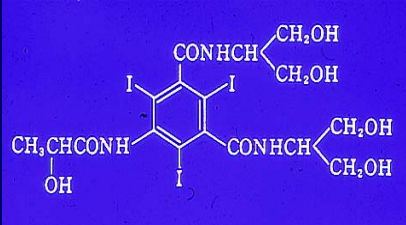
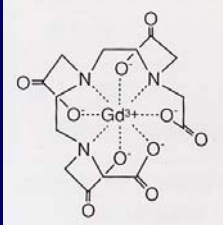
T1-WI

T2-WI

超常磁性  
酸化鉄粒子  
SPIO

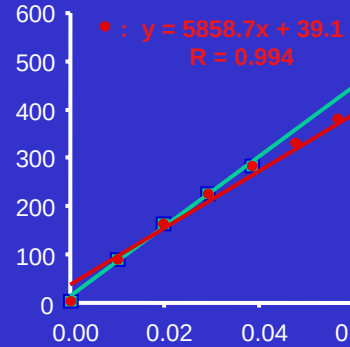
転移性肝腫瘍

(廣橋伸治ほか:  
日獨医報 1998 より)

| # ヨード造影剤                                                                            | # ガドリニウム造影剤                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| * 一般名: イオパミドール                                                                      | ガドペンテ酸メグルミン                                                                          |
| * 分子式: $C_{17}H_{22}I_3N_3O_8$                                                      | $C_{14}H_{20}GdN_3O_{10}C_7H_{17}NO_5$                                               |
| * 分子量: 777.09                                                                       | 742.79                                                                               |
|  |  |
| * 体内分布: 細胞外液腔                                                                       | 細胞外液腔                                                                                |
| * 造影効果: 線形 (vs.濃度)                                                                  | 非線形 (vs.濃度)                                                                          |

## 造影剤濃度と画像信号強度の関係

CT# (HU) ヨード造影剤



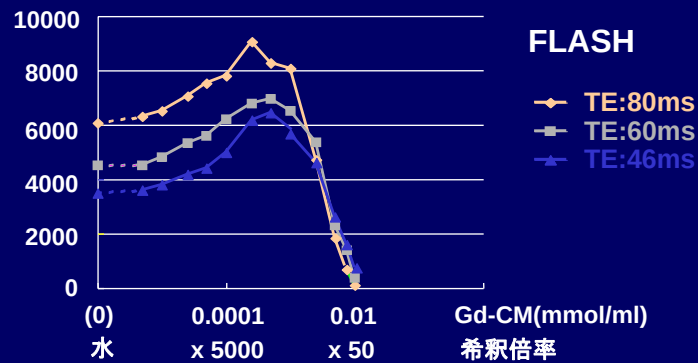
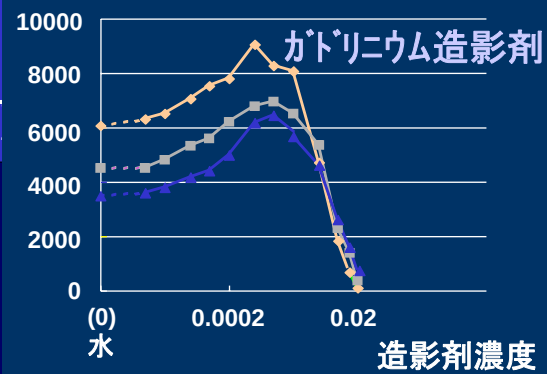
電子ビームCT:

\* 管電圧:130kV

\* 造影剤:  
イオパミドル370mgI

FLASH

— TE:80ms  
 — TE:60ms  
 — TE:46ms



$$(1/T1)_{obs} = (1/T1)_{tissue} + R1 \times [P]$$

$$(1/T2)_{obs} = (1/T2)_{tissue} + R2 \times [P]$$

T1, T2:緩和時間 1/T1, 1/T2:緩和速度

R1, R2:緩和率(relaxivity) [P]:造影剤濃度

## 脳出血のMRI

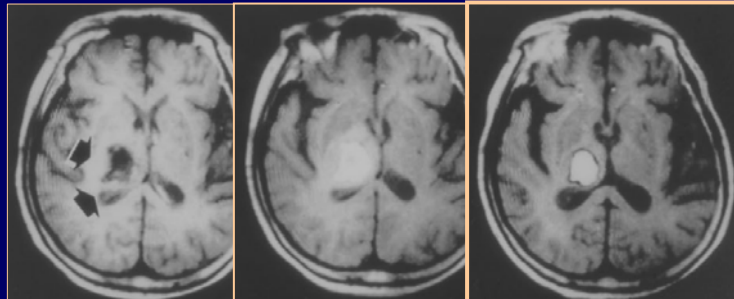
3日

1週間

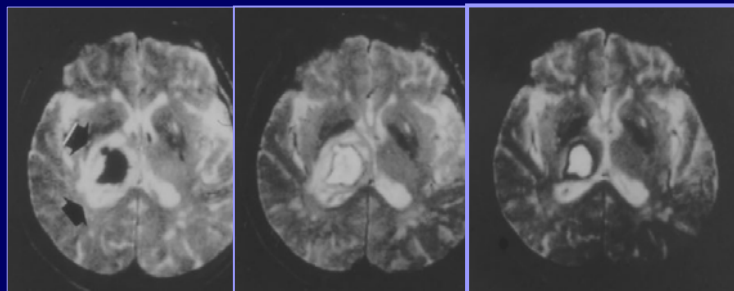
1ヶ月

SE法:

T1-  
強調画像



T2-  
強調画像



## 血腫の信号強度変化:ヘモグロビン説(Gomori)

出血直後

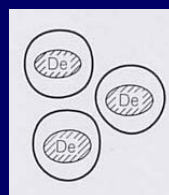
1~7日

7日以降

慢性期



オキシ-Hb



デオキシ-Hb



メト-Hb



ヘモジデリン

T1・T2

長い・長い

(長い)・短い

短い・(長い)

(長い)・短い

T1強調像



T2強調像

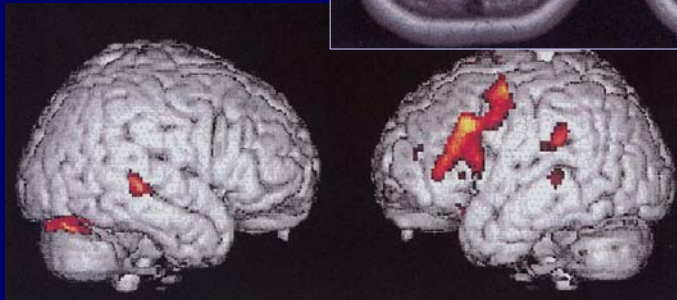
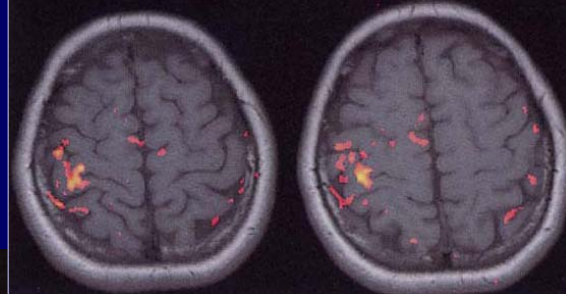




## 脳機能画像診断法: functional MRI

BOLD効果による...

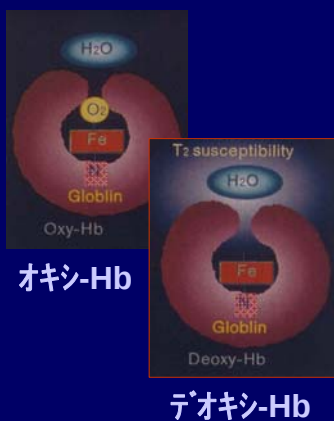
感覚運動皮質  
の賦活



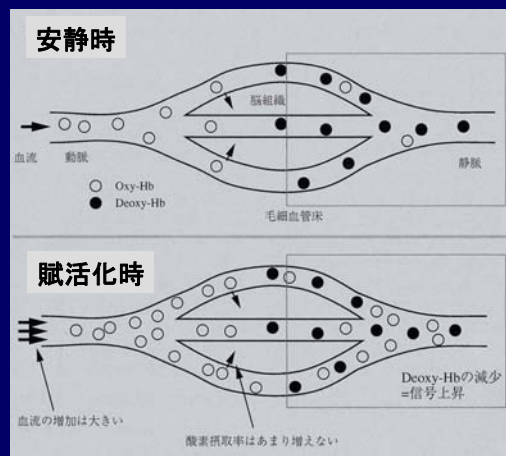
言語想定課題  
による賦活

(田中忠蔵ほか:ここまでわかる脳機能画像. 画像診断 2002 より)

## BOLD: blood oxygenation level dependent 効果



\* デオキシ-Hb:  
磁化率効果による  
信号低下を生じる



血流-酸素消費ミスマッチ

(清 ほか: MRIによる脳機能画像. 日獨医報 1994 より)



## NMR現象を臨床医学へ

1. NMR現象とは
2. NMR信号のイメージング
3. 画像の信号強度と組織性状
4. スピンエコー法 / グラジエントエコー法
5. 常磁性体の影響・MR造影剤
6. 血流 / 分子運動イメージング
7. 高速撮像法・高磁場イメージング

## 生体の動き

\* 臓器/組織の動き: 心拍動・呼吸・腸管運動...

▶ 心電図/呼吸同期撮像・呼吸停止下撮像・シネMR法

\* 血液の動き: 血管内血流・臓器灌流

▶ MRアンジオグラフィ・臓器灌流スタディ...

\* 分子の熱運動: 回転・並進・伸縮...

▶ 分子拡散イメージング

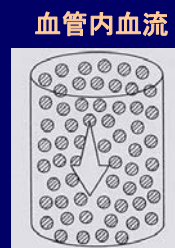


分子  
運動



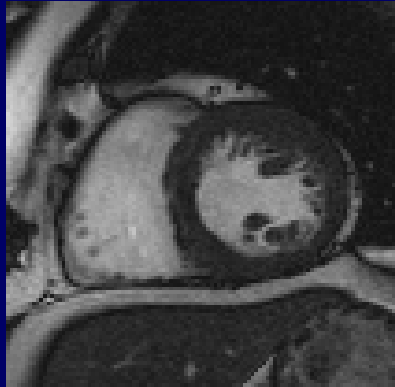
並進～  
拡散

臓器  
灌流



## シネMRイメージング:

呼吸停止シネ



定常状態GRE法;  
(True-FISP)

リアルタイム・シネ



11 frame /s, 128x64

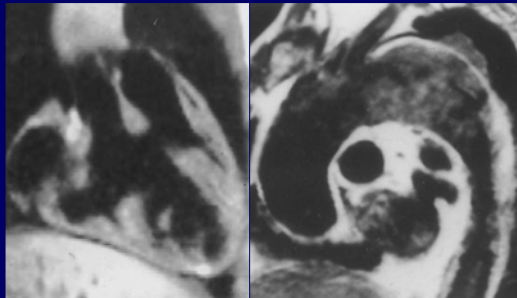
## MRIの血流信号

### 増強要因

- \* 流入効果(TOF):新鮮スピンの断面内流入
- \* リフェーシング:スピン回転位相のばらつきの修正
- \* 造影剤の使用

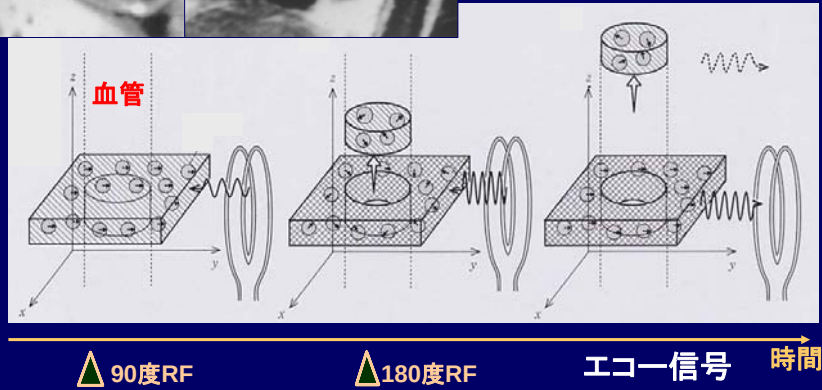
### 減弱要因

- \* 流出効果:スピンエコー法での信号減弱
- \* 上流効果・前飽和:飽和スピンの断面内流入
- \* ディフェーシング:スピン回転位相のばらつきの増強



## 流出効果とは

スピネコー画像での  
血管内低信号の主原因



## MR画像の信号強度



**流入効果**  
TOF:  
Time-of-flight

**収縮早期**

**拡張中期**

左心室

上行大動脈

拡張末期

収縮早期

シネMR法:  
心電図同期GRE

**上流効果**  
前飽和:  
プレサチュレーション

**リフェーシング**  
Rephasing

**ディフェーシング**  
Dephasing

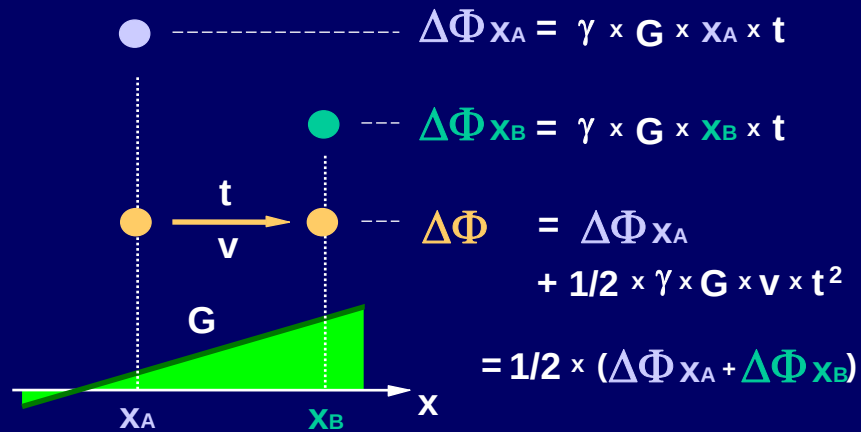
スピン回転位相の  
ばらつきの修正

スピン回転位相の  
ばらつきの増強

信号増加

信号減少

## プロトンの回転位相シフト: 傾斜磁場の影響



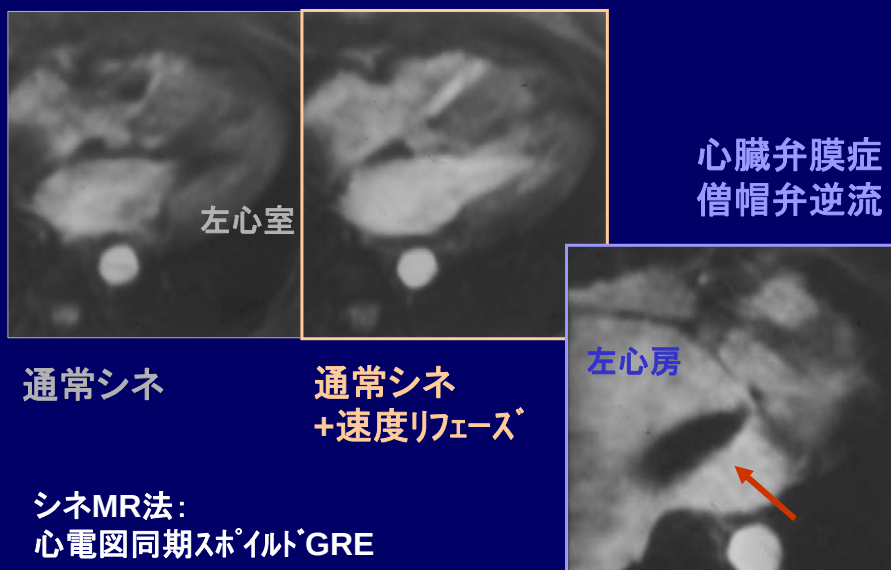
$$\Delta\Phi_{x_A} = \gamma \times G \times x_A \times t$$

$$\Delta\Phi_{x_B} = \gamma \times G \times x_B \times t$$

$$\Delta\Phi = \Delta\Phi_{x_A} + \frac{1}{2} \times \gamma \times G \times v \times t^2$$

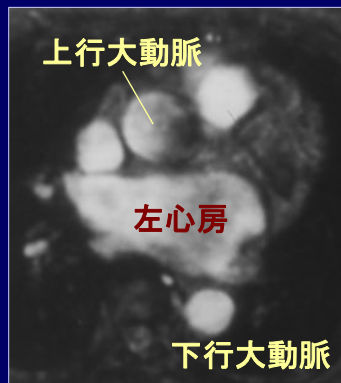
$$= \frac{1}{2} \times (\Delta\Phi_{x_A} + \Delta\Phi_{x_B})$$

## リフェーシングとディフェーシング



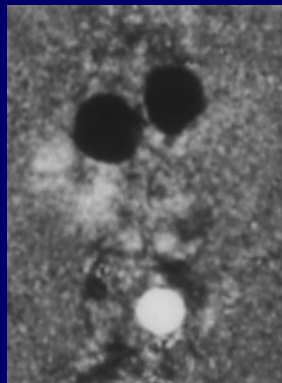
## シネ位相コントラスト(PC)法

強度画像



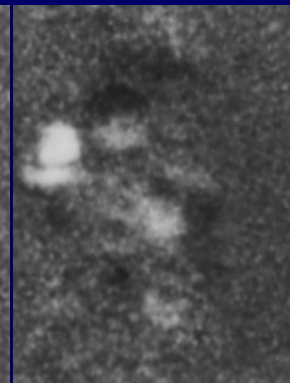
収縮早期

位相画像

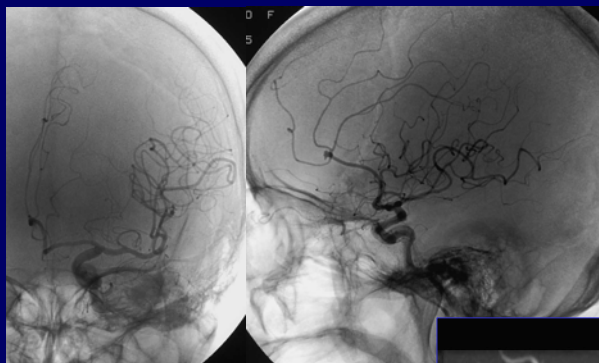


収縮早期

水平横断像



拡張早期



カテーテル  
X線血管造影法  
内頸動脈造影

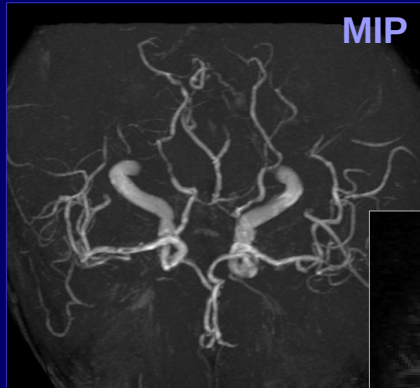
MR  
アンジオグラフィ

非造影TOF-  
MR血管撮像



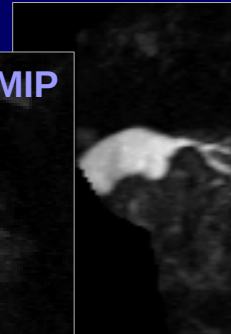
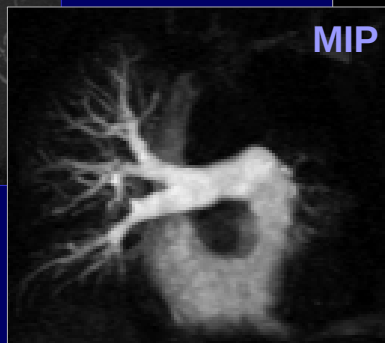
MIP

## MRアンジオグラフィ:強度情報利用



非造影TOF-MRA  
頭部血管

造影ダイナミックMRA  
肺動脈



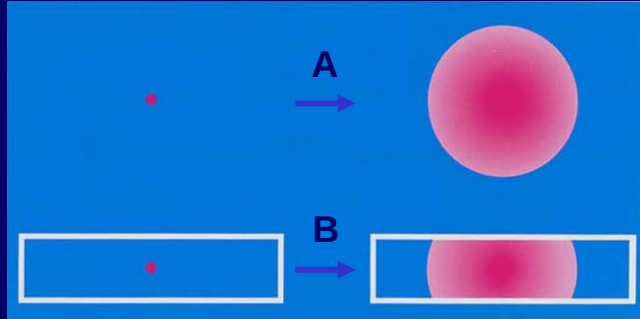
## MRアンジオグラフィ:MRA

- \* 血管内腔の高信号化:GRE法撮像がベース
- ・強度情報の利用:TOF・定常状態GRE / 造影剤
  - ▶ 血流速度・方向・造影タイミングなどの問題
- ・位相情報の利用:フェーズコントラスト(PC)法
  - ▶ 血流状態に対応～定量化可能 / 撮像時間長い
- \* 血管外の信号抑制:脂肪抑制・MTC...
- \* 体積データ収集:2D法 / 3D法
- \* 画像表示法:MPR・MIP・表面/体積レンダリング法

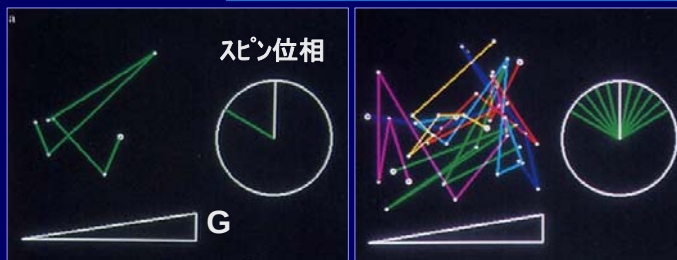
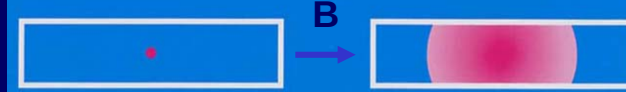


## 分子拡散イメージング

A:  
等方性拡散

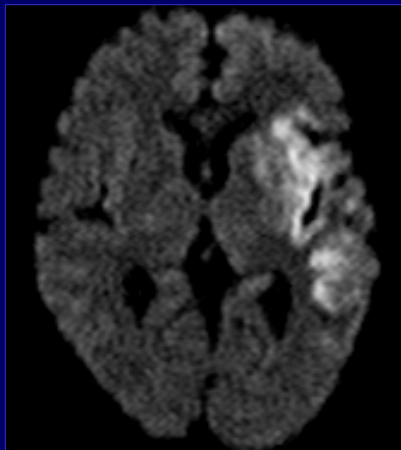


B:  
異方性拡散



(原田貢士:  
MRIの臨床 より)

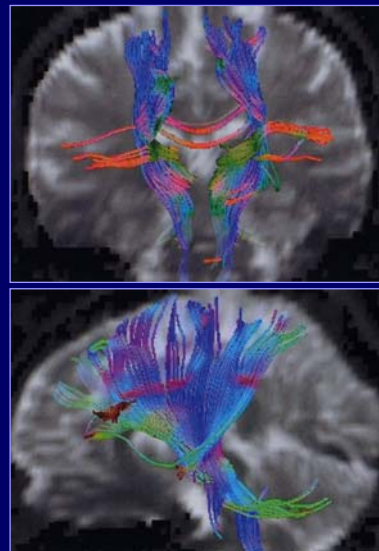
## 拡散強調撮像



急性期脳梗塞例

動物実験では発症1時間の  
梗塞から検出可能

## MRトラクトグラフィ



## NMR現象を臨床医学へ

1. NMR現象とは
2. NMR信号のイメージング
3. 画像の信号強度と組織性状
4. スピンエコー法 / グラジエントエコー法
5. 常磁性体の影響・MR造影剤
6. 血流 / 分子運動イメージング
7. 高速撮像法・高磁場イメージング

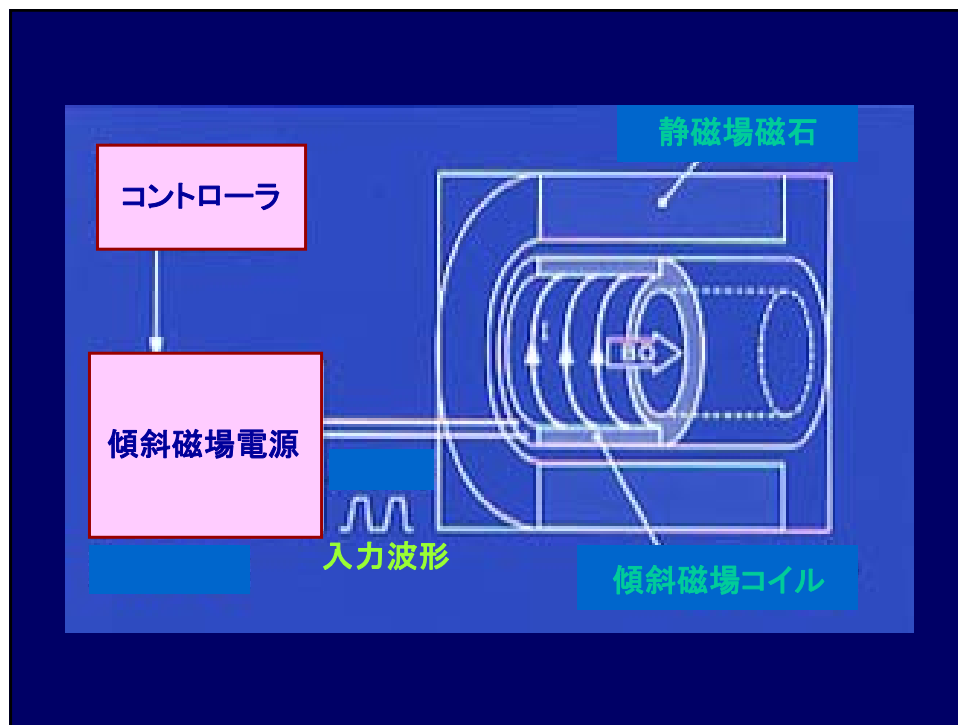


最新装置: 1.5T

### MRI: 患者の訴え

- \* 狭い
- \* 長い
- \* やかましい





## 高速撮像法

\* TRの短縮  
GRE系の撮像

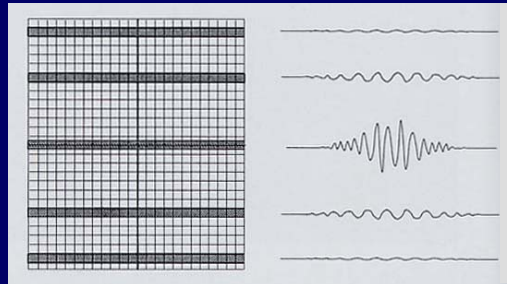
\* RFショット数減少  
エコープラナ法

\* k-空間充填の工夫  
不均等・簡易充填

\* マルチコイル/チャンネル  
並列撮像法

k-空間

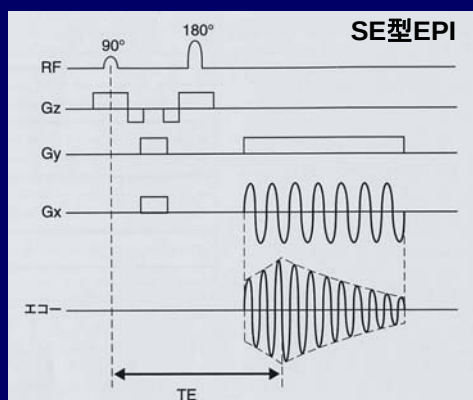
エコー信号



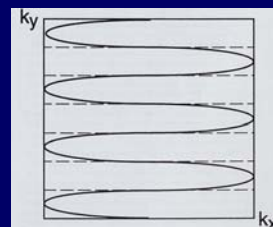
撮像時間:

$$\text{TR} \times \text{RFショット数} \times \text{加算回数}$$

## EPI: エコープラナー・イメージング



k-空間充填の軌跡  
ジグザグ～スパイラル...



\* 1回のRFで超多数信号獲得: 100ミリ秒以下の撮像可能

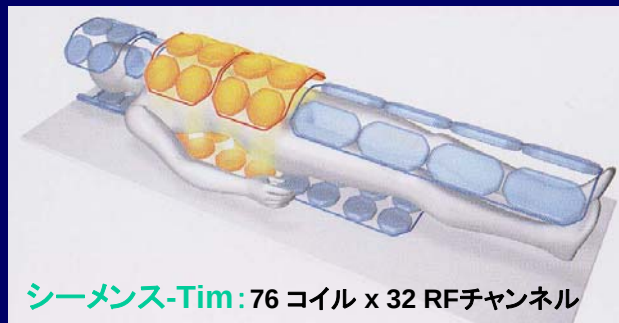
\* GRE型 / SE型データ収集・シングルショット / マルチショット

(ハシエ ほか: MRIの基本 パワーテキスト より)

## 高速MR撮像法

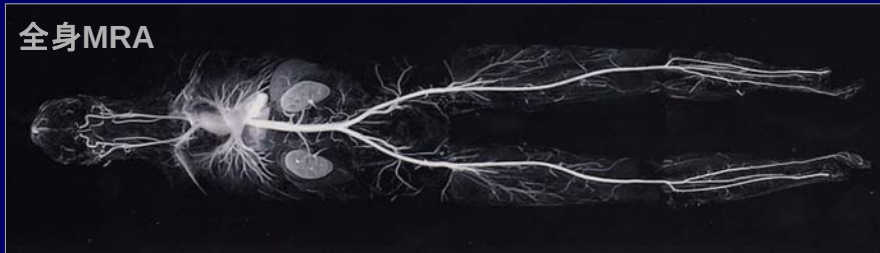
パレルイメージング:  
並列撮像法

マルチコイル /  
マルチチャンネル  
システム

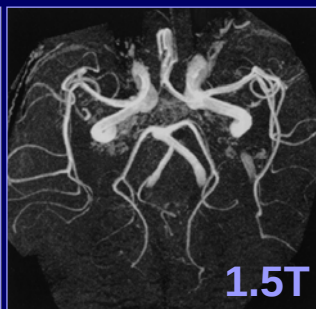
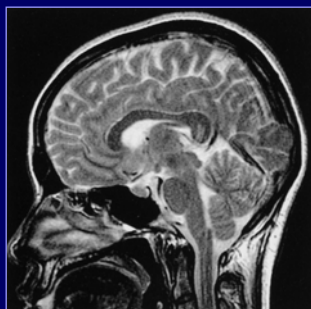


シーメンス-Tim: 76 コイル x 32 RFチャンネル

## 全身MRA



(シーメンス社パンフレットより)



1.5T



1.5テスラ



3テスラ



## 高磁場装置 の有用性:

(シーメンス:  
MAGNETOM  
FLASH, 2005 より)



3T

## 主磁場強度

|                        | 低磁場<br>～0.1T～ | 高磁場<br>1T～1.5T～3T～? |
|------------------------|---------------|---------------------|
| ・装置価格                  | 数千万円          | 数億円                 |
| ・維持費(年間)               | 安価            | 一千万円                |
| ・磁場の遮蔽                 | 容易            | 難                   |
| ・傾斜磁場の性能               | 高性能でなくてもよい    | 高性能が必要              |
| ・ SN比                  | 低い            | 高い!                 |
| ・緩和時間(T <sub>1</sub> ) | 短い            | 長い                  |
| ・化学シフト                 | 小さい           | 大きい                 |
| ・磁化率効果                 | 小さい           | 大きい                 |
| ・動きのアーチファクト            | 小さい           | 大きい                 |
| ・金属異物に対する力             | 小さい           | 大きい                 |

## MRI: 画像の特徴

### \* 断層像: 断面方向は自在

視野広い, 位置再現性・距離計測精度かなり高い

### \* 面内分解能 ⇔ 画素サイズ: 約1mm x 1mm

体軸方向分解能 ⇔ 断面厚み > 画素サイズ

### \* 時間分解能 ⇔ 撮像時間: 数秒～数10分(→ 同期撮像法)

### \* 組織のコントラスト: 多彩・定量性には乏しい

軟部組織のコントラスト高い(→ 造影剤の必要性?)

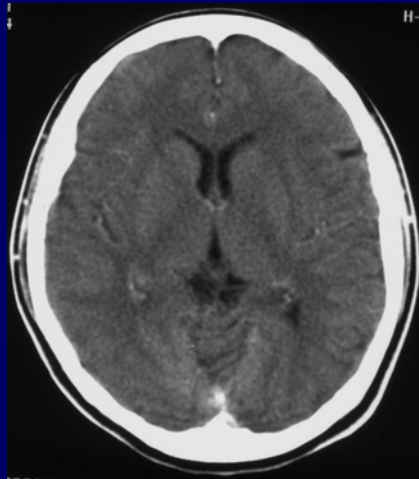
脂肪・水の描出は容易, 石灰化の特異的描出は困難

### \* 動き・流れに敏感 → 動き解析の可能性, アーチファクト

### \* アーチファクト多い, 画像の安定性やや不十分

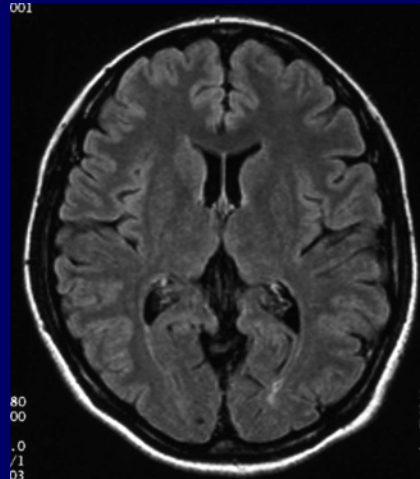
## X線コンピュータ断層撮影法

X-Ray CT:  
Computed Tomography



## 磁気共鳴画像診断法

MRI: Magnetic  
Resonance Imaging



## X線CTとMRI: 特徴のまとめ

|           | CT         | MRI      |
|-----------|------------|----------|
| * 画像の特徴:  | 高精細(0.5mm) | 高コントラスト  |
| ・断面の自在性   | 3D再構成で可能   | 直接撮像で可能  |
| * 検査法の特徴: |            |          |
| ・検査対象の制限  | ほとんどなし     | やや多い     |
| ・検査時間     | 短い         | 長い       |
| ・放射線被曝    | あり         | なし       |
| ・造影剤必要性   | 非常に高い      | あまり高くない  |
| # 侵襲性:    | 低い         | (非常に?)低い |