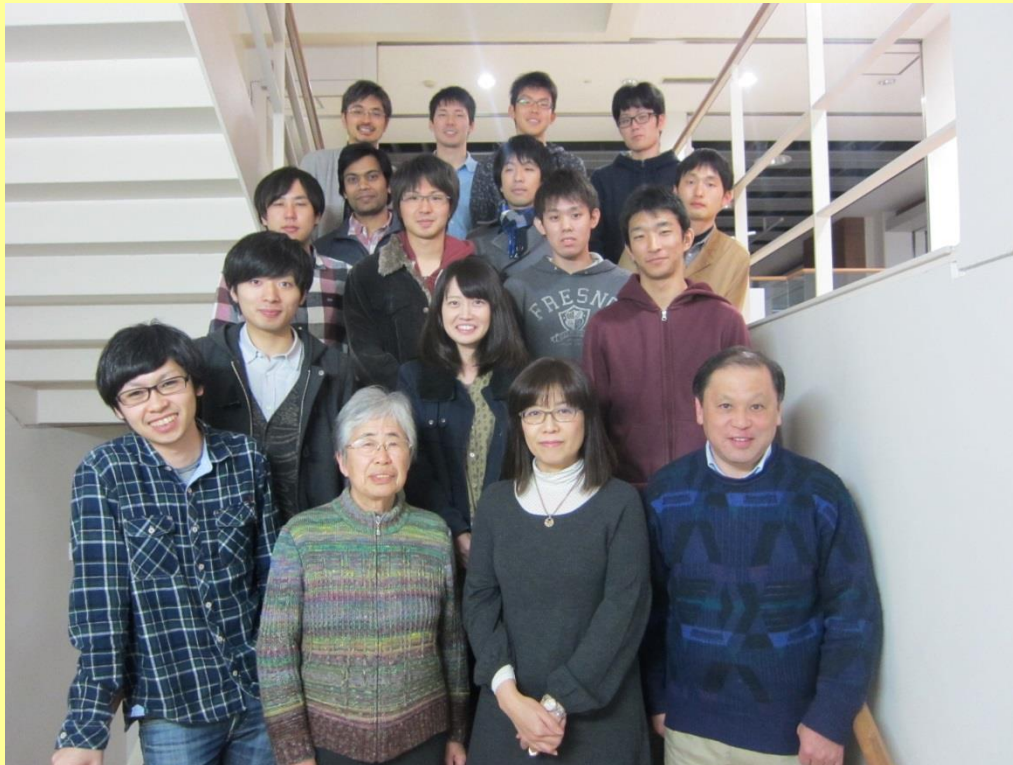


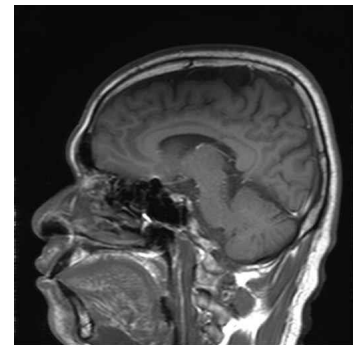
筑波大学
University of Tsukuba

応用物理特論

磁気共鳴イメージング（MRI）と 磁気共鳴イメージング研究室（巨瀬・寺田研）の紹介



+ 上村君 (M1)
+ 社会人博士 (2)



2014-12-9

自己紹介:世界一受けたい授業(2009-5-23)(1)



世界一受けたい授業: 講師紹介

自己紹介:世界一受けたい授業(2009-5-23)(2)



世界一受けたい授業: 授業スタート

自己紹介：世界一受けたい授業（2009-5-23）（3）



世界一受けたい授業：授業スタート

講義の内容

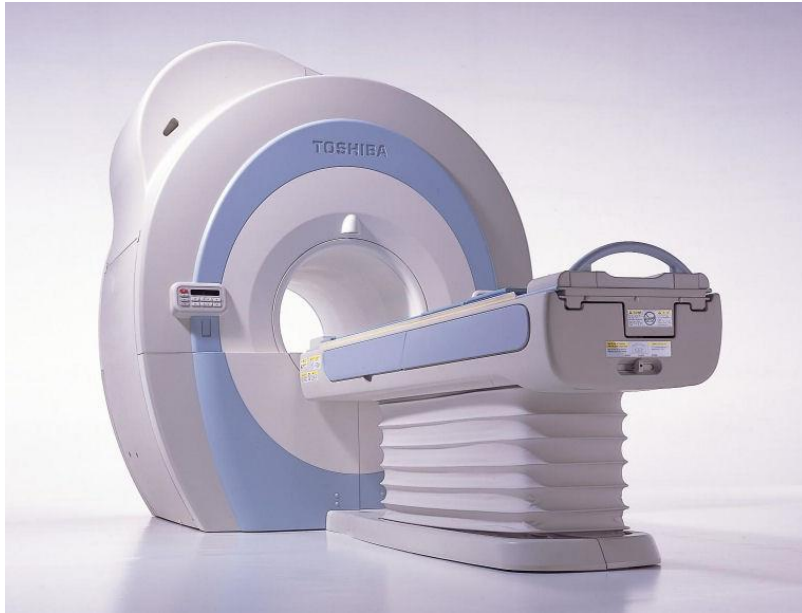
前半：磁気共鳴イメージング(MRI)の紹介

1. MRIとは？
2. MRIの歴史と現状
3. MRIの原理
4. MRIの画像の紹介

後半：磁気共鳴イメージング研究室の紹介

5. 研究室の歴史と現状
6. 研究テーマの紹介と卒業生の進路

MRIとは？



超伝導磁石を用いたMRI(東芝HPより) 永久磁石を用いたMRI(日立HPより)

水や脂肪に含まれる水素原子核の分布を、核磁気共鳴(NMR: Nuclear Magnetic Resonance)現象を利用して画像化する装置.
国内で約6,000台が普及している. 磁気共鳴イメージング(Magnetic Resonance Imaging)の略. 装置自身もMRIと呼ぶ.

MRIとは？

磁場(MRI)ニャン



MRIは検査音がうるさいと言われるが、それは強力な静磁場中で、位置を区別するための勾配磁場コイルにパルス状の電流が流れ、それがローレンツ力を受けて振動するため。

30年間の医療技術の進歩の中で第一位！

Physicians' Views Of The Relative Importance Of Thirty Medical Innovations

A survey of leading general internists provides a useful consensus on the relative importance of innovations to their patients.

by Victor R. Fuchs and Harold C. Sox Jr.

ABSTRACT: In response to a mail survey, 225 leading general internists provided their opinions of the relative importance to patients of thirty medical innovations. They also provided information about themselves and their practices. Their responses yielded a mean score and a variability score for each innovation. Mean scores were significantly higher for innovations in procedures

2001年、**米国のHealth Affairs誌**で行われた、30年間の医療技術の進歩のアンケート調査で、**MRIとCTは、最も偉大な進歩**とされた。

30年間の医療技術の進歩の中で第一位！

Mean Response And Ranking Of Physicians' Ratings Of Innovations, 2001

Rank	Innovation	Mean score ^a	Percent of respondents choosing		
			Most	Not most or least	Least
1	MRI and CT scanning	0.878	75.6%	24.4%	0.0%
2	ACE inhibitors	0.767	54.2	44.9	0.9
3	Balloon angioplasty	0.758	53.8	44.0	2.2
4	Statins	0.736	48.0	51.1	0.9
5	Mammography	0.733	47.6	51.6	0.9
6	CABG	0.693	40.4	57.8	1.8
7	Proton pump inhibitors and H2 blockers	0.687	40.0	57.3	2.7
8	SSRIs and recent non-SSRI antidepressants	0.678	39.6	56.4	4.0
9	Cataract extraction and lens implant	0.651	38.2	53.8	8.0
10	Hip and knee replacement	0.649	31.6	66.7	1.8

2001年、**米国のHealth Affairs誌**で行われた、30年間の医療技術の進歩のアンケート調査で、**MRIとCTは、最も偉大な進歩**とされた。

30年間の医療技術の進歩の中で第一位！

Mean Response And Ranking Of Physicians' Ratings Of Innovations, 2001

Rank	Innovation	Mean score ^a	Percent of respondents choosing		
			Most	Not most or least	Least
1	MRI and CT scanning	0.878	75.6%	24.4%	0.0%
2	ACE inhibitors	0.767	54.2	44.9	0.9
3	Balloon angioplasty	0.758	53.8	44.0	2.2
4	Statins	0.736	48.0	51.1	0.9
5	Mammography	0.733	47.6	51.6	0.9
6	CABG	0.693	40.4	57.8	1.8
7	Proton pump inhibitors and H2 blockers	0.687	40.0	57.3	2.7
8	SSRIs and recent non-SSRI antidepressants	0.678	39.6	56.4	4.0
9	Cataract extraction and lens implant	0.651	38.2	53.8	8.0
10	Hip and knee replacement	0.649	31.6	66.7	1.8
11	Ultrasonography	0.647	31.1	67.1	1.8
12	Gastrointestinal endoscopy	0.624	28.0	68.9	3.1
13	Inhaled steroids for asthma	0.591	23.6	71.1	5.3
14	Laparoscopic surgery	0.558	20.9	69.8	9.3
15	NSAIDs and Cox-2 inhibitors	0.531	14.2	77.8	8.0
16	Cardiac enzymes	0.498	7.1	85.3	7.6
17	Fluoroquinolones	0.487	6.7	84.0	9.3
18	Recent hypoglycemic agents	0.478	12.9	69.8	17.3
19	HIV testing and treatment	0.444	15.6	57.8	26.7
20	Tamoxifen	0.440	3.1	81.8	15.1
21	PSA testing	0.438	12.9	61.8	25.3
22	Long-acting and parenteral opioids	0.376	8.4	58.2	33.3
23	H. Pylori testing and treatment	0.351	1.8	66.7	31.6
24	Bone densitometry	0.344	4.0	60.9	35.1
25	Third-generation cephalosporins	0.329	1.8	62.2	36.0
26	Calcium channel blockers	0.291	1.8	54.7	43.6

人工関節

超音波検査

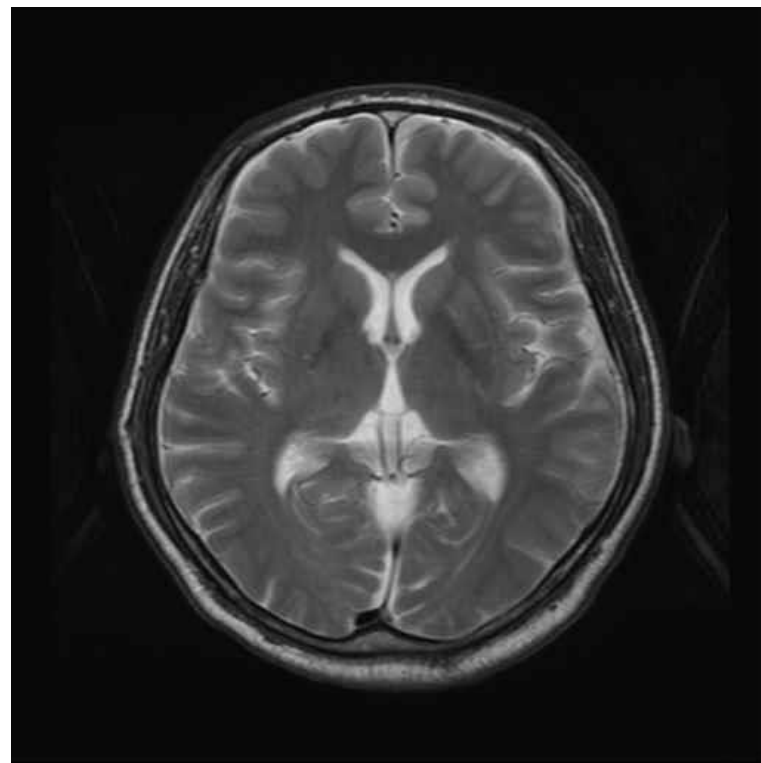
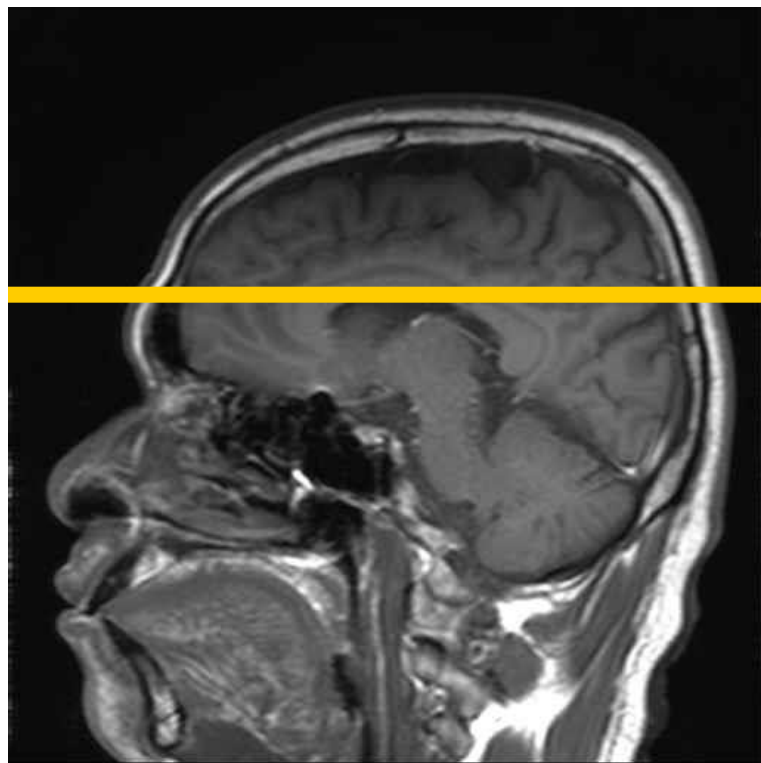
内視鏡

2001年、米国のHealth Affairs誌で行われた、30年間の医療技術の進歩のアンケート調査で、MRIとCTは、最も偉大な進歩とされた。

MRIの特徴

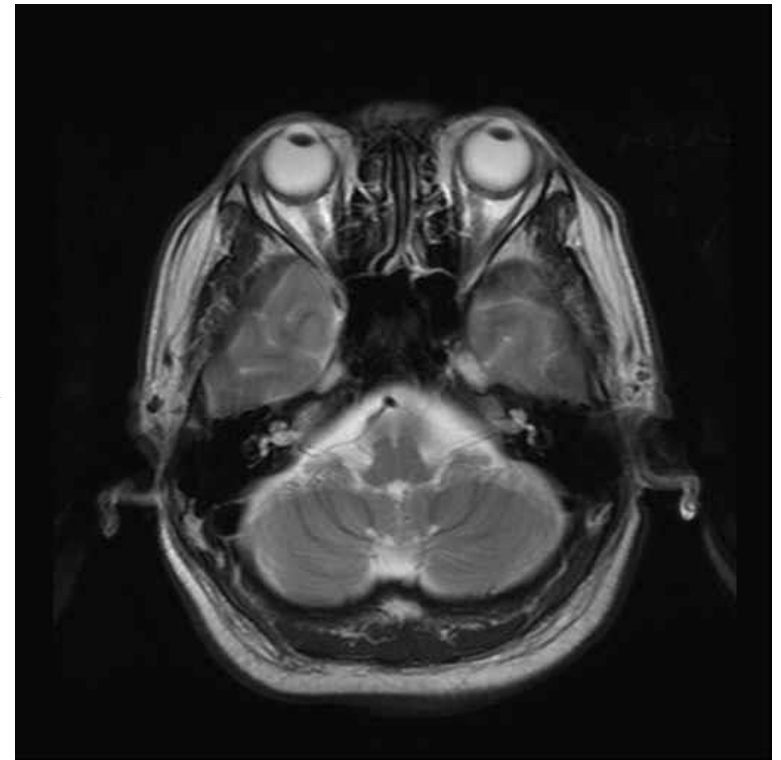
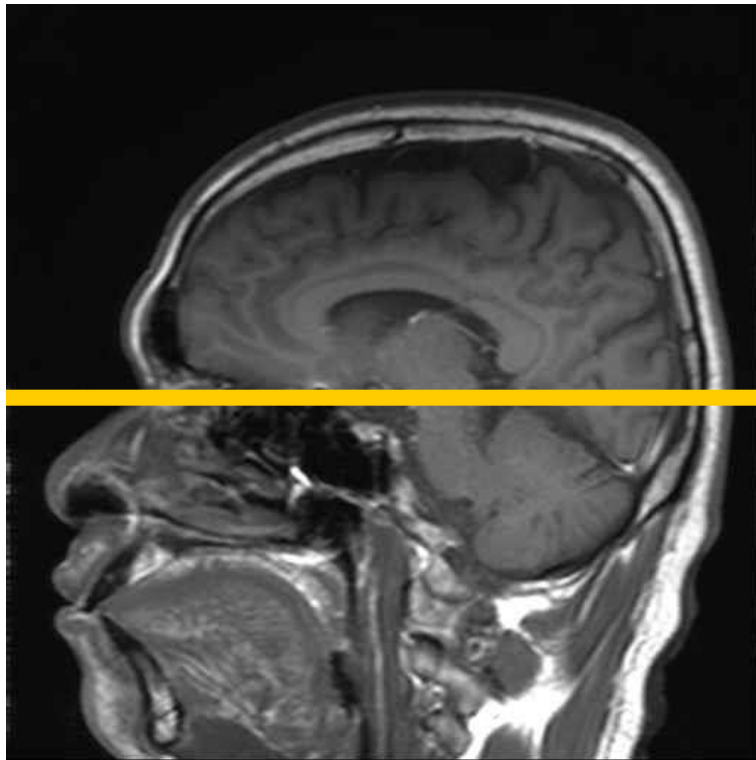
1. **放射線被曝がなく**, 安全に人体内部の構造を描出できる. 高周波磁場と変動磁場に規制.
2. **軟部組織の画像コントラスト**に優れ, 頭部, 脊髄, 関節など骨に囲まれた部位では最優先の手法
3. **分子のマクロ・ミクロな運動**に関する情報により, 体内組織の物理的・化学的情報を描出できる: 血管や体液の分布や流れ, 分子拡散の可視化
4. **脳機能計測**: 神経科学における革命的手法(考えていることが分かる)

3T MRIによる画像(1)



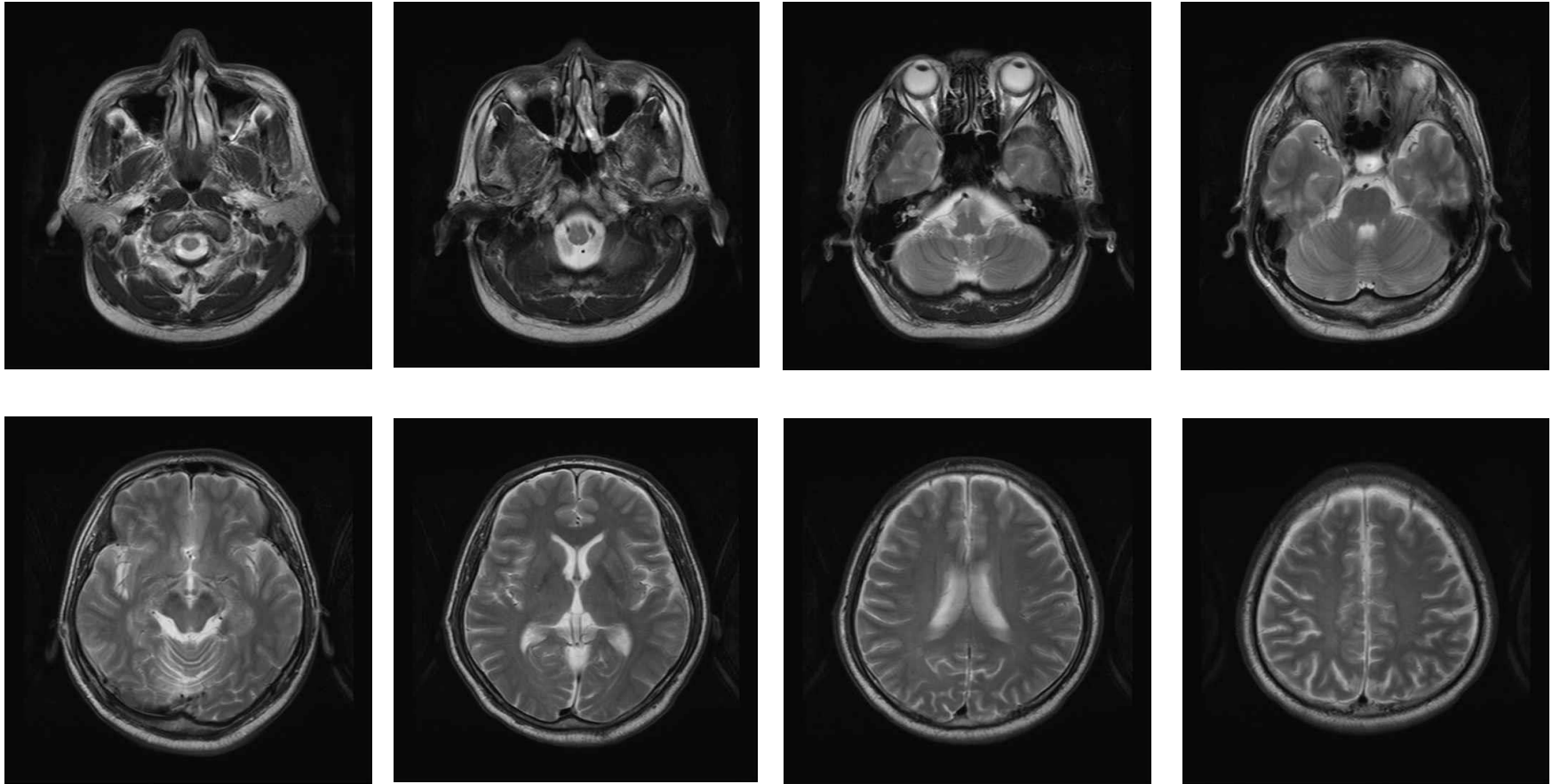
頭部の断層像：鉛直（矢状）断層像と水平断層像
2008-9-27, 3TのMRIで撮像

3T MRIによる画像(2)



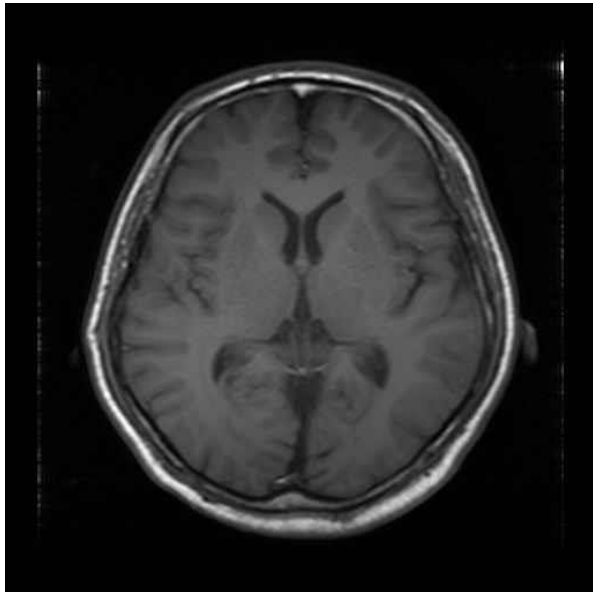
頭部の断層像：鉛直（矢状）断層像と水平断層像

3T MRIによる画像(3)

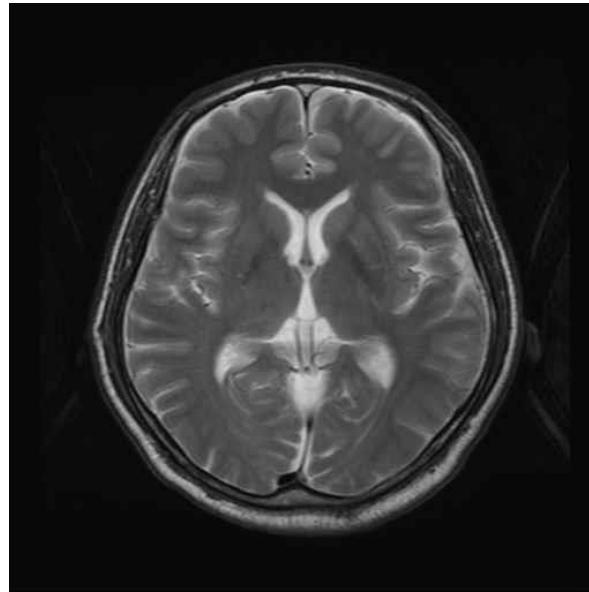


頭部の断層像： **多数の断面**が同時に計測できる

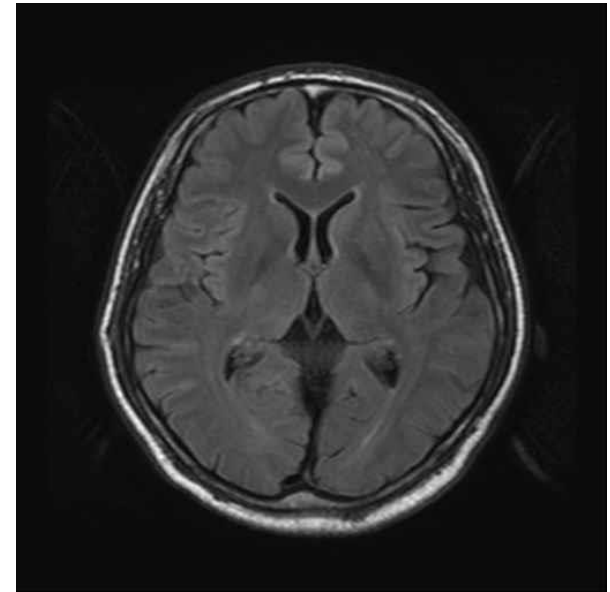
3T MRIによる画像(4)



T1強調画像



T2強調画像



髄液抑制反転回復法

同じ断層でも様々なコントラストの画像が撮れる

講義の内容

磁気共鳴イメージング(MRI)の紹介

1. MRIとは？
2. MRIの歴史と現状
3. MRIの原理
4. MRIの画像の紹介

磁気共鳴イメージング研究室の紹介

5. 研究室の歴史と現状
6. 研究テーマの紹介と卒業生の進路

MRIの発明(発見?)(1973年)

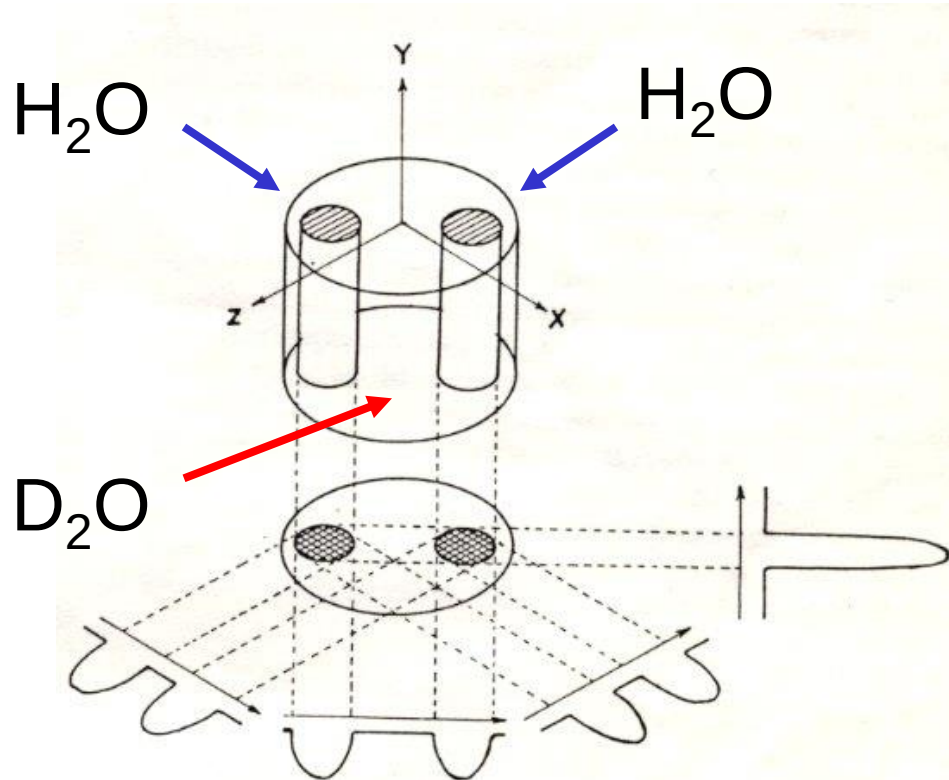


Fig. 1 Relationship between a three-dimensional object, its two-dimensional projection along the Y-axis, and four one-dimensional projections at 45° intervals in the XZ-plane. The arrows indicate the gradient directions.

D_2O で満たされた試験管の中に, H_2O で満たされた2本の細い試験管を入れて**均一な静磁場中**に置く.

試験管の軸に垂直な方向に**線形勾配磁場**を印加しながら共鳴スペクトルを観測し, これらの投影像から, X線CTと同様のアルゴリズムで画像を再構成.

原子核を選択的に画像化!

Nature, **1973** by P. C. Lauterbur

2003年ノーベル医学生理学賞:MRIに関する発見



Paul C. Lauterbur
Chemist



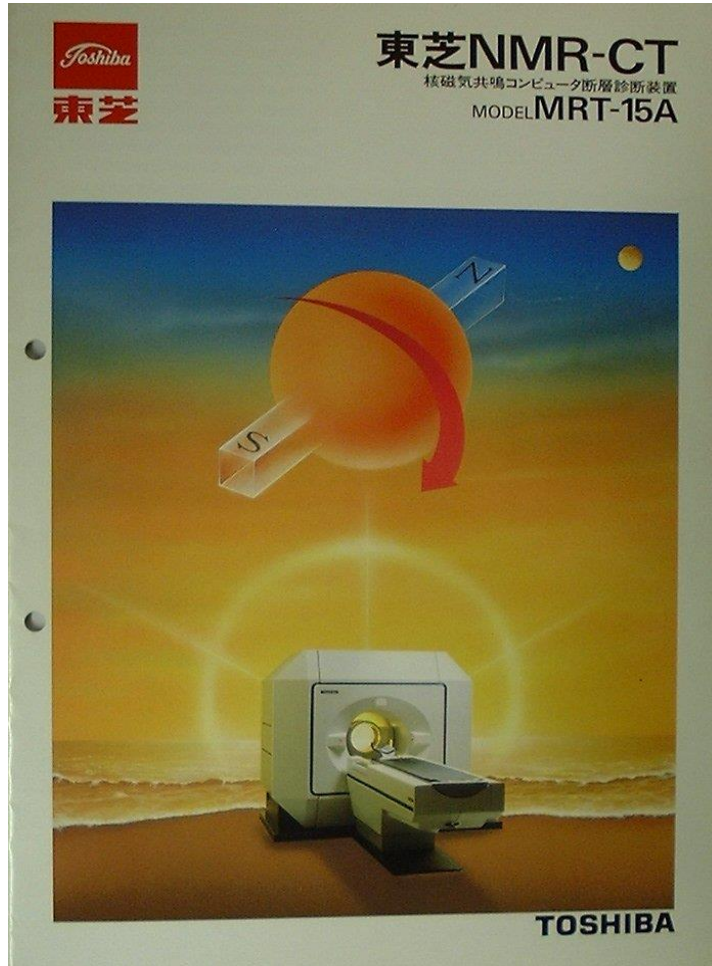
Sir Peter Mansfield
Physicist



Nobel賞HP

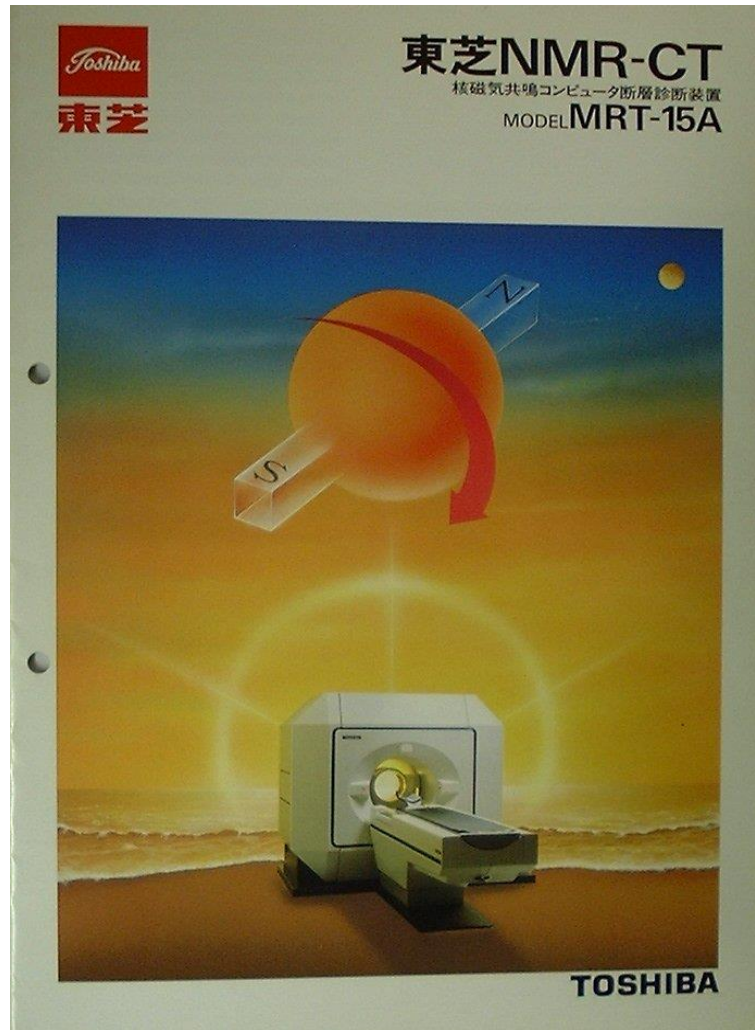
The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2003 was awarded jointly to Paul C. Lauterbur and Sir Peter Mansfield "for their discoveries concerning magnetic resonance imaging"

国産第一号機:1983年発売



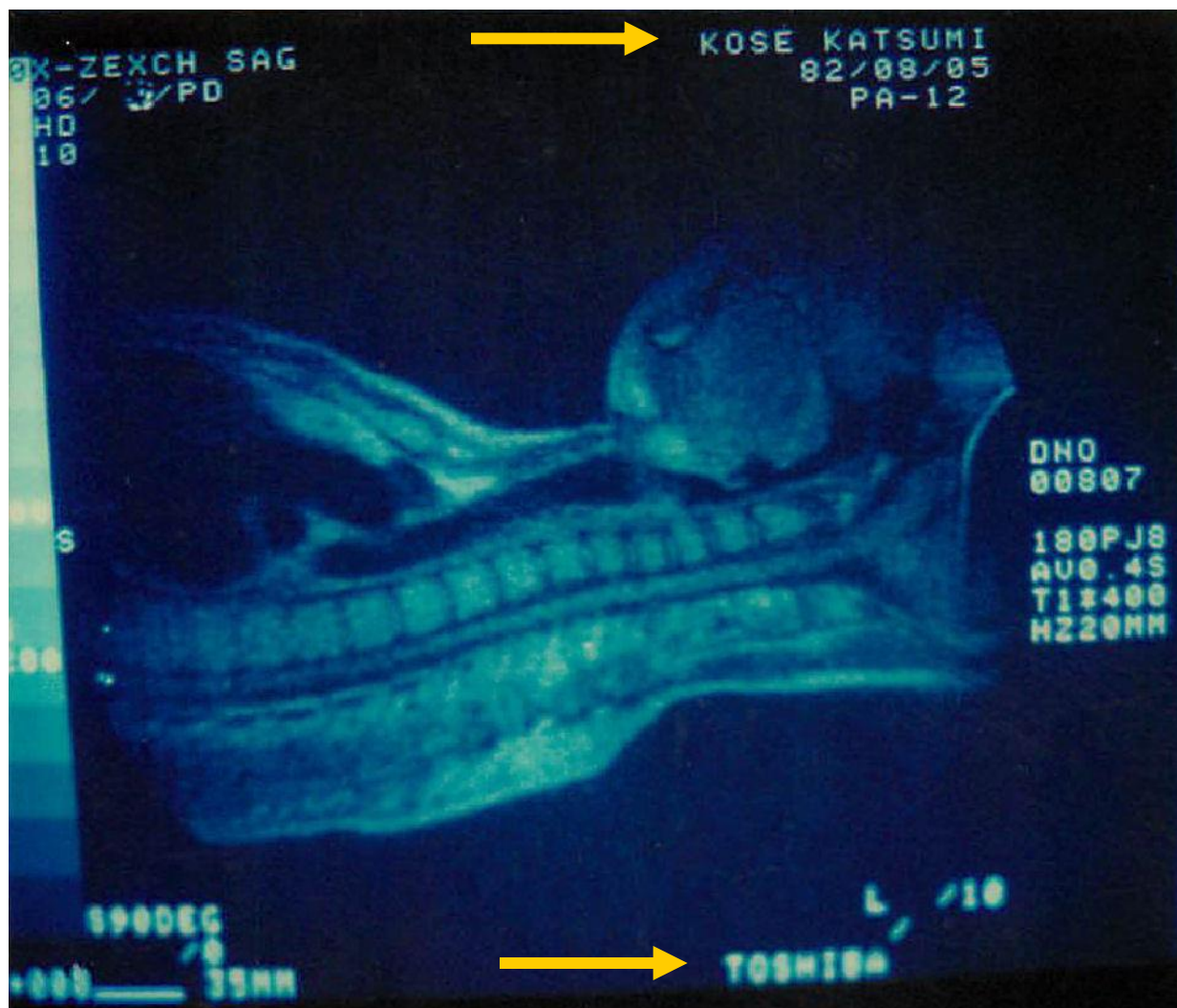
1983年に発売された国産第一号機(東芝製)

国産第一号機:1983年発売



国産第一号機(東芝製)のカタログ

脊椎正中断面画像: 1982年撮像!



1982年に撮像した脊椎サジタル像: 自作bodyコイル

MRI開発チーム



MRI開発チーム(東芝中央病院)(1982年)

国産第一号機

1975

1975年（昭和50年）

創業100周年を迎える。
わが国最大の100万kWタービン発電機完成。

1978年（昭和53年）

実験用中形放送衛星「ゆり」打ち上げに成功。
わが国初の日本語ワードプロセッサ製品化。



1979年（昭和54年）

世界で初めて光ディスク方式の画像情報ファイル装置完成。

1982年（昭和57年）

わが国初のMRI(磁気共鳴イメージング)装置を開発。

1984年（昭和59年）

新本社「東芝ビルディング」完成。
株式会社東芝に社名を変更。
わが国最大規模の50kW燃料電池発電実験プラントの
運転に成功。



1985年（昭和60年）

わが国初の高品位TVシステム用の送・受信主要機器を開発。
1メガビットCMOSダイナミックRAMを開発。
超電導MRI装置を開発。

1986年（昭和61年）

4メガビットダイナミックRAMを開発。
ラップトップ形パソコンを開発・商品化。

1988年（昭和63年）

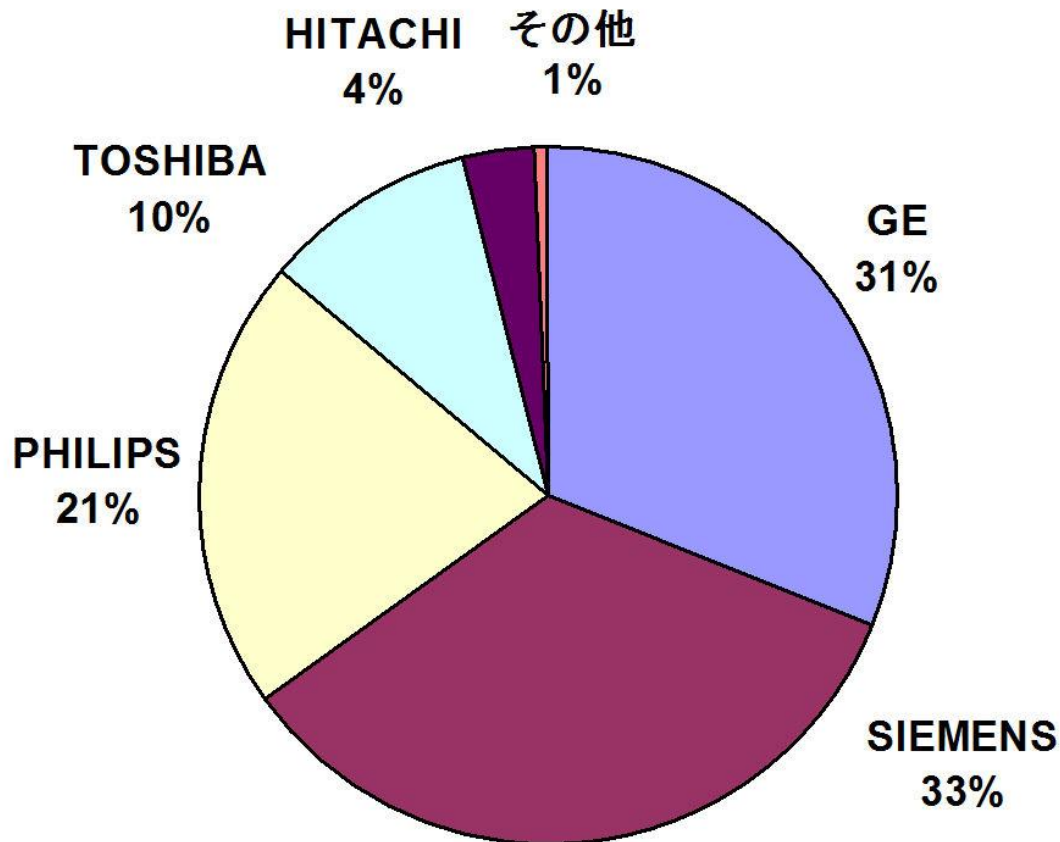
16メガビットダイナミックRAMを開発。

1989年（平成元年）

ブック形パソコン「DynaBook」を開発・商品化。

東芝の歴史に残る快挙！

MRIの世界市場



MR I

①シーメンス (独)	34.0(1.0)
②ゼネラル・エレクトリック (米)	31.0(▲1.0)
③フィリップス(オランダ)	21.0(0.0)
3社合計	86.0(0.0)
④東芝メディカルシステムズ	10.0(0.0)
⑤日立メディコ	3.5(0.5)
メーカー売上高	3292億円(1.6)
出所：日経推定	

C T

①ゼネラル・エレクトリック (米)	32.1(0.1)
②シーメンス (独)	26.7(0.2)
③東芝メディカルシステムズ	25.0(0.0)
3社合計	83.8(0.3)
④フィリップス (オランダ)	14.8(▲0.2)
⑤日立メディコ	1.0(0.0)
メーカー売上高	2894億円(2.7)
出所：日経推定	

日経産業：2012年7月30日

約5,000億円／年, Big3+日本2社(13%)の5社独占
日本市場は世界の約1/10(500億円程度)

講義の内容

磁気共鳴イメージング(MRI)の紹介

1. MRIとは？
2. MRIの歴史と現状
3. MRIの原理
4. MRIの画像の紹介

磁気共鳴イメージング研究室の紹介

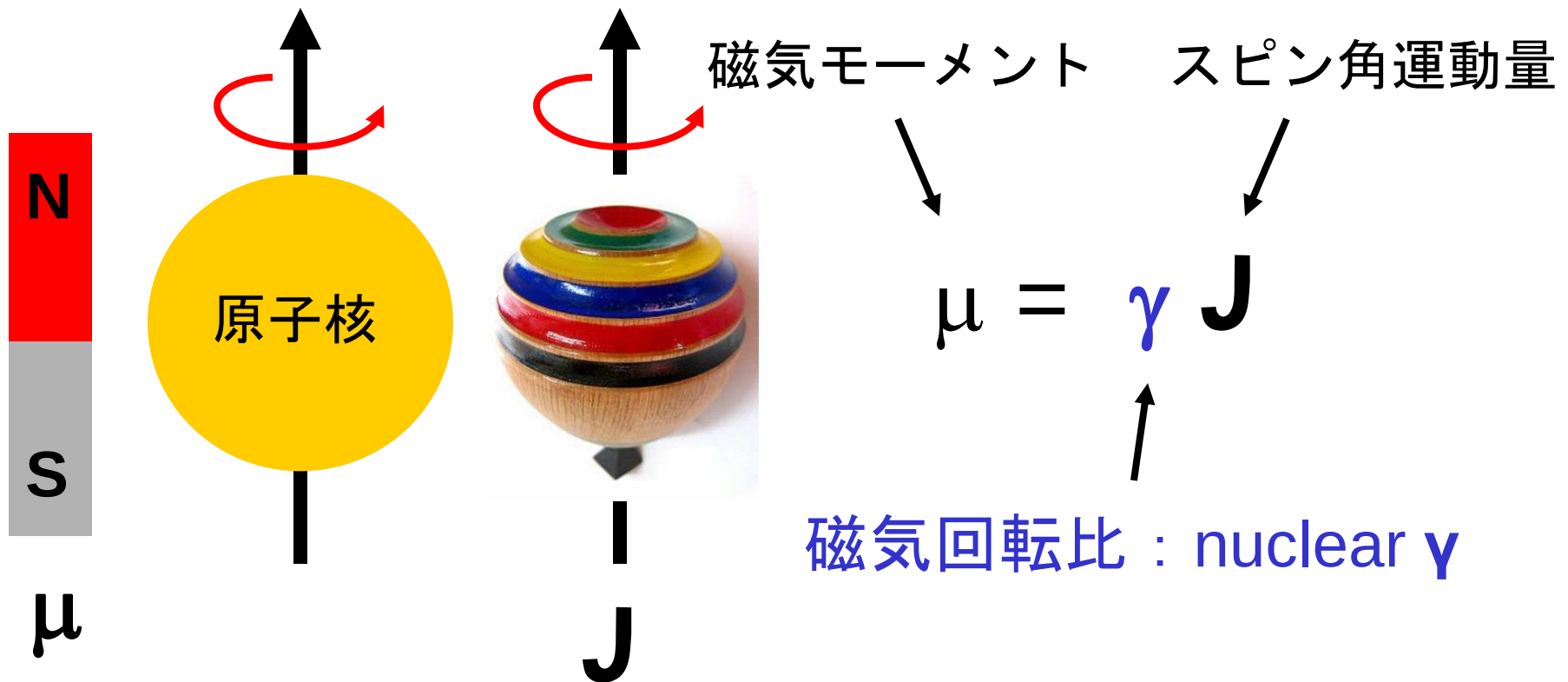
5. 研究室の歴史と現状
6. 研究テーマの紹介と卒業生の進路

MRIで使われる原子核種

核種	スピン量子数	共鳴周波数(MHz/T)	天然存在比(%)
^1H	1/2	42.6	→ 99.985
^{19}F	1/2	40.1	100
^3He	1/2	32.4	-
^{31}P	1/2	17.2	100
^{129}Xe	1/2	11.8	26.44
^{23}Na	3/2	11.3	100
^{13}C	1/2	10.7	→ 1.108
^2H	1	6.54	0.015
^{17}O	5/2	5.77	→ 0.037

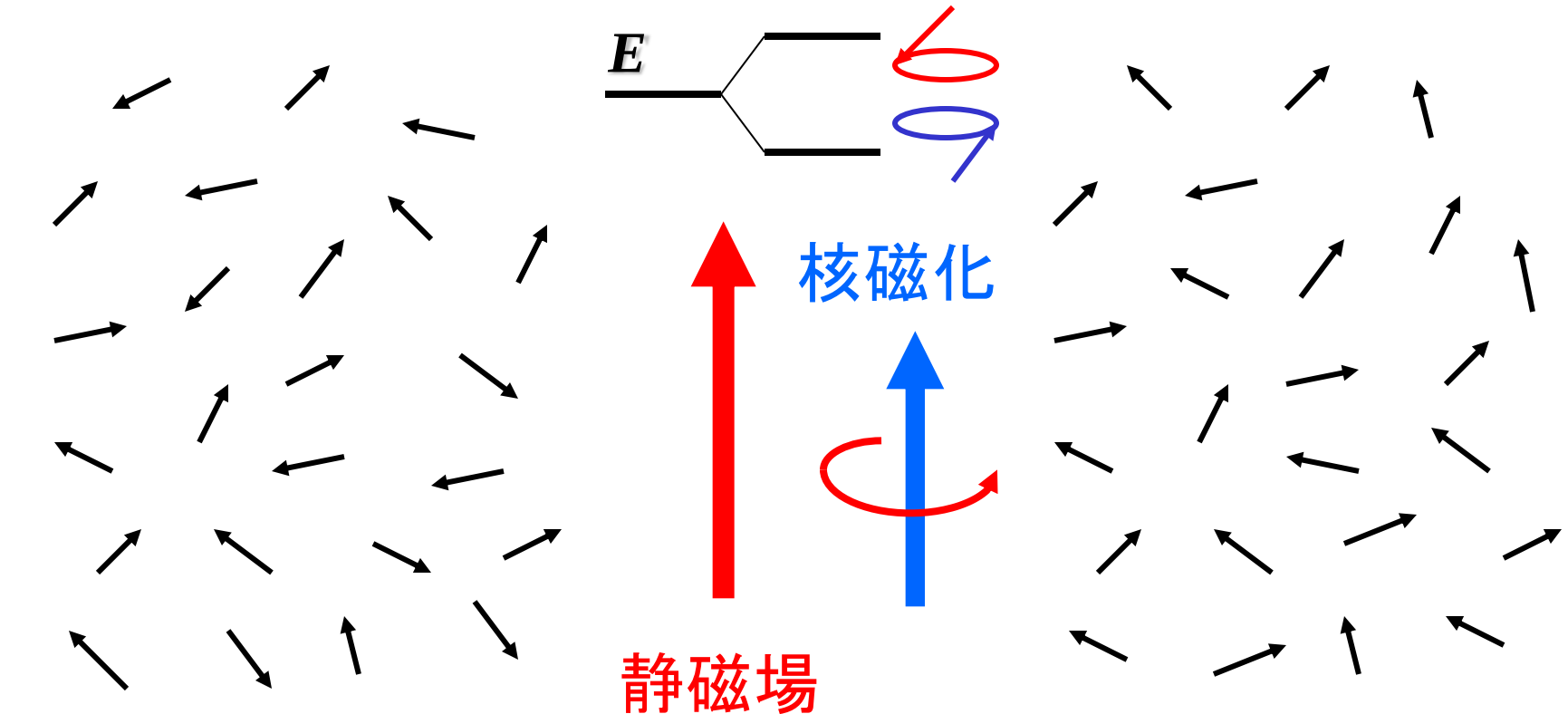
イメージングとして、実用的なレベルで使用されるのは ^1H のみ

スピン角運動量と磁気モーメント



J を持つ原子核は、同時に μ を持ち、 $\mu = \gamma J$ という関係式がなりたつ。 γ は、磁気回転比という原子核に固有の定数である。

核磁化の生成：原子核による磁性



プロトンspin系: $\chi = 4 \times 10^{-9} \text{ (MKSA)}$

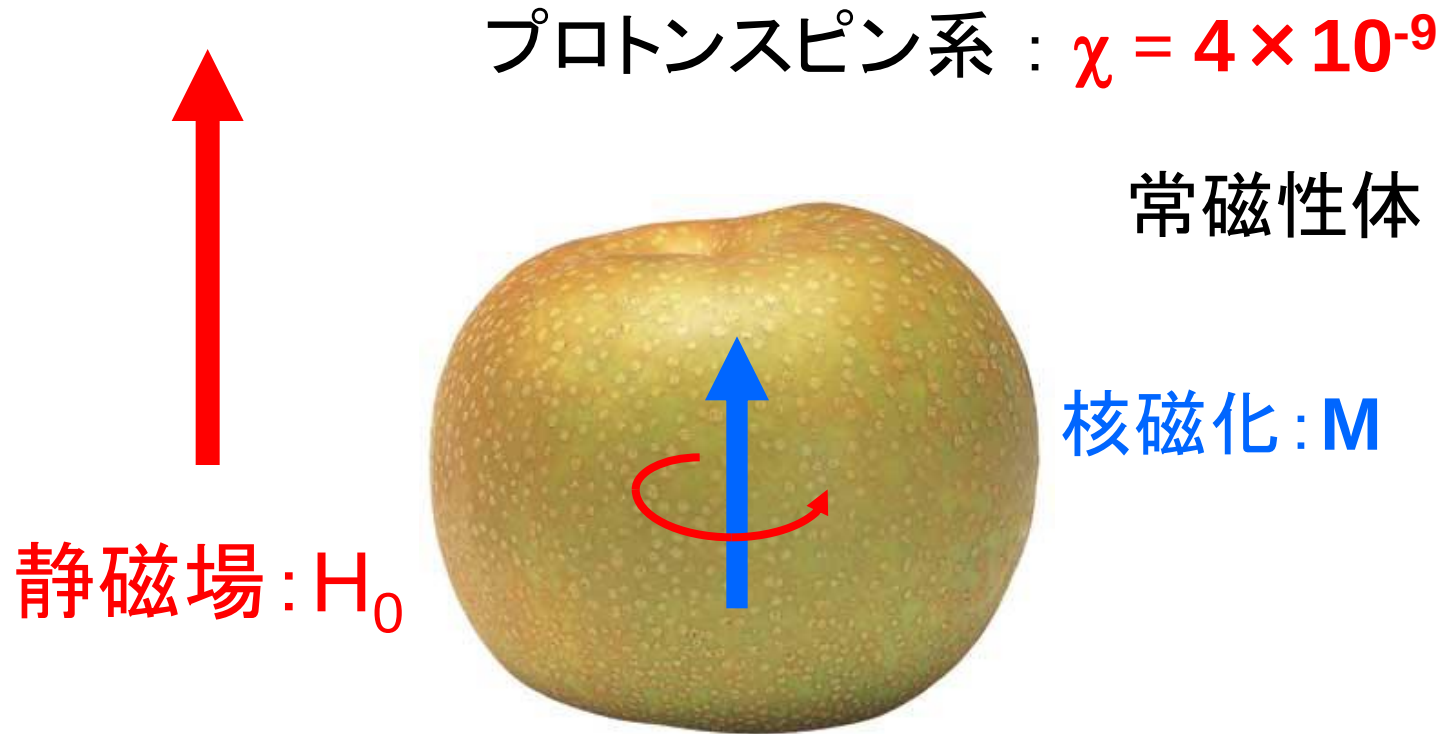
$H_0 = 0$

核spinはランダムな方向

$H_0 \neq 0$

わずかに静磁場方向にそろう

核磁化の検出？



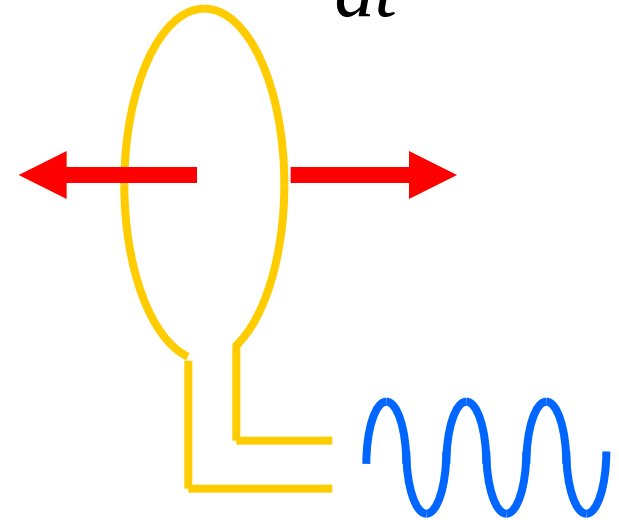
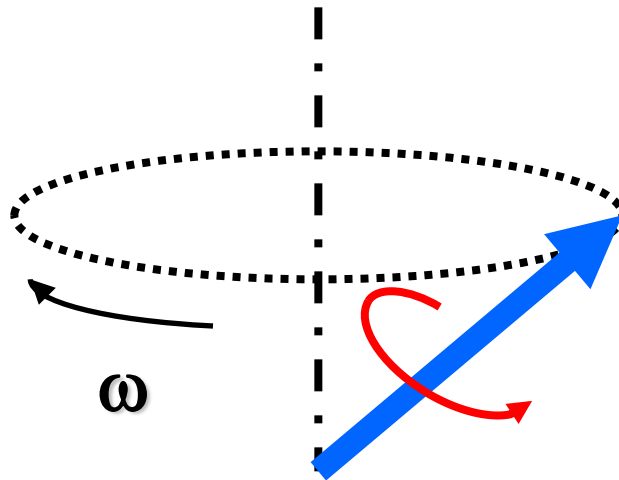
核磁化は極めて小さいので、どのようにすれば、検出できるだろうか？ → 歳差運動を利用する！

核磁化の歳差運動

$$\omega = -\gamma H_0 : \text{ラーモアの式}$$

$$V = -\frac{d\Phi}{dt}$$

↑
静磁場: H_0



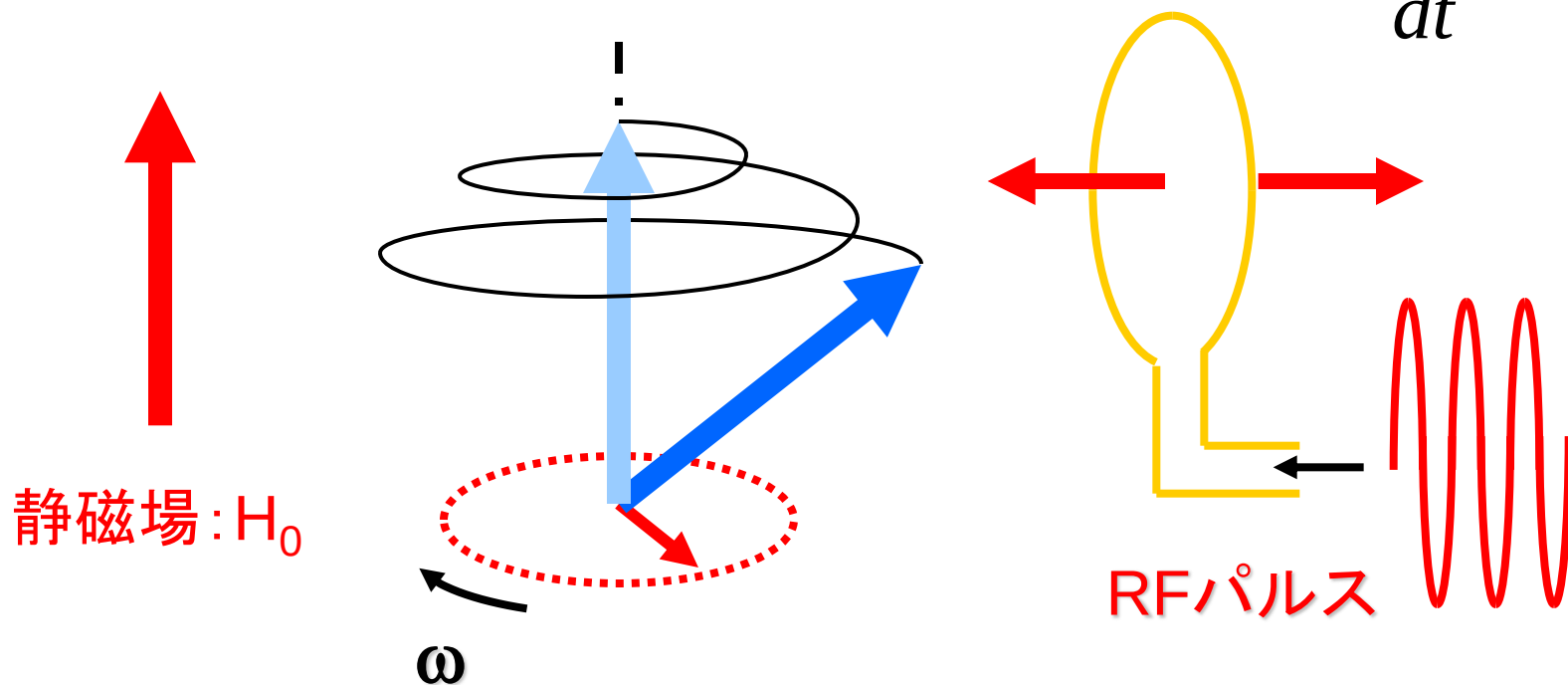
NMR signal

静磁場 H_0 の中で、何らかの方法で、核磁化を静磁場方向から傾けると、核磁化は、静磁場の周りに、静磁場強度に比例した周波数で歳差運動する。核磁化は、周囲に振動する磁場を生み出すので、コイルで誘導電圧を検出することができる。

横磁化の生成とNMR信号

$$\omega = -\gamma H_0 : \text{ラーモアの式}$$

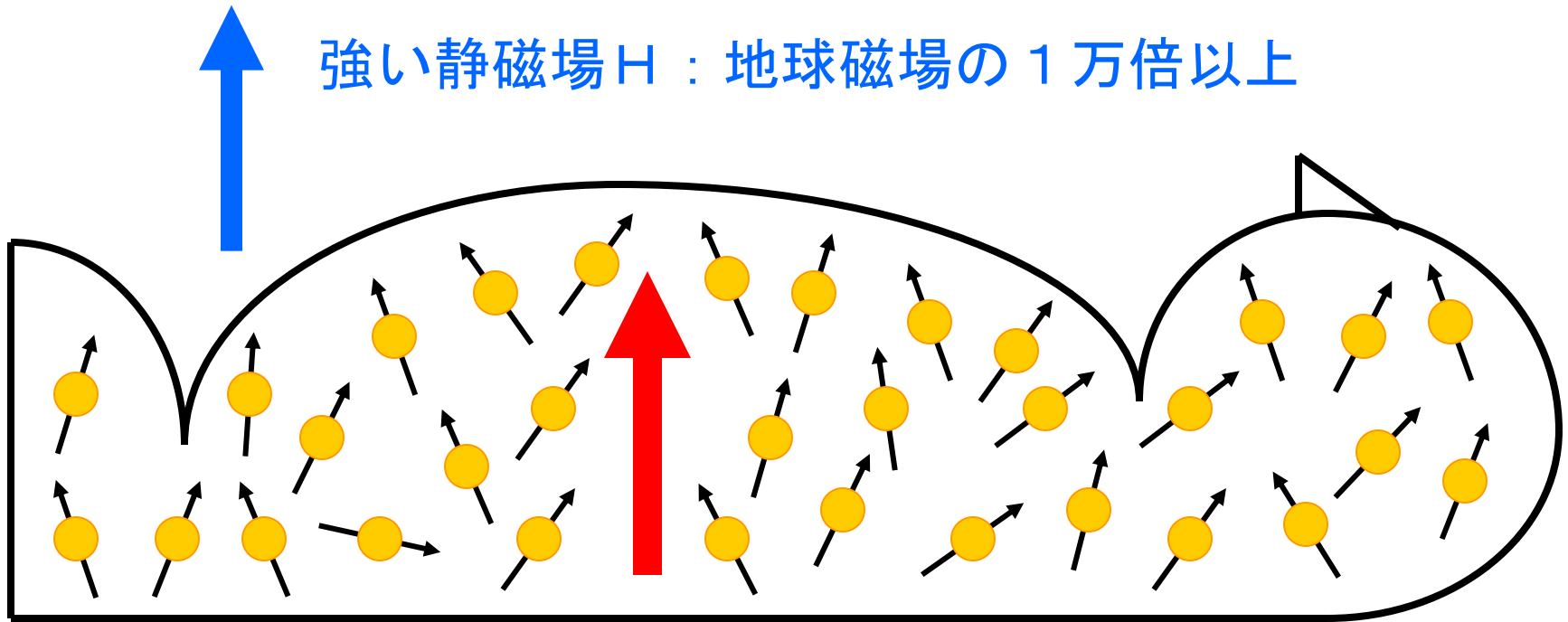
$$V = -\frac{d\Phi}{dt}$$



歳差運動の周波数と同じ周波数の回轉磁場を加えると、トルクを受けて核磁化が倒れる

回轉磁場を切ると、核磁化は、自由に歳差運動して、周囲に変動する磁場を生成し、コイルにNMR信号を誘起する

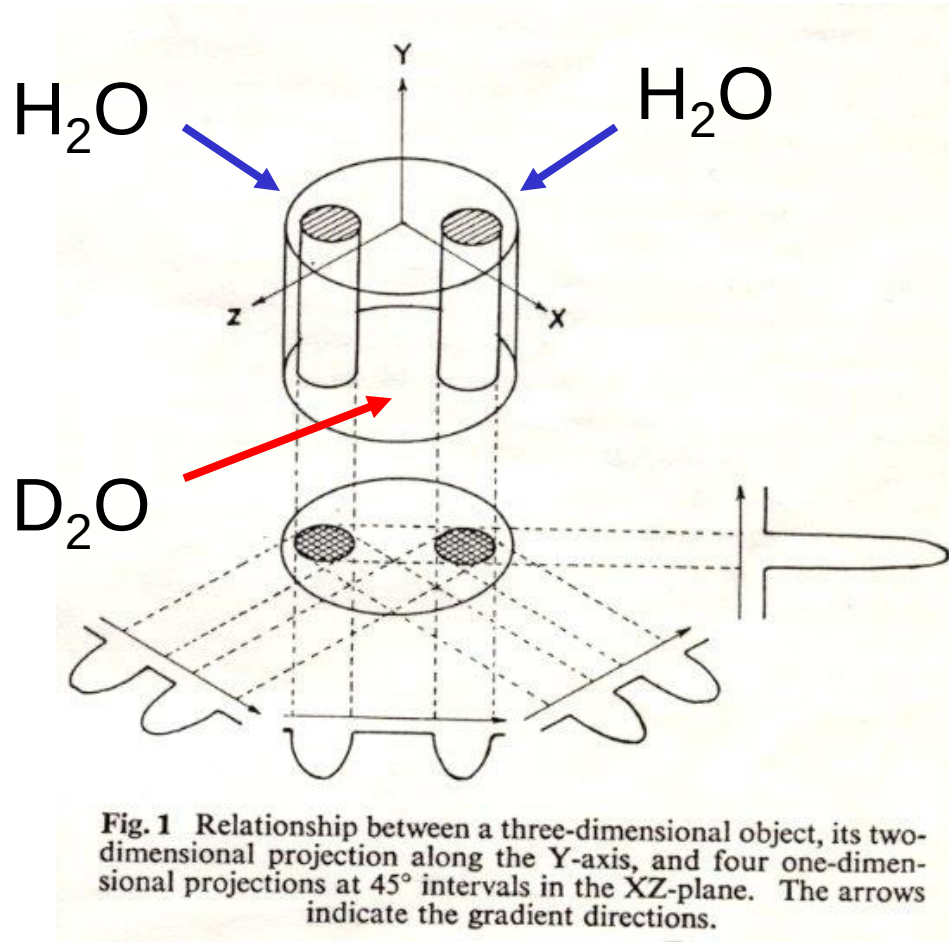
人体のMRIの概念



核磁化：原子核が作る磁石

一つ一つのプロトンは、極めて小さいため、観測することは難しく、**プロトンの集団** (10^{15} 個以上) から作られる**磁石** (核磁化) を、まとめて検出する。

MRIの発明(1973年)



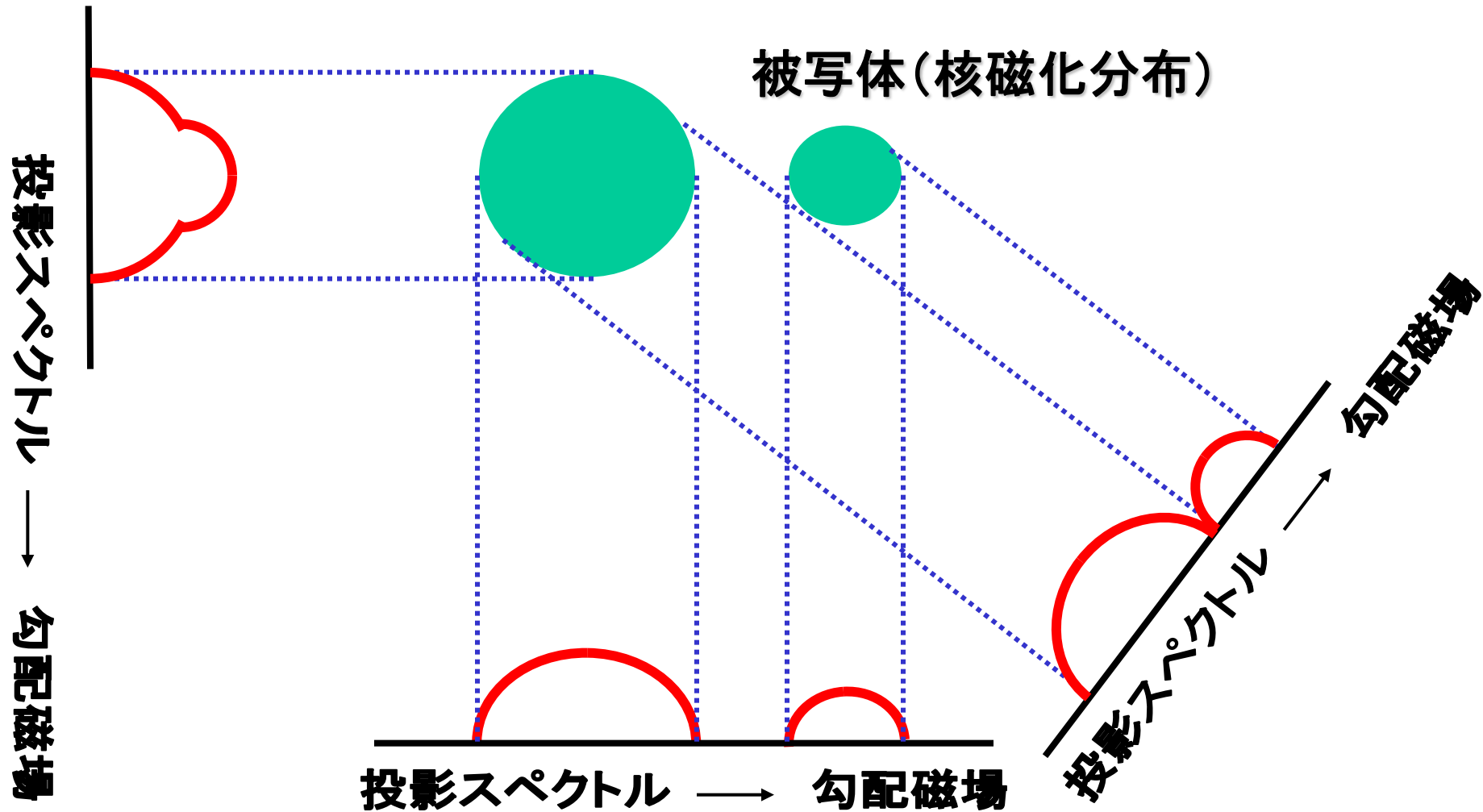
D₂Oで満たされた試験管の中に, H₂Oで満たされた2本の細い試験管を入れて**均一な静磁場中**に置く.

試験管の軸に垂直な方向に**線形勾配磁場**を印加しながら共鳴スペクトルを観測し, これらの投影像から, X線CTと同様のアルゴリズムで画像を再構成.

原子核を選択的に画像化!

Nature, **1973** by P. C. Lauterbur

プロジェクション(投影)法:Lauterburの方法



勾配磁場を二次元面内の様々な方向に加えて、投影像を取得し、**X線CTと同様のアルゴリズム**で画像再構成を行う

講義の内容

磁気共鳴イメージング(MRI)の紹介

1. MRIとは？
2. MRIの歴史と現状
3. MRIの原理
4. MRIの画像の紹介

磁気共鳴イメージング研究室の紹介

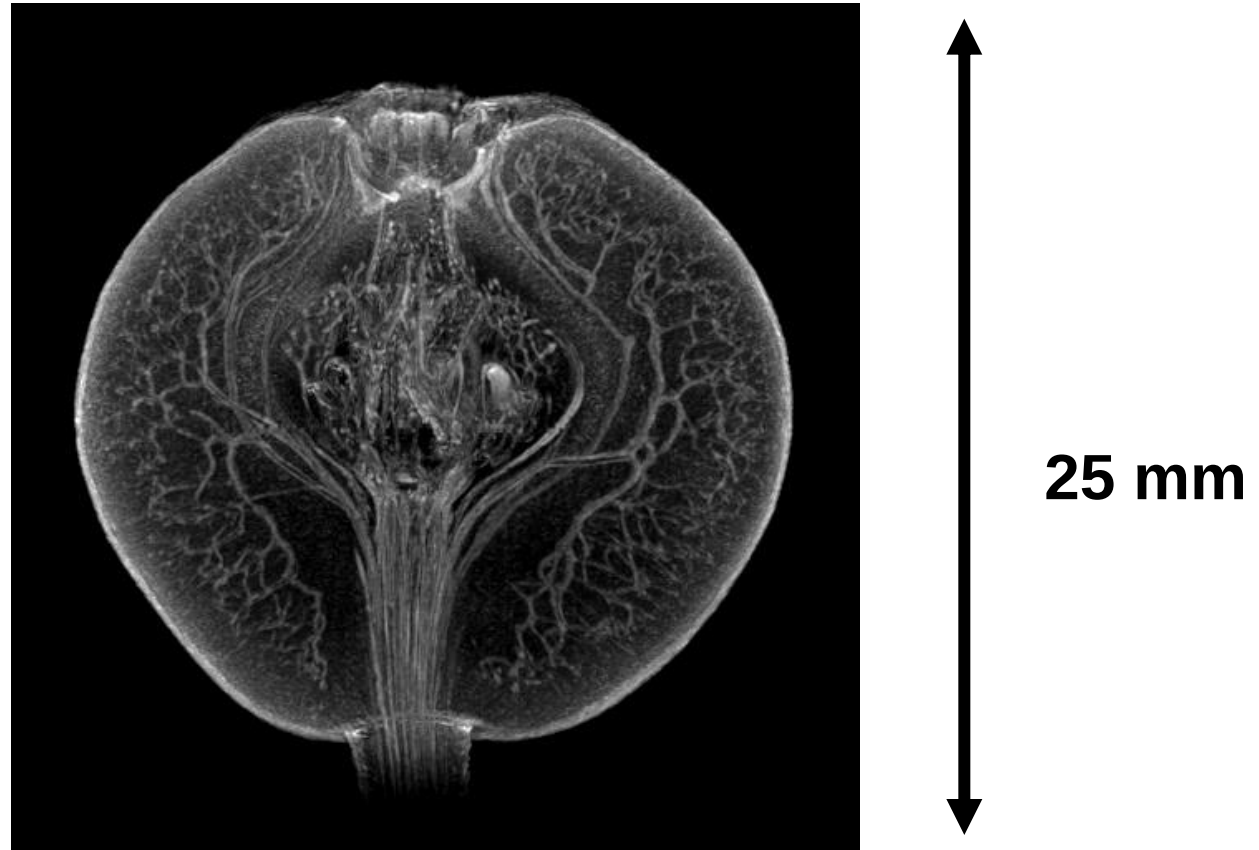
5. 研究室の歴史と現状
6. 研究テーマの紹介と卒業生の進路

当研究室における撮像例(1)



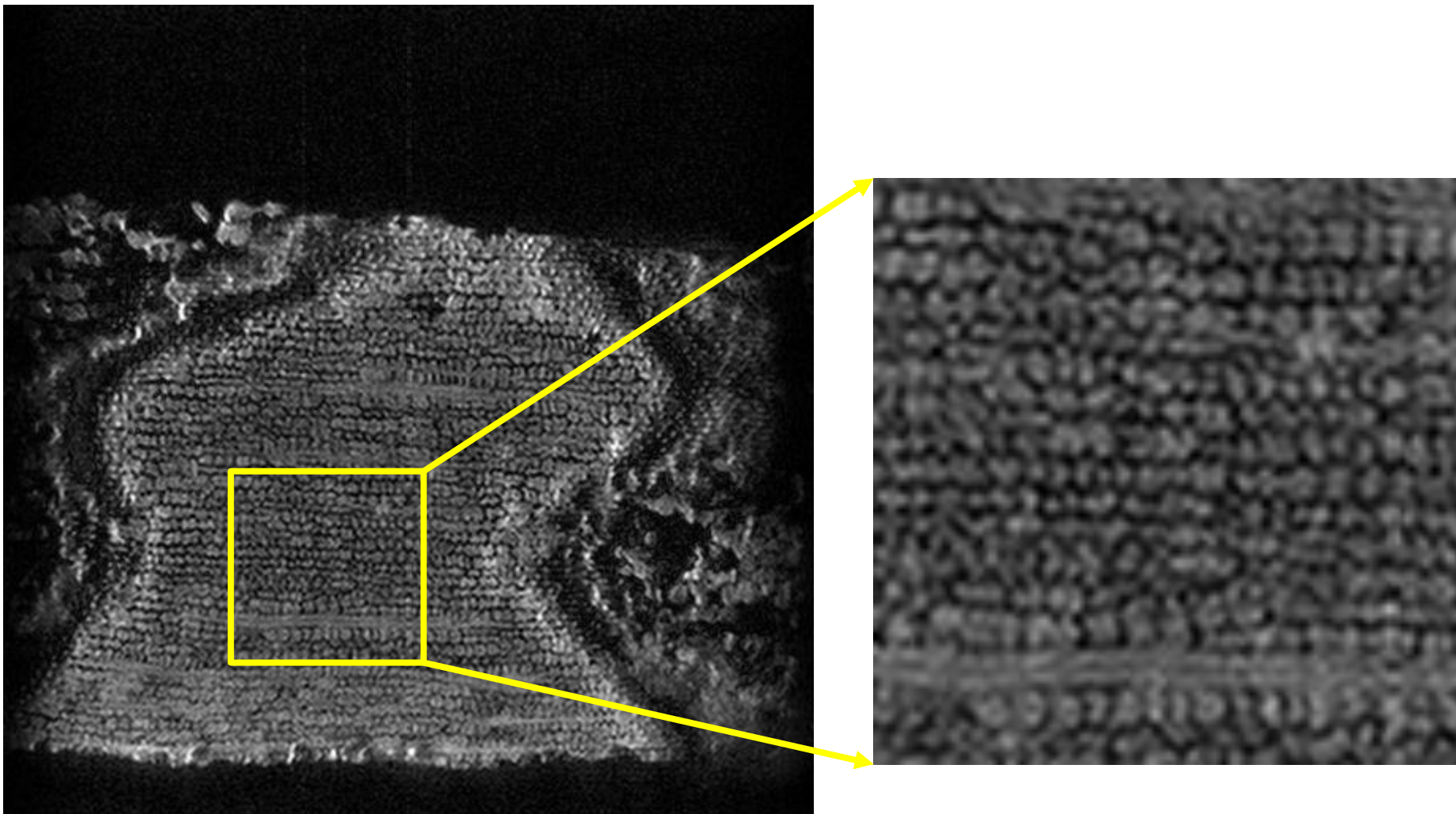
とちのおとめ $(125\ \mu\text{m})^3$ (4.7T 超伝導磁石使用)

当研究室における撮像例(2)



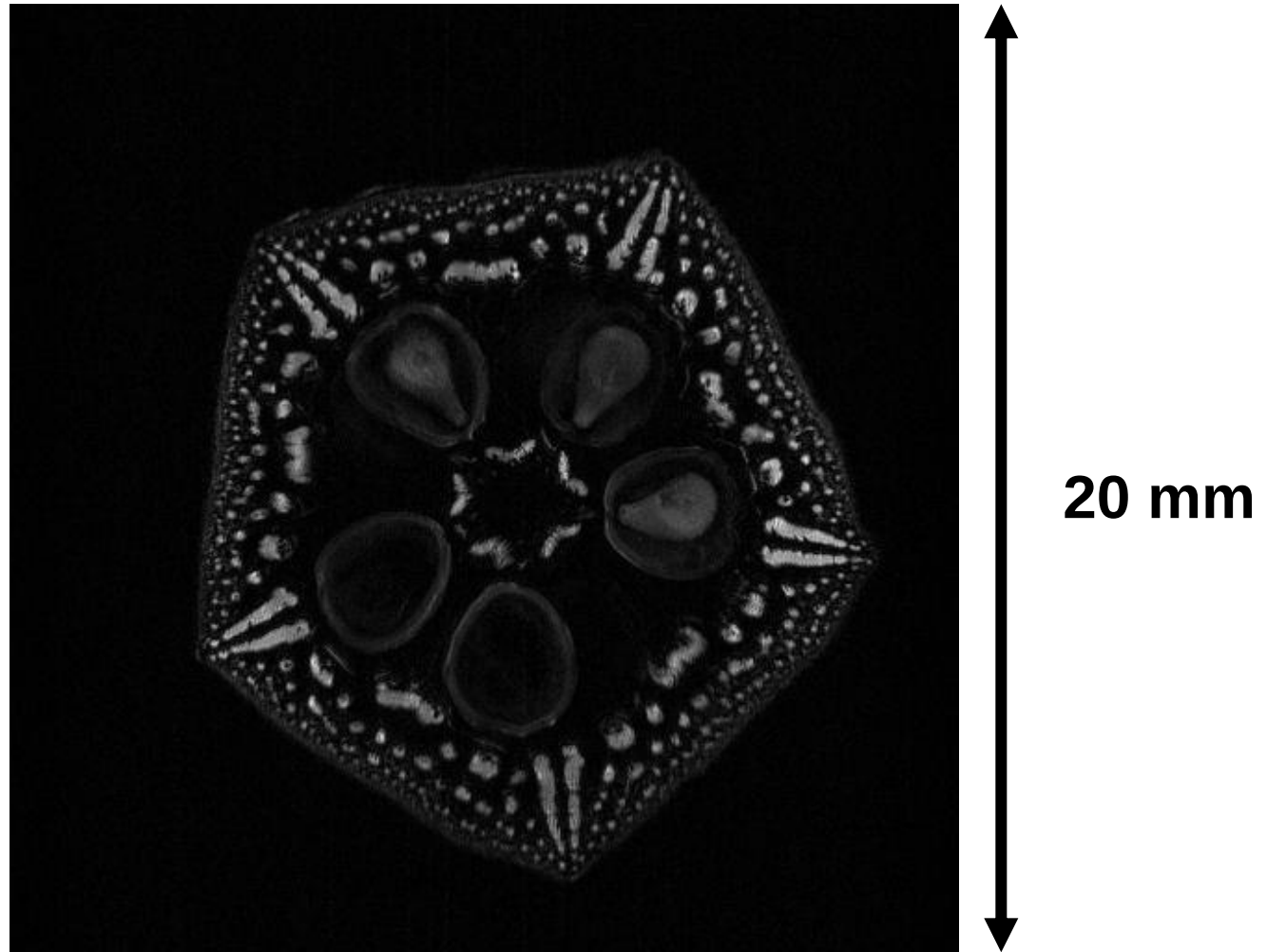
梨果実 $(100\ \mu\text{m})^3$ (4.7T 超伝導磁石使用): MIP像

4.7Tにおけるタマネギの撮像(3)



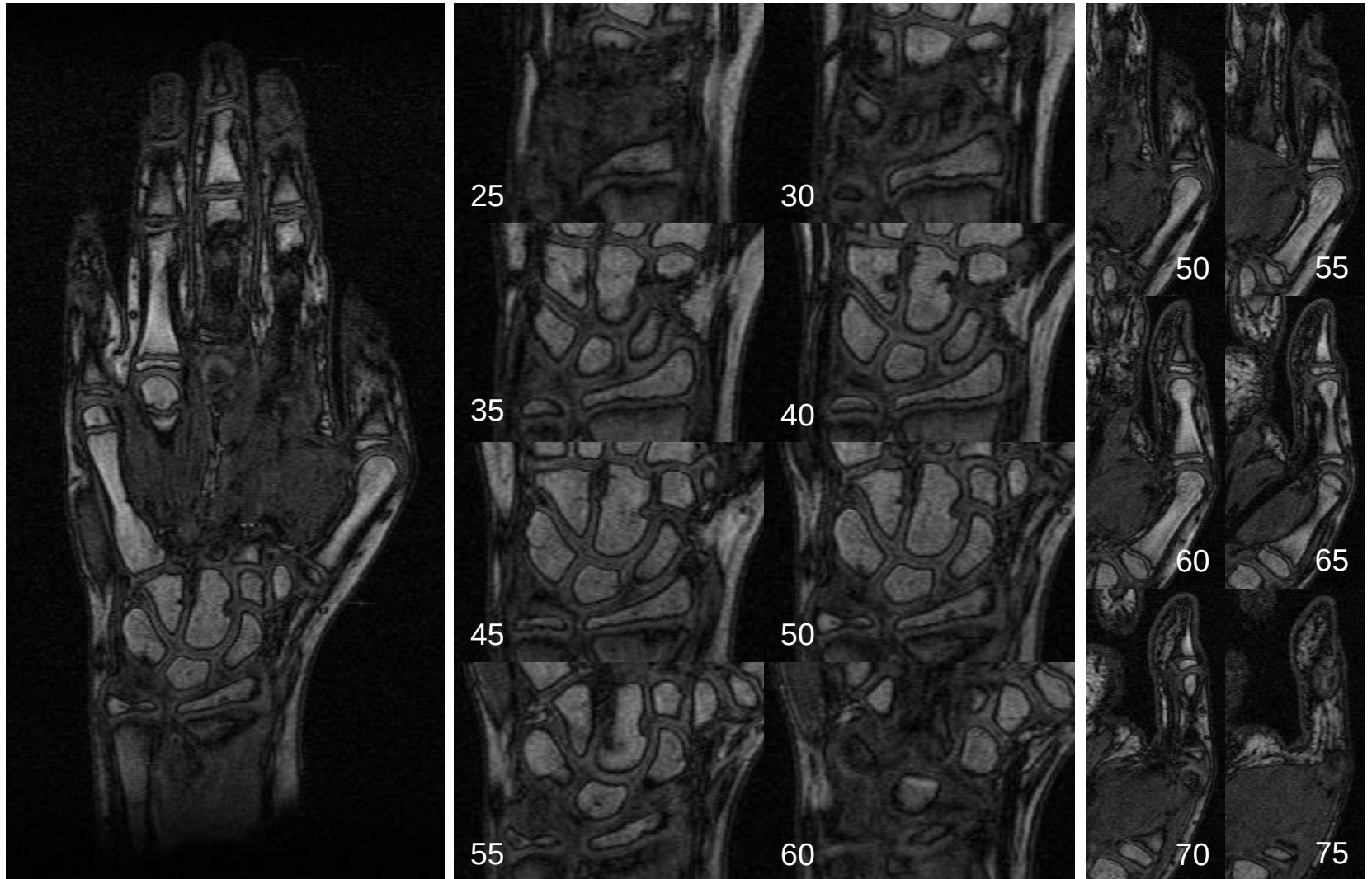
256×256 ×256 pixels, **(50 μm)³** voxel, (12.56 mm)³ FOV

当研究室における撮像例(4)



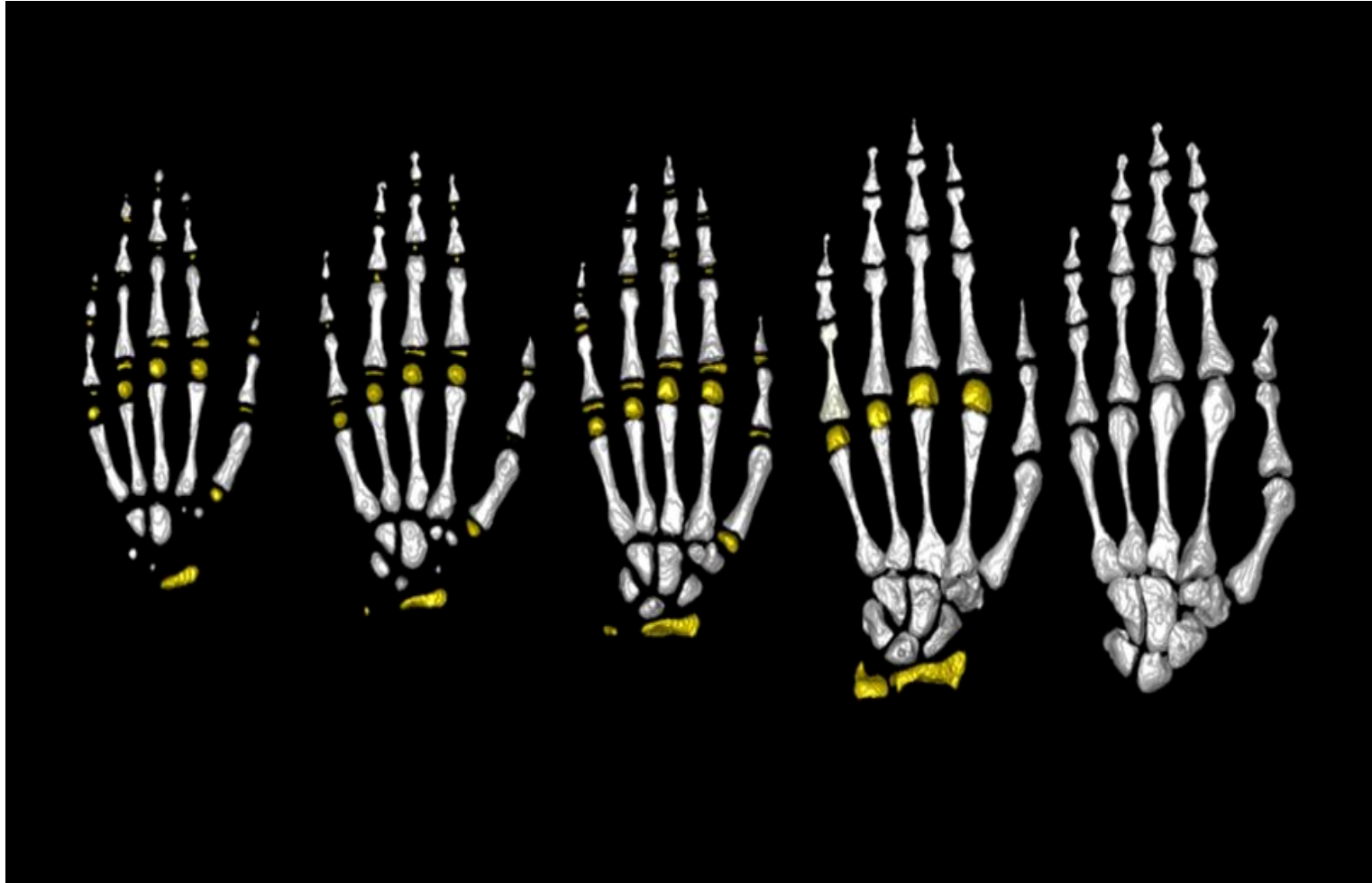
オクラの断層像, 1mmスライス $(40\ \mu\text{m})^2$ (4.7T磁石使用)

当研究室における撮像例(5)



小児(10歳2ヶ月女子)の手の画像:0.3T

当研究室における撮像例(6)



小児の骨のセグメンテーションの例 by Dr. Terada

講義の内容

磁気共鳴イメージング(MRI)の紹介

1. MRIとは？
2. MRIの歴史と現状
3. MRIの原理
4. MRIの画像の紹介

磁気共鳴イメージング研究室の紹介

5. 研究室の歴史と現状
6. 研究テーマの紹介と卒業生の進路

研究室の歴史

1981年 博士課程を修了して東芝入社. 総合研究所配属

1982年 全身用MRIの国産第一号機の開発

1986年 筑波大学講師着任. 井上多門先生の研究グループ所属

1994年 磁気共鳴イメージング研究室発足 ←

1999年 (株)エム・アール・テクノロジー設立

2002年 応用物理専攻主任(3年間). 秘書の粂田さん採用.



2004年 3G棟より総合B棟へ引っ越し(筑波大学法人化)

2005年 学類・大学院就職委員(2年間)

2008年 応用理工学類長(2年間)(第2期生と3期生を迎える)

2010年 寺田助教着任. 第38回日本磁気共鳴医学会大会主催

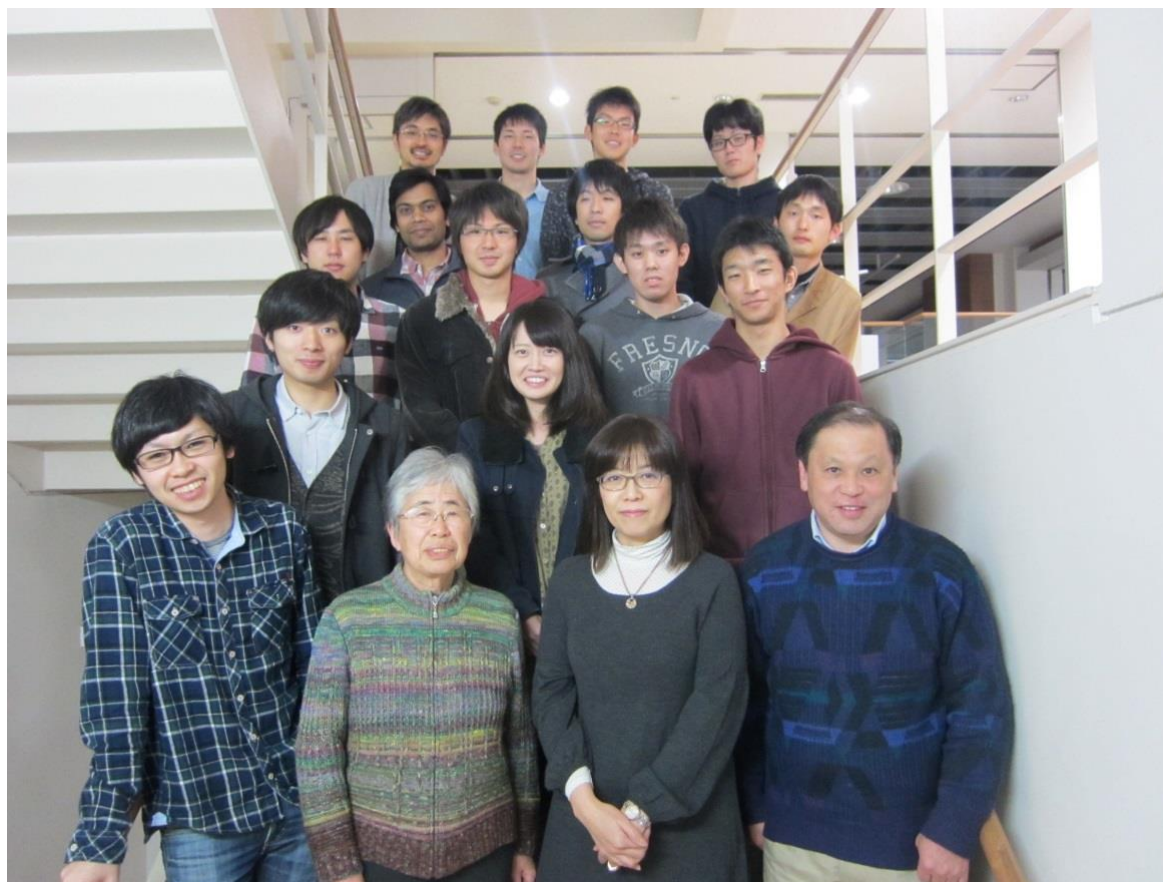
2011年 学類・大学院就職委員

現在の研究室のメンバー

教授，助教，産学連携研究員，秘書

博士課程学生4名（社会人2名） 修士課程学生8名

卒研究生4名，海外インターンシップ1名



講義の内容

磁気共鳴イメージング(MRI)の紹介

1. MRIとは？
2. MRIの歴史と現状
3. MRIの原理
4. MRIの画像の紹介

磁気共鳴イメージング研究室の紹介

5. 研究室の歴史と現状
6. 研究テーマの紹介と卒業生の進路

研究テーマ(三大テーマ)

- ①コンパクトMRIとそれを用いた計測手法の開発
小型永久磁石を用いた小型MRI
- ②超伝導磁石を用いたMRマイクロコピー
100 μ m以下の分解能を実現したMRI
- ③MRIにおける計算機シミュレーション

コンパクトMRIとは？



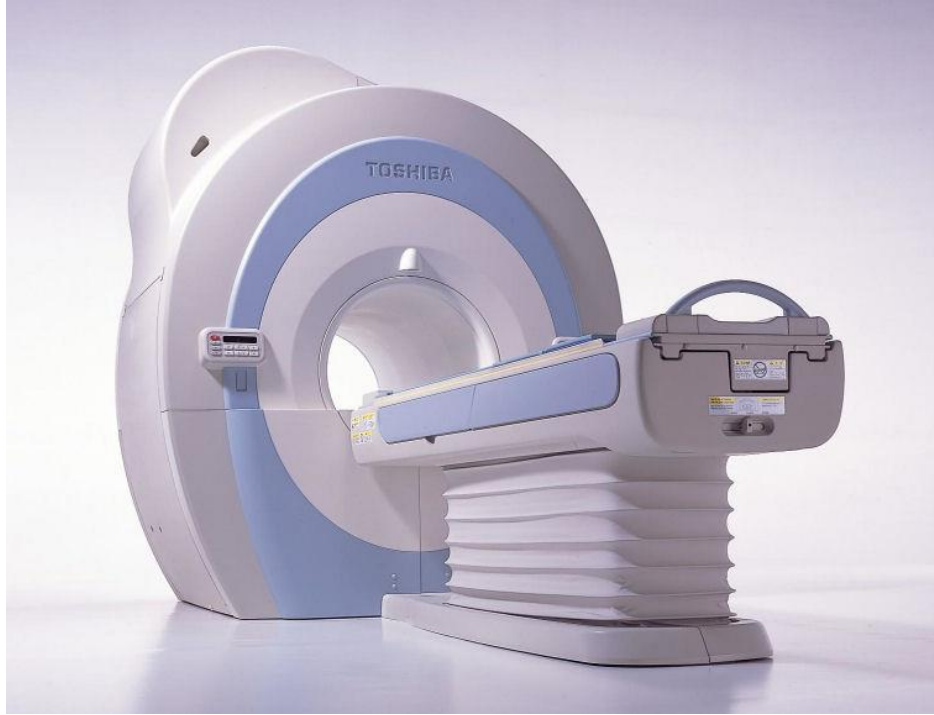
小型永久磁石とポータブル型MRI計測系を用いて、**人体全身用MRIでは対応できない**、あらゆる科学技術・産業分野への応用を目指すMRI

コンパクトMRIとは？



太陽電池を用いたMRI

全身用MRIとコンパクトMRI



人体に最適化された設計
巨大で移動不可能
アクセス方向が限られる



どのような試料にも最適化
小型で移動(自走)可能
試料へのアクセスが容易

永久磁石を用いたコンパクトMRI(1)



1998:MR microscope



1999:Portable MRI



2000:Salmon MRI



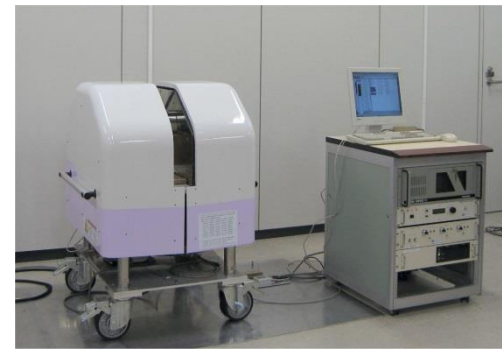
2001:Heel MRI



2003:Mouse MRI



2006:Finger MRI



2006:Wrist MRI



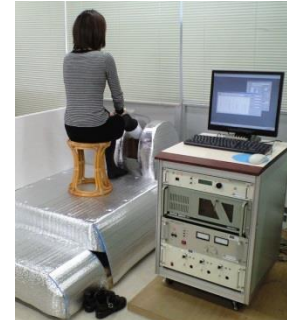
2006:Plant MRI



2006:Cold room MRI



2005:Hand MRI



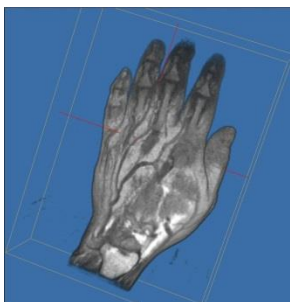
2008:Heel MRI



2008:Clinical MRI !

永久磁石を用いたコンパクトMRI(2)

Dr. Handa



3D image of
my hand
acquired with
the hand MRI

Shown in the
cover of the
Sarah & Joe
book

2008年11月, 医用機器としての薬事認証取得: 大学初

関節リウマチ診断用コンパクトMRI: 筑波大附属病院

研究室の卒業生

博士修了生 7名(他大学修了生1名, 社会人1名)
修士修了生 34名(他大卒業生2名)
学群卒業生 52名(編入学生7名)
留学生 4名(米国, 韓国, フランス, バングラデッシュ)



2005年



2009年



2013年

卒業生の進路(1)

博士課程修了生(内定含) (全員がMRI/NMR関係の研究開発職)

(株)エム・アール・テクノロジー(代表取締役), 日立メディコ,
米Schlumberger(石油探査超大手), 東芝メディカルシステムズ, 米
Quality Electrodynamics(RF coilベンチャー), 国立防災研, エクサ
(社会人), 東芝研究開発センター, 理研, 日立中央研究所

修士課程修了生(内定含) (医療機器, IT, メーカー, インフラ系等)

NTTデータ(5), 東芝メディカルシステムズ(4), 日立製作所(3)(中
央研究所2), 日立メディコ, GEメディカルシステムズ, NTT西日本,
エクサ, 日立電子サービス, NEC, ラティステクノロジー, YKK, ボッ
シュ, 日産自動車, 富士通FIP(2), シャープ, キヤノン, 三菱重工,
讀賣テレビ, JR西日本, 東ソー, Softbank(2), 富士重工, 日本放射
線エンジニアリング, シーメンスジャパン, 東芝デジタルメディアエン
지니어リング, 三菱電機

卒業生の進路(2)

学群卒業生(内定含む)(IT, メーカー, 文系就職)

NTT(2), NTTコムウェア, アジア航測, クラリオン, デンソー, メルコ, 特許事務所(弁理士), 大日本印刷, 日本写真印刷, サンマイクロシステムズ, シスコシステムズ, 核燃料サイクル事業団, 東芝, プロミス, 情報通信システムコンサルティング, DHC, 土屋ホームズ, ホリプロ, 三菱UFJモルガンスタンレー証券(私立高校教員)

卒業生の進路(3): 博士課程学生



国際磁気共鳴医学会(メルボルン, オーストラリア, 2012.5)

卒業生の進路(4): 博士課程学生



Boston



Houston

MR microscopy国際会議(北京, 人民大会堂, 2011.8)

卒業生の進路(5): 博士課程学生



2014年, 国際磁気共鳴医学会(ミラノ)

卒業生の進路(6):学群卒業生



和田アキ子 ↑

榊原郁恵 →



今後の進路(1)

キーワード 2045年問題

すべての人類の知的能力を
コンピュータが超える

今後の進路(2)

機械進歩 脳を超える

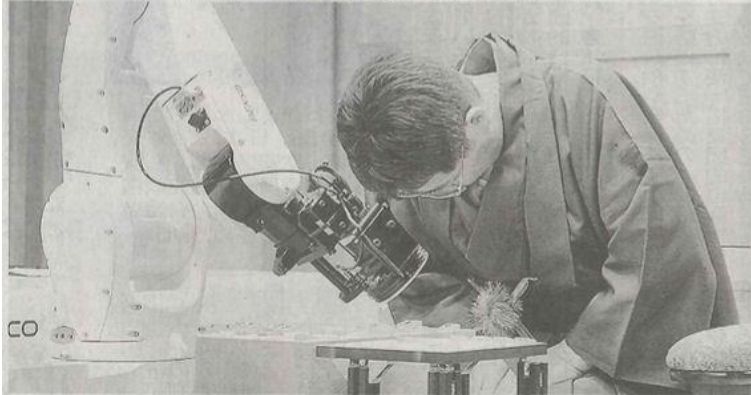
20XX年
の
人類

感情を持つ機械
松田卓也・神戸大名誉教授
(宇宙物理学)は「身近なところ
に優れた人工知能が存在する」
と指摘する。一部のスマートフォン
に搭載されている「S

チェスでは世界一の名人を倒し、
将棋でもトッププロと互角以上の戦い
をしている。クイズ王に勝つ
コンピュータも開発された。あと
十年もすれば、中央演算処理装置
上のトランジスタ数は、人間の
脳の神経細胞数(百億〜数百億個)
を上回りそうだ。

ムーアの法則
コンピュータの進歩を支える集積回路の性能は、それに積み込むトランジスタの数で示される。それを表現するのが「ムーアの法則」と呼ばれる式で、一年半ごとに倍になる。そして五年で十倍、十年で百倍、二十年で一万倍になる。ゴードン・ムーア氏がこの法則を提唱したのは一九六五年だった。五十年近くたった今も「もう無理だ」と言われながら、法則通りの進歩をしてきた。

コンピューターソフトに敗れ、頭を下げるプロ棋士



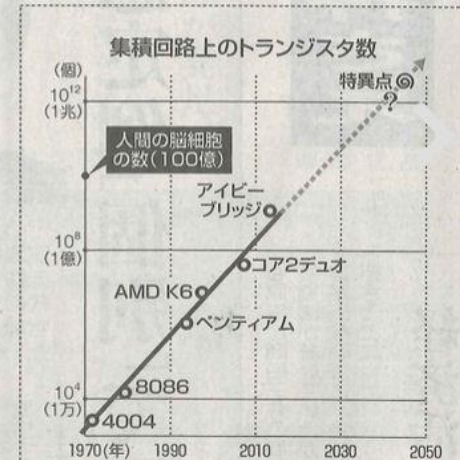
技術的特異点 米国の発明家で未来学者のレイ・カーツワイル氏らが唱えた。彼らは科学技術の進展が、人間の脳を超えて加速すると考える。特異点を超えて進歩した人工知能

は、人類には理解できない文化を築き、その動向を予測できなくなる可能性もある。一方、人間が脳を直接コンピュータに接続し、生物としての限界を超えることもできるとみる。

「ムーアの法則」だ。とても博学なうえ、松田さんが「愛してる」と問いかけると「ごめんなさい」という答えが返ってくる。これに豊かな表情を持つ顔が加わ

「2045年問題」技術予測困難に

「2045年問題」が、研究者の間で注目されている。今の調子でコンピュータが進化していくと、今世紀半ばに、全人類の知能を追い越してしまうかもしれないのだ。そのとき、人間はすばらしく賢いコンピュータを操ることができるだろうか。(吉田薫)



コンピュータの中央演算処理装置(CPU)上のトランジスタ数は、初期のインテル4004や8086から最近のアイビーブリッジに至るまで、10年で100倍、20年で1万倍になっている。近い将来、脳の神経細胞の数(100億台)を上回りそうだ。

2045年問題を抜きには考えられない

今後の進路(3)



将棋パイナップル2.0 @shogi_pineapple · 18時間

コンピュータ将棋界のニューヒーロー。第2回電王トーナメント優勝、AWAKE開発者の巨瀬さん。



コンピュータ将棋は，人類の能力をコンピュータが上回った典型的な例

今後の進路(4)

今後の社会は、2045年に向かって、確実に
進歩(変化?)していく

コンピュータを使うか？

コンピュータに使われるか？

現在のビジネスは、コンピュータを使う人間が、スマホを使う人間から、利益を収奪する構造を持っている

必ずしもプログラマーになる必要はないが、コンピュータを使える立場が有利

むすび



当研究室は、MRI業界だけでなく、さまざまな分野に人材を輩出しており、卒業生と在学生との結びつきも強い（**同窓会を2年に1度実施：2014年3月の同窓会**）。

オープンハウス・研究室説明会

12月16日(火)15時15分～18時(5, 6限)

オープンハウス(総B0324)(2,3年生対象)

12月19日(金)16時45分～18時

研究室説明会(総B0302)

1月6日(火)16時45分～18時

研究室説明会(総B0324)

Thanks !



2009年：イエローストーン

2011年：北京

