

## MRI の磁場強化

東京大学大学院新領域創成科学研究科物質系専攻 教授 和田仁

### 1. はじめに

MRI (磁気共鳴映像法) とは、身体を傷つけることなく、体内の組織画像を得る超電導応用技術である。本講演では、MRI の高磁場化がもたらすインパクトを、少子高齢化社会との関係において述べる。(NPO 主催の超電導講演会の基調講演要旨)

### 2. MRI と NMR の歴史

MRI では、磁場中の原子核が特定周波数の電波エネルギーを吸収する核磁気共鳴 (NMR) 現象を利用して体内物質を捉え、空間分布を決定し、画像化する。NMR の信号は非常に微弱であるから、その計測には極めてノイズの少ない、安定磁場を発生する超電導マグネットが必要となる。

生体の NMR を計測して断層画像を得る MRI の研究が始まったのは、1952 年、仏、英、米などにおいてであった。1973 年に最初の MRI 画像撮影に成功し、1977 年に人体の MRI が実現した。ただ、これらは未だ常電導マグネットや永久磁石によるものであった。1980 年、英国で初めて医療用に応用され、以降、超電導 MRI が世界中の医療機関に普及した。我が国での導入は 1984 年頃で、2005 年には国内の総稼働台数は 5,000 台を突破し、ヨーロッパ全体の台数に匹敵するほどになった。

MRI では、多くの場合、体内の水や脂肪などに含まれるプロトンの NMR を計測しており、その画像は主に水と脂肪の分布を示す。特定領域からの NMR 信号を利用して、領域内の物質を分析する方法は MRS (磁気共鳴分光法) と呼ばれる。

### 3. MRI の磁場強化

MRI における磁場と分解能、計測感度、計測速度との関係から、磁場強化をすると以下の効果が期待される。

- ① 画像の空間分解能が向上し、非常に微細な組織の画像化や病変の検出が可能になる。
- ② MRS 計測の速度が十分大きくなると、生体内の反応をリアルタイム計測できる。
- ③ 自然界に存在する量が微量なため NMR 信号が弱い炭素やリンなどの核種の検出や画像取得が可能になる (多核種 MRI)。

欧米ではすでに 9.4T の MRI 機が開発されて研究に使用されている。10T までの MRI では、①と②が、10T を超えると、①～③の実現が期待される。即ち、10T を超える MRI では、代謝イメージングなど全く新しい画像診断技術が生まれる可能性がある。

### 4. MRI 装置の形態

MRI 装置の形態は、マグネットの配置と磁場の方向によって、トンネル型 (水平磁場 / 垂直磁場) とオープン型 (水平磁場 / 垂直磁場) の 4 つに分類できる。最も普及しているのはトンネル型 (水平磁場) であり、強い磁場の発生には有利であるが、被験者を包み込み、視界を奪うので閉塞感を与える。オープン型はアクセス性に優れており、観察しながら手術を行える利点があるが、非常に強い磁場を発生することは難しい。

### 5. MRI 利用分野の現状と課題

少子高齢化社会で見られる代表的な疾患や心臓の問題について強磁場 MRI に何が期待できるか見てみよう。

#### A. 糖尿病・がん・心臓疾患

MRI を磁場強化すると、糖を構成する炭素 ( $^{13}\text{C}$ ) の計測により画像が得られ、メタボロームの細胞内濃度を、各臓器でリアルタイムに計測できる可能性がある。そのような計測ができれば、細胞内の糖代謝のどの部分に問題があるのかが明らかとなり、糖尿病の発症・進展の分子メカニズムが解明される。その結果、発症において重要な役割を担う鍵分子を同定し、それを標的とした根本的治療薬の開発にも結びつく。

がんの克服には、化学療法や放射線治療を行う前に、その効果を予測できれば、投薬量や照射量を最適化できる。また、治療後にその効果を正確に判定できれば、治療期間を必要最小限にすることもできる。このような判断には治療に伴う代謝物の変化を非侵襲的に捉えられる強磁場 MRI が有効である。

動脈硬化を生じた血管壁にできるコレステロール塊（プラーク）が破裂すると急性心筋梗塞や脳梗塞を引き起こすため、早期発見が重要である。特に、冠動脈プラークはサイズが小さく、心拍動の影響もあって、1.5T や 3T MRI の空間分解能では、精確な診断ができない。冠動脈プラークの診断には、より強磁場の MRI が必要である。

### B. 認知症・うつ病

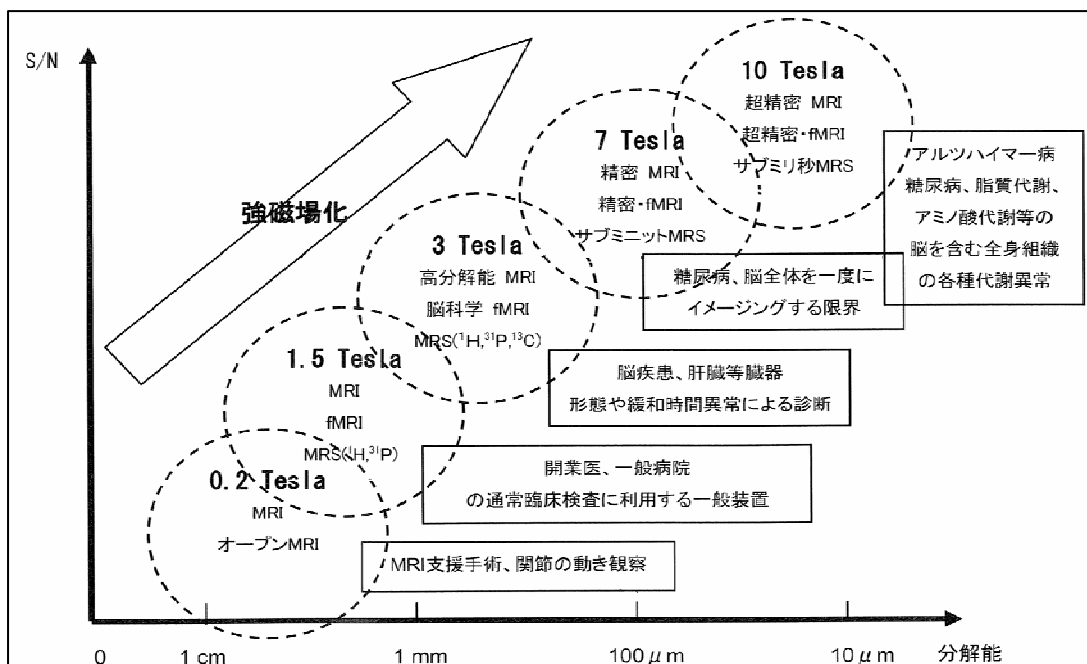
アルツハイマー病に代表される認知症では、記憶形成に欠かせない海馬に信号を伝達する脳神経細胞が選択的に壊れ、信号が減衰してしまう。海馬はきわめて微小であるため現在の MRI では空間分解能が足りず、精密な画像が得られない。強磁場化によって分解能が高まれば、初期のアルツハイマー病患者の海馬機能が通常に比べてどの程度変化しているか、明確な画像データを得て、的確に診断することが可能となる。

### C. 脳・こころ

これまで、脳の働きの画像化、精神疾患の診断に有効な技術は PET（陽電子断層法）に限られていた。しかし、PET は放射線の全身被曝が避けられず、健康な人の検査には適さない。一方、脳の研究には機能的（functional）MRI が世界中で利用されているが、一般的な 1.5T では NMR の信号強度が十分ではなく、再現性の良い強い信号の変化を捉えられる強磁場の fMRI が待たれている。

さらに、脳科学の研究成果を学習・教育へ応用し、少子高齢化社会の課題克服に貢献するには、「自然状態にあるヒトのデータを高い空間分解能で得る」ことが重要である。この実現には、「オープン型水平磁場の fMRI」が有効である。MRI は強磁場化により分解能が向上し、詳細な神経活動の画像化が可能となり、脳の仕組みを解明する有力な研究ツールとなるであろう。

## 6. 強磁場 MRI 機器開発



MRI の強磁場化と応用分野の関係

人体用 MRI としては、最大磁場強度は 9.4T が達成され、ミネソタ大学とイリノイ大学で研究が始まっている。マックスプランク研究所（独）にも 2007 年に人体用 9.4T MRI が導入される。CEA 研究所（仏）がドイツ企業と協力して開始した Neuro Spin 計画では、3~11.7T の人体用 MRI と 14~17T の動物実験用小型口径の MRI が開発、整備される。国内の最高磁場強度機種は、新潟大学のトンネル型 7T 機である。中国、韓国などのアジア諸国やオーストラリアでも、3T 機などの強磁場 MRI の導入が始まっており、今後、強磁場化の流れは世界的に進行すると思われる。

生活習慣病、認知症、脳科学、知育・体育など MRI 利用分野からの要請にこたえて、少子高齢化社会にふさわしいテーラーメイドのやさしい医療や個性本位の教育を実現する有効な手段として、強磁場 MRI を開発し、新たな医療技術、創薬、教育プログラムの創出に貢献することが考えられる。

上図に、MRI の磁場強度と応用分の関係をおおまかにまとめた。ただし、このような強磁場化と応用分野の拡大には、周辺の技術開発が一体となって係わっていかねばならない。それらの開発には多額の投資が必要となることから、当面は国家規模の取り組みが望まれる。

## 7. 強磁場 MRI によるパラダイムシフト

微細・微量な生体の対象部位を高速で計測できる強磁場 MRI を活用すれば、少子高齢化社会の医療や教育にパラダイムシフトをもたらす可能性が高い。

医療分野では、病理発症・進展のメカニズム解明が進み、より科学的な診断と予防法・治療法の開発が行われる。さらに、生体内分子を構成している水素、リン、酸素、炭素などに加えて、フッ素や窒素など多核種の MRI が可能になることから、生体内代謝イメージングが実現する。これによって、代謝異常による様々な疾患の診断だけでなく、薬剤の治療効果予測や判定などが可能となり、個々の病態に対応するテーラーメイド医療へのパラダイムシフトが期待される。

教育の分野では、新しいオープン型 MRI が開発されると、被験者が自然な姿勢のまま、脳機能の画像計測が可能になる。従来のトンネル型では不可能だった課題を遂行できるようになり、学習効果判定の強力な手段となる。学習効果も集団平均的ではなく、個々人が判定され、教育プログラムも個別に最適化できるようになる。従来は多人数を測定しなければわからなかった脳機能上の変化が、一人の測定で判別できるようになれば、集団平均の教育から個性本位の教育へのパラダイムシフトが起こるだろう。

## 8. 終わりに

NMR、素粒子加速器などの超電導応用分野において、わが国の超電導マグネット技術は世界の先頭を走っている。即ち、わが国は MRI のキーテクノロジーにおいて他を凌いでおり、超電導マグネット技術を通して、医療、バイオ、教育などの MRI 関連分野で世界をリードできるポテンシャルを有している。一方、学術分野を初め、最終製品としての MRI や関連分野の特許などは欧米に対して優勢とは言えない。これを克服するために、超電導技術をバネとして、わが国が次世代の MRI を世界に先駆けて開発し、それを生かした研究、技術において国際競争を勝ち抜くという戦略が考えられる。そのような戦略の研究拠点として、強磁場 MRI 機器群を集中的に配備した、共同利用型の施設を建設することが望まれる。

そして、上に述べたように、これからの少子高齢化社会においても重要な役割を演じることが確実な MRI に対してもっと関心を持ってもらいたいのではないかと。

以上