

# 核磁気共鳴とは

北海道大学大学院理学研究科 河本 充司

われわれのグループはNMRを用いて超伝導や磁性の研究を行っています。高温超伝導は、いまでもたびたびメディアに顔を出しますしその応用面からも注目を集めています。しかし、われわれの研究は、応用面でなく「なぜ超伝導になるのか？」といった基本的な問題を解決することが目的です。

NMRとは Nuclear Magnetic Resonance(核磁気共鳴)の略語です。それがもっとも核磁気共鳴が、社会一般で顔を出すのがMRI(Magnetic Resonance Imaging)です。さて磁気共鳴がどのようなものか見てみましょう。

人体を含めて物質は、原子から成り立っています。原子のなかで多くの種類のものは、その内部に小さな核磁気モーメントという磁石を持っています。水  $H_2O$  は二つの水素と一つの酸素から構成されていますが、この水素Hも核磁気モーメントを持っています。

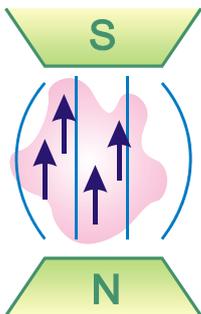


図1

では、磁石を磁力線の中に入れると磁石の方向が揃うことは、日常よく見かけることだと思います。いい例は、方位磁石でしょう。これは、磁石が磁力線の方向に揃うことを意味しています。ですから、この小さな磁石を、磁場中にいれるとその方向が揃うことになります。(図1)この場合、磁石が上向きに揃った方が安定となります。磁石を下向きに手で揃えておいても時間がたてば上向きになってしまうでしょう。

すなわち、磁場なしでは同じであった状態が、磁場中では上向きの状態のエネルギーの方が、下向きのものよりも低いということに対応します。このエネルギー差  $E$  は磁場に比例して  $E=h \nu$  と記述できて(比例係数  $\nu$  は、核の固有の値で、磁気回転比といいます)このことをZeeman効果といいます。

安定な上向きのスピン状態にちょうどこのエネルギー差に対応する光(電磁波)  $E=h \nu$  を照射すれば、エネルギー保存則より、ちょうど下向きの状態にすることができます。このような現象を電磁波の吸収といいます。この場合ちょうどその周波数がテレビやラジオの周波数と同じ

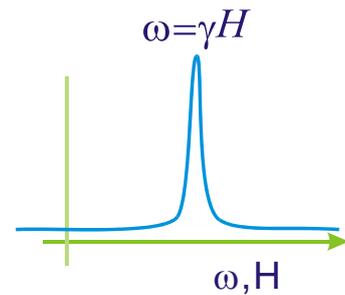
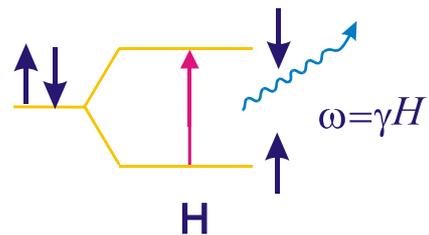


図2

メガ Hz あたりになります。(メガは 10 の 6 乗です)

(このような、電磁波の吸収をきちんと取り扱うために、大学で量子力学として学ぶことになります)

さて周囲の環境に影響されるのは電磁波の周波数だけではなく、もう一つ特徴的なものがあります。それは緩和現象です。先ほどは単純化のために磁場中で全部上向きに揃ったとしましたが、実際はある数が上向きで、ある数が下向き

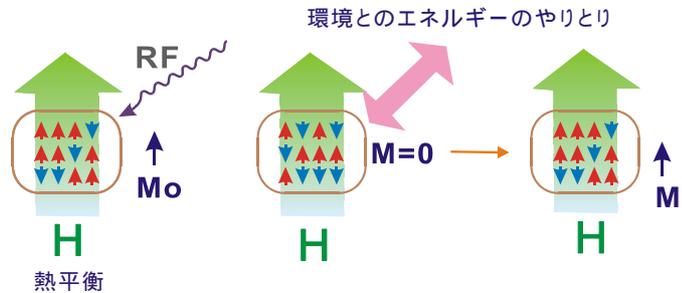


図3

に向いています。実際この微小な磁石は 1g 程度の重さのなかに 10 の 23 乗個程度もあるのです。磁場がなければ、上向きも下向きも区別ありませんから、どちらも同じ数だけありますが、磁場中では、上向きが安定なので少し上向きの数が多く、全体で上向きの磁石(磁化 M)となっています。(図 3)

これに電磁波を照射すると上向きの一部が、エネルギーを吸収して下向きになるので全体で上向きと下向きを同じ数にして磁化 M を 0 とすることができます。しかし、時間がたてば、元の状態に戻ろうと上向きの磁化が回復していきます。この現象のことを緩和現象といいます。

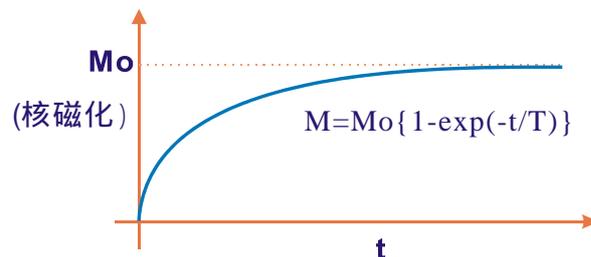


図4

では、この緩和(回復)の速さは何に依存するのでしょうか？それは、核(原子)の周りの環境とのエネルギーのやりとりによります。すなわち、同じ原子でも回りの環境が違えば、この緩和時間が違うことになります。MRI を例にとると、正常細胞内の水素原子と異常細胞内の水素原子では周りの環境が違うので、この緩和時間が異なることになります。このような 10 の 23 乗個もあるような集団の挙動については統計力学によって記述されます。

MRI は切開することなく磁場の強さを変えて内部の特定の位置に電磁波を照射し、そしてその位置での緩和時間を測定し三次元画像をつくり表示するわけです。

物性物理学においても NMR は花形的存在です。MRI と同じように吸収する周波数と緩和時間を測定することによって物質内部の構造を探っているわけです。原子核の周りには電子が運動し

ています。この電子が、超伝導等の非常に興味のある現象を引き起こします。高温超伝導のメカニズムをはじめとする電子物性を原子核を通して探索しているのです。すなわち、この電子が前に述べた環境となります。電子の性質が違えば、その違いや特徴が、周波数や緩和時間の違いとなって現れます。これらの情報を基に電子の多彩な物性のメカニズムに迫っています。