

橿原ロータリークラブ 第 2551 回例会
平成 21 年 4 月 3 日 (金)

卓 話

「ミクロの世界を探る物理学：
原子核の磁石で体内を探る！？」

京都大学 人間・環境学研究科 教授
京都大学低温物質科学研究センター長
前川 覚 氏

物理学は、原子や原子核という微小な粒子から巨大な宇宙におよぶ広大な空間と、宇宙創生以来 150 億年におよぶ長大な時間を持つこの自然界がいったいどうなっているのか、その中に潜む法則性や原理を究明している学問です。

今から約 150 億年前にビッグバンと呼ばれる大爆発を起こしてこの宇宙ができました。150 億年というと、ちょっと想像がつかないので、宇宙創生を 1 月 1 日午前 0 時とし、現在を 12 月 31 日 24 時として 1 年に縮めてカレンダーにすると、自然界・生物界の歴史は下の図のようになります。

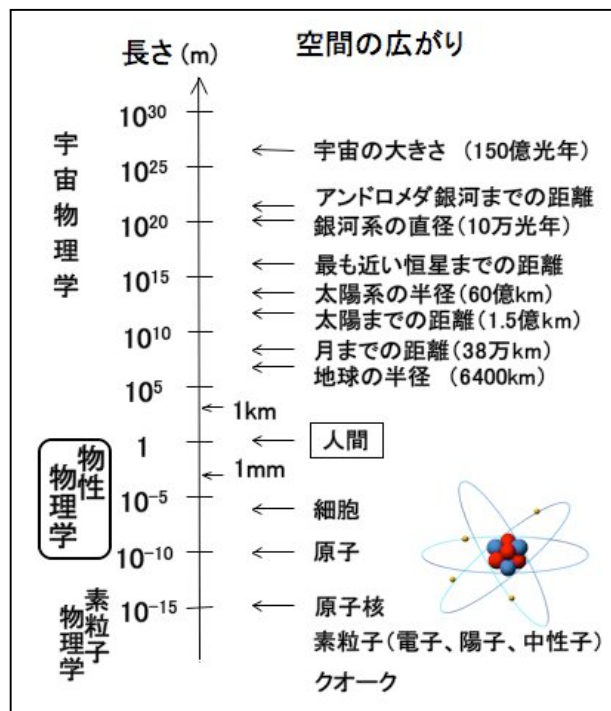
宇宙カレンダー

- 1 月 1 日 → ビッグバン (150 億年前)
- 1 月 終り → 銀河誕生
- 8 月 20 日 → 太陽系形成 (50 億年前)
- 9 月 中頃 → 地球誕生
- 10 月 中頃 → 生命発生 (35 億年前)
自己増殖出来る物質
- 12 月 12 日 → 多細胞生物
- 25 日 → 哺乳類
- 30 日の深夜 → 人類
- 31 日午後 11 時 59 分
- 0 秒 → 洞窟壁画 (文化の創造)
- 20 秒 → 農業開始
- 56 秒 → キリスト誕生
- 59 秒 → 近代科学誕生
- 60 秒 → 現在

宇宙の長大な歴史の中では、人類が高度な近代科学を獲得したのは何と最後の 1 秒でしかありません。大宇宙の時間スケールの中では知的人類の存在時間はかくも短いものなのです。広大な宇宙の中に人間以外の高度な宇宙人が

いるかと想像しますが、このような長大な時間スケールの中で、高等生物同士の生存時期が時間的にも一致するのは極めて難しい思いがします。1 年間家にこもり続け、1 秒だけ窓を開けて素晴らしい人にめぐり合うことなどあり得ないでしょう。

次に自然界の空間のスケールを図にすると下図のようになります。縦軸は長さを表し、 $10^5 = 10$ 万倍ごとに印をつけてあります。



宇宙は光速 (1 秒間に地球を 7 回り半) で行っても 150 億年かかるほど大きいものです。小さいミクロの世界を見てみると、すべての物質は原子でできていますが、その大きさは $10^{-10} \text{ m} = 100$ 億分の 1 メートル、その中心にある原子核はさらに 10 万分の 1、小さい粒子です。

我々の身の回りには、堅いもの、柔らかいもの、熱いもの、冷たいもの、電気を流すもの、流さないもの、透明なもの、種々の色のもの、固体、液体、気体など、バラエティに富んだ性質を持った多様な物質が存在しています。原子は陽子と中性子と電子というごく数種類の素粒子で構成されているのに、なぜこのような多様な物質が存在するのでしょうか。我々の身の回りの多様な物質の性質を原子というミクロな観点から解明し、その中に潜む原理・普遍性・法則性を見だし、自然界を解明しようとする物理学が物性物理学です。これらが解明されれば、その原理・法則を応用することにより、新たな特性を持った物質や新しいシステムの開発に応用することが出来ます。

さて、原子のレベルから我々の身の回りの物質の性質を解明すると申しましたが、原子とは

どんな大きさでしょう。いま仮に、原子を一円玉の大きさに拡大したとすると、同じ割合で人間を拡大すると、人間は頭が月に届く程の大きさになります。原子とはそれ程小さい粒子なのです。

物性物理学の一分野であり、私の専門分野である磁性物理学とその一つの応用例をお話しましょう。

一本の棒磁石の一端はN極であり、他端はS極です。ハイキングの時に使う軽くて小さい方向磁針は地球磁場によりN極は北極を、S極は南極を向こうとします。これを逆向きにしようとする、磁針に力を加えてやる、すなわちエネルギーを与えることが必要です。

超微小な粒子である原子や原子核もN極とS極を持った磁石の性質を持っています。物質を磁場の中に入れて、物質中の原子核磁石も磁場の方向を向こうとします。磁針の時と同様、この原子核の磁石を磁場と逆方向を向けるにはエネルギーを加えてやる必要があります。原子核の微小磁石は磁場方向を向いた安定な低いエネルギー状態と、磁場と反対方向を向いた高いエネルギー状態が存在し、両者のエネルギー間隔は磁場の大きさに比例しています。強い磁場があると反対方向を向けるのに、より強い力があることから想像できると思います。

原子核の磁石をひっくり返すことは、物質に電磁波を照射してやることにより行うことができます。上で述べた原子核のエネルギー間隔とちょうど同じ大きさのエネルギーを持つ電磁波を入射すると、原子核はエネルギーを共鳴吸収して反対向きの高いエネルギー状態になります。この現象を核磁気共鳴(NMR=Nuclear Magnetic Resonance)と言います。電磁波のエネルギーは電磁波の振動数を変えてやることによって調節することが出来ます。

この技術を用いることにより原子核を通じて物質内部の様子や状態を微視的に観測することが出来ます。私の研究室では種々の物質を絶対零度すなわちマイナス273°C近くにまで冷やして、核磁気共鳴装置を用いて、物質内の原子や原子核の性質や相互作用を解明する実験・研究を行っています。

この核磁気共鳴を医療に応用したものがMRI(Magnetic Resonance Imaging、磁気共鳴映像法)です。MRIは人体内の原子核の磁石を使って体内の様子を見ているのです。

MRIの説明をする前に、同じく人体内の断層写真を撮るX線CT(コンピュータ・トモグラフィ)について少し触れておきましょう。胸のX線写真(レントゲン写真)は胸の前からX線を照射してやると、骨や肉によってX線の透過率が異なるので、後ろに置かれたX線フィ

ームに明暗の像が写るというものです。これを進化させて、X線を一方向からのみではなく多方向からX線を当てて多数の写真を撮り、それをコンピュータで合成して断層写真にするのがX線CTです。しかし、X線を多数回照射するので放射線障害の危険があります。

一方、MRIは、人体を強い磁場の中に入れて、電磁波を照射します。磁場や電磁波は身体には何の害もありません。MRIでは人体の60%を占める水や、タンパク質等の内部の水素原子核に対して核磁気共鳴を行っています。MRIは結局、体内の水素原子核の分布状態を測定し、その分布の濃淡を写真にしているのです。

今から30年くらい前、私が大学院生だった頃、物理学会でMRIの開発段階の研究発表があり、蓮根の穴の断面写真が撮れるようになった、次いでオクラの穴がかろうじて見えるようになったと報告されていたことを覚えています。今やMRIは技術が進み、0.1mm位の分解能で断層写真を撮ったり、さらに脳で考え活動している場所を特定することが出来るようにさえなっています。核磁気共鳴という物理学の分野で60年前に発見発明された現象が私たちの医療に大きく貢献している例です。

アリストテレスのギリシャの時代から、宇宙はいかなる構造なのか?、磁石は離れていてもなぜ引き合うのか?、石ころと金とは何が違うのか?など知的好奇心を持って人間は自然界を明らかにしようとしてきました。多様で複雑に見える自然は実に美しい構造を持ち、単純な法則の下に成り立っていることが明らかになってきました。その知識の応用として、蒸気機関、電気、モーター、コンピュータなど多くの高度な科学技術が生み出され、日常生活の中に生かされ、我々はその恩恵に浴しています。人間の指先の小さな力で電車や飛行機という巨大なものさえ簡単に制御できる技術を獲得しました。しかし人間の持つエネルギーを大きくしのぐ巨大なエネルギーが制御不能になった時、大事故が起こります。このような事故が起こったとき、マスコミは社長の首を取ることをばかりを追い求めています、大事なことは科学的に原因を究明し、二度と事故が起こらないシステムと技術開発をすることです。科学的、論理的・理性的にものを見る目を養って欲しいものです。

最後になりましたが、皆様お気軽に京都大学へご訪問ください。京大のシンボル時計台には京大を紹介する各種展示物とともに美味しいフランス料理のレストランもあります。お子様、お孫様のご入学と共に、皆様のお越しを歓迎いたします。