

第3章 空間

空間とは何か。もともとの言葉の意味は、空いているところ、物体の存在しない場所のことであるが、物理学では、物体が存在し、自然現象が起こる場所であると考えられている。あるいは、位置を記述する座標系と同じ意味に使われることも多い。古典力学では、空間は物体や時間とは全く別の独立した存在で、物体を入れる容器であり、ユークリッドの考えたような、三次元空間であると考えられていた。しかしながら、物理学の諸量は、自然現象を元に、規定されるべきであるから、物理学での空間の性質はその空間内で起こる自然現象に適用される物理法則との関係によって規定されるべきである。このように考えるならば、空間とは、物体や時間と独立した存在であると仮定することはできない。

最初は、この章で物理学における空間の認識に重要な概念である相対性原理や慣性座標系などについても述べるつもりであったが、このことは独立した章で扱うことが適切であると判断し、次章に廻すことにした。

この章では、空間とは何かという難しい問題より、単に物理学ではどのようにして距離を測っているのかということを考えることにしよう。

3.1 距離測定の方法

距離の測定方法は、次の3つに大別される。

(1) 物体の運動を用いる方法

距離の測定はどのようにすればよいか。誰でも知っているとおり、例えば、棒を用意して数える。何らかの基準となる長さの物体を任意に定め、その長さが変化しないと仮定し、その何倍であるか

数えれば距離は測定できる。この何らかの基準となる長さは、例えば、1 mという長さがある。

例えば、1 mの棒で10 mの長さを測ろうとすれば、1 mの棒での測定を10回繰り返すことになる。この作業を30秒かけてやろうと20秒でやろうと10 mの長さを測るということに変わりはなく、一見この距離の測定と時間とは関係ないようにみえる。しかし、この作業には確実に時間を必要とし、1 mの棒での測定を10回繰り返すといったことは、外周1 mの円を10回回転させた運動と見なすことができ、測定時間の違いは、回転速度の違いで表されることになる。

(2) 距離 = 速度 × 時間 の関係を用いる方法

一定の速度で運動する何らかの物体の進んだ時間からその距離を求める方法もある。例えば、光の速度を一定と見なすならば、その光の進んだ距離と時間は比例する。現代の1 mの長さの定義は、「1メートルは1秒の299792458分の1の間に光が真空中を伝わる行程に等しい長さである」ということになっているが、この定義は、距離 = 速度 × 時間の関係を用いたものである。

メートルという長さが最初に国際的に制定されたのは、1889年のときで、白金イリジウムの国際メートル原器の長さがメートルの長さの単位として定義された。しかしながら、物体の長さは決して固定的なものではなく、温度変化などにより、物体の長さは簡単に変化してしまう。長さの基準となるものが簡単に変化しては基準にならないので、この定義は後に、光の速度を用いる方法に変更された。

この方法は、比較的長い距離を、比較的高い精度で測る場合に向いている。

(3) 見かけの角度を用いる方法

いわゆる、三角測量と呼ばれる方法でも距離を測ることができる。この方法は、ユークリッド幾何学を応用し、三角形の辺と角度の関係から距離を計算する方法である。この方法で測定する距離は、(1)または(2)の方法を同時に行える場合には、両者は等しいということが経験的に知られている。

3.2 局所依存距離と非局所依存距離

3.1(1),(2)の方法で、距離を測定するには、その場所に何らかの物体を持っていき、その運動を観察しなければならない。それに対して(3)の方法は、遠く離れた場所からでも見かけの角度さえわかれば、相対的距離を測定できる。

3.1(1),(2)の方法に用いたメートル原器なる長さの基準物や光の速度といったものは、基本的に空間の特性に依存し変化するもので、決して絶対的な値を保ちつづけるものではない。光は重力場において速度が変化すると考えられているし、空気の密度などにも影響を受ける。したがって、3.1(1),(2)の方法による距離の測定は、一般的に局所的な場所の状態に依存して変化するのである。

例えば、強い重力場では弱い重力場より、光はゆっくり進むと考えられている。この考えを仮定として認めれば、質量の大きい惑星の地上から上方へ光を放射し、この惑星から見て、光の速度を基準にして距離を測定することにすれば、適当な等間隔の時間毎に光の到達した点に印をつけていけば、この印を座標の目盛りとして座標系をつくることができる。厳密なことを言えば、光の速度が一定と見なせない場合は、3.1(2)の方法を用いることは正しくないが、光の進む距離がごく短い場合は、光の速度は一定であると見なすことができる。この局所的な光の速度は重力の大きい場所では小さく、重力の小さい場所では大きいと考えることができる。この両者において、光の速度を基準にして距離を測ることにすれば、重力の大きい場所の方がその距離は短いということになるが、光の速度が絶対

的なものであると見なすと、両者の距離は等しいということになる。

一方、この惑星から遠く離れた場所から、この座標の印を見れば、印と印の間の相対間隔は等しくなく、惑星の表面に近いほど重力が強いから印と印の間隔は密で、惑星から離れると間隔は粗になっていることを観測することになる(図3.1)。ただし、この観測では、惑星と遠く離れた場所から見る印からの光が途中の経路で曲げられないと仮定している。実際にこのような測定をしようとするれば、光は途中の経路で曲げられることになるであろうから、精確な測定は難しいが、近似的に測定することは可能であろう。

このことは、惑星上で光の速度を基準として観測した距離と、この惑星から遠く離れた場所から観測される距離が等しくないことを示す。このことは、距離の測定方法が、それぞれの場合で異なっていることによって生ずる。惑星上での測定は、3.1(1), (2)の方法を用いているのに対し、離れた場所からの測定は3.1(3)の方法を用いていたのである。すなわち、距離の測定方法には、局所的な場所に依存する方法と、直接局所的な場所に依存しない方法がある。3.1(1), (2)の方法は、局所的な場所に依存する方法であり、3.1(3)の方法は局所的な場所に依存しない方法である。それぞれの方法によって測定される距離を局所依存距離、非局所依存距離と呼ぶことにしよう。このような認識は重要で、もし、距離というものが局所依存距離のみであるということになれば、重力のある空間では、距離というものはそれぞれの場所で異なることになり、それぞれの距離の比較はたいへん複雑なものとなるが、非局所依存距離を用いれば、重力のある空間で観測される距離を、ユークリッド的な距離の概念を用いて直接比較することができるのである。時間と同じように距離の測定にも、局所的ではない概念というものは存在するのである。

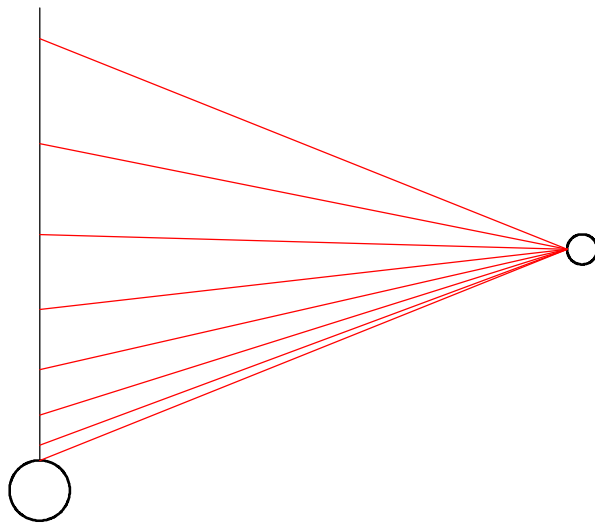


図3.1 局所依存距離と非局所依存距離

3.3 座標

数学的に座標とは次のように述べられている。「空間の点の位置を表示する数の組、それぞれの数を座標成分という。また、空間の各点に座標成分の数値を割り振る方式のことを座標系という。」

座標系は様々な形式が考案されているが、その中で最も一般的なデカルトの座標系は、 x, y, z 軸が互いに直交し、 x, y, z 軸は無限の範囲にまで及んでおり、それぞれの軸上の点を3つ定めることによって、空間上のすべての点を指し示すことができる仮想的、数学的、思想的要請であると考えることができる。

はっきり認識しておかねばならないことは、座標系というものは、仮想的、思想的要請であって、実在するものではないということである。したがって、座標系の運動といったことで、その速度に限界があるとか、座標系の尺度が変化するとか、時間の進みが遅くなるなどという物理的なことが起こると考えることはまったくできないのである。座標系というものは実在しないものであるから、実在する自然に影響を与えることはありえない。

次に重要な点は、座標系とは、無限の範囲まで対象にするという点である。3.2 で挙げた例でもわかるように、座標系というものを物理学に導入する場合には、その適用範囲が無限であると安易に仮定することはできず、常に適用範囲に注意する必要がある。