

# 時間と空間の物理学

奥田 栄 (Sakae Okuda)  
人間環境大学

## 1. はじめに

われわれが物理現象を記述しようとする場合、現象に先立って時間と空間を導入することから始める。というのは、物理現象は何処かで生起するものだからであり、時間と空間という枠組み無しには理解できないからである。これは、認識という観点からすると、外的経験のアプリオリな前提としての時間空間概念の必要性と考えることが出来るし、もっと実用的には、物理法則を微分方程式の形で記述するという方法が一般的となって以来、先ず枠組みとしての時間と空間を導入しておくことが必要だということも出来るだろう。

ひとたび微分方程式によって法則が記述されると、今度は逆に、記述された現象それ自身によって時間と空間が規定される。この段階は、ライプニッツの主張したように、時間や空間を実体の存在をもとにして成り立った関係の一種であり、「継起するものの秩序」としての時間、「共存するものの秩序」としての空間を考えるということに相当すると考えても良からう。そうしなければならない理由は、現象の記述に必要とされる枠組みとしての時間や空間は、一組のパラメータであって、物理的内容に関しては時としてあまりに空虚だからである。

## 2. 巨視的な系の時間と空間

ニュートン力学における時間と空間は、言うまでも無く「絶対時間」・「絶対空間」という、何からも影響を受けない持続性であり、常に同じ形状を持つ不動不変の容器のようなものであった。このような時間・空間の性質は前もって前提されたものではなく、ニュートン力学が完成することによって明らかになった時間と空間の性質である。ニュートン力学は、一時期、十全の形式として確立した唯一のものであったため、ニュートン力学から導き出されたこの時間と空間の性質を、アプリオリな前提そのものであると主張するようなことも起こった。

J. C. マクスウェルが電磁気学の基礎方程式を記述しようとしたときも、それに先だって時間と空間を定めなければならなかった。おそらく彼の念頭にあったのは、力線によって満たされた空間であり、それを除けば、ニュートンの考えた絶対時間・絶対空間と大差なかったであろう。しかし、変位電流を導入することによって基礎方程式が完成し、電磁波の存在が予言されたときから、マクスウェルの思っていたものとことなり、電磁気学における時間と空間は、ニュートンのものから大きくはずれてしまった。

ここで重要なことは、最初に認識の枠組みとして念頭に置かれていた時間・空間概念は、電磁気学の基礎方程式が出来上がったときにはすでに変更を受けていたという点であり、それに気づくまでに時間差があったということである。時間差が出てきた理由は、時間・空間概念は法則が明らかとなった後には、逆に規定されなれなければならないという

考え方が無かったためである。ただし、そうした事態に気づくまでに、それほど長い時間が必要だったわけではない。マイケルソン・モーリーの実験をきっかけとしてローレンツ変換が提唱され、光速度不変と相対性原理に基づいてアインシュタインが時間・空間概念を根本的に変革するにいたった過程は、周知のことである。

一般相対性理論では、時間・空間の性質が法則によって左右されるということ意識的に取り込もうとした。すなわち、時間・空間の性質が物質の時間的・空間的配置に依存して変更を受けるということ自体を微分方程式系の中に反映させることによって、一般相対性理論は出来上がっているのである。

### 3. 微視的な系の時間と空間

量子力学は、ニュートン力学に量子化という操作を施して得られる。そのため、出発点として採用されている時間と空間は、ニュートン力学の絶対時間と絶対空間であり、量子化された後にも時間と空間の性質はニュートンのものを引き継いでいるように考えられている。すなわち、時間・空間はその対象から何の影響も受けることなく、ただ微視的な粒子の存在する時刻や座標を測定しようとするときにのみ、微視的な系に特有の現象に突き当たると考えるのである。それは微視的对象の性質であって、時間・空間それ自身の性質とは考えられていない。しかし、すでに見たように、最初の枠組みとして置かれた時間や空間は、物理法則が記述された後には逆に規定されることを思えば、量子力学という物理法則を反映した時間と空間の性質を考えることは決して無意味なことではあるまい。

たとえば、束縛状態にある微視的粒子は、離散的なエネルギー準位をもっている。このなかのひとつのエネルギー準位にある粒子を考えてみると、不確定性原理によってその粒子の時刻を決定することは出来ない。このことは、時間の経過が波動関数の位相にのみかわかって、振幅にはかわからないこととして記述できる。すなわち、定常状態にあっては、時間の経過は、なんら微視的粒子の物理状態を変化させることは無いのである。すなわち、あるエネルギー準位にある微視的粒子の系では、時計をつくることはできない。ニュートン力学であれば二体問題を考えれば時の経過を認識できるのであるが、量子力学にあっては、その状態が安定であるかぎり時の経過は認識できないのである。

時の経過を認識するには、波動関数の振幅が変化する系を考えなければならない。そのような系として崩壊する系を考えよう。そこにあっては、束縛されている粒子の波動関数の振幅は時の経過とともに小さくなり、トンネル効果によって束縛を逃れた粒子の波動関数の振幅は時間とともに次第に大きくなる。こうしてわれわれは時間の経過を認識することが出来るのであるが、ここには問題がある。それは、波動関数の確率解釈である。

ここで経過する時間というのは、多数の粒子を集めたときのものであり、いわば巨視的な時間である。崩壊する一つの粒子で時間がどのように経過するのかを、われわれは何も語ることはできない。量子力学の時間というもの、巨視的な時間以外考えられないのであろうか。われわれは、微視的系においても時間は経過していると信じているのであるが、それを認識することは出来ないのであろうか。すなわち、微視的な系の時間経過という考えは無意味なのであろうか。それを明らかにするには、量子力学におけるエネルギーと時間の対象性に注目して、オブザーバブルとしての時間を考えるとどうなるのかを考察することが有用となってくるであろう。