

## 第2章

# なぜ「光速不変の原理」なのか？

相対性理論がそれまでの物理学と大きく違う点は、「光速不変」を原理として立てたところにあります。そしてまた、ここが相対性理論を理解しがたくしている壁でもあります。この章では、光の性質と光速をめぐる歴史をみることで、なぜ「光速不変」を原理とするに至ったのかを明らかにしていきたいと思います。

光の速度は、地上のどんな現象に比べても非常に速いものです。そのような速度を測定することは非常に困難でした。光速の測定は、光が粒子なのか波動なのかということを検証する上でも重要な意味を持ちます。しかし光速に関する知見が積み重なってくると、さまざまに矛盾する結果が現れました。それでも、すぐに相対性理論の誕生につながるわけではありません。もろもろの現象を説明するためのさまざまな仮説が付け加えられ、なんとか整合性を保とうとする努力が長い期間つづくのです。そういった諸仮説をすべて網羅することはできませんが、主要な観測結果とそれに対する解釈について、相対論以前にどのようなものが考えられたのかということについて概観したいと思います。

### 2.1 光の正体をめぐって

光とはいったい何なのか。この疑問は古来よりさまざまに考えられてきましたが、近代的な科学の中では、デカルトに始まるといってもいいでしょう。この節では、光をめぐる議論を、波動説・粒子説という観点と、光速をめぐる観点との、2つの観点からみていきます。話の運びは、2つの流れを分けて書きますので、歴史的には前後することもあると思います。

#### 2.1.1 光の粒子説と波動説

光の正体についての議論をまとめておきましょう。最初のまとまった近代的な光学の研究は、直進性・屈折・反射などの法則をまとめた1637年のデカルトのものです。デカルトは粒子説を採用していました。粒子説で屈折の法則を説明するには、媒質中では光の速度は速くなるということになります。

一方、1690年、ホイヘンスは「光についての考究」において、光の波動説を展開し、光の媒質としてのエーテルを仮定しました<sup>\*1</sup>。彼は光をエーテルを伝わる縦波（疎密波）とし、波面各点から発する素元波の干渉として、回折・屈折・反射の諸現象を説明しました。この議論によれば、媒質中の光の速度は遅くなることになります。

ニュートンは1704年、「光学」を著して光の粒子説を唱えました。ニュートンは、光の媒質としてエーテルが充満しているとすれば、それが惑星の運動などに影響しないとは思えないとして、波動説を否定しました。また、偏光や複屈折の現象は、縦波では説明し得ないことも理由にしたようです。今では干渉の結果として説明される「ニュートン・リング」も、ニュートンは光の粒子が「透過の発作」と「反射の発作」の状態を交互に行き来すると説明しました。

時代は下って1801年、ヤングによる干渉実験が行われ、光が実際に干渉することが確かめられました。これは、光の波動説を大きく支持するだけでなく、光の「波長」を具体的に測定する方法を与えたという意味でも大きな前進でした。

そして、マクスウェルの理論とヘルツによる電磁波の観測は、光を電磁場の波として解釈することを可能にしまし

<sup>\*1</sup> 「エーテル」のもとギリシア語にありますが、光の媒質としてのエーテルの命名はフックによるものという説が有力です。

た。これによって、光の波動説がその立場を固めることになります。

## 2.1.2 光速度の測定

光の速度が有限なのではないかというアイディアはガリレイが持っていました。ガリレイの時代にこれを測定することはできませんでした。彼は地上を光が伝わる速度を測ろうとしましたが、光の速度が速すぎたのです。

光の速度が現実的に測定可能となったのは17世紀後半で、最初は1676年、木星の衛星の食に関する観測から光の速度が有限であることがレーマーによって確かめられました。このときの光速の値は約  $2.0 \times 10^8 \text{m/s}$  で、すでにオーダーは正しく出ていたことには驚きます。

そこで、粒子か波動か、その差が現れる現象として、光に対する観測者の運動の影響が問題になりました。もし光が粒子ならば、運動する観測者から見た光の速度は、速度の引き算として観測されます。一方、もし光が波動ならば、ドップラー効果のように「媒質に対する運動」が観測されるはずで、当時得られる最高の速度は地球の公転運動でしたから<sup>\*2</sup>、地球の運動による見え方の違いを検出するのがもっとも影響を見出しやすいでしょう。

この実験は1725年にブラッドレーによって行われ<sup>\*3</sup>、実際に星の見える方向が地球の公転運動によって変化して見える現象が確認されました。この現象を「光行差」といいます。

これは粒子論的解釈では、単純な速度の合成によって説明されます。

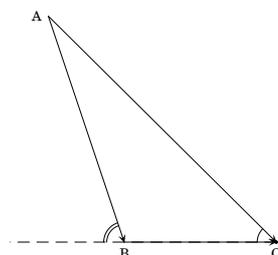


図 2.1 光行差の粒子論的説明

図 2.1 において、点 O に静止している観測者から見れば、天体 A からくる光の見える角度は一重線を引いた角になります。一方、速度  $\vec{BO}$  を持っている観測者から見た天体からの光は二重線を引いた角になります。この差が光行差と呼ばれるものです。

波動論的解釈でも、地球の運動にまったくエーテルが影響を受けないとするならば、光行差は説明されます。この場合は粒子論と同じく、方向が異なって見えることになります。

そうすると物質の運動とまったく無関係に静止しているエーテルが宇宙に充満していることになります。もし、このようなものが存在するならば、それはまさしくニュートンの「絶対座標」の役割を果たすでしょう。

1849年にフィゾーによって、始めて地上における光速度の測定がなされ、約  $3.1 \times 10^8 \text{m/s}$  という値が得られました。さらにフーコーは1850年に空気中と水中における光速を比較し、水中において光速が遅くなることを確認しました。この観点からも、光の波動説が支持されていくことになります。

## 2.1.3 フレネルの随伴係数とフィゾーの実験

こういった光の波動論に数学的な基礎を与えたのはフレネルです。フレネルは光の回折現象が波動論によって数学的に説明されることを示しました。また、それまで光は縦波と考えられていたのですが、偏光現象の研究から光が横波であるという結論に達しました。横波ならば、進行方向に対して振動の方向は2種類考えられますから、偏光や複屈折の現象を説明できます。しかし、気体や液体のような流体は、横波を伝えることはできません。そうするとエー

<sup>\*2</sup> とはいえ、それでも光速の1万分の1でいどですが。

<sup>\*3</sup> ブラッドレーの観測は、本来地球の公転による位置の変化によって星の見える角度が僅かに変化する「年周視差」を検出することが目的でした。しかし、この値は非常に小さく、その代わりに「年周光行差」を発見することになったのです。ちなみに、こういった測定は、光速度そのものに興味があるというよりは、地動説の検証や天体との距離の測定といった意味合いが強かったようです。

テルは物体の運動には影響を与えず、物体の運動からも影響を受けないにも関わらず、固体であることとなります\*4。また光速の大きさから言って非常に硬い性質をもっていなければなりません。

光行差のところでも結論されたように、もし光が静止するエーテルの中を進む波動であるならば、地球の運動によって光の速度が異なって見えるはずで、つまり、公転運動の速度と光の飛んでくる方向が逆向きならより大きな光速が、同じならより小さな光速が測定されることが期待されます。アラゴーはこれによってレンズの焦点距離が変化することを予想して実験しましたが、結果は否定的でした。しかし、フレネルは「エーテルの一部が物質に随伴する」とすればこれが十分説明可能であることを示しました。これはフレネルは、速度  $v$  で運動する媒質中を光が通過する場合、光速が変化すると仮定しました。具体的には、 $n$  を媒質の屈折率としたとき「随伴係数  $f$ 」と呼ぶ量、

$$f = 1 - \frac{1}{n^2} \quad (2.1)$$

によって、光速が

$$c' = \frac{c}{n} + fv \quad (2.2)$$

に変化すると仮定したのです。これは、エーテルが媒質の速度の影響をそのまま受けるのではなく、引きずられてある割合（これが随伴係数  $f$ ）だけ速度が変化するというアイデアです。

これはフィゾーによる検証実験が行われました。

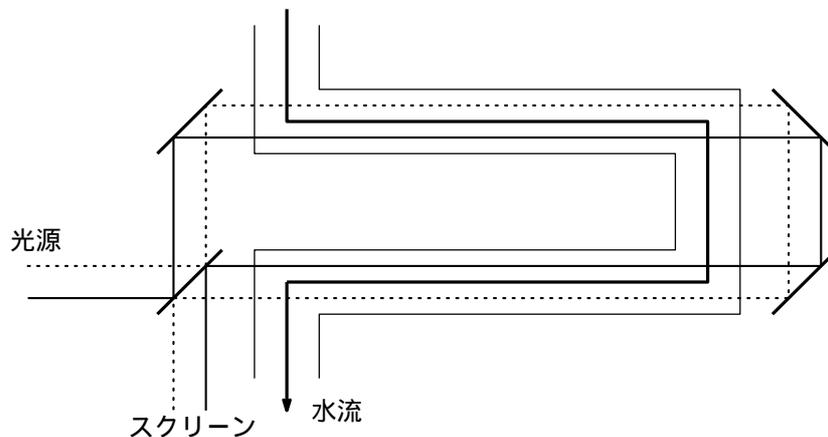


図 2.2 フィゾーによる随伴係数を確かめる実験

フィゾーは図 2.2 のような経路を通る光の干渉について実験しました。それぞれの光は、水流にそって進む方と、水流に逆らって進む方の 2 つに分かれるようにうまく設計されています。そして、もしそこに時間差が生じるならば、スクリーン上で干渉が起こるようになっているのです。水流に順行する光が管内を通過するのにかかる時間は、

$$t_1 = \frac{2l}{\frac{c}{n} + fv} \quad (2.3)$$

逆行する光が通過する時間は、

$$t_2 = \frac{2l}{\frac{c}{n} - fv} \quad (2.4)$$

です。よって、これらの時間差は

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2l \cdot 2fv}{\left(\frac{c}{n}\right)^2 - (fv)^2} \cong \frac{4lfn^2}{c^2} \quad (2.5)$$

よって、位相差はこれを周期  $T = \frac{c}{\lambda}$  で割って、

$$\delta = \frac{4lfn^2}{c\lambda} \quad (2.6)$$

\*4 固体であっても、反射・屈折の過程で横波から縦波が生じることがあります。しかし、光ではこのような現象が起きないので、ただの固体というわけでもないこととなります。

を得ます。フィゾーの実験は実際に随伴係数の効果があることを示すものでした。しかし、その「引きずり」がどのようにして起こるのかは、この時点では説明されませんでした。また、それは光行差の説明とは矛盾するものでした。

#### 2.1.4 光のドップラー効果

一方、光に対するドップラー効果は、1862年ハギンス夫妻によってシリウスのスペクトル観測から検出されました。ただし、これは恒星の運動が、そこから放射される光の波長に影響を与えることが分かったというにすぎません。それがいわゆる音のドップラー効果と同じ式になるかどうかを明らかにするものではありませんでした\*<sup>5</sup>。また、これはエーテルに対する運動ではなく、光源と観測者の相対運動によるものである、という解釈も可能です。ドップラー自身、光の波動説にはさまざまな困難が生じることを指摘している（とりわけて光行差を問題にした）ので、このことが直ちに光の波動性やエーテルに対する運動の証拠として取り上げられたわけではないようです。しかし、その後の観測精度の向上によって、光のドップラー効果は天体の固有運動\*<sup>6</sup>を知る重要な手がかりとなりました。

波に関するドップラー効果の式を光に当てはめたものは、

$$f' = f \times \frac{c - v_o}{c - v_s}$$

となります。ここで、 $f$  が音源の振動数、 $f'$  が観測される振動数、 $c$  が光速、 $v_o$  が観測者のエーテルに対する速度、 $v_s$  が光源のエーテルに対する速度です。この式には各々の「エーテルに対する」速度が式に出てきます。「光源と観測者が近づいている」といった場合でも2種類あります。光源が動いていて観測者が静止しているときと、光源が静止していて観測者が動いている場合です。これらを区別できれば、エーテルに対する絶対的な運動を検出することができるでしょう。しかし、その差は、運動の速度と光速の比の2乗でいどと、非常に小さなものになります。これを区別することはできる段階にはありませんでした\*<sup>7</sup>。

#### 2.1.5 マイケルソン・モーリーの実験

このように、エーテルに対する「絶対運動」の証拠は測定されませんでした。ここには問題があります。当時の光速測定方法は鏡の間を往復させる方法だったので、 $\frac{v}{c}$ （以下、光速を  $c$ 、物体の速度を  $v$  で書く）の影響は相殺してしまいます。

アラゴの実験は1次の効果がないことを示しましたが、マイケルソン・モーリーの実験は、 $\frac{v}{c}$  の2次の効果を検証することを目標に設計されました。

マイケルソンの最初の実験は十分な精度を満たすことはできませんでしたが、ローレンツやレイリーらの助言もあって、注意深く設計された実験装置によって必要な精度を実現することに成功しました。しかし、結果は地球のエーテルに対する運動の効果を否定するものでした。

ただし、アインシュタインはこのマイケルソン・モーリーの実験を決定的なものとしては扱っていません。しかし、エーテルに対する運動が観測されないことの証拠の一つとしては認識していたようです。

このように、光の波動説を支持する証拠が次々と積み重なっていく一方で、その媒質としてのエーテルについては、様々な性質が付与されていきました。光速を伝えるほどに硬く、横波を伝える固体である一方で、惑星などの運動には影響しないほど希薄。ある実験では絶対静止のエーテルが必要な一方で、動く媒質（流水など）の中では部分的に引きずられる。そのようなエーテルの性質を一貫したものとして組み立てて力学的に説明することは困難でした。

## 2.2 電磁気現象の「相対性」

光の媒質としての「エーテル」とは別に、電磁気を伝える媒質としてもエーテルは考えられました。これを特に「電磁気エーテル」と呼びます。この節では電磁気学の発展と、電磁気現象の相対性の問題について見ていきましょう。

\*<sup>5</sup> 実際、最初の測定値は現在知られている値から見ると誤差が大きすぎるものでした。

\*<sup>6</sup> 地球、あるいは太陽系に対して天体が動いていることを指します。

\*<sup>7</sup> 余談ですが、光の波長を精度よく測るのは非常に難しい実験です。写真分光の方法が一般的ですが、測定時の誤差に加え、フィルムの温度による伸縮など、誤差の要因が多いのです。

## 2.2.1 19世紀末、電磁気学の状況

マクスウェルの理論と一言にいても、現代のわれわれが想定するような電磁気学と大きく異なる点が多くあります。この点を理解していないと何が問題なのか分からなくなるので簡単に説明しておきましょう。

1800年のガルバーニによる「動物電気」の発見以降、急速に電気化学的な知見は増えていきました。しかし、まだ原子・分子といった物質の粒子的要素に対して懐疑的な態度も強くありました。もちろん、イオンや電子といった概念はおろか、電荷の単位性（素電荷の存在）も明らかになっていなかったのです。しかし、ボルタの電堆が発明され定常的な電流を取り出すことができるようになって以降、電気分解、電流による磁場の発生、そして電磁誘導など、電気・磁気に関する研究は急速に進んでいきます。

それを数学的にまとめたものがマクスウェルの電磁気理論です。しかしこれも現在とは大きく違うものでした。電場や磁場といったものは、物質のある状態・変位として想定されました。現在では物質と電磁場は独立のものとして考えられていますが、当時はあくまで物質に付随するものとして考えられていたという点で大きな違いがあります。物質に加わる電氣的緊張  $E$ （いまでいう電場）とそれによって起きる電気変位（分極） $D$ （いまでいう電束密度）を別々に考えるというのも、こういった考え方から出てきました。

また、マクスウェルは近接作用論の上に電磁気学を作ろうとしましたが、ポテンシャルの概念などは遠隔作用論的であり、一貫性に欠いていました\*<sup>8</sup>。これはヘルツやヘビサイドらによって、ポテンシャルをまったく消去した電磁場の方程式が書けることと、いわゆる「ゲージ変換の任意性」の認識によって解決されていくこととなります。

「真空」が電磁気を伝えるならば、そこには物質と同様に電氣的緊張と分極を起こす何かが存在するはずですが、そのような性質を担うものとして「電磁的エーテル」が考えられました。電磁場の方程式から予言される「電磁波」の速度が、計算上当時知られていた光速度にほぼ等しいことから、光は電磁波であろうという予測が立ちました。そして、ヘルツの実験により電磁波の存在が確かめられました。この結果から「光学的エーテル」と「電磁的エーテル」は同じものと考えられるので、以降は両方の意味をふくめてエーテルと呼びます。しかし、その電磁場の媒質としてのエーテル説には、いろいろな困難な点もありました。その中でもっとも大きな困難は、電磁気現象の相対性というものでした。

## 2.2.2 電磁気現象の相対性

アインシュタインが1905年の論文において最初に問題にしているのは、電磁気学の相対性についてです。電磁場を伝える媒質としてのエーテルを考えた場合、その中で磁石なり電荷なりを動かしたときに、「エーテルに対する運動」というのが現象の現れ方に影響するはずですが。

例として電磁誘導について考えてみましょう。これは、コイルに磁石を近づけたり離したりすると、コイルに電流が流れるという現象です。この現象において、磁石を動かすのか、コイルを動かすのかということは関係ありません。ただ、双方が近づくのか離れるのか、という「相対的な運動」のみが現象に現れます。

これが、何か媒質中を電磁場が伝わるという考え方と相容れないことは、先に挙げたドップラー効果との比較をすれば分かりやすいでしょう。電磁気学においては同じ文字を使うならば、 $v_o - v_s$ にのみ、現象が依存することになります。もし電磁場がエーテルを伝わるものならば、同じように「エーテルに対する」速度というものが現れるはずですが、そうはなっていないのです。

運動する物体とエーテルとの関係も困難な点がありました。ヘルツは、運動する物体中ではエーテルは完全に同伴して動く仮定しました。これは運動する導体については正しい結論へ導きます。しかし、誘電体の場合は違いました。

コンデンサーの間に誘電体をはさむと、誘電体の表面には誘導電荷が現れます。これを運動させればそれが電流となり、その電流は磁場を生むはずですが。コンデンサー内部の電場を  $E$  とすれば、それによる電気変位は  $\epsilon E$  であり、それによる単位面積当たりの分極電荷は  $\frac{\epsilon E}{4\pi}$  になります。したがって、コンデンサーを速度  $v$  で動かしたならば、電流  $\frac{\epsilon E}{4\pi} v$  に相当する電流が生じ、それによる磁場が観測されるはずでした。しかし、1885年のレントゲンによる実験

\*<sup>8</sup> 当初のマクスウェル方程式には電場・磁場・電束密度・磁束密度・電位などの量が入り混じった形式を取っていました。

では、電流は

$$\frac{(\epsilon - \epsilon_0)E}{4\pi}$$

となっていることが結論されました。これを現代的な枠組みで解釈すれば、電束密度のうちで誘導電荷による部分のみが物質の運動に付随して動くということになります。つまり、エーテルは物質の運動に完全に同伴するという説は、誘電体においては否定されます。このように誘電率によってエーテルの同伴具合が変わるとするのは、フレネルの随伴係数に似ています\*9。ただ、こういった実験において、2つの物体の「相対運動」だけが結果に現れ、決して「エーテルに対する運動」が現れることはありませんでした。

しかし、これらの実験結果によって直ちにエーテルが否定されたわけではありません。物体の運動にエーテルが引きずられるなどの説によってエーテルの性質を説明しようとする試みがいくつか現れました。

一方、物質の構成と電磁気現象の解明という意味では、電子の発見が大きな変化をもたらそうとしていました。このような状況の中で登場したのが、ローレンツ・ポアンカレの電子論です。

## 2.3 電磁気学の整備とローレンツ電子論

### 2.3.1 電子の発見

19世紀も終わりに大きな発見がありました。一つは、陰極線の発見に端を発する電子の発見です。当初、光線の一種と考えられていた陰極線は、電場や磁場によって影響を受けることなどから次第に電荷を持つ物質的なものであることが分かっていきました。

また、ミリカンなどによって電荷には最小単位（素電荷）が存在することが明らかになった。これらの結果から、負の電荷を持つ電子の多寡によって静電気やイオンなどの電気現象を説明できるようになっていきました。

素電荷の測定と比電荷の測定によって、電子の質量が水素原子の約1830分の1であることが明らかになります。これは非常に小さい物質が電荷を担っていることを表します。これによって、連続的な物質観に取って代わり、荷電粒子とそれをとりまく真空という考え方が生まれることになります。

### 2.3.2 ローレンツの電子論：ローレンツ収縮と局所時間

電磁気現象の相対性を保つために、電磁場などの変換を最初に問題にしたのはローレンツでした。

ローレンツの電子論における大きな転換点は、物質と電磁場を分離したところにあります。それまで物質に付随する性質として電磁場は考えられてきました。しかし、電荷を担う実体が電子という微小な粒子であるならば、電荷とそれによって周りの空間（エーテル）に作られる電磁場というように分離して考えるべきです。

微小な粒子である電子とその周りの電磁場という考え方によって、たとえばフレネルの随伴係数のようなものが説明されることをローレンツは示しました。

さらに、運動する物体では運動の方向に収縮がおこるとすれば、それまでの光速に関わる実験を説明できるとしました\*10。そして、時間の感じ方も変わり「局所時間」というものを導入すべきということにたどり着きました。ただ、ローレンツの最初の論文ではあくまで近似的な議論をしているにすぎません。これは前章で書いたように、マイケルソン・モーリーの実験などから分かることは $\frac{v}{c}$ の2次のオーダーまでは運動の影響がないことを示すことだったからです。

こうした実験結果を近似ではなく、厳密に光速度を保つとみるべき、としたのはポアンカレでした。ポアンカレは論文や講演で繰り返しこれを主張し、ローレンツにもアドバイスを送ったようです。

このアドバイスを受けて、ローレンツは厳密に光速が不変になる場合に要請される変換式を導きました。これが現在、ローレンツ変換と呼ばれるものです。ポアンカレはさらにこれを群論を用いて整備しました。これは1904年から1905年にかけてのことで、相対性理論が出る直前のことです。

\*9 実際、マクスウェル方程式によれば媒質中の光速はそこでの誘電率の平方根に反比例します

\*10 ただし、その後の斜めにしたマイケルソン・モーリーの実験などによって、この「収縮仮説」では実験結果を説明できないことが分かりました。

### 2.3.3 電磁質量：電磁気学から力学を導くことはできるか

ここで（慣性）質量をめぐる議論についても少し触れておきましょう。これまでの議論は、ニュートン力学と電磁気学とをどのように整合させるかという点にありました。しかし、ローレンの電子論の成功は、電磁気学を出発点にして力学とくに慣性について説明しようという試みにつながります。

電荷が存在する周りには電場が存在しています。もし、この電荷が運動するならば周囲の電場もそれに伴って変化し、その変化は磁場を生じます。これらの場は電荷自身に作用を及ぼし（自己力）、運動の変化に対する抵抗、すなわち慣性の役割を果たすのです。

この考えに基づいて、電子を一様に帯電した剛体球と仮定して計算すると、電子の半径に反比例する抵抗力が導き出されます。このような電磁場との相互作用に由来する「慣性」を電磁質量といいます。

1901年、カウフマンは運動する電子の質量が増大することを発見しました。精度的には問題がありましたが、この現象もローレンツ収縮によって電子の半径が収縮するという仮説と電磁質量を組み合わせれば説明されます。しかし、ポアンカレはその後、このような電子モデルは、自分の電荷による反発力によって安定ではありえないことを計算によって示し、新たな問題が残ることを指摘しています。

後に相対論が出たとき、この現象が再び取り上げられることになります。そして、質量をどのように考えるということは物理学にとって重要なテーマとなっていきます。

## 2.4 「光速度不変の原理」：論理の転回

以上のような流れから、相対論のほとんどはローレンツ・ポアンカレの成果と主張するものもあります。しかし、この段階における変換式はあくまで数学的な補助手段にすぎません。また、エーテルの存在も否定していません。エーテルに対する絶対運動が存在しても、その影響を打ち消すような機構がある、という説明になっているのです。

これらの議論はあくまでマクスウェルの電磁気理論の上に立った、＜動力学<sup>\*11</sup>＞検討からなされています。しかし、アインシュタインの相対論は電磁気学を前提とせず、ただ＜運動学的<sup>\*12</sup>＞な検討からのみローレンツ変換を導きました。そして、これを単なる数学的なものではなく、時間・空間に関する大きな認識の転換を要求するものとして提示したところに、アインシュタインのオリジナリティがあると言えるでしょう。ただし、この点が充分認識されるまでには、相対論が出た後もしばらくの時間がかかったようです。

さまざまな実験結果から「観測者の運動によらず光速度は同じように観測される」ということが示唆されてきました。これを「説明されるべきこと」から「議論の出発点」へと立場を逆転させてみよう、というのが「光速度不変の原理」です。これはある意味、説明することを放棄した思考停止に思えるかもしれませんが、しかし、自然の姿をあるがままに捉えるという意味では正しいといえます。そして、この文章の後半で見ていくように、これによって多くことが説明されます。

また結論先取りのになってしましますが、相対論はエーテルを使わずに光に関する諸現象を説明することに成功しました。その代わりに、宇宙の至るところに存在する「場」にその役割を与えました。それまで電磁場について、物質あるいはエーテルの状態として考えられていました。しかし、エーテルの存在を捨てるということは、そういった電磁場を担うものを空間そのものとするようになります。この考え方は、エーテルという道具立ての部分抜きにすれば、ローレンツの正統な後継者といえるでしょう。そして、物理学は物質と場の織り成す相互作用として描かれていくことになります。

今後の科学の進展は、もしかすると「光速度不変の原理」を別の原理から説明し、出発点の立場から引きずり下ろすことに成功するかもしれませんが、しかし、いまのところ場の量子論などの物理理論は、この「光速度不変の原理」が要求する因果関係を守ることを前提条件として組み立てられています。ですから、これが現状における、もっとも基本的で普遍的な物理法則のひとつであるといってもいいでしょう。

\*11 ここでいう動力学とは、物体と物体、あるいは場から物体に働く力を元に物体の運動について考えることをさします。この場合、ニュートン力学とマクスウェル電磁気学を基にして電子の運動について論じることになります。

\*12 運動学は、「力」を考慮することなく、ただ物体の運動のみを考察するやり方です。そこには電磁気学だけでなく運動方程式すら現れません。

さて次章では、いよいよ相対論の中身に入っていきます。この「光速度不変の原理」を出発点として理論を組み立てた場合、どのようなことが帰結されるのかということを見ていきましょう。

## まとめ

- 光や電磁気を伝える媒質として「エーテル」を考えるとさまざまな矛盾する性質をもったものになってしまう。
- 「エーテル」に対する運動を検出する実験はことごとく失敗した。
- ローレンツ変換は、エーテルの諸矛盾をなくために、ローレンツによって発見された。
- アインシュタインは、「光速度不変」を理論の出発点として選んだ。
- 「光速度不変の原理」はいまのところ、物理法則を構成する（説明不能な）原理（出発点）のひとつである。