

第4章 相対性原理

物体の運動を記述するには、その物体がどれだけ動いたか知る必要がある。このような物体の運動を記述する物差しとして、普通、座標系が設定される。座標系を設定すれば、物体がその座標系に対してどれだけ動いたか知ることができる。しかし、その物体が本当に動いているのかいないのかは、このことから知ることはできない。動いているのは物体ではなく座標系かもしれないからである。本当に動いているのはどちらなのであろうか。

この物理学における最も根幹に位置する空間の認識に関する概念は、知る人ぞ知る、最も古い未解決の問題なのである。物理学の普通の教科書では、この問題は避けて通るか、適当にごまかしているから、一般の人はこの問題が問題であることも知らないだろう。物理学者はこの問題に対してほとんどお手上げであるが、適当にごまかそうとするからとんでもない誤解をしている。この誤解の集大成がああ相対性理論なのである。

われわれはこの章でこの問題に対する一つの解答を与えることにしよう。また、科学の進歩の大きな障壁になっている相対性理論の奇妙な論理を細かく指摘し、この理論が完全な誤りであることを示すことにしよう。この章を読み終えたとき、相対性理論は正しいなどと言う人は一人もいなくなっているだろう。

4.1 ガリレイの相対性原理

ガリレイは地球が動いているということを主張したが、その当時の科学者は地球が動いているならば、どうして地球上にいる人はそのことに気付かないのか、ということの問題にした。

このような疑問に対し、ガリレイは一定の速度で走っている船から物体を落下させると船から見て物体は真下に落下するというようなことを述べ、この疑問に答えようとした。このように一定の速度

で直線運動している物体中にいる観測者は外を見ない限り自分が動いているかどうか分からないといったことを相対性原理という。相対性原理とよばれるものは2つあり、1つはガリレイ（またはニュートン）の相対性原理、もう1つはアインシュタインの相対性原理という。ガリレイの相対性原理の適用範囲は、ボールを投げるとかといった、ニュートンの力学のみを対象とし、アインシュタインの相対性原理は、波動、光学、電磁気など全ての物理現象に対して適用できるものとされている。

ガリレイの相対性原理において、どうして、船の上から物体を落下させると真下に落下するのだろうか。このことは外力を受けない物体は静止か等速直線運動をするという、同じくガリレイの発見による慣性の法則によって説明される。船の上で落下させる物体の慣性は船の慣性と同じように働いているから、物体は真下に落下するのである。慣性の法則はガリレイの思考実験及び地球上での実験によって、正確に確かめられているかのように思えた。しかし、地球上で等速直線運動したからといって太陽から見れば、等速直線運動したわけではない。「静止か等速直線運動といった概念は何らかの基準を定めることによってのみ定義されるものであり、その基準を定めない限り、静止か等速直線運動といったことは無意味であることは明らかである」と考えられていた。例えば、飛行機から爆弾を落下させれば、飛行機から見れば爆弾は真下に落下するように見えるが、地上から見れば爆弾は放物線を描いて落下するように見える。

そこで何に対して静止や等速直線運動するのかということを決める必要が生じた。現代の物理学では、この基準として慣性系という概念が考え出されている。「慣性系とは、外力を受けない物体が静止か等速直線運動するような座標系である」あるいはもっと簡単に「慣性系とは、慣性の法則が成り立つような座標系である」とか「慣性系とは、ニュートンの力学がよい近似で成り立つような座標系である」ということになった。

しかし、よく考えてみてほしい。元々、慣性系という概念が必要になったのは慣性の法則に意味を与えるための基準を定めることを目的としていたはずであるから、その基準の定義に慣性の法則を用いることは定義の方法に反する。勿論、力学の法則が成り立つといった表現はさらに悪い。このようなことは定義の無限ループであり、決して抜け出すことができない論理学上の困難が内在することになる。もし、物理学というプログラムを作りコンピュータ上で走らせたとすれば、その最も初期の段階で無限ループに陥りシステムダウンすることになる。

このようなでたらめな定義を物理学者が認めるとするならば、その物理学者は論理的な思考を自ら放棄することを表明していることと同じであり、物理学とはそういうものだななどと割り切ったようなことを言うならば、物理学とは非論理的な学問であると認めることになる。

ニュートンにはこのようなことが許せなかったのであろう。ニュートンはこのような問題を解決するために絶対空間なる概念が存在すると仮定したのであろう。もし、このような最初の基準となる座標系の存在を認めれば、定義の無限ループからは脱出できる。

ニュートンの絶対空間なる概念は宇宙の万物の入れ物として外界の状況には関係なく常に一定で動くことはないものとされた。例えば、絶対空間をおもちゃ箱のようなものと想像すると、星々は個々のおもちゃである。おもちゃ箱のおもちゃをどのように動かそうとも、おもちゃ箱は形を変えないし、動くわけでもない。このような想像は、人間の想像範囲内であり、証明なしに受け入れてもよいような当然のこのようにも感じられる。とりあえず、ニュートンは絶対空間の考えを取り入れ、ニュートンの力学を建設することができたのである。

ニュートンの仮説を作らずという言葉は有名であるが、絶対空間に対するニュートンの考えは仮説に他ならないものであると批判を受けたこともあった。しかし、仮定ということと仮説ということは違う。仮説というものは得られた結果を実証することができないも

のをいうが、仮定というものは実証されるべき結果を得るための思考過程である。例えば、ニュートンの万有引力の法則は、全てのもものは相互に引き合うと仮定することにより、星々の運行を説明できる。絶対空間を仮定することにより、ニュートン力学が建設され、ニュートン力学は物体の運動を説明できる。それなのに万有引力の法則は正しくて、絶対空間は仮説であると多くの物理学者たちは言う。どうして万有引力の法則が正しいと言えるのか、このことを証明できるのか、証明できるはずはない。証明できるならば、法則だとか原理だとかは、物理学では、普通、言わないからである。もし、証明できるならば、定理と呼ぶべきであろう。

全ての知識は細分化していくと、それ以上細分化できない最小のものになる。このような最小の知識は、後にさらに知識が深まり、より最小のものから成っているということがわかることもあり、決して固定的なものではないが、その時点で最小であるということである。このような知識は決して証明することができない。物理学では原理、数学では公理などとよばれているものである。このようなものの存在自体認めないという厳格な実証主義的立場をとると、物理学を含めた知識の全体系は成立しえない。だからといって、実証主義を軽視すると、物理学はギリシャの哲学のような現実世界を反映しないただの空想となってしまう。われわれはどのようにして、このバランスを保てば良いのか。

われわれの哲学的な考えをここで述べておくことにしよう。

【物理に仮定を持ち込む際の原則】

(1) 仮定導入の原則

物理理論構築に当たって、必要となる仮定は証明なしに導入することができる。ただし、この仮定の導入には細心の注意を払い、出来る限りの説明を加える。この仮定は物理現象の考察の元に、導入されることが望ましく、実証されればなお良い。勿論、この仮定自体、他と矛盾してはならない。

物理理論構築に当たって、必要となる仮定は少なければ少ないほど良い。仮定がない理論は実証せずとも認められる。ここでいう仮定がないとは、既に他の理論、実験等で実証されていると認められている仮定を含んでいても、それは仮定と見なさないということである。ただし、このような仮定も完全に実証されているとは限らない。

(2) 実証の原則

(1)を用いて得られた結論は実証されねばならない。実証されねば、仮説の域を出ない。また、部分的に実証されたからといって、理論全体が正しいとは限らない。

このような考えを絶対空間に当てはめてみると、絶対空間というものの存在自体は否定することができないものであり、得られた結論はニュートン力学という形で実証されているものであり、決して満足できるものではないが矛盾を含んでいるものでもなく、われわれの原則に必ずしも合致しないというものではない。

われわれは絶対空間という考えが最良であるとは考えていないし、後により良いと思われる形に修正するが、ここでは絶対空間という概念に対する誤った認識を修正する意味で、この考えを擁護することにしよう。

絶対空間を用いてガリレイの相対性原理を表現すれば、

「絶対空間の中を等速直線運動している座標系で観測する結果と絶対空間に静止している座標系で観測する結果は同じである」

ということになり、絶対空間の中を等速直線運動している座標系を絶対慣性座標系とよぶことにすれば、この絶対慣性座標系は、

「絶対慣性座標系とは、絶対空間の中を等速直線運動している座標系である」

ということになる。慣性の法則は、

「外力を受けない物体は絶対慣性座標系に対し、静止か等速直線運動する」

と表現することが出来、定義の無限ループからは脱出できていることがわかる。

しばしば言われることであるが、「絶対慣性座標系から見れば、絶対空間は等速直線運動していることを観測できる。このように考えると絶対慣性座標系を絶対空間とみなすことができ、絶対慣性座標系と絶対空間は区別できない」と言われることがある。このことに対する反論は、「絶対空間は一定で動かないものであることは仮定であって、原理である。したがって、絶対空間は動くことはないから、絶対慣性座標系から見て絶対空間が動いているように見えるということは見かけであって現実ではない。絶対空間は動いていないのであるから、現実には動いているのは絶対慣性座標系の方である」と答えることができる。

あるいは、「宇宙の中で絶対に動くことのない絶対空間などというものを、どのようにすれば感知できるのであろうか。そのように決して実証できない概念を物理学に持ち込むべきではない」と言われることもある。この反論には、「物理学の原理というものは全て証明できない。この絶対空間という概念を取り入れて初めてニュートン力学を構築することができる。そしてニュートン力学は多くの点で実証されており、このことは絶対空間の概念の正しさを示す検証となっているだろう」と答えることができる。

このように絶対空間という概念は物理学的に全く無意味なものではない。何より重視せねばならないことは、絶対空間という仮定はニュートンの力学において必要なものであるから導入されていると

ということである。もし、この仮定を否定すれば定義の無限ループに陥ることになる。歴史的には、ニュートンの絶対空間が先で、慣性系の概念が後であるが、もし、現代の物理学で考えられているように絶対空間のような概念が必要ないとすれば、ニュートンほどの思慮深い人が絶対空間などという概念を持ち出すはずはない。

たいへん愚かしいことに、ニュートン以後の物理学者は、おそらくニュートンの苦難の末の選択であったはずの絶対空間の概念を否定し、論理的な思考を自ら放棄することを選択したのである。そして、さらに恐ろしいことに彼らは自らが過ちを犯したということすら気付いていないのである。これほど恐ろしいことはない。彼らは自分が犯罪的行為を行っているにもかかわらず、全然、悪いことをしていると思っていない人たちなのである。

とにかく、物理学は改悪されてしまった。この改悪は決して些細なことではない。物理学の最も根幹に位置するこの概念に対する誤った認識は、物理学全体に及び、この時点から物理学は現実世界から遊離した空想世界の物語になってしまったのである。相対性理論はこのことを応用した典型的な理論であり、物理学者は科学に革命を起こしたと、この理論を絶賛するが、革命後の世の中が革命前より良くなるとは限らない。

随分遅くなってしまったが、今からでも遅くはない、間違ったことは修正しなければならない。科学の逆行を行う権利は何人にも与えられてはいない。われわれは先人たちによって行われたこの逆行に反対し、正しい形に修正しなければならない。正しい道に戻るためには誤った場所に戻る以外に方法はない。われわれは、今さら、慣性の法則を修正しようというのである。勿論、ただの逆行をして、絶対空間を復活させようとは思わない。別の方法を使う。

問題は静止か等速直線運動ということはどう考えるかということである。普通の考えでは、静止か等速直線運動ということは他の場所にある何らかの基準系に対して定義されることで、この基準系がなければ、このような概念は意味がないということである。そして、この他の場所にある基準系を定めるには静止か等速直線運動を

使わなければ定義できないことになり、定義の無限ループに陥っていた。

静止と等速直線運動の共通点とは何であろうか。すぐにわかるように、これらの状態の物体には加速度が働いていないということである。加速度というものを相対加速度と考えれば、その概念には他の基準が必要であるが、他の基準を必要としない加速度という概念が存在することをわれわれは第2章で発見した。この加速度のことを、われわれは慣性加速度とよんだ。すなわち、静止や等速直線運動している物体は慣性加速度が働いていない状態である。このような物体でも、この物体に対して加速している座標系から見れば、この物体には相対加速度が働いているように観測されるが、慣性加速度は働いていないのである。慣性加速度は空間的に異なる場所に存在する何らかの基準系を使って定めるものではない。また、慣性加速度があるか、ないか判断するのに、ニュートン力学は必要ない。物体が押されたとき、その中にいる観測者が壁に押しつけられるか、押しつけられないか判断すれば、慣性加速度があるか、ないか判断することができる。

このことを使えば、絶対空間も慣性の法則も使わずに慣性座標系のような座標系を定義できる。すなわち、再定義される慣性座標系とは、

「慣性座標系とは慣性加速度が働いていない物体を基準とした座標系である」

と定義できる。この基準となる座標系が定めれば、再定義される慣性の法則は、再定義された慣性座標系を用いて、

「慣性座標系に対して、外力の加わらない物体は静止か等速直線運動する。このことを慣性の法則という」

と表現できる。再定義されるガリレイの相対性原理は、再定義された慣性座標系を用いて、

「慣性座標系で観測される力学現象は、その他の慣性座標系で観測される力学現象と同じである」

と定義される。この中で力学現象という言葉を使ったのは、後に述べられるアインシュタインの相対性原理に対して、限定的意味を与えるために使ったものであり、この定義にニュートン力学が必要であることを示唆するものではない。このような表現が気に入らなければ、

「慣性座標系で観測される現象は、その他の慣性座標系で観測される現象と同じである。ただし、この現象の中には、光学、電磁気学などの波動の伝播現象は含めない」

と書いてもよい。

これらの定義の中に重力の現象は含んでいない。基本的に重力場の傾きがあるような場所は慣性座標系ではない。このように重力を除外して考えることは、今までの定義方法と同じである。

4.2 ガリレイの慣性座標系

一般に慣性座標系については、ガリレイの慣性座標系とかアインシュタインの慣性座標系とかといったように区別されてはいないが、ガリレイの相対性原理を元にした慣性座標系の概念は光学、電磁気学などの波動の伝播現象を含めないで成立する概念であるので、波動の伝播現象を含めた概念と混同すると間違った結論が得られてしまう。このような間違った結論というのは特殊相対性理論のことであるが、このような混同をさけるためにガリレイの考えを元

にした慣性座標系をガリレイの慣性座標系とよぶことにし、はっきり定義しておこう。

(1) 「ガリレイの慣性座標系とは慣性加速度が働いていない物体を基準とした座標系である。ただし、この座標系を用いて観測されうる現象の中には、光学、電磁気学などの波動の伝播現象は含めない。」

ガリレイの慣性座標系は上記の定義以外に次の2つのことが成立する。

(2) 「ガリレイの慣性座標系に対して、等速直線運動するような座標系もガリレイの慣性座標系である。」

(3) 「ガリレイの慣性座標系に対して、相対速度ゼロの一群の座標系は同一のガリレイの慣性座標系である。」

(2)の述べることは、一定の速度で直線上を走っている自動車からボールを投げれば、

$$\begin{aligned} & \text{地球から見たボール速度} \\ & = \text{地球から見た自動車の速度} + \text{自動車から見たボールの速度} \end{aligned}$$

になるということである。この地球と自動車の2つの座標系はガリレイ変換という関係で結びつけることが可能であるともいう。

(3)の述べることは、地球に対して一定の速度で直線上を走っている船上で A, B の2人がキャッチボールをするとき、船が地球に対して静止しているときと変わりがないことから、A を基準にしてとったガリレイの慣性座標系と B を基準にしてとったガリレイの慣性座標系は同じガリレイの慣性座標系と見なすことができるということである。

勿論、これらのことは、地球をガリレイの慣性座標系とみなした近似において成立する。

4.3 マイケルソン = モーレーの実験

ガリレイの相対性原理は、力学現象については適用できるが、光学や電磁気学などについても適用できるのであろうか。昔は、光という波を伝播する媒体として、エーテルという仮想的な媒質が考えられており、光はこのエーテル中を一定の速度で伝播すると考えられていた。マクスウェルの電磁気学には、光速という定数が方程式の中に含まれており、このことは運動している物体から電磁波を放射すると、その物体から一定の速度である光速で電磁波が伝播することを意味していた。

光の速度が一定ならば、この速度を基準にすれば、物体のエーテルに対する相対速度がわかるかもしれないと当時の物理学者たちは考えた。マイケルソンやモーレーといった人たちは、この考えを元に地球のエーテルに対する相対速度を測ろうと企てた。その実験が有名なマイケルソン = モーレーの実験といわれるものである。この実験の方法は、光をさまざまな方向へ放射し、それぞれの方向での光の速度を計測する。光が運動物体の速度に影響を受けないとすれば、光の伝播速度は方向によって異なってくるはずである。地球はエーテルに対して静止しているとは考えにくいからである。

マイケルソンらの予想に反して、光の速度は方向によって変化しなかった。光はどの方向にも同一の速度で伝播するという結果が得られた。マイケルソンらの実験は、光も力学的な物体と同じように、ガリレイの相対性原理を満たすということを示すということになった。

4.4 アインシュタインの特殊相対性理論

アインシュタインの特殊相対性理論が間違っていることは、第1章で既に証明済みであるから、敢えて取り上げる必要はまったくないが、この理論のどこが具体的に間違っているのかを知ること無意味ではないだろう。この項(4.4)では、アインシュタインの特殊相対性理論について、批判なしに説明することにしよう。この説明はわかりやすく説明するために、アインシュタインのオリジナルな説明方法に特にこだわらないが、特殊相対性理論の説明としては一般的に行われていることであり、アインシュタインも認めていたことである。

アインシュタインはこの理論構築にあたって2つの仮定をした。その仮定をアインシュタインは原理と呼んだ。その2つの原理のアインシュタインによる定義は、

(1)(アインシュタインの)相対性原理

「物理系の状態の変化を記述する法則は、その状態の変化を、お互いに等速運動をしている二つの座標系のどちらについて記述してもその形は同じである」

(2)光速度不変の原理

「光は座標の"定常"系をいつも一定の速さ c で伝わる。この光が定常の物体または運動物体から発しても同じである」

である。光速度不変の原理の"定常"系という意味は、「ニュートンの力学の方程式がよい近似で成り立つような座標系」ということである。

(1) 運動方向と平行に伝播する光の運動に対する列車の思考実験

いま、剛体と考えることができる長い列車があるとする。この列車は別の"定常"の座標系 S から見て一定の速度 v で直線上を運動し

ているものとする。列車の中央には光源 L があり、その光速度は c とし、列車の中央から等距離 l の列車の端を、それぞれ A, B とし、列車は S から見て A から B の方向に進行しているものとし、列車を基準にした"定常"の座標系を S' とする。

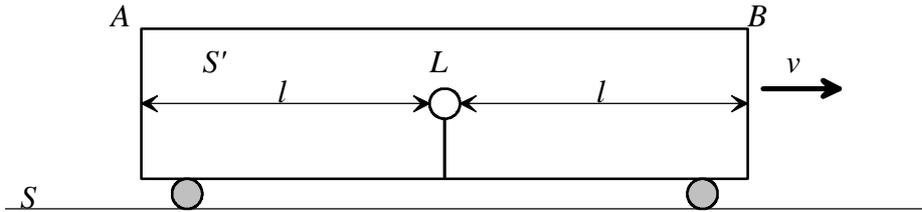


図4.1 列車の思考実験

このような実験装置において、列車の中央の光源 L から光を発するとき、 S から見た場合と S' から見た場合を比較することにしよう。

S' から見た場合、光が A, B に到達する時間はそれぞれ等しく、この座標系の時間 $\Delta t'$ を用いて、

$$\Delta t' = \frac{l}{c}$$

である。このことは、アインシュタインの相対性原理の、光は A に向かっても、 B に向かっても S' に対して同じ速さで進むという解釈から言えることである。

同じことを S から見た場合は、光は光源の運動状態に無関係に一定の値 c で伝播するという光速度不変の原理より、 A に向かう光も、 B に向かう光も S から見て一定の速さ c で伝播することを観測することになる。この光が伝播している間も列車は走行しているから、光

がAに到達する時刻と、Bに到達する時刻はこの座標系Sから見て異なるはずである。光がBに到達する時間を Δt_B とすれば、光の経路長は $c\Delta t_B$ であり、その間に列車は $v\Delta t_B$ の距離を走行するから、全体の光の進んだ距離は列車の半分の長さ l と加えればよく、その距離が光の経路長に等しいから、

$$c\Delta t_B = l + v\Delta t_B$$

$$\Delta t_B = \frac{l}{c-v}$$

となる。反対にAは光に対して近づいていくから、光がAに到達する時間を Δt_A とすれば、

$$c\Delta t_A = l - v\Delta t_A$$

$$\Delta t_A = \frac{l}{c+v}$$

となる。したがって、

$$\Delta t_A < \Delta t_B$$

であり、Sから見れば、光は列車の両端に同時に到達しないことがわかる。このことは、座標系を指定しない限り同時という概念は意味のないものであることを示す。

(2) 運動方向と垂直に伝播する光の運動に対する列車の思考実験

次に列車の光源Lが床にあり、床から天井までの長さを k とし、光が天井にある鏡Mに反射して戻ってくる場合を S', S で観測することにしよう。

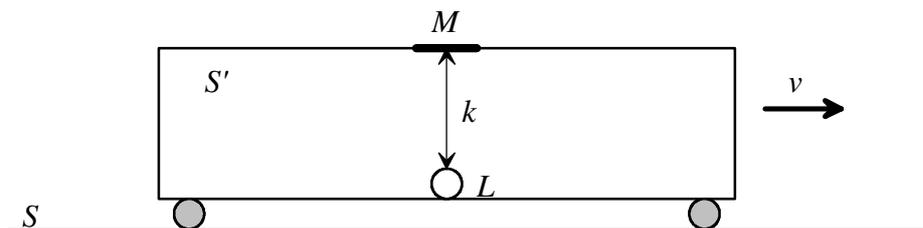


図4.2 光が列車の運動方向と垂直に放射される場合の思考実験

S' から見て光の往復時間 $\Delta t'$ は、光は真上に上昇し、真下に降下するように観測されるから、

$$\Delta t' = \frac{2k}{c}$$

である。同じことを S から見れば、光は斜めに上昇し、斜めに降下するように見えるであろう(図4.3)。

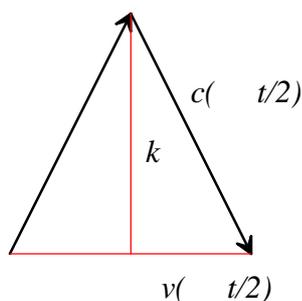


図4.3 光の経路

光の往復時間 Δt は、

$$\left(c\frac{\Delta t}{2}\right)^2 = k^2 + \left(v\frac{\Delta t}{2}\right)^2$$

$$\left(\frac{\Delta t}{2}\right)^2(c^2 - v^2) = k^2$$

$$\frac{\Delta t}{2} = \frac{k}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

$$\Delta t = \frac{2k}{c\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$\Delta t = \frac{2k/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

である。したがって、 $\Delta t'$ と Δt の関係は、

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

であり、運動している座標系の時間は運動していない座標系の時間より、ゆっくり進むのである。

特殊相対性理論は、これ以外にもいろいろ書かれているが、最も基本的な概念を知るにはこれだけで十分であり、その間違いを指摘するのもこれだけで十分である。特殊相対性理論は間違っているから、それ以降の理論も全て間違っているので、これ以外のことについては言及する必要はないだろう。

4.5 特殊相対性理論の座標系に対する認識

アインシュタインはその論文の中で、慣性系や慣性座標系という言葉を使わずに、「お互いに等速運動をしている二つの座標系」とか、「ニュートンの力学の方程式がよい近似で成り立つような座標系（"定常"系）」という言葉を使った。この当時に慣性系とか慣性座標系という言葉は既にあったであろうに、そのような言葉は使っていない。どうして慣性系という言葉を使わずにこのような曖昧な表現を使ったのだろうか。

アインシュタインは、特殊相対性理論の論文（「運動する物体の電気力学について」が正式名称）の序文において、

「力学の方程式が成り立つすべての座標系に対して、電気力学や光学の法則がいつも同じ形で成り立つと考えられる」

と推測し、このような推測を相対性原理とよんだ。このような考えはローレンツによっても述べられていた。しかしながら、このような説明は、命題としては甚だ不適切であろう。アインシュタインはこの論文の中で、時間の定め方についてはかなり詳しく述べているのに、仮定である相対性原理についての記述は極わずかである。

「力学の方程式が成り立つすべての座標系」という曖昧な表現は、理論の曖昧さに直結する。実際、この曖昧な認識によって相対性理論は誤りを犯しているのである。アインシュタインによる相対性原理は曖昧に表現されているので、この論文の読み手には少なからず推測が必要である。われわれはやむを得ず推測しなければならない。「力学の方程式が成り立つすべての座標系」というのはガリレイの慣性座標系のことであろうか。このように解釈すれば、アインシュタインの相対性原理は、

「ガリレイの慣性座標系に対して、電気力学や光学の法則がいつも同じ形で成り立つ」

ということになるであろう。アインシュタインは、この論文の中で次のような第二の要請もつけ加えている。

「光は常に真空中を一定の速さ c で伝播し、この速さは光源の運動状態には無関係である。」

この第二の要請は、光速度不変の原理などとよばれているものである。アインシュタインはこの二つの要請を述べた後に次のように言っている。

「これは、ちょっと考えると、第一の要請とは矛盾するように見えるかもしれない。しかしこれら二つの要請は、静止物体に対するマクスウェルの理論にもとづいて、運動物体の電気力学を簡単にかつ一貫して建設するためには十分である。」

「ちょっと考えると、第一の要請とは矛盾するように見えるかもしれない」というのであれば、よく考えると矛盾するようには見えなはずである。もし、アインシュタインが自分が持ち出した仮定が相互に矛盾していないという確信があったならば、そのことについて述べているであろうし、述べるべきである。このことがなされていないということは、アインシュタインは自ら、自分の仮定は相互に矛盾するかもしれないと認めているのである。

理論構築のために持ち出す仮定が相互に矛盾しているのであれば、その後の結論がどんなに簡単かつ一貫して建設されようとも、まったく無意味である。

この「ちょっと考えると、第一の要請とは矛盾するように見えるかもしれない」ということはどういうことか。「力学の方程式が成り立つすべての座標系」というのがガリレイの慣性座標系のことであると解釈するならば、ガリレイ変換可能である。しかし、光速度不変の原理はガリレイ変換可能ではないことを示す。したがって、「ガリレイの慣性座標系に対して、電気力学や光学の法則がいつも同じ形で成り立つ」ということは矛盾していることになる。このことが、アインシュタインがいう「ちょっと考えると」ということなのであろう。ではよく考えるとどうなのであろうか。このことを考えるため次の思考実験を行うことにしよう。

(1) トロッコの思考実験

いま、剛体と考えることができる3台のトロッコ A, M, B があるとす。これらのトロッコは別の"定常"の座標系 S から見て一定の速

度 v で直線上を運動しているものとする。中央のトロツコ M には光源 L があり、その光速は c とし、中央のトロツコ M から等距離 l で別のトロツコ A, B があり、3台のトロツコは S から見て A から B の方向に進行しているものとし、それぞれのトロツコを基準にした"定常"の座標系を S'_A, S'_M, S'_B とする。距離 l は光の伝播現象を問題にできるように十分に長いものとし、3台のトロツコの長さはこの距離に対して無視できるほど短く、質量は小さいとする。

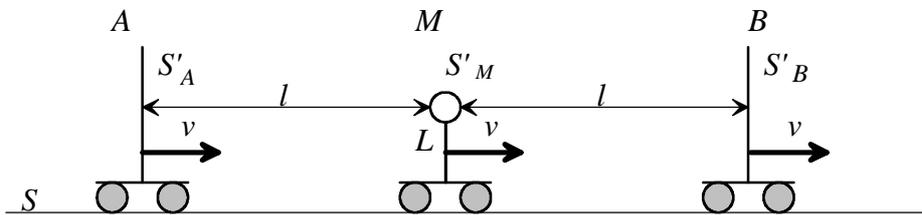


図4.4 トロツコの思考実験

このような実験装置において、中央のトロツコ M の光源 L から光を発するとき、 S から見た場合と S'_A, S'_M, S'_B から見た場合を比較することにしよう。

S から見た場合は、光は光源の運動状態に無関係に一定の値 c で伝播するという光速不変の原理より、 A に向かう光も、 B に向かう光も S から見て一定の速さ c で伝播することを観測することになる。この光が伝播している間もトロツコは走行しているから、光が A に到達する時刻と、 B に到達する時刻はこの座標系 S から見て異なるはずである。光が B に到達する時間を Δt_B とすれば、光の経路長は $c\Delta t_B$ であり、その間にトロツコは $v\Delta t_B$ の距離を走行するから、全体の光の進んだ距離はトロツコ間の長さ l と加えればよく、その距離が光の経路長に等しいから、

$$c\Delta t_B = l + v\Delta t_B$$

$$\Delta t_B = \frac{l}{c-v}$$

となる。反対にAは光に対して近づいていくから、光がAに到達する時間を Δt_A とすれば、

$$c\Delta t_A = l - v\Delta t_A$$

$$\Delta t_A = \frac{l}{c+v}$$

となる。したがって、

$$\Delta t_A < \Delta t_B$$

であり、Sから見れば、光はA,Bのトロッコに同時に到達しないことがわかる。このことは列車の思考実験とまったく同じ結果である。

次に S'_A, S'_M, S'_B から見た場合を考える。光がA,Bに到達する時間はどのようになるのだろうか。 S'_A, S'_M, S'_B をガリレイの慣性座標系と考えれば、4.2(3)で述べたように「ガリレイの慣性座標系に対して、相対速度ゼロの一群の座標系は同一のガリレイの慣性座標系である」から、 S'_A, S'_M, S'_B は同一のガリレイの慣性座標系 S' と見なすことができる。この慣性系を"定常"の座標系であると見なせば、光がA,Bに到達する時間はそれぞれ等しく、この座標系の時間 $\Delta t'$ を用いて、

$$\Delta t' = \frac{l}{c}$$

である。このことは、"定常"系に対するアインシュタインの相対性原理の、光はAに向かっても、Bに向かっても S' に対して同じ速さで進むという解釈から言えることである。このとき S'_M から観測すれば、光はA,Bに同時に到達することを観測することになる。しかし、光速度不変の原理の述べることは、光は運動物体の速度に関係なく一定の速さ c で伝播するということであるから、トロッコ M からの光は S から見て、全方向に c で放射され、この間にもトロッコ A, M, B は走行しているので、 S'_M から見て、光の速度は方向によって異なってくるはずである。すなわち、 S'_M から見て、光の相対速度はA方向へは速く、B方向へは遅くなることを観測する。 A, M と M, B の間の相対距離は一定に保たれているから、BよりAに光が早く到達することを観測することになる。勿論、このことは S から見ても同じである。

相対論者が言うように、 S'_M から見て光は一定の速度 c で伝播するとすれば、光がA,Bに同時に到達することになるが、まともに考えれば、このとき S から見て、光はA方向にゆっくり進み、B方向へは速く進んだということになる。光がこのように運動するとすれば、光速度不変の原理に矛盾していることになる。相対論者は、このような場合でも、 S から見て、光の速度は方向によらず c で、 S'_M から見て c であると主張するのであるが、このような論理はすぐに否定することができる。

トロッコ M が単独に座標系 S に対して一定の速度 v で直線上を走行しているものとする。 M から光を発する瞬間の M の S における位置を o とし、トロッコ M の運動方向の前後に o との相対位置を示す変数を設定する。後の点を a 、前の点を b とする。光速度不変の原理により、光が a, b に同時に到達するための条件は、 o と a の距離を \overline{oa} 、 o と b の距離を \overline{ob} とすれば、

$$\overline{oa} = \overline{ob}$$

である。

次にトロッコ A, M, B よりなる上記の実験装置において、光を発する位置を同じ o として、同じ実験を行う。 S において、 o と A の距離を \overline{oA} 、 o と B の距離を \overline{oB} とする。光を発する瞬間において、 S から観測して、 \overline{oA} と \overline{oB} の関係は、

$$\overline{oA} = \overline{oB}$$

である。光を発した後の関係は、常に、

$$\overline{oA} < \overline{oB}$$

である。トロッコ M から発する光の運動が、離れた場所にあるトロッコ A, B の影響を受けることはありえないから、この光の運動は M を単独に走行させた場合と同じである。したがって、 S から見て、光が S 上の位置において、同時に到達するための条件は、 $\overline{oa} = \overline{ob}$ であるから、トロッコ A, B に光が同時に到達するためには、

$$\overline{oA} = \overline{oB}$$

でなければならない。一方、光を発した後の関係は、常に $\overline{oA} < \overline{oB}$ であるから、光がトロッコ A, B に同時に到達する点は、 S には存在しない。また、トロッコ M などに設定された座標系 S' は S の座標系内に存在していると見なすことができるから、 S' においても光がトロッコ A, B に同時に到達する点は存在しない。

したがって、光が S'_M から見て、 A, B の方向へ同じ速さで進むということはない。特殊相対性理論は列車の思考実験とトロツコの思考実験といった別々の思考実験を同一の実験であると見なしたことによって生じたものにすぎない。別々の実験であれば、それぞれで観測した結果が異なるのは当然である。列車の思考実験とトロツコの思考実験には光の伝播経路の状態の違いがあり、特殊相対性理論はこのことを考慮していない。

普通の理論であれば、このように説明すれば十分であるが、特殊相対性理論のような混乱した理論を好む人は、このような説明でも満足しないだろう。列車の思考実験において、彼らは、

「 S' から見て光は A, B に同時に到達するが、 S から見れば同時に到達しない」

ということ肯定する人たちなのだから。仕方がないから説明を続けることにしよう。列車の思考実験において、「 S' から見て光は A, B に同時に到達するが、 S から見れば同時に到達しない」ということは、第1章で発見した共通時間を用いれば否定できるものである。 S' で使う時間と S で使う時間を同一の時間である共通時間を用いれば、同じ現象を観測して、 S' と S で時間の値が違うということはありません。同じ時間を用いているのであるから、同じ値を示すのは当然だからである。したがって、列車の思考実験において、 S' から見て光が A, B に同時に到達するならば、 S から見ても光は A, B に同時に到達する。

結果として、 S'_A, S'_M, S'_B というものは同一のガリレイの慣性座標系 S' と見なすことはできない。光は S'_M から見て全方向に同一の速さで進むということはない。

光を運動物体から放射するとその運動物体から見て、その光の速度は方向によらないということはない。例えば、時速100km/hで走

っている自動車のヘッドライトの光は、地上にいる人から見れば、 $100\text{km/h} + c$ の速度で観測されることはない。地上から見て c である。このとき自動車から見て自動車の光は前方に、 $c - 100\text{km/h}$ で走っていることを観測することになる。それは光に対して自動車が相対的に動いていることになるのだから。

光というものの速度は、日常経験する速度と比べて、とても速いから、光について何かいっても、空想的な感じを受け、今一説得力に欠ける。このトロツコの思考実験も実際にできるような実験ではないし、相対論者には論理は通用しないから困ってしまう。そこで、光というものを利用せずに、このようなことを認識できる実例を示すしかないであろう。光というものには、ガリレイ変換が適用できないが、ガリレイ変換が適用できないものは、光や電気だけではない。力学現象だって適用できないものもある。例えば、水の波を扱うのは光学でもなければ、電気力学でもなく、力学であろう。ガリレイ変換が適用できないものは、光や電気であるという表現は正しくなく、本当は波に対しては適用できないということなのである。

アインシュタインの相対性原理が全ての物理系に対して適用できるというのであれば、当然、水の波や音の波についても適用できなければならない。次は水の波を用いて座標系というものの認識を深めることにしよう。

(2) 平行に走るボート間の波

いま、湖の上に2隻のボート A, B が一定の距離 l をおいて岸に対して同一の速度 v で平行に走っているとす。ボート A, B のそれぞれに座標系 S_A, S_B を設置し、地球重力の影響を無視すれば、 S_A, S_B はガリレイの慣性座標系であると見なすことができる。

4.2 (3)で述べたように、1つのガリレイの慣性座標系に対して相対速度ゼロの一群の座標系は同一のガリレイの慣性座標系である

というガリレイの慣性座標系の定義があるから、 S_A, S_B は同一のガリレイの慣性座標系 S' であると見なすことができる。

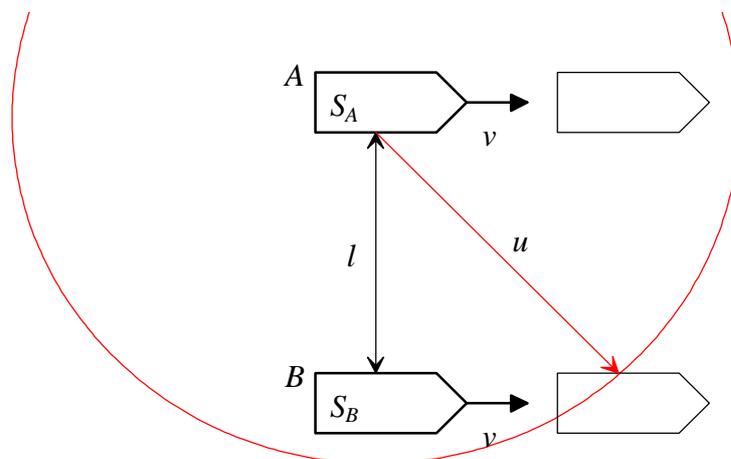


図4.5 平行に走るボート間の波の伝播

ボート A, B の上から、お互いのボートへ向けてキャッチボールをすれば、ボートの上にいる人は、ボートが走っているということ意識せずにキャッチボールをすることができる。このような現象から、ボート A, B は同一のガリレイの慣性座標系 S' 内にあるのだと見なすことができる。勿論、空気抵抗などは無視している。

次にボート A の人が湖の水面を叩き、それによってできる水の波がボート B に届く現象を岸に固定した慣性座標系 S から観測する。簡単化のために、ボートが走ることによる湖の水面の乱れは無視されるものとし、水面を叩くことによって生じる波は、垂直に石が落下するとき起こる波のように円形に広がっていくものとする。このとき、波の伝播速度を u とし、波がボート B に到達する時間を Δt とすれば、

$$u^2(\Delta t)^2 = l^2 + v^2(\Delta t)^2$$

$$\Delta t = \frac{l}{\sqrt{u^2 - v^2}}$$

$$\Delta t = \frac{l/u}{\sqrt{1-v^2/u^2}} \quad (3.1)$$

となる。

今度は、ボートA,Bが岸に対して相対速度ゼロ、すなわち静止している場合を考える。同じようにボートA,B間の距離が l で、ボートAから水面を叩きボートBに波が伝播する時間を $\Delta t'$ とすれば、

$$\Delta t' = \frac{l}{u} \quad (3.2)$$

となる。

1つのガリレイの慣性座標系に対して、相対速度ゼロの一群の座標系は同一のガリレイの慣性座標系であるという定義が、波の伝播現象においても成立すると仮定すると、式(3.1)の Δt と式(3.2)の $\Delta t'$ は等しくなければならないが、

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1-v^2/u^2}}$$

であり、両者は明らかに等しくない。したがって、

「1つのガリレイの慣性座標系に対して相対速度ゼロの一群の座標系は同一のガリレイの慣性座標系であるという定義は、波の伝播現象においては成立しない」

という結論が得られる。

ここで述べたことは、波の伝播現象を観察するとき、その伝播経路の状態が波の伝播現象に影響を与えるということである。そんなことは当たり前だと思われるかもしれない。しかし、特殊相対性理論では、光波は伝播経路の状態と関係なく一定の速度で伝播すると考えられているのである。波の伝播経路の状態を考えず、波の発生

源と波の受け手との間の相対速度で、その相互作用が表現できるといった考えは、確かに簡単ではあるが、現実世界を反映しないことは、ここで述べたことにより明らかである。

岸に対して静止しているボートの間に伝わる波の現象を太陽から観測すれば、岸もボートも湖面も静止しているわけではない。このとき地球上では、岸もボートも湖面も静止していると見なすことができる。慣性座標系という概念が必要になったのは、運動していると考えられる座標系を基準にして、運動を観測するとき、仮想的に静止していると考えることができる座標系との観測に違いが生じないということを示す必要があったからである。このような座標系に波の伝播現象を含めるには、波を伝える媒体が、その他の物質と相対速度ゼロであるならば、矛盾なく存在できるのである。したがって、アインシュタインの考えたような座標系は確かに存在している。

4.6 波を対象にできる慣性座標系

アインシュタインの光学や電気力学をも扱うことができるような座標系の認識は曖昧であるので、このような座標系をここで定義しておくことにしよう。

4.2(1)で述べたようにガリレイの慣性座標系は、

「ガリレイの慣性座標系とは慣性加速度が働いていない物体を基準とした座標系である。ただし、この座標系を用いて観測される現象の中には、光学、電磁気学などの波動の伝播現象は含めない」

と定義した。この定義の制限を撤廃したものが、波を対象にできる慣性座標系であると考えられる。この座標系を波動慣性座標系とよぶことにすれば、波動慣性座標系は、

「波動慣性座標系とは慣性加速度が働いていない物体を基準とした座標系である」

とすることができる。

このような座標系を確かめるには、波動（光波など）を伝播させ、この座標系から観測して、あらゆる方向へ同一の速さで伝播するならば、この座標系は波動慣性座標系であると認識することができる。

波動の伝播は一般に伝播経路の状態に依存する。したがって、波源と同一の速度（相対速度ゼロ）で伝播経路が運動しているならば、その空間は、波動慣性座標系であると見なせる。このような考えは"平行に走るボート間の波"の思考実験（実際に実験することもできるだろう）の考察によって得られたものである。

走行している船から放射される波が、船から見て、波の速さが方向によって異なるのは、波の伝播経路が船と相対速度ゼロではないからである。このことは光の波にも当てはまるであろう。走行している自動車から放射される光が、自動車から見て、光の速さが方向によって異なるのは、光の伝播経路と自動車の相対速度がゼロではないからである。

このような考察からガリレイの慣性座標系を波動慣性座標系と見なせるのは、ガリレイの慣性座標系の極近傍に限られるだろう。したがって、波動慣性座標系には、ガリレイの慣性座標系のような、

「ガリレイの慣性座標系に対して、等速直線運動するような座標系もガリレイの慣性座標系である」

「ガリレイの慣性座標系に対して、相対速度ゼロの一群の座標系は同一のガリレイの慣性座標系である」

といったことは当てはまらない。すなわち、

「波動慣性座標系に対して、等速直線運動するような座標系は波動慣性座標系と見なすことはできない。」

「波動慣性座標系に対して、相対速度ゼロの一群の座標系は、一般に、同一の波動慣性座標系ではない。同一の波動慣性座標系であるから見なすには、波動の伝播現象を用い、問題とする座標系間のあらゆる方向で、波の伝播の速度が同じでなければならない。」

4.7 光の伝播経路による随伴について

光が伝播経路の運動と一緒に動くということは、1845年にジョージ・ストークスによって、提唱されていたものである。その当時、光を伝播する媒体はエーテルと考えられていたが、ストークスの考えは、「エーテルは地球表面上では完全に地球と共に動き、表面から遠く離れたところでは地球と独立に動く」というものであった。このような考えに対しローレンツは、エーテルは地球表面のあらゆる点ではがれずに地球と一緒に動くことはないと指摘した。エーテルというものはご承知のように、誰も検出したことはない。それなのにどうしてローレンツはエーテルの特徴を知っているのだろうか。

エーテルというものは検出されていないから、そのようなものを物理学に持ち込むのは不適切であるという考えにより、エーテルというものは現代物理学からは排除されている。その代わりに導入されているのは電気力学などでお馴染みの場の概念である。電荷があれば、その周りには電場がある。質量があれば、その周りには重力場がある。

エーテルは地球に随伴されないかもしれないが、地球に随伴されるものはある。それは重力場である。地球の重力場は地球に随伴して動いている。このことは次の実験によって示すことができる。

いま、質量を持った物体 M が座標上の点 A に置かれているとする。次に、この物体 M を座標上の別の点 B に持っていったとする。もし、物体 M の重力場がこの物体に随伴しないならば、点 A の場所には、物体 M の重力場があるはずである。実験によれば、物体 M の重力場は点 A にはなく、点 B にある。したがって、物体が発生する重力場は、その物体に随伴する。

消去法で考えると、光が物体に随伴するとすれば、その物体の重力場に随伴するとはしか考えられない。重力場に入射した光が曲げられるということは、どのような根拠で実験しようとしたかに関わらず、実験事実である。重力場に入射した光が曲げられたということは光の速度が変化したということであり、動いている重力場によって、光の経路が影響を受けると考えることは、それほど突飛な発想ではない。

光が伝播経路の物体の運動に随伴しないという考えは、特殊相対性理論を擁護するものとされている。しかし、もし、光が伝播経路の物体の運動に随伴しないとすれば、マイケルソン=モーレーの実験は成立しえない。列車の思考実験とトロツコの思考実験の対比で明らかのように、光が伝播経路に随伴しないトロツコの思考実験では、光がトロツコ A, B に同時に到達することはあり得ない。逆に言えば、列車の思考実験で A, B に光が同時に到達するならば、光は伝播経路に随伴したことになる。

特殊相対性理論は、ある面では、光は運動物体に随伴しないと考えており、別の面では、随伴すると考えているから、もし、光が運動物体に随伴しないとすれば、特殊相対性理論をも否定することになるのである。

結局、光は運動物体に随伴するのか、しないのか。マイケルソン=モーレーの実験は光が運動物体に随伴したから、光の速度は方向によって違いがなかったのである。マイケルソン=モーレーの実験の示したことは、光は運動物体に随伴するという事だったのである。

4.8 絶対速度という概念

ガリレイ・ニュートンの慣性の法則は、物体に加速度が働いていない場合、その物体は静止か等速直線運動をしているということを述べるものであるが、この加速度という量が相対加速度であると考えれば、物体の静止や等速直線運動ということは意味を持たない。例えば、加速している列車から駅を見れば、駅には相対加速度が働いていることになるが、普通、駅は静止しているとみなされる。

慣性の法則に用いられる加速度が慣性加速度であれば、静止や等速直線運動ということは意味を持つ。この量を用いれば、動いているのは列車であって、駅ではないことをはっきり定量的に示すことができる。ニュートンは絶対空間に対する速度である絶対速度や絶対加速度というものを仮定することによって、このような問題に対処しようとしたが、その当時の知識では絶対速度というものを認識することは困難であった。

慣性速度という概念は、慣性加速度ゼロの状態を初期値とし、そこから慣性加速度が変化した場合の速度の変化量はどれだけかを示す量である。したがって、初期値における物体の速度はどれだけかといったことは、この慣性速度を利用してはわからない。絶対速度というものに何らかの実質的な意味を与えるには、この初期状態の物体の速度を求める方法がなければならない。このような方法はあるのだろうか。

「いま、宇宙にたった一つの物体しかないと想像してみる。このとき、その物体の位置とか速度という概念に何か意味があるのだろうか。それは絶対空間に対しての位置とか速度として定義されるとニュートンは考えた。しかし、その絶対空間の存在をどうして検知できるだろうか。われわれはつねに位置や速度を他の物体との関係で定義している。だが宇宙にたった一つしか物体が存在しなければ、比較する対象がないのだから位置とか速度という概念に意味は

ない。つまり、空間とは相対的なものであって、絶対空間は存在しない」ということがバークレー僧正らの考えであり、現代物理学の主流でもある。

ポアンカレは次のようにいっている。「静止している観測者にとっても、またそれに対して一様な平行移動をしている観測者にとっても、いろいろの物理現象の法則は同一であるというのが相対性原理である。したがって、そういう一様な運動をしているかどうかを識別する方法はないし、またありえない」このことはアインシュタインの立場でもある。

バークレー僧正らの考えが誤っていることを示すには、絶対空間の存在を検知できればよい。そのためには宇宙にたった一つの物体しかないとき、その速度を検知する方法があればよい。もし、その速度が検知できるならば、その速度は絶対速度とよべるものである。

光の速度はその発光体の速度に依存しない。このような性質は音波でも存在し、波動の一般的な性質である。音はその伝播媒体として、空気などを必要とするが、光は何もないものと考えられている真空においても伝播することが可能であるので、測定の道具として光を用いることにしよう。

初めに、宇宙にたった一つの宇宙船が存在しているものとする。外部からの重力はいっさいないものとし、この宇宙船内に設置されている加速度計によって、慣性加速度はゼロであることがわかるものとする。したがって、この宇宙船は静止か一様な等速直線運動をしているものとみなすことができる。この一つの宇宙船はいくつかの部分からなっているものとし、月着陸船のようにその一部分を切り離すことができるものとする。宇宙船の本体を単に宇宙船とよび、切り離す事ができる部分を着陸船とよぶことにする。宇宙船には発光装置があり、宇宙船と着陸船には同じ特性をもった時計があり、正確に時間を測定できるものとする。

ここから、着陸船を切り離し、宇宙船自身の重力が無視できるほどの遠方へ着陸船を離し、着陸船のエンジンを制御することによっ

て、宇宙船と着陸船の相対速度がゼロで、相対距離が一定になるように保つ。ここで、どのようにして一定の距離を保つのかということとは問題であるが、例えば、軽く強い糸のようなものを使えば、距離を一定に保つことができると仮定する。この後、宇宙船から光を発し、着陸船に光が到達する時間を測定する。このような操作を様々な方向で繰り返すことによって、どの方向にどのくらいの速度で進行しているのかを求めることができる。光は宇宙船の速度に依存しないものであり、着陸船のあるなしが光の運動に影響を与えることは考えられないからである。もし、あらゆる方向へ発した光の到達時間が同じであるならば、宇宙船は静止していると考えることができる。

このような思考実験が成り立たないと主張するとすれば、その根拠はマイケルソン＝モーレーの実験結果を用いるものであろう。マイケルソン＝モーレーの実験はまさに地球の絶対速度を求めるという企てであり、この思考実験の方法と基本的に同じようなものである。ただし、この思考実験とマイケルソン＝モーレーの実験の違いは、光の伝播経路の状態の違いにあり、この認識が不十分であるため、相対論のような誤った理論が生まれた。すなわち、マイケルソン＝モーレーの実験では、その伝播経路も発光体と同様に運動しているのに対し、宇宙船の思考実験では運動していないのである。この伝播経路の運動ということは、その重力場の運動ということであり、重力場が運動することによって光の運動に何らかの影響を与えたと考えるべきであり、事実その違いがマイケルソン＝モーレーの実験によって明らかにされたのである。

宇宙船の思考実験のようなことが実際に行えたとすれば、絶対空間、絶対静止、絶対速度といったものに、実質的意味を与えることができると考えられる。このように考えると物体の位置とか運動ということは、絶対的なものなのであり、決して相対的ではない。しかし、重力のない空間や他に何も無い宇宙などといったものを、実現することは不可能であるので、当然のことながらこの実験を実際に行うことはできない。ただし、任意の慣性座標系内において、こ

のような実験を行うことは可能なのであって、その場合には任意の慣性座標系を絶対空間と見なすことができると考えられる。すなわち、任意の慣性座標系内で等速直線運動する物体の速度を他の物体や座標系との相対的変位を比較するということをせずに、測定することが可能であるということである。こうすることによって、相対的ではない絶対的な速度を得ることができるのである。この速度が慣性速度というものである。

4.9 加速の方法の種類

慣性加速度を考えると、重力による加速と、非重力による加速では異なった値を示す。重力のみによる加速として、よく知られている自由落下では落下体内部に置かれた加速度計の値はまったく変化しないことが経験的に知られているからである。このことから物体の加速の方法は重力による加速と非重力による加速に大別され、区別して扱わねばならないものであると考えられる。

慣性加速度や慣性速度は加速される物体と加速されない物体で異なった値を示すから、この値を用いれば、それらの物体の状態について比較することができる。もし、加速される物体が慣性速度に応じて何らかの変化が生じるとすれば、非重力による加速と重力による加速では、違いが生じると考えることができる。このような違いは相対速度を用いては表現できないものである。相対速度を用いる方法では、非重力による加速と重力による加速に違いが生じないからである。

4.10 限界速度について

相対論によれば、いかなる物体も光速を超えることはできないといわれる。相対論は相対速度の適用範囲を逸脱しているという点でも、根本的に誤っているから、このような結論など意味をなさない

が、物体の速度に何らかの限界があるという考えは、まったくばかげているとは言えない。

例えば、風速 w の風の中を走るヨットは、どんなにがんばっても w を超えることはできない。また、ヨットの速度が小さければ、ヨットは一次関数的（加えられる風による力と加速度が比例する）に加速されるが、ヨットの速度が w に近づくにつれて、徐々に加速されにくくなる。このような場合のグラフは、図4.6のように書くことができる。

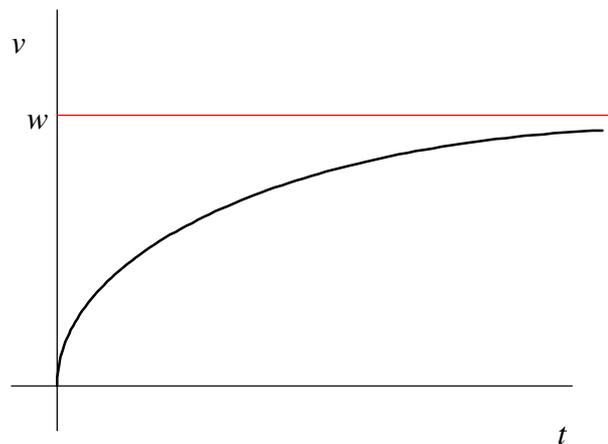


図4.6 一定の風速の中で運動するヨットのグラフ

この場合、力を伝播する媒体は、風ということになるが、一般に何らかの効果を伝えようとするには、有限の速度で行われる。もし、力を伝播する媒体の速度が無限大ということになれば、力は瞬間的に伝わることになるが、このような考えはオカルト的で、あまり現実的ではない。おそらく、力を伝播する効果というのは、有限の速度を持っているのだろう。もし、その速度が光速であるということであれば、限界速度は、光の速度であるという考えは説得力を持っている。もし、物体の速度が光速を超えたとすれば、加速させようとする効果は、その物体に到達できなくなるからである。しかし、このような考えは、加速させようとする力の効果が発生する源から、加速させられる物体が遠ざかっていく場合にのみ適用できる

考えである。逆に加速させられる物体が、加速させようとする力の効果が発生する源へ近づいていく場合では、どんな速度になろうとも、その加速させる効果が物体に到達できないということはない。前者は斥力で後者は引力の場合である。

重い物体を加速させるには、軽い物体を加速させるよりも大きな力がある。だから、無限大の重さの物体を加速させるには、無限大の力がある。したがって、無限大の重さの物体は加速させることはできない。一方、地球上で物体を落下させると、重い物体も軽い物体も同時に落ちる。この考えを乱暴に拡張すれば、無限大の重さの物体も無限小の重さの物体も同時に落ちる。したがって、重力によれば、無限大の重さの物体も無限小の重さの物体と同じように加速できるということになる。このような論理は乱暴すぎるが、もし、物体の速度に限界速度のようなものが存在するとし、それが慣性速度と何らかの関数関係を持つとすれば、重力によって加速される場合は、慣性速度は、変化しないのであるから、限界速度といったものは存在しないという結論が得られることになるだろう。

