

『相対論の正しい間違え方』の勘違い

須藤晃俊

『相対論の正しい間違え方』は 1995 年から 3 回、1999 年から 13 回『パリティ』誌に掲載され、著者である松田卓也教授と木下篤哉氏(以下では松田・木下氏と略す)が相対論に対する勘違いや初歩的な間違いをしている著書や読者の反論や珍説を例に取りあげ、彼らの理解や解釈が間違っていることを懇切丁寧に説明した。それら一連の議論を読み返してみると、相対論が間違っている、あるいはおかしいと主張する人々の多くは相対論の理解度が低く、松田・木下氏が相対論を擁護し、それらの人々の主張や反論を退けたとの印象が強い。

また相対論の勉強を始めて日の浅い学生や一応の勉強はしたが、何かすっきりしないものを抱えた読者にとっては、松田・木下氏の解説は理解を助長する側面が甚大であったと筆者は考えている。このような記事を掲載し続けた『パリティ』誌の英断には、高い評価を下すべきであろう。

さて私事ごとで恐縮だが、筆者も以前原田稔氏や松田・木下氏に対する私見を述べる機会をいただいた*1。

しかし、これら一連の議論も最近では終息したかのようだ。はっきりしない部分をいまだ多く残したままこのユニークな企画が終了してしまうのは、誠に残念である。そこで、今回は筆者が相対論や松田・木下氏の説明に対し疑念を呈し、議論を再燃させたいと考えた。

松田・木下氏は相対論を充分理解していると筆者は考えているが、今回は両氏がローレンツ収縮の考えを誤解していると思われる箇所を「エーテル編」で、また両氏が回答を曖昧にした“ガレージのパラドックス”と同種の思考実験を「ローレンツ収縮編」で議論したい。

1. エーテル編

波としての光を伝える媒質としてのエーテルに対する地球の運動を検出しようとしたマイケルソン-モーリーの実験から期待された結果が検出できなかった状況は、「著名な 1887 年のマイケルソン-モーリーの実験結果は驚くべきものであり、当時の一般的な物理概念からすると説明が難しかった*2。」という文章に代表されている。

この状況を松田・木下氏は『相対論の正しい間違え方』(以下本書を『間違え方』と略す) 52 ページで、「エーテルに対して地球が止まっているという結果がでたからこそ混乱が生じたのだ。」と述べているが、これはマイケルソンが採用したストークスのエーテル随伴説のことであろうか？

確かにそれも1つの解釈だが、それでは説明できない現象があった訳で、当時の代表的な解釈は、むしろ次の2つであろう。

「エーテル擁護説」・・・「絶対静止エーテル」が存在しているにも係らずそれが検出できないとすると、地球はローレンツの収縮仮説に基づき、進行方向の長さが $\sqrt{1-(v/c)^2}$ 倍に収縮していると考えられる。地球上の観測者も含めたすべての物体が一様に収縮しているとすれば、観測者は静止と運動を区別する何の手立てもない。

「エーテル否定説」・・・真空が光を伝えると考えれば「絶対静止エーテル」なる概念は不必要となり、エーテルは単なる思考の産物となる。もしエーテルが存在しないならば、実験装置の中央に設置された光源(実際の装置とは異なるが、簡単のため今後も同様とする)から放出された光は、

光源に対して等方的に伝播し、光源から等距離にあり、かつ光源から互いに垂直方向に設置された2つの反射鏡A, Bに、絶対的同時刻に到着し、同時刻に戻ってくるから、マイケルソン-モーリーの実験で期待された効果が検出できなくても何の不思議もない。

ここで、「エーテル擁護説」における光の伝播は、アインシュタインが特殊相対論（以下では相対論と略す）を構築する際に要請した2つの原理（相対性原理と光速不変の原理）の内の後者に基づくものである。（本稿ではこの原理を「光速不変の原理Ⅰ」とする）

この「原理Ⅰ」をアインシュタインは、「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^{*3}。」と説明している。つまり、この光が伝播する空間には方向依存性があり、光は光源に対して非等方的に伝播する。

一方、「エーテル否定説」に基づく伝播では、光は反射鏡A, Bに絶対的同時刻に到着する。この場合の光の伝播をのちの議論のため、敢えてアприオリな等方的伝播（この原理を「光速不変の原理Ⅱ」とする）と強調しておく。

また、地球の実験室での光の伝播が、「光速不変の原理Ⅰ」とⅡのどちらかは確かめようがないにしても、光源から反射鏡までの距離（腕の長さ）を l 、光が往復に要する時間を t とすると、光速 c は $2l/t$ で求められ、この値は常に一定となる。（この原理を「光速不変の原理Ⅲ」とする）

マイケルソン-モーリーの実験結果について、松田・木下氏は『間違え方』6～8ページで相対性原理の立場から、「特殊相対論では、エーテルそのものが不必要になり、あらゆる慣性系はすべて対等となった。光速度はどの方向へでも同じ値 c であり、干渉縞が動くことは最初からありえない。」と説明している。（下線は筆者による）

松田・木下氏はこの場合「光速不変の原理Ⅱ」に基づく光の伝播を想定しているようだが、これではアインシュタインが相対論構築の際に要請した「光速不変の原理Ⅰ」が欠落しているし、二重星からやってくる光の速度がいつも一定で、光速が光源の速度に依存しないという観測結果と矛盾してしまう。また松田・木下氏は『間違え方』53ページで、「当時は光の粒子説も健在だったから、粒子派は単に速度の合成を考えていただろう。しかし、粒子説はその後、光の波の性質が確認されて19世紀半ばまでには消えていく。」と説明しているが、「光速不変の原理Ⅱ」に基づく光の伝播は、粒子としての光の伝播そのもので、「光速不変の原理Ⅱ」の採用はこの説明とも矛盾する。

松田・木下氏は『間違え方』21ページの「光速度不変編」でも、はじめに「特殊相対性理論の公理の1つに、真空中での光速度の不変がある。」と言いながら、それに続く光速度不変の説明では、「光速度の不変の検証は・・・19世紀とは比べものにならないほどの精密な測定が不可欠なのである。」とか「現在は光速度不変をもとにして長さが定義されるため、・・・」と本来の光速不変の原理についての説明をしていない。本来アインシュタインが原理として要請した光速不変の原理は「原理Ⅰ」なのに、松田・木下氏の説明は「光速不変の原理Ⅱ」やⅢに関するものになっている。

アインシュタインは相対論を導く際、相対性原理と光速不変の原理を要請し、本来両者はその重要性において同格だったはずだが、どうもアインシュタインといい、松田・木下氏といい、相対性原理の方に主軸を移したような発言が多く、「光速不変の原理Ⅰ」が軽視されているようである。

これは『間違え方』60ページ、〈表1〉「ローレンツの収縮仮説と特殊相対論の比較」の説明にも現れる。以下で松田・木下氏の数式を提示するが、ここで t_1 はエーテルの流れと平行に進む光の往復

時間, t_2 はエーテルの流れと垂直に進む光の往復時間, v は観測装置のエーテルに対する速度, l は2本の腕の長さとする。

先ず松田・木下氏は<表1>の立場2(相対論の立場に立つ実験室の観測者が, 室内の光の伝播を観測する)の説明で, 「観測装置はどの方向にも伸びも縮みもしないし, 方向によって光速も変化しない。」として, 実験室の光の往復時間として次の式を導いている。(下線は筆者による)

$$t = \frac{2l}{c} \quad (1-1)$$

この場合の光の伝播については, 松田・木下氏が「光速不変の原理Ⅱ」を想定していると判断して間違いないと思う。

次の立場1(ローレンツの収縮仮説の立場に立つ実験室内の観測者が, 室内の光の伝播を観測する)では, 次の往復時間を予想する。

$$t_1 = \frac{2l}{c} \frac{1}{1-(v/c)^2} \quad (1-2)$$

$$t_2 = \frac{2l}{c} \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \quad (1-3)$$

また, 松田・木下氏は立場1と立場3(ローレンツの収縮仮説の立場に立つエーテル静止系の観測者が, 地球の実験室内の光の伝播を観測する)の観測者から見た光の往復時間として, 次の式を提示している。

$$t = \frac{2l}{c} \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \quad (1-4)$$

しかし, 立場1での式(1-4)はただけでない。この式はローレンツの収縮仮説を擁護している実験室内の観測者が求める光の往復時間だが, この式を導く際にすでに運動系(地球)のエーテルに対する収縮は考慮されているのに対し, 時間の遅れは考慮されていない。立場1と立場3で光の往復時間が等しいことからして, 実験室の観測者は地球の運動によって時間の経過が遅れた時計を用いた計測をしていない。立場1の式(1-4)は運動している状態で, エーテル静止系の時計と同じテンポで時を刻む別の時計を用いて計測した値である。つまり, 立場1の式(1-4)は地球上で経過する時間が遅れることを示す式ではなく, 単に使用した時計が時を刻むテンポが早いために, 予測した時間よりも多くの時間が経過したことを示す式である。また, 式(1-4)は実験室の観測者の予測値なのか, 実験による実測値かが明確でない。本来実験室内での予測値であれば, 式(1-2)と式(1-3)が正しいし, 実測値であれば式(1-1)となり, 式(1-4)が得られることはない。以上の考察から, 筆者は松田・木下氏が式(1-4)を立場1の中に組み込んだのは, 両氏の勘違いであると指摘したい。

また, 松田・木下氏は, エーテルに対して運動する地球の実験室が, ローレンツ収縮をして時間の経過も遅れるのが, あたかも実験室の観測者にとって観測が可能であるかのような表現をしている^{*4}。

これは筆者の誤解と考えたいが, 同様な箇所は松田・二間瀬教授による著書^{*5}にも見られる。

もし松田・木下氏がこのように説明しているとすれば, それはローレンツ収縮の正しい解釈とはいえない。内山博士^{*6}や中野博士^{*7}も, ローレンツ収縮や運動系の時間の遅れは, エーテル静止系から見たときに検出できる現象であると説明している。(勿論松田・木下氏も静止系から見た場合に言及している)

またローレンツ本人も、「観測者はかれの系がエーテル中を(かれ自身とともに)動いていることや、かれの棒や時計の誤差などについてはまったく気づかないでいる、ということをおぼろげに忘れないことが大切である*8。」と強調している。

ところで、また式(1-1)に戻るが、アインシュタイン自身、光が反射鏡A、Bに到着した時間が絶対的同時刻か否かの問題には明確な回答を与えていないので、彼が地球の実験室における光の伝播が本当に「光速不変の原理Ⅱ」に基づくかと捉えていたかははっきりしない。問題の核心部分を曖昧にしておくのはアインシュタインの常套手段であるが、筆者は式(1-1)の光の伝播は「光速不変の原理Ⅱ」ではなく、後に論じる「光速不変の原理Ⅳ」に基づく伝播と考える方が妥当だと思う。

ところで、アインシュタインが相対論を構築する際にマイケルソン-モーリーの実験が及ぼした影響については、『「マイケルソンの実験が、私の仕事にかなり大きな影響を及ぼしたことは疑いが無い」というものから、「相対論の発見にたいして、マイケルソン-モーリーの実験が及ぼした影響は無視できる程度である」にまで及ぶ*9』ため、真相は筆者にも定かでない。

しかし、当時のアインシュタインの目的は、ローレンツやポアンカレのようにマイケルソン-モーリーの実験で期待された効果が生じなかった理由を説明することではなく、電磁気学に現れる非対称を解消するための座標系間の変換式を求めることであつたから、その意味ではアインシュタインがマイケルソン-モーリーの実験で期待された効果が生じなかった理由を説明しなければならない義務はない。この件に関して科学史家のミラーは次のように述べている*10。

「アインシュタインの相対論の二つの公理は、エーテルの流れの実験の不成功を説明しないし、同じことであるが、なぜ測定された光速がいつも c になるのか、・・・定義によって、すべての慣性基準系の空間は、光の伝播にたいし一様にして等方的なのである。」(下線は筆者による)

アインシュタインは、マイケルソン-モーリーの実験において、光源から放出された光が反射鏡A、Bに到達した時間が、絶対的同時刻であつたか否かの問題には回答せず、2方向の光が同時刻に戻ってきた場合には、光が反射鏡に到着したときを定義によって同時刻と決めて、その座標系の時計の時刻を合わせようと提案した。(「同時刻の相対性」*11)

このように同時刻をすべての慣性系で独自に定義すれば、光は光源から等距離にある反射鏡A、Bに同時刻に到達することになるが、アインシュタインはその意味において、光は光源に対して等方的に伝播すると主張したのである。(この原理を「光速不変の原理Ⅳ」とする)

そして、アインシュタインの同時刻の操作的定義の導入によって、従来光が非等方的に伝播していた慣性系のすべてが、光が等方的に伝播する慣性系に組み替えられたが、物理学者はこのことを認識しているのだろうか？(物理学者への質問1)

この「原理Ⅳ」はアприオリな等方的伝播である「光速不変の原理Ⅱ」と、非等方的伝播である「光速不変の原理Ⅰ」の両者を強引に一つに統合した恐るべき原理なのである。

しかし、アインシュタインがマイケルソン-モーリーの実験結果について、「私の推測では、そうなるのは当然、とすでに思いこんでいたのです*12。」と主張するに及んでは、アインシュタインはどうして当然なのか、それをもっと明解に説明する義務が生じてくると思う。

ホルトンはその大物理学者ローレンツがレーリー卿にあてた手紙を紹介している。「この矛盾の解明ではまったく途方にくれています。だからといって、もしフレネルの[エーテル]理論を放棄することになれば、われわれは満足な理論をなにひとつもたぬことになると思われまふ・・・*13。」

ことはこれほど重大なのに、アインシュタインは相対論を構築する際に、当時存在すると考えられ

ていたエーテルを不必要なものと切り捨てた。そして、本来それが存在するか否かの議論から、エーテルの概念や仮説の導入が物理学にとって必要か否かの議論に問題をすり替えた。

ここでエーテルの風の存在を立証する実験は、光の伝播の方向依存性を決定する実験と同じであることを確認しておく。つまり、アインシュタインがエーテルを切り捨てたとしても、光源から放出された光が反射鏡A, Bに絶対的同時刻に到着するか否かの問題には決着を付けなければならない。アインシュタインの「光速不変の原理Ⅳ」は、この問いには何の回答も与えないのである。

科学史家広重徹は論文「1900年前後のエーテル」の中で、アインシュタインの1909年の「輻射の本質と構成についての我々の見解の発展」の論文に言及し、アインシュタインの言葉を次のように紹介している^{*14}。

「“相対性原理を受け入れるならば、エーテルに対する関係によって静止系を定めることはそもそも全く不自然であり、したがって、エーテル仮説を捨ててのみ満足な理論に達することができる”と主張している。そしてさらに、このようにエーテルを捨てれば、“光を構成する電磁場はもはや仮説的な媒質の状態ではなく、光源からニュートンの光の放射説におけるようにして送り出される自立した形象として現われる”と述べている。これらのアインシュタインの言明について注意すべきことは、相対性原理を要請することが考えの展開の出発点であるということである。」(下線は筆者による)

当時の相対性原理はニュートンの力学観に立脚するもので、すべての慣性系で物理法則は同一の形をとるという原理に光の伝播法則まで適用すれば、光源から放出される光は光源に対してアプリアリオリな等方的伝播をすることになる。

これは光を粒子と考えたときの伝播であり、この場合光の速度は光源の速度に依存することになるが、そのように考えると説明できない実験結果があった訳で、アインシュタインが相対性原理の立場から、光は「光速不変の原理Ⅱ」に基づくアプリアリオリな等方的伝播をすると考えて“当然のこと”と言ったとすれば、これは「光速不変の原理Ⅰ」を無視するとても受け入れ難い発言なのである。結局、相対論を構築した1905年頃のアインシュタインにとって、光が等方的に伝播するというのは「光速不変の原理Ⅳ」の意味であったと思われるが、1909年頃になると「光速不変の原理Ⅱ」の意味合いが強くなっている。

アインシュタインの親しい友人であったエーレンフェストは、「エーテルを基礎におく波動論はローレンツによって、すべてにわたって満足な解答を与えうる理論に仕上げられたが、最近エーテルを否定し、放射説にもどろうという理論が2つ現われたとして、アインシュタインとリッツの比較をしたのである。まずアインシュタインは、光の粒子の運動学に変更を加えて、その速度は光源の運動によらないという要請をおくことによって、ローレンツ理論とまったく同じ結論を与える理論をつくりあげた^{*15}。」と説明している。(下線は筆者による)

そもそもアインシュタインは「相対性原理」と「光速不変の原理Ⅰ」という全く矛盾した原理を同時刻の操作的定義を仲介役にして強引に統合して「光速不変の原理Ⅳ」を考案し、この原理がお互いに相対運動するあらゆる慣性系で成立すると仮定してローレンツ変換を導いた。それが目的を達成したのち、アインシュタインからいつの間にか「光速不変の原理Ⅰ」が抜け落ちてしまったかのようにある。

松田・木下氏の式(1-1)の説明が読者に誤解を与える懸念があっても、それはアインシュタインの主張の変化や言葉の曖昧さに責任があるので、両氏を非難するのは適当でないが、やはり、式(1-1)における光の伝播は「光速不変の原理Ⅱ」ではなく、「光速不変の原理Ⅳ」によると考えるべき

であろう。

2. ローレンツ収縮編

ローレンツ収縮に関する議論は『パリティ』誌上でも盛んに議論されてきたが、それらは複雑な例を扱う議論が多かった。しかし一般の読者や学生たちは、もっとシンプルな例を扱ってローレンツ収縮の真髄を理解したいと考えていると思う。

例えば松田・木下氏が解説した有名な“ガレージのパラドックス”^{*16}では、アインシュタイン自身が長さの収縮を「お互いにすれ違う二つの相等しい列車があるとすれば、一方から他を見れば長さの短縮を示すと同時に、逆に後者から前者を見ればやはり同様の短縮が起こってはいくはなりません^{*17}。」と説明しているから、両氏の解説は相対論そのもので、その意味では筆者も何ら問題はないと考えている。

しかし、我々が知りたいのはパラドックスを回避するための論理ではなく、実際に車庫の前後のシャッターを地球上の同時刻に閉めたときに、静止状態で車庫と同じ長さの自動車が車庫の中にすっぽり入ってしまうか否か、という問いに対する回答である。ここで運転手の命が心配ということであれば、以前原田氏が例にあげた氷面上を滑るメートル尺の思考実験について考察すれば良いと思う^{*18}。

いま水平な氷面上の x 軸上をメートル尺が、相対論の思考実験が意味をもつような高速度で運動しているとしよう。その x 軸の前方には幅 1m(原田氏の場合は直径 95cm であった)の穴が開いている。運動しているメートル尺がこの穴の上を通過するとき、メートル尺は穴に落ちるか否か？

松田・木下氏は『間違え方』96 ページで、運動する物指しの長さの測る場合、その両端の点を A, B とすると、「AB の位置を、特定の座標系で同時に測定して、その x 座標の差をとるということである。それが長さの定義である。」と説明している。

また、同書 103 ページでは、「ちょうど列車の中央部が観測者の目の前に来たときに発せられた先頭車両の光と最後部車両の光が観測者に届いたときに、観測者はこの列車の本来のローレンツ収縮した長さ $L\sqrt{1-v^2/c^2}$ を観測することになる。」と説明しているが、こちらは松田・木下氏の勘違いであろう。というのも、それに続く説明で“目の前に来たとき”とは列車の中央部が“目の前に来た瞬間”と念を押しているが、アインシュタインによれば本来列車の中央部が地上の観測者の前に来た“瞬間”など、列車の両端の観測者には知る術がない。したがって、2人の観測者は列車の両端の光源から光を瞬時(=絶対的同時刻)に発することはできない。このような測定が原理的に不可能と考えられたために、アインシュタインはある慣性系における同時刻を光の信号を用いてそれぞれの慣性系で独自に決めることを提案したのだ。

しかし、ここで松田・木下氏が運動している列車のアプリオリな長さの測定を意図したのであれば、地上の観測者が列車の両端が通過する時間 t を測定し、それに列車の速度 v を掛けて得られる値 vt を求めれば良いと筆者は考えている。

松田・木下氏は「ローレンツ収縮は実際の縮みである^{*19}」と発言しているので、メートル尺は筆者と同様、氷面上の穴に落ちると考えていると思うが、筆者の推測は正しいだろうか？(これについて原田氏は、メートル尺は穴に落ちることはない^{*20}、と声明している)

“双子のパラドックス”を例に取れば、宇宙旅行した双子の兄の宇宙飛行士が、宇宙旅行から帰還した時、地上の弟より若い自分を見出すことになっている。兄の宇宙飛行士は、宇宙旅行の際、

加速と減速を体験するから、両座標系の間に対称性は存在しないというのがその理由である。

氷面上を滑るメートル尺の場合も同様で、実際に運動したのは相対論に基づく議論が意味をもつ速度にまで加速したメートル尺の方だから、地球とメートル尺の座標系間には相対論における対称性は存在しない訳で、メートル尺が実際に収縮して穴に落ちてても何ら不思議はない。

アインシュタインは、「ローレンツとフィッツジェラルドは、エーテルに対する物体の運動がちょうど上述の時間差を消すだけの収縮をその運動方向に起こす、と仮定することによって、その困惑から理論を救った。・・・相対性理論の立場からも、この救助策が正しいものであることがわかる。・・・マイケルソンとモーリーの鏡つき物体が収縮するのは、地球とともに運動する基準系に対してではなく、太陽に関して相対的に静止している基準系に対して、なのである^{*21}。」と説明している。

ところで、筆者は前回の投稿時にローレンツ収縮には実際の縮みの他、時間や同時刻の相対性に起因する収縮があることを指摘したが、『パリティ』誌にバックナンバーの在庫がないので、そのときの測定法を簡略に説明する。

[測定法1] 地球上の x 軸上を等速度 v で運動する長さ l の列車 A の長さを地上の観測者が、列車の両端が観測者の前を通過する時間間隔 t を計測して求める。いま列車の長さを l' とすると、

$$l' = vt = \frac{l}{\gamma} \quad \left(\text{ただし, } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \right) \quad (2-1)$$

この収縮は真の収縮といえる。(収縮 I)

[測定法2] 今度は列車 A の観測者が、地上の線路 (x 軸) に沿って静止している同種の列車 B の長さを測定法1と同様の方法で求める。

列車 A の観測者が列車 B の両端を通過するのに要する時間を t' とすると、

$$t' = \frac{l}{\gamma v} \quad (2-2)$$

この結果、列車 A の観測者は列車 B が進行方向に収縮したと判断する。この収縮は運動する列車 A 内の時間の遅れ(時間の相対性)に起因する収縮である。(収縮 II)

[測定法3] 次は列車 A の前後端の観測者が、アインシュタインの方法で列車 B の長さを測定する。ある時刻に列車 A の中央の光源から放出された光が両端の観測者に到着したとき、2人の観測者は自らの位置を地上の x 軸の目盛から読み取る。この測定が、運動系(列車 A)の同時刻における列車 B の長さの測定である。

いま光が、列車Aの前後端に到着するまでの時間を地上から計測して、後方への到着時間を t_1 、前方への時間を t_2 とすると、

$$t_1 = \frac{1}{\gamma} \frac{l}{2(c+v)} \quad (2-3)$$

$$t_2 = \frac{1}{\gamma} \frac{l}{2(c-v)} \quad (2-4)$$

次に光が列車の後方に到着するまでの走行距離 ct_1 を地上から計測すると、

$$ct_1 = \frac{c}{\gamma} \frac{l}{2(c+v)} \quad (2-5)$$

前方に到着するまでの走行距離 ct_2 は、

$$ct_2 = \frac{c}{\gamma} \frac{l}{2(c-v)} \quad (2-6)$$

これより、列車 A の観測者が地上の x 軸から読み取る座標の差は、式(2-5)と式(2-6)の和となり、

$$\gamma l \quad (2-7)$$

そして、列車 A の観測者は列車 A と列車 B の長さの比として次の値を得る。

$$\gamma l : l \quad (2-8)$$

しかし、列車 A の観測者は自らの座標系の物理的変化を認識できないから、式(2-8)から地上の列車 B が収縮したと判断することになる。すなわち、

$$\gamma l : l \rightarrow 1 : \frac{1}{\gamma} \quad (2-9)$$

つまり、この収縮は運動する列車 A の真の収縮(収縮 I)とアインシュタインが操作的に定義した列車 A 系の同時刻の相対性という2つの原因に基づく収縮である。(収縮 III)

さて、次は以上の思考実験が地上の実験ではなく、ローレンツ静止系における実験だったと仮定しよう。この場合列車 A の両端の時計は、静止していたときには絶対的に一致しているから、運動を始めても時計の再調整をする必要はない。したがって、列車 A の観測者は時計をそのまま使い、列車 A の両端の観測者が絶対的同時に静止系の x 軸の目盛りから座標の差を読み取り、静止系の列車 B が伸びていると判断するだろう。

しかし、この観測者が測定法2に基づく観測を行った場合には、今度は列車 B が収縮していると判断することになる。そして列車 A の観測者は、この収縮は列車 A 内で経過する時間が遅れるために生じる見かけの収縮と判断するだろう。結局列車 A の観測者が行う2種類の測定では、全く逆の結果が得られることになる。

一方、アインシュタインの場合は絶対座標など存在しない、あるいは認識する方法はないと考えているから、絶対的に一致しているはずの時計を列車 A 系の同時刻に調整して使用し、今度は測定法2と3のどちらで測定しても、相対論の予測どおり列車 B が収縮していると判断するだろう。

しかし、このアインシュタインの測定法3は問題を孕んでいる。いま列車 A が $3c/5$ の速度で運動する場合、列車は静止系からの測定で長さが $4/5$ 倍に収縮するが、逆に運動系(列車 A)の観測者が測定法3を用いて列車 B の長さを測定しようとする場合には、列車 A が加速を終えたのち、列車 A の観測者は両端の時計の時刻をアインシュタインの指示にしたがい、光の信号を使って合わせなければならない。こうして合わせた時計を用いて静止系の列車 B の長さを計ると、列車 B は相対論の予測どおり進行方向に $4/5$ 倍に収縮する。しかし、今度は列車 A がまた加速を始め、 $4c/5$ の速度に到達するとしよう。

ここで列車 A の観測者が測定法3を用いて、改めて列車 B の長さを測定しようとするれば、列車 A の観測者は、列車内の時計の時刻を再度調整しなければならない。この時間調整をしないと、列車 A の観測者は相対論の予測と一致する列車 B の長さを計測できない。また、観測者に向かってやってくる光速も c とは異なる値となってしまう。(この場合の測定で光速が一定であるのを「光速不変の原理 V」とする)

物理学者はこのことを認識しているのだろうか？(物理学者への質問2)

ところで、ローレンツは理論を構築する際、次のことを仮定した^{*22}。

「(i)・・・マクスウェル方程式は、慣性系の1つと考えられるエーテルの静止系で成り立つ。・・・ローレンツは、この特権を持った系は絶対系と同一のものではないと主張した。・・・物理的に意味のあるものは、絶対的運動ではなく媒質(つまりエーテル)に相対的な運動である。」(下線は筆者による)

この説明ではあらゆる速度で運動する慣性系の中には、それを確かめる方法が無いにしても、どれか1つは静止系との相対速度がゼロの慣性系も含まれているはずであり、この静止系でも他の慣性系と同様に相対性原理が成立すると主張している。ということは、アインシュタインは絶対座標を排除して相対論を構築したが、アインシュタインの仮定した相対性原理を満たす慣性系には、当然エーテルに対して静止している慣性系も含まれるというのがローレンツの主張である。

現にアインシュタインが再定義した光の等方的伝播をする座標系は、光がアプリアリな等方的伝播をする絶対座標系とそれ以外の非等方的な伝播をするすべての慣性系を含んでいる。

それに対して、アインシュタインは相対性原理について次のように主張した^{*23}。

「この原理によれば、あらゆる慣性系は同等であるのに、ローレンツ理論ではそうになっていない。エーテルに対して静止している系だけは特別な性質を持つからである。たとえば、この系においてのみ、光速が一定となる。」

しかし、アインシュタインは相対論構築の際、あらゆる慣性系で光速は一定になると要請したはずだから、この点から静止系と他の慣性系を区別するこの発言はおかしいのである。

結局、相対論を導く際のアインシュタインは、絶対座標は存在してもそれに対する速度を確かめる方法がないから、その速度には触れずに慣性系間の相対速度をたよりにして相対論を導いた。

その際、エーテルに対する速度を不必要と退けた代りに、それぞれの慣性系において独自に時計の時刻合わせを行うことが不可欠となった。この要請は相対論が完成した後も理論の中核に君臨しているので、運動系から他の慣性系の物指しの長さを測定する場合には、運動系が速度を変える度に、運動系の観測者は時計の時間調整を繰り返さないと、相対論の予測と一致する値が得られないという皮肉な状況に直面する。

ローレンツにおいては、様々な速度で運動する無数の慣性系の内のどれか1つは、エーテル座標系に対する相対速度がゼロのものがあっても良かった。しかし、アインシュタインの場合、当初は絶対座標系は理論構築には不必要とし、特にその存在まではあからさまに否定しなかったが、相対論が完成すると、今度はそのような座標系が存在しては困ることになってしまった。何故なら、エーテルに対する相対速度がゼロの慣性系の時計は、絶対的に一致している。この座標系がその後運動を始めたとしても、その座標系の時計はアインシュタインの指示にしたがってわざわざ時間調整をする必要はないだろう。もし運動系の時間を調整することなしに、絶対的に一致している時計を使って静止系の列車 B の長さを測定法3で測定すれば、運動系の観測者は列車 B が伸びていることを見出すだろう。しかし、相対論ではこのような測定値があっては困るのである。このように、相対論は我々が日々時計の時間調整に協力し続けないと、破綻が生じる理論構造になっているのである。しかし、我々はそこまでして相対論に付き合わなければならないのだろうか？

それでは、相対論は“ガレージのパラドックス”にどのような回答を与えるのだろうか？

筆者は相対論はこのような思考実験を想定していなかったため、この問題に回答する用意がなかったと考えている。だから実際に自動車が生庫に納まるか否かについての回答を避け、この問題がパラドックスでないことを力説して問題の決着を図ろうとしていると思われる。お互いに相手の物

差しが収縮していてもその理由が異なれば、相対性原理が主張する2つの座標系間の同等性が崩れてしまう。その意味において、筆者は相対論は氷面上を滑るメートル尺が穴に落ちると認める訳には行かないと思う。

ところで、ローレンツは当初、自然認識において以下のようにアインシュタインに遅れをとった^{*24}。

「わたくしが誤った主な原因は、変数 t だけが真の時間とみなしうるのであって、わたくしの局所時 t' は補助的な数学的な量以上のものとみなしてはならないという観念を固守していたことである。・・・Einsteinが使った変換は、まもなくわれわれがおこなうように、・・・ $\gamma=1$ としたときに得られる特別の場合である。」

しかし、ローレンツの理論も最終的には数学的に相対論と同じものに仕上がりに、自然認識においてもローレンツは実験事実と一致するよう自らの自然観を修正、変更した。

ローレンツが今の時代に生きていれば、現代の相対論の正当性を検証している素粒子の寿命の伸びやメートル尺が氷面上の穴に落ちる実験(予想)を見て、これこそまさに自らの理論に有利な実験結果であると確信するだろう。

数理論理学者ランチョシュはローレンツについて、「彼は常に他の人たちの仕事を非常に正しく評価し、また、アインシュタインを最高に賞讃していた。しかし、アインシュタインの独創的な図式が本質的には巧妙な数学的トリックであって、真の物理学的問題を説明していないというのが彼自身の意見であった^{*25}。」と紹介している。

また、ポアンカレもアインシュタインについての意見を求められた際、「私は、実験的検証が可能となったとき、彼の予測のすべてがそれに耐えるだろうとは言いません。その反対に、彼はすべての方向に綿密に調べているので、彼のたどっている道のほとんどは行止りに通じているだろうと予期すべきです^{*26}。」と語っている。筆者もまた同様な意見である。物理学者の反論を待ちたい。

参考文献

- 1) 須藤晃俊:「反論:相対論の正しい間違え方」への反論, パリティ2001年10月号, p58.
- 2) マクシム・ポスペロフ, マイケル・ローマンズ:ローレンツ不変性はどこまで正しいか, パリティ2005年4月号, p7.
- 3) 湯川秀樹監修:『アインシュタイン選集1』(共立出版), p 20.
- 4) 松田卓也・木下篤哉:『相対論の正しい間違え方』エーテル編(丸善), p 60.
- 5) 松田卓也・二間瀬敏史:『なっとくする相対論理論』(講談社), p 42.
- 6) 内山龍雄:『相対性理論』(岩波全書), p 10.
- 7) 中野董夫・菅野禮司:『相対論理論はむずかしくない』(講談社), p 58.
- 8) H.A.ローレンツ:『電子論』(東海大学出版会), p 248.
- 9) 西尾成子編・G.ホルトン:アインシュタイン・マイケルソン・<決定的>実験, 『アインシュタイン研究』(中央公論社), p 59.
- 10) P.C.アイヘルブルク, R.U.ゼクスル編・A.I.ミラー:特殊相対性理論の歴史, 『アインシュタイン』(岩波現代選書), p 154.
- 11) 湯川秀樹監修:『アインシュタイン選集1』(共立出版), p 23.

- 12) 西尾成子編・G.ホルトン:アインシュタイン・マイケルソン・<決定的>実験,『アインシュタイン研究』(中央公論社), p 115.
- 13) 西尾成子編・G.ホルトン:アインシュタイン・マイケルソン・<決定的>実験,『アインシュタイン研究』(中央公論社), p 64.
- 14) 広重徹:1900年前後のエーテル,『相対論の形成』(みすず書房), p 200.
- 15) 広重徹:1900年前後のエーテル,『相対論の形成』(みすず書房), p 202.
- 16) 松田卓也・木下篤哉:『相対論の正しい間違え方』同時の相対性編(丸善), p 17.
- 17) 石原純:『アインシュタイン講演録』(東京図書), p 31.
- 18) 原田稔:「反論:相対論の正しい間違え方」ローレンツ収縮編一,パリティ2000年7月号, p 71.
- 19) 松田卓也・木下篤哉:『相対論の正しい間違え方』ローレンツ収縮(丸善), p 101.
- 20) 原田稔:「反論:相対論の正しい間違え方」ローレンツ収縮編一,パリティ2000年7月号, p 72.
- 21) A.アインシュタイン:『わが相対性理論』(白揚社), p 67.
- 22) 「20世紀の物理学」編集委員会編:『20世紀の物理学 I』(丸善), p 270.
- 23) 西尾成子編・G.ホルトン:アインシュタイン・マイケルソン・<決定的>実験,『アインシュタイン研究』(中央公論社), p 75.
- 24) H.A.ローレンツ:『電子論』(東海大学出版会), p 360.
- 25) C.ランチョシュ:『アインシュタイン』(講談社), p 106.
- 26) アブラハム・パイス46:『神は老獺にして・・・』(産業図書), p 220.