



窮理の部屋 176

## ウラシマ効果と双子のパラドックス3

日常生活では時差というものがありますが、本質的には世界中で時間はひとつです。正確な時計は、それぞれ同じように時を刻み、何かの基準に合わせておけば(グリニッジにある時計に合わせるのでしょうか?)たくさん時計はみな同じだとみなすことが可能です。そして乗り物の中でも時の刻みは同じなので、やはり同じ時計とみなせませす。

ところが相対論では時計が正確でも立場によって時の刻みが変わってしまうのです。ある場所でAという出来事が起き、そして別の場所でBという出来事が起こったとします。X氏は2つの出来事が同時に起こったと言い、Y氏はいや、Aの方が早かった、Z氏はBの方が早かったと主張したとします。我々は、3人の主張が鼎立するはずがなく、いずれか1人の主張のみが正しいことを知っています。ところが相対論では驚くことに、3人の主張それぞれが正しい可能性があります。それは、離れた場所で「同時」と言ったとき、それが何を意味するのかを深く考えてみる必要があるからなのです。

相対論ではたくさん時計が登場します。どれも同じ性能を持ち、正確な時計であるとして。現在の原子時計を使えば、驚くほどの精度で時を刻むことが可能です。原子時計以上にほんとに狂いのない、同じように時を刻む理想的な時計を無数に用意できたとします。ところが時計の時の刻み方(テンポ)だけが合っていてもダメです。この時計は7時、あの時計は7時1分、あちらは7時3分では具合が悪い。すべての時計を合わせなければ離れた場所での「同時」が判定できません。

離れた場所での時計を合わせるには、どうしたらいいでしょう?仮に地球と木星くらいの距離に置かれた理想的な正確な同じ性能の2つの時計A、Bの針を合わせるのにどうしますか?それには、光は同じ距離を同じ時間で進むこと、つまり光速は常に一定であることを利用します。

Aの時計の表示を $t_A$ 、Bの時計の表示を $t_B$ とします。Aから光を放ち(その時間が $t_A$ だったとします)、Bに光が到着したらただちに光を跳ね返し(その時間を $t_B$ とします)、そしてAに戻ってきた時間を記録します( $t'_A$ とします)。 $t_B - t_A = t'_A - t_B$ 、同じことですが、 $t_B = (t_A + t'_A) / 2$ なら、AとBの時計は合っていると言えます。ただし、AとBの距離が途中で変わってはいけません。正確にはAとBはひとつの慣性系に乗っていないければなりません。

さてここで、X氏、Y氏、Z氏の話に戻しましょう。列車の先端と後尾に時計と記録装置を置き、列車の真ん中に乗ったX氏が光を放ったとします。もちろん先端と後尾の時計はX氏の時計と合わされていて、後で先端の記録Aと後尾の記録Bを見比べて見ると「同時」に光は到着しているのでX氏は、AとBは同時に起きたのだと主張し

ます。

ところが、地上にいるZ氏は、これとは違う主張をします。この列車の走る線路(線路は直線で、列車は等速で走る)の脇には、無数のZ氏の協力者がいて、それぞれがZ氏と合わせた正確な時計を持っています。光がまさに列車の先端に到達した(A)とき、Z氏の協力者はその時間を記録します。後尾(B)でも同様です。そして両者の報告を聞いたZ氏はBの方が先に起こったと主張するはずです。

Y氏とY氏の協力者を乗せた列車はX氏列車の線路と平行にX氏より速く等速で走っています。Y氏はAの方が早かったと主張するでしょう。X氏、Y氏、Z氏それぞれが正しいのです。起こった出来事のAはA、BはBで3氏が別の出来事を観測したのではなく、同じ出来事を観測しています。でも、2つの出来事が同時

だったり、前だったり、後ろだったり、観測者によって変わってしまうのです。非相対論の世界ではありえませんが、相対論ではそれぞれに正しいのです。ここが相対論に出てくるさまざまなパラドックスの元で、ここの理解が肝です。

相対論では、慣性系のいたるところに、時を合わせた時計が無数に配置されていると考えます。この無数の時計は、お互いには動いていないことに注意してください。そして離れた場所の時計の合わせ方は、ひとつの慣性系にある時計にだけ有効です(相対論では、他の時計の合わせ方、方法は教えてくれません)。

さて、困りました。地上にある時計は、全てがひとつの慣性系にありません。地上の時計のすべてを合わせることは厳密にはできないのです。でもご心配なく!どんなに頑張っても乗り物の動きは、そして地球の自転や公転さえ、光の速さに比べてうんと遅いのです。だから、光を往復させることなく、日常の時計の合わせ方で、わずかな誤差の範囲で離れた場所の時計を合わせることが可能なのです。



大倉 宏(科学館学芸員)