

# 等価原理

TOP『時間と空間の物理学』へ戻る

アインシュタインが〈一般相対性理論の公準〉として掲げた『等価原理』は、簡単に言うと、《重力による加速と、力の作用によって生じる力学的な加速が等価である》ということです。その論拠として、彼は“重力質量”と“慣性質量”の同等性を述べていますが、それは『等価原理』の論証としてはピント外れで、まるで論証になっていません。“重力質量”と“慣性質量”が一致する事と、“重力による加速”と“力学的な力による加速”が等価であるか、そうでないかという事は、まったく別の事柄です。前者は物体が示す**性質**の問題であり、後者は**作用＝メカニズム**の問題です。

私が学んだ限りにおいて、“重力質量”と“慣性質量”は全く異なる概念です。“重力質量”と言うのは、他の質量との間の引力の大きさを示します。“慣性質量”というのは力を加えて物体を加速させるとき、その加速の大きさを規定する、簡単に言えば物質が持つ“動かしがたさ”の大きさです。全く違う概念の“二種類の質量”が完全に一致するのは驚くべき事であり、実に不思議なことだと教わりました。なぜそうなるかについては、未だに明らかではありませんが（保存則が守られるためには、一致しなければならないことは証明できますが）、いずれにしても、概念が違うというのは、**同じでない**ということです。

\*

少し長いですが、まずはじめに、前にも引用したアインシュタイン著『特殊および一般相対性理論について』（金子務：訳）から引用した以下の解説をお読みください。アインシュタイン自身による“等価原理とは何か”についての解説ですが、一般人に分かり易いように解説していますので、間違っていることもわかり易く解説出来ます。（注：章のタイトルは故意にかどうか少しずれていて、直接

的ではありませんが、内容は《重力による加速と、力の作用によって生じる力学的な加速が等価である》ことを述べています。）

## 《第 20 章 一般相対性公準の論拠としての慣性質量および重力質量の同等性

われわれは、空虚な宇宙空間の広大な部分を考える。それは星や他の有力な質量からたいへん遠ざかっているので、ガリレイの根本原理で予見される場合を十分正確に表していると考えられる。このときこの世界の部分に対して、相対的に静止している点は静止しつづけ、運動している点は直線的に一樣な運動をつづけるように、ガリレイの基準体を選ぶことができる。基準体として、部屋の形をした広大な箱を考える。その中に装置を備えた観測者がいる。この観測者にとって、もちろん重力というものは存在しない。したがって、観測者は紐でからだを床に縛りつけておかねばならない。そうしないと、ほんの少しでも床を突っただけで、部屋の天井の方へふわりと浮かび上がってしまうであろう。

箱の蓋の中央部にザイルをつけたハーケンが取り付けられて、\* ‘我々には無関係な種類の存在者’ が一定の力でこれを引き始めるとせよ。そのとき、箱は観測者もろとも一樣な加速度運動で〈上方〉へ飛び始める。その速度は時間のたつにつれて想像もつかない大きさへと増大する——すべて綱で引かれていない別の基準体からこれを判断しているものとして、である。

しかし、箱の中の人はこの仮定をどう判断するだろうか？箱の加速度は、箱の床そのものの反動によってその人に伝えられる。したがって、その人が床の上に横になって寝ていたいと思わなければ、脚でその圧力を感知するにちがいない。そのときには彼は、まったくわが地球上の家の部屋の中にいる人のように、箱の中に立っていることになる。もしも彼が前から手に持っていた物体を放すならば、それにはもはや箱の加速度は伝わらないであろう。したがって物体は、箱の床に相対的な加速度運動をして近づくであろう。さらに観測者は、たとえどのような物体についてその実験をやってみても、物体の床に対する加速度が常に同じ大きさになることを確認することだろう。

したがって箱の中的人是、前の章で語ったような重力場の知識のもと

づいて、自分が箱ぐるみでほとんど時間的に一定な重力場にあるという結論に達するだろう。……》以下は省略

ザイルで引っ張ろうがどうしても、“広大な箱”の中は慣性空間です。箱の中にいて床の上に立っている観測者が地球上の家の部屋にいるように感じたとしても、それは《似て非なるもの》なのであって、重力場の中にいることにはならないのです。広大な箱の中の**慣性空間**と**重力場**は違う（同じではない）ということは、次の説明だけでも十分わかると思います。



ばらばらのビー玉を4個（何個でも良いが）間を開けないように縦一列の状態を持ちます。これを先ほどの“ザイルで上方に引かれている箱”の中で、静かに放してみましょう。箱と共に上に向かって加速されている観測者から見ると、確かにビー玉は、相対的に箱の床に向かって加速度的に落ちていきます。しかし箱の床へと落ちて行く4個のビー玉は、上図左の絵のように、**放した時の状態を保ったまま**です。もちろん、解説文中でアインシュタインも述べているとおり、《もしも彼が前から手に持っていた物体を放すならば、それにはもはや箱の加速度は伝わらないであろう。》からです。

しかし、同じように縦一列にしたビー玉を、重力場の中で静かに放すと事態は変わります。上図の右の絵のように、4個のビー玉は落下するにつれてその間隔を次第に広げていきます。（簡単に実験で確かめられます。）

理由はおわかりでしょうが、重力場には必ず重力の中心というものがあり、物体に与える加速の大きさは、中心から物体までの距離に応じて異なるという特徴があります。解説文中に太字で書いてあるとおり、加速の大きさは物体の質量には関係なく常に同じですが、物体が存在する位置によって違います。これが、すべての位置が均質な“慣性空間”と、本質的に異なる点です。

力学的な力の作用というのは、互いが押し合う場合に働く力です。密着させたビー玉の一方を引き離しても、もう一方のビー玉には（引力は別として）力学的な力はまったく働きません。また、働く力は任意です。これに対して重力（引力）は、離れているもの同士が引き合うように働く力であり、重力場の中にあれば、ばらばらに離れていても、すべての物体のそれぞれに、それぞれの位置に応

じて、任意ではなくそれぞれに決まった力が働きます。

作用のメカニズムがまったく違っているのですから、重力による加速と力学的な力の働きによる加速が等価である訳は無いのです。

\* 《我々には無関係な種類の存在者》というのはなんでしょう？ 無関係という言葉は、我々と接触する可能性がゼロで、我々に何らの影響も及ぼさないと受け取れます。それなら、物理的な実在ではないもの、ということになります。実体のない（実在しない）と定義したものを使った説明は、科学ではありません。

《その速度は時間のたつにつれて想像もつかない大きさへと増大する——すべて綱で引かれていない別の基準体からこれを判断しているものとして、である》  
少なくとも“別の基準体から判断した速度”が“想像もつかない大きさ”に増大するはずはありません。別の基準体からみて光速に達する運動など存在しないのですから。

地球の引力は、地球が存続する限り外部からのエネルギーの供給なしに、他のものを引きつける働きを為し、そしてその能力を永久に失いませんが、ザイルで引かれる箱の中に出現した〈アインシュタインがいうところの〉**重力場に等しいものは**、“我々には無関係な種類の存在者”が引っぱり続けなければ、それも時間と共に、より強い力によって引っぱり続けなければ存在が持続しません。地球が持つポテンシャルエネルギーに代わって、ザイルを引くために必要とされるエネルギーが、どのような仕組みで“我々には無関係な種類の存在者”に提供されるかを説明しなければ、等価原理の説明は科学の議論として失格です。

## 1 回転基準体

以下に、『特殊および一般相対性理論について』（金子務：訳）の第23章の解説の一部を引用しますが、この章では、アインシュタインが述べようとしている事柄にではなく、彼が示したそのベース（前提概念）に注意を向けなければいけません。

《……ここに一つの平らな円盤があつて、その中心のまわりを同じ平面内で一様に回転している姿  $K'$  を考える。円盤  $K'$  上のへりに腰掛けている観測者は、直径方向に外方へ向かう力を感じず。その力は、本来の基準体  $K$  に対して相対的に静止している観測者によれば、慣性の作用（遠

心力)と解釈されるであろう。だが、円盤上に腰かけている観測者は、円盤の方を〈静止している〉基準体と見なすかもしれない。一般相対性原理にもとづけば、そう考えても正しいのである。彼は、自分および一般に円盤に対して相対的に静止している物体に働く力を、重力場の作用として把握する。…》

ある系からみた“遠心力”が別の系で“重力場の作用”と見なせるという主張は、まともな力学を学習した者にとっては信じがたい珍説です。

円盤のような回転体の存在を可能にしているのは、その円盤が個体だから(分子同士が固く結びあって変形しないから)です。円盤の回転を変化させるためには円盤のすべての部分に力を加える必要はなくて、どこか一部に力学的な力を働かせれば充分ですが、それは一カ所に加えられた力が、分子結合に保証される物質的な力の伝達作用によって他の部分に伝わるからです。

宇宙空間に離れて存在する物体間には、そのような力学的な力の伝達作用は存在しません。だからこそ“重力場”というような概念を創る必要があったわけです。重力場は、その中に存在しているなら、それらが互いに離れた別々の存在であっても、またそれがどんなに微少であっても、もれなく、しかもこの上ない厳密性をもって、それぞれの位置に応じて定められた適切な力を及ぼします。

わざわざ“重力場”の概念を創ったこと自体が、重力作用あるいは“重力場というものによる加速”と“力学的な加速”が本質的に違っていて、どうやっても、重力場の働きを力学的作用に置換できなかったことを物語っているのです。

もし仮にアインシュタインが言うように、円盤上に腰かけている観測者が、円盤の方を(静止している)基準体と見なし、自分および一般に円盤に対して相対的に静止している物体に働く力を、重力場の作用として把握するのだとしたら、円盤に対して相対的に静止している物体(物理的に結びつけられている)が、ひとたび解き放たれた時はどうなるべきでしょうか?

それらの者に働いているのが重力に等しいなら、それらは(回転基準体からみて)加速度的に回転の外へと飛んでいかなければならないはずですが。しかも回転基準体からみて中心の反対方向へまっすぐに。その運動は、〈本来の基準体  $K$  に対して相対的に静止している観測者によれば〉らせんを描いて、しかも速度を増しながら遠ざかっていく事を意味します。

しかし実際にはそのようにはなりません。遠心力というのは回転体と結ばれている間しか働いていないので、解き放たれたものは解きはなされたその時の速度を保って、**等速度で**、しかも元の回転の接戦方向に直線的に飛んでいきます。

重力は、あらゆる物体を三次元空間内の一点に集合させる様に働くのであって、物体を拡散させる形態の重力場の実在は確認されていません。回転運動に伴う遠心力は三次元的にはなく、二次元平面上に存在する作用です。

[TOP『時間と空間の物理学』へ戻る](#)