

重力は加速度

原 宣一



一 始めに

本日は皆様にお話しする時間を頂きまして、幹事の方には非常に感謝しております。是非、皆様の同感を得たいことがあるからであります。

でも、重力は加速度という標題をみて、もう拒否反応を持たれた方がおられるに違いありません。

当然です。世の中には4つの力があると言われていきます。時に、第5の力があつたか、という記事がでたりしますが、認められていません。

四つの力とは、重力、電磁力、強い力、弱い力の4種です。強い力と弱い力は原子核の領域の話ですから力という定義に入らないのでしょうか。力と言わず相互作用と呼ばれる方が多いようです。

まあ、重力は電磁力とならぶ力の双壁であるというのが世間の常識でしょう。

このことを承知の上で、重力は力でなく加速度である、この認識が正しいというのが、私が今日これからお話ししたいことであります。

英語で言えば、

Gravity is not a force, but an acceleration!

二 無重力状態と中性浮力

もう3年ぐらい前になります。ある日パソコンでNASAのホームページを見ていました。その中でイビジョンほど精細な動画で、宇宙ステーションの中で宇宙飛行士が何かをやっているのをぼんやり見ておりました。

そのとき、宇宙飛行士には全く力が働いていないと閃いたのです。

宇宙ステーションは地球の表面から400Kmしか離れてい

ない空間を飛行していますから、もちろん重力圏内です。

この宇宙ステーションが無重力状態にあるのは、重力と遠心力が釣り合っているからと説明するのがニュートン力学です。

私も二年前までは、この説明に少しも疑問を持ったことがありませんでした。

この無重力状態は、重力と遠心力が釣り合って無重力と同じ状態になっているのではなく、重力が作用していない、力の釣り合い状態ではない、と気が付いたのです。

もし重力と遠心力が釣り合っていなかったら軌道は円ではなく楕円になります。宇宙ステーションが楕円軌道を飛んでいるとしても、宇宙ステーションの中が無重力状態であることに変わりありません。

楕円軌道で重力より遠心力が大きい近地点付近では、何と何が釣り合って無重力になっているのでしょうか。

ニュートン力学では、重力と釣り合っているのは常に慣性力であるという説明です。

地上で無重力状態に似た状態に中性浮力というのがあります。大きく息を吸い込んでプールで大の字になりますと体は浮きます。

私はどうしても沈んでしまうとと言う人もいますが、普通の人は息を大きく吸い込めば必ず浮きます。

そして息を少しづつ静かに吐いていきますと体は水面下に

沈んでいきます。

丁度水中に没したところで息を止めると、体は水中に漂う状態になります。この状態が中性浮力の状態です。

英語で Neutral Voyancy です。

人間は空気で満たされた肺や骨で密度が不均一ですが、理想的な中性浮力があつたとしますと、人間の体は足は足でバランスし、手は手だけでバランスしていると考えられます。人間よりもメダカやコイの方が中性浮力の状態に近いでしょう。

中性浮力は細胞単位での力と力の釣り合いです。

人間は素潜りで100mも潜った人がいますが、力が細胞単位で釣り合っていることと、水には圧縮性が殆どないため、体が押しつぶされずに済みます。

宇宙ステーション内の無重力が力と力の釣り合いであるなら、メダカやコイを水槽ごとスペースシャトルで宇宙に持っていった、向井さんの宇宙実験の意義は薄れたでしょう。

宇宙に運ばれた金魚やコイは、地上における細胞レベルでの力の釣り合いから、力の働いていない状態におかれた、という明確な違いがあつたのです。

向井さんや実験の主任研究者が、このことに気が付いていたかどうかは知りません。

三 アイシンユタインの発見

宇宙ステーションの中では重力が働いていないということに

最初に気が付いたのはアインシュタインでした。もちろん宇宙ステーションなどない時代です。

彼は天使に吊り下げられたエレベータを頭の中に描いたのです。

もしこの天使がエレベータを釣っている紐を離して自由落下させたならどうなるであろうか。エレベータの中の人はふわつと浮くであろう。

この状態は、天使によってこのエレベータを星から遠くはなれた重力のない世界に置かれたのと同じ状態ではないか。

中の人は両者の区別がつかないであろう、と思い描いたのです。

区別がつかないということは物理法則がすべて同じであるということですが、一つでも物理法則が違うことがあれば、それを使って違いが判ります。

しかし、実際にはどうでしょうか。エレベータを落下させるのはできますが、どの星からも遠く離れた空間に持つていくことはできません。

従って、これらの空間が同じであるということとは実証できないので等価原理として認めることにしたのです。違いのないのと同じなのです。

彼は招かれて日本に来た時、数か所で講演をしています。

このときにも、重力が消えることに気が付いたことが、自分の生涯で最高のアイデアであった、そして、それは1907

年のことだった、と語ったことが伝えられています。

アインシュタインが特殊相対性理論を発表したのが1905年で、一般相対性理論は1916年の発表です。

1907年に気が付いた生涯で最高の思いつきに鼓舞されて、リーマン幾何学などを勉強したのです。

そして、1916年に一般相対性理論が完成しています。

つまり、自由落下によって重力が消えてしまうことは一般相対性理論の結果で判ったことではないのです。

自由落下により無重力状態となるのは、力の釣り合いではなく、重力が消えてしまうことに気が付いたことが、きっかけだったのです。

四 重力の歴史

誰が重力は力だと言い出したのでしょうか。これはニュートンです。

ギリシャ時代では物が落ちる現象は、物には収まるべきところが決まっただけで、収まるべきところに向かうからだと言明されました。

煙草の煙など上に向かうものは、収まる処が上にあるというわけです。

物が落ちるといふ自然現象を Gravity といいますと Gravity は物の性質であるとされてきました。

ガリレオ・ガリレイは斜面にボールを転がして、一定の距離を通過する時間を計り、重力は物質によらず同じ加速

度を与えることを見出ししました。

ガリレオも重力が力であるとは言っていない。

アポロ15号でスコット宇宙飛行士が月面で実験しています。

右手にハンマーを左手に羽根を持って同時に落としていきます。すると羽根もハンマーも同じ速さで落ちて同時に着地します。

この様子を Youtube 画像で見ることができます。

ニュートンはリンゴの実が木から落ちるのを見て万有引力を発見したことになっています。これは作り話に近いようですが、Gravity は万有引力による力であるとしたわけでは

重力は万有引力に地球の自転による遠心力など、全ての要素を含めたものを言いますが、殆ど万有引力ですから、簡単には重力 \parallel 万有引力です。

ニュートン力学は大成功を収めていますから250年間、正しいと信じられてきました。今でも、殆どの人が疑っていません。

それら見る、重力は力ではないかと思われるでしょう。

しかし、万有引力に少し問題があるのです。この点は少し後に回して二〇世紀に飛びます。

そうです。アインシュタインが重力は力であるというのを否定しています。

彼は重力は時空のひずみであると言っているのです。一般

相対性理論の帰結だとそうです。

現在の殆どの科学者はこの結論を認めています。従って、皆様もご存じのことと思います。

重力が時空のひずみであるとしても、そのひずみが力をもたらすと考えれば、ニュートン力学と整合するではないか、と思われるかもしれません。

しかし、これが違うのです。繰り返しますが、アインシュタインは重力が力でないことに気が付いて、一般相対性理論の確立に奮闘したのです。

五 ニュートンの早合点

ニュートンは、重力は殆ど万有引力であるから、重力は力であると思いました。

万有引力の式はニュートンによる不滅の成果であり、力を表す式であることは確かです。

それでは万有引力の式はどのように導き出されたのでしょうか。

私は万有引力の式がどのように導き出されたかを調べてみました。

まず、コンピュータが火星や木星の動きを正確に記録したデータを残しました。

このデータを受け取ったケプラーが惑星の動きに関して三つの法則を見つけました。

惑星は太陽を一つの焦点とする楕円軌道を回っている。

次に、惑星は太陽の近くでは早く動き、遠いところではゆっくり動く、その割合が面積速度一定である、というのが2番目の法則です。

3番目の法則は少し後になって発見したものです。軌道周期の二乗と軌道長半径の3乗の比は惑星に寄らず一定であるというものでした。

この3番目の法則を発見した時は、ケプラーは神の啓示として、驚喜して神に感謝したそうです。仮に、後世の人の創作話であったとしても、事実嬉しかっただろうと思います。ニュートンはケプラーの法則が生まれるのはどうしてかとハレーに問われて、逆二乗則の力が働けばこのような運動になることを示しました。

これは大きな成果だから本にして発表するようにと勧められて、ハレーからは資金的な支援も得て、刊行したのが有名なプリンキピアです。

プリンキピアは難解ですが、この本を見るとニュートンは万有引力の式を幾何学的に導き出しています。

ニュートンの運動の法則も文章で記述されていて、現代の力学の教科書とは表現が少し違います。

このケプラーの法則から万有引力の式を導く過程を追っかけますと、加速度の項を、ニュートンの運動方程式($m\ddot{x} = F/m$)から、 F/m で置き換えています。

これにより、ニュートンの万有引力の式が力の式で表され

ているのです。

ニュートンは加速度があれば力が働いていると早合点したわけです。

ケプラーの法則は、チコブラーエの観測データから推測したものです。これらは位置と時間のデータです。

従って、これらのデータから演繹的に生み出される物理量は長さ、速さ、加速度、加加速度、などです。

力という物理量が位置と時間のデータから演繹的に出てくるものではありません。

ニュートンは万有引力の式でなく、万有加速度の式、つまり重力加速度の式、に留めるべきだったのです。

逆二乗則の重力加速度の式が万有加速度の式です。Gravity は重力加速度であり、万有加速度と遠心加速度の和で表されたものになります。

六 力とは何か

ここで力とは何かを再確認してみましょう。辞書にも出ています。

物理学でいう力とは二つの要素があつて、物体に働くと内部に応力、歪を生じること、また、加速度運動をもたらすということなのです。

力の大きさは加速度運動で定義されています。ニュートンに敬意を払って、単位はNです。質量1kgの物体に働いたとき、 1m/s^2 の加速度を生ずるとき1Nの力と言います。

単位と言うのは実際に使い安いように考慮して決められるべきなのに、私は力の大きさを計るために加速度を測定したということはありません。

応力と歪の関係式であるフックの法則から力の大きさを定義したほうが良かったのではないかと思えます。フックの法則から力の大きさを定義すると、ニュートンと犬猿の中であつたフックを喜ばせることになりますが。

七 重力が力でない証拠

重力が力でない証拠はいますぐ二つ指摘できます。

一つ目は加速度計が重力加速度だけは検知できないことです。

加速度計はまず力を検知して加速度に直して表示する計器だからです。

重力を検知しているかのように見える加速度センサーがありますが、実際にはすべて反力を検知しているのです。

中性浮力の状態は細胞レベルでの力の釣り合いです。そして、必ず何らかの応力が生じていますから、中性浮力の状態でも、力が加わっていることは検知できます。

二つ目の証拠は、先ほど紹介しましたアインシュタインの発見です。自由落下させると重力が消えてしまうということですが。

宇宙ステーション内の無重力状態は、力の釣り合いではなく、重力が消えているということだったので。

力という物理量は、座標の取り方で消えたり現れたりすることはありません。

質量も座標の取り方で消えるものではありません。

重力は加速度なので、その加速度と同じ座標系では重力が消えてしまうのです。

八 認識を改める必要性

重力に対する認識を改めると、何が変わるのでしょう。残念ながらどうか、幸いなことにとりべきか、劇的に変わるものは何もあります。

まず、慣性運動とは自由落下運動であるということですが、これは重力がなかった場合のニュートンの慣性の法則を含みます。

慣性運動に逆らうときに慣性力が発生します。この慣性力に釣り合う外力が必要であるということになります。

外力に釣り合うのは慣性力である、とすることで良いのです。外力と外力の釣り合いは、これらの組み合わせです。

従つて、外力と外力が釣り合つて動かない場合も、物体に応力は発生していません。綱引きを考えてみてください。

ニュートンの運動方程式は、重力場の運動方程式に置き換える必要があります。

言い換えれば、ニュートンの二つの運動の法則と万有引力の式をまとめたもの一つになります。

ニュートンがこれをやらなかったのは惜しまれます。アイン

シュタインの重力方程式は最終的に一つの式ですから。

重力場の運動方程式からも質量の概念は、慣性質量の概念だけで良かったことになりました。

このことをアインシュタインは指摘していないようですが、私が調べたところでは、これを指摘しているのは小野健一だけです。

力は物質を通じて伝達されますから、その伝達速度は音速です。ラバーボールノズルによって超音速流が作れますから、超音速で伝わる力もあり得そうですが無理でしょう。

暖簾に腕押しぬ糠に釘」とのことわざにあるように、力は個体を伝わるものだからです。

光の速さで伝わるのは重力場の変化です。これは重力波として、今のところ理論上の話であって、重力波はまだ見つかっていません。

私が宇宙関係の教科書などで説明を是非とも直しておきたいことが一つあります。

それは、宇宙ステーションの中で無重力なのは重力が遠心力と釣り合っているから、という説明です。これはアインシュタインの発見を無視する間違った説明です。

九 備考

(1) 国土地理院は各地の重力を調べて公表しています。国土地理院のHPで示された重力の大きさの数値は加速度で表されています。

それでは、国土地理院は当初から重力は加速度と認識していたのかと思うとそうではありません。

重力は万有引力と自転による遠心力の和であると書いているのです。

国土地理院もアインシュタインの発見を無視しているということになりました。

私は、国土地理院に説明を改めるようにメールを送ったのですが、HPの次回改定時に検討します、の回答を貰っただけです。

(2) 見かけの力という用語は要注意です。外力でないという意味で使われている場合と、コリオリの力のように座標の取り方で力の項として現れる量という場合があります。

私は外力と釣り合うのは慣性力であり、慣性力は実際の力であるとすべきと思います。

ハンマー投げで腕がハンマーを引っ張る力に釣り合う力は慣性力であって実際の力です。

ニュートンの万有引力の式で表された力はみかけの力です。見かけの力は数式上の力であって実際の力ではありません。

(3) 軌道解析の専門家には、今日の私の話は判りにくいでしょう。

質点系力学は見かけの力と実際の力の区別がつかないのです。

質点系力学では、質量が一点にあるものと簡素化しますから応力の概念は無くなってしまいうからです。

(4) 重力が力でないということが信じられないという人の多くは潮汐力の発生が頭にあります。

木星に飛び込んだシユメーカー彗星は飛び込む前に重力によつてばらばらになりました。

これは重力による加速度どうりに、彗星の全体が自由落下することができないからです。

重心部分しか自由落下できないから慣性力が発生してしまふのです。これを潮汐力と言います。

(5) 本質的に、重力加速度は3次元であるのに対し、遠心加速度は2次元です。

また重力加速度は逆二乗則で決まることから、広い範囲で重力が消えることはできません。

(6) 本質的に重力加速度は3次元であるのに対し、遠心加速度は2次元です。また重力加速度は逆二乗則で決まることから、広い範囲で重力が消えることはできません。

(7) 物体は自由落下すれば、物体に働く重力は消えます。宇宙ステーションも大きな水平方向の初速があるだけで自由落下であることに変わりはありません。

十 終わりに

これで重力は加速度のお話を終わります。初めに申し上げました4つの力は相互作用と言い換えれば重力も四つの

うちに残ります。なるほど！と膝を打つただけでしようか。

とても、とてもと思われる方は、次のURLに説明を残してありますので、これらをご覧くださいと思います。

<http://www.7b.biglobe.ne.jp/~pasadena/blog/blog1.htm>

またはGoogleで「宇宙用心棒」をキーワードに検索してください。

下手な説明は何時でも直しますから、ご指摘・ご質問を頂ければ幸いに存じます。拝聴ありがとうございました。

(はらのりかず)

平成24年11月3日