

アインシュタイン生涯最高の思いつき



はじめに

本日は HBS 友の会でお話する機会をいただきありがとうございます。この機会を作ってくださった原田さんには感謝しております。最初に映画「ゼログラビティ」で気になった面白い間違いを一つご紹介いたします。そのために人工衛星の軌道についての要点を説明します。そしてアインシュタインが気が付いたことで自分で生涯最高の思いつきとは何だったのかを解説いたします。そうするとニュートン力学で修正が必要なが少しあります。最後に、私の思いつきをお話します。これは昨年秋頃に思いついたことで今日が本邦初公開です。全部重力に関係しています。

1 映画「ゼログラビティ」から

この写真は1968年に封切られた映画「2001年宇宙の旅」の一場面です。米国がアポロ計画を進めて初めて有人の月面着陸に成功した1年前です。アーサー・Cクラークの原作で、原題は Space Odyssey でした。この時代には月や火星に行くには地球の周りを回るステーションで宇宙機を組み立てて行くものと考えられていました。アポロではソ連との競争に負けぬようサターンロケットで一気に月に向かい

ました。

この宇宙ステーションはドーナツ型です。明らかに、フォン・ブラウンの考えた宇宙ステーションに影響されています。フォン・ブラウンはサターン・ロケットを開発した人ですが、第2次大戦中はロンドンを攻撃したドイツのミサイル V2 を開発した人でもあります。戦後に、米国に渡りましたが、大した仕事も与えられず、暇を持て余した時に描いたものです。



原宣一 (はらのりかず)

当時、宇宙旅行のことなど考えている人はあまりいなかったと思いますが、フォン・ブラウンの宇宙ステーションの絵は私が小学生の頃少年雑誌に載っていたことを覚えています。

これらの宇宙ステーションは何故ドーナツ型なのでしょうか。この頃は太陽電池は発明されていませんから、パドルがないのは判ります。エネルギー源は原子力電池でも想定したのでしよう。

ドーナツ型にした理由はこの宇宙ステーションを回転させ、遠心力を重力代わりにするためだったのです。

当時、宇宙ステーションの内部が無重力状態になることはもちろん知られていました。そして、その状態におかれて体が浮かんでしまうと手足をばたつかせても動けないと心配したのでしよう。後ろを向こうと体をひねると足が反対に回ってしまいます。前進も後進も出来ません。実は体の向きは変えることが出来るのです。体をねじると同時に両腕を上下逆に降れば、体は回ります。



これは地上でも回転椅子の上になんて試してみることが出来ず、人工衛星の姿勢制御もこの原理で内部に持った1個の独楽、ジャイロといいますが、これを回すことで姿勢変更を行っています。

もうご覧になった方もいらっしゃるでしょう。映画「ゼログラビティ」の原題は Gravity です。「重力」と直訳しなかったのは正解でした。

出演者はジョージ・クルーニとサンドラ・ブロックの2人だけです。

この映画は実際の国際宇宙ステーション (ISS) をモデルにしています。ISS は今、若田さんが船長を務めています。下の写真は実際の宇宙ステーション ISS で、日本が打ち上げた HTV を掴まえるところです。このように美しい地球が大きな画面でしかも 3D で映される良い映画です。

映画の宇宙ステーションはお話ですから実際と違うところはいくつもあります。私が一つ指摘したいのは、多分だれも気が付かず、宇宙関係者も見落とすかもしれない監修ミスです。



ストーリーの一部を話してしまうこととなりますので、これから見る方には申し訳ありません。

この図は地球を周回するスペースデブリの図ですが、これほど縮尺を無視した図はないかと思えます。小さなデブリが1点で表されて地球がこの大きさですからちやくちやな図です。

しかし、スペースデブリの脅威を伝えるのには成功したと言えるでしょう。私が宇宙開発事業団に移籍してロケット開発の一員であった頃です。スペースデブリが脅威になると言い出した研究者がいて、当時は完全に非常識な人だと思いました。

天文学者は地球に落ちる隕石は地球全体で1日に数トンにもなると言っていましたから。殆どが大気に入射した時に燃え尽きてしまいます。この数字は今でも変わらないと思います。

この宇宙ステーションで二人が船外活動をしているときに、ロシアが破壊した衛星の飛散物、つまりデブリの一群に襲われるのです。このデブリの一群も地球を周回しているわけです。

デブリの一群に襲われて、2人はどうにか生きのびます。そしてジョージ・クルーニはサンドラ・ブロックに次のように言って作業を急がせるのです。「90分後に同じデブリの一群に再び襲われるから作業を急げ」。

このセリフが間違いです。90分でなく45分後に再び襲われるというのが正しいのです。右から襲われたのなら、次は左から襲われます。右前方からなら今度は左前方から襲われます。

ここで、人工衛星が低高度の円軌道を取る場合のパラメータを示しておきます。低高度というのは軌道高度1000 Km以下を指します。宇宙ステーションは高度400 Km前後ですから低高度です。軌道高度400 Kmの衛星は速さがほぼ毎秒8 Kmです。この速さで地球1周するのに90分かかります。周期が90分と言います。

軌道要素でもう一つ重要なのが軌道傾斜角です。これは衛星軌道面と赤道のなす角度を言います。

静止衛星は赤道上高度36,000 Kmの円軌道ですから軌道傾斜角ゼロです。殆どの低高度地球観測衛星は南北に周回しますので軌道傾斜角は90度前後です。国際宇宙ステーションISSは軌道傾斜角が約50度です。

宇宙ステーションにランデブーやドッキングするためには軌道傾斜角が同じになるように打ち上げなければなりません。HTVを打ち上げてISSにドッキング(バーシング)させるためのHTVの打ち上げチャンスは1日に1回しかありません。しかもロンチウインドウは非常に狭いものです。軌道傾斜角がずれると軌道面を合わせるための修正に大量の燃料が必要になります。

HTVの打ち上げで軌道傾斜角を合わせて打ち上げたとき、丁度ISSが近くにくればすぐバーシングの作業に入れるのですが、地球の反対側にいたりすると、追いつくまで数日かかることもあります。

軌道面は必ず地球の重心を含む面であるということが重要です。ISSと同じ高度の円軌道を周るデブリの一群とISSがぶつかるということは軌道傾斜角が異なるということです。ISSの軌道傾斜角と相対的に90度違うときは横からぶつかってくるように見えるでしょう。180度違う場合は真正面からぶつかってくることで、これは相対速度が毎秒16 Kmという高速で衝突するということです。どのような衝突の仕方でも45分ごとにその危機に曝されます。

人工衛星がどのように地球を回るかが判る優れたスマホのソフトがあります。それはSolar Walkというものです。Star Walkというソフトも天文マニアには良いソフトです。いずれも300円です。

2 無重力状態とは



この写真は数年前のもので、野口総一宇宙飛行士と山崎直子宇宙飛行士が同時にISSに滞在したときのもので、ISSが無重力状態にある典型的な写真です。

私はNASA-TVで宇宙飛行士がISSの中で作業をしている画面を見ていてふと気が付いたのです。これは力が少しも掛かっている状態ではないかと気が付いたのです。

高度400 Kmにあっても地球の重力は地表面の89%あります。従って、ニュートン力学では、宇宙ステーションが無重力状態になるのは重力と遠心力(慣性力)が釣り合っているから、という説明をしています。

現在の力学の教科書には殆どすべて、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、同じ説明です。

調べてみますと、私が力の釣り合いではないと気が付いたことは、アインシュタインが世界中で各地を講演して回ったときに、生涯最高の思いつきと自分で言っていることと同じことだったのです。

彼は「自由落下状態にある物体には重力が消えていることに気が付いた。1907年のことである。」と言っています。

宇宙ステーションも人工衛星も地球を周回しているときは自由落下の状態にあります。従って、重力が消えているのであって、力が釣り合っているのではないのです。

重力と遠心力が分子レベルで釣り合っていると考えたかどうかという意見があるでしょう。しかし、分子レベルでの釣り合い状態というものも考えても、それは力が全く掛かかっていない状態と論理的に区別できないのです。論理的に違いがないものは同じとするのが等価原理です。

重力に関する等価原理は様々な表現がありますが、「論理的に違いがないものと同じ」というのが本来の等価原理です。

重力の歴史を簡単に振り返ってみましょう。

古代ギリシャ文明の時代に、手に持った物の手を放すとその物が落ちるのは、全ての物には落ち着く先が決まっているからだと考えました。煙などは上に行くことが決まっているわけです。アリストテレスは重力と言うのは物体の性質であると思いました。

ガリレオ・ガリレイは重力が物体に寄らず同じ大きさであるとし、ピサの斜塔から軽い球と重い球を落として同時に地面に着くのを観察したという話が有名ですが、この話はどうも後世の人の作り話らしいとのこと。

重力が地球の万有引力による力であるという説明になったのはニュートン以後のことなのです。

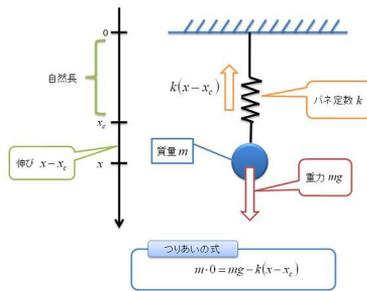
ところが、アインシュタインによって否定されました。重力は力ではなく時空のひずみであるというのです。一般相対性理論がアインシュタインによって発表されたのは1916年のことです。当初はあまり信じられていなかったのですが、現在は一般相対性理論を否定する人は殆どいません。

それであるのに、理科の教科書では重力は力であるという説明に

なっただままなのです。

重力とは万有引力に遠心力を足したものだという定義です。地球は自転していますから、遠心力が働いて赤道近くの重力は南極、北極の両極地方の重力より小さいのです。簡単には重力 \parallel 万有引力です。

自転以外にも、地球の質量の分布が必ずしも均一でないこと、太陽や月の影響などもある、正確に測ると場所に寄っても時間によつても少し違います。平均的には毎秒・毎秒 $6.8m$ の加速度でこれをIGで表します。



日本各地の重力加速度を国土地理院が測定してホームページで公表しています。このホームページには重力が万有引力と遠心力の和であると書きながら、力でなく加速度で表示しています。「重力が力なら加速度で表示するのはおかしいではないか」と質問を送つてあるのですが返事は未だにきていません。

この写真は国土地理院が保有する3台の絶対重力測定器です。真空パイプの中を金属球を落下させて掛かった時間を、原子時計を使って正確に測定します。精度は高く、満潮時と干潮時の違いも判るそうです。

この計測器のように、重力は加速度ですから運動を測ることでは測定できないのです。

簡易加速度計で重力加速度も測れるように見えます。このようなタイプの加速度計はモデル化するとバネと質量のモデルになります。そして、このタイプの計測器は加速度を測っているのではなく力を測っているのです。

重力も測れるように見えるのは、重力による加速度を止めた時に生ずる慣性力(反力)を測定しているのです。

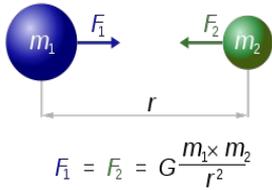
従つて、重力加速度をバネと質量モデルの計測器で計るためには、その計測器が完全に静止していることが前提です。地球はどうでしょう。自転していますから正確には静止していません。

次の図は科学雑誌「ニュートン」の特集号から抜粋したものです。この図の中に無重力状態の説明があります。「万有引力が遠心力で打ち消されて、無重力となる」と言う説明もISS内では、万有引力が遠心力で打ち消された無重力環境なので、体がふわふわ浮いている」と説明もあります。

左下隅には、万有引力が(向心力)で、遠心力が(ISS内部から見ると)時に生じるみかけの力」という説明もあります。

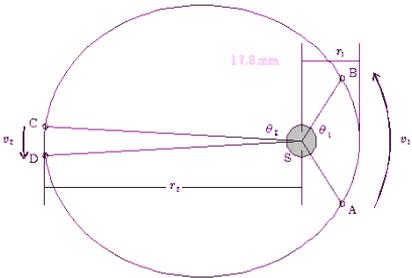
これらの説明はニュートン力学で典型的なものです。重力は力ではないのでこれらの説明はすべて間違いであることになりました。

正しい説明は、宇宙ステーションは常に地球に落下(自由落下)しているので重力が消えている、つまり無重力状態なのです。



ニュートンの万有引力の式は、二つの質量に働く力が等しくて対称的であり、美しいのですが、これはニュートンの仮説に過ぎないのです。この式で軌道解析も星座の動きも間に合っています。二つの質量に力が働いている証拠はありません。二つの質量が加速度的に動くことだけが観測されている事です。

ニュートンは万有引力の式をどのようにして見つけたのでしょうか。まず、レンズのついた望遠鏡のない時代に、チョコ・ブラーエが惑星運



動の正確なデータを残しました。これらのデータは星の位置(座標)と時間の集まりです。時計も精度の良い時計が無かった時代です。昔の方が観測条件が良かったのは空気が綺麗で澄んだ夜空が多かったことぐらいでしょう。

チョコ・ブラーエは若いケプラーの能力を認め、弟子にしてデータ解析を任せました。一緒に働いた期間は1年足らずで、チョコ・ブラーエは亡くなってしまいました。ケプラーはチョコ・ブラーエの遺産である測定データを引継ぎました。解析を続けた結果、まず第1法則と第2法則を見出しました。

既にコペルニクスが地動説を発表し、学者の世界では地球も太陽を回っていると考える人が多かったので、惑星は円ではなく楕円軌道を回っているとしないとデータが合わないことを見つけました。これが第1法則です。

そして惑星は太陽を一つの焦点とする楕円軌道を回るものの太陽に近い時は速く、遠い時には遅く、その程度は動径が描く面積速度が一定であるとするのが良いと判りました。これが第2法則です。

二つの法則を発表した1年近く後に、ケプラーは第3法則を見つめました。太陽に近い惑星は1周するのが早く、遠い惑星は1周するのが長いのです。そして、楕円軌道の長径の3乗が周期の二乗に比例することが判ったのです。

ケプラーの3つの法則が成立するのはどういうことかと聞かれたニュートンが答えたのが万有引力の式だったのです。太陽と惑星の間にはお互いに引き合う距離の二乗に逆比例する力が働いている。こう考えたとケプラーの3つの法則が成立すると答えてました。ニュートン自身は遠隔力というのに馴染まず、変な絵を残しています。

ニュートンはケプラーの式から幾何学的に万有引力の式を導いていますが、よく吟味すると加速度の項を(力/質量)で置き換えて全体を力の式にしています。

元々が、惑星運動のデータですから、これらから演繹的に導けるのは加速度までです。(力/質量)に置き換えたということは仮説になります。私はニュートンの早合点と言ったことがあります、大天才に恐れ多いので、仮説と言ひ直しています。

3 力とは何か

ここで、力とはなにかを正確に表現する必要があります。目力とか胆力とか文学的には多様です。最近では鈍感力という文字も本の表紙で見たことがあります。

しかし、物理用語としては明確で、力とは二つの要素を持つ作用です。一つは物体に力が作用すると(A)加速度運動を生ずること。二つ目は(B)物体内部に応力・歪が発生することです。国語の辞書の大辞林ではこの二つがANDなのかORなのか明確ではありません。力とはこの二つの要素をANDで持つものです。物体に作用する力は慣性力と釣り合います。重力は(A)の加速度運動しかないのです。

力は物体に作用すると加速度運動を与えます。此の関係式がニュートンの運動の第2法則で $F=ma$ です。ニュートン力学で最も大事な式と言えるでしょう。力の大きさの単位[N:ニュートン]もこの式から定義されています。質量1キログラムの物体に作用して1メートル毎秒・毎秒の加速度を与える力の大きさを1ニュートンというのです。しかし、おかしなことに加速度を測つて力の大きさを決めたとと言う話を聞いたことがあります。力はいつもロードセルとかバネばかりで計られます。力が物体に作用するとその物体には必ず内部に応力が発生し、歪みます。どの加速度計も実際は力によるひずみを測定しています。

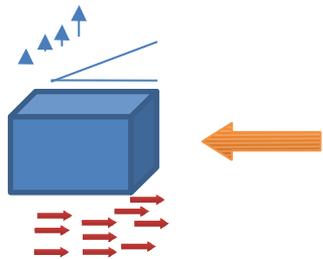
ところで、力の伝わる速さはあまり言及されません。力が伝わる速さが無限大でないにしても、光速と同じぐらい早いのではないかと思われる方が多いようです。力は音速で伝わるのです。このことを書いた本を見つけていませんので、今のところ私の説です。音速といっても金属のような物体を伝わる速さは数 Km/s ぐらいの速さはありません。

重力は力ではありません。英語では Gravity is not a force です。重力場の伝わる速さが光速であるというのが一般相対性理論の一つの結論です。重力波の検出に成功したという報道はまだありませんが、間接的に重力波の存在を示す宇宙背景輻射の変化を検出したという報道がごく最近ありました。

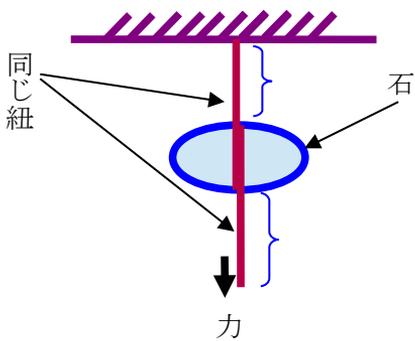
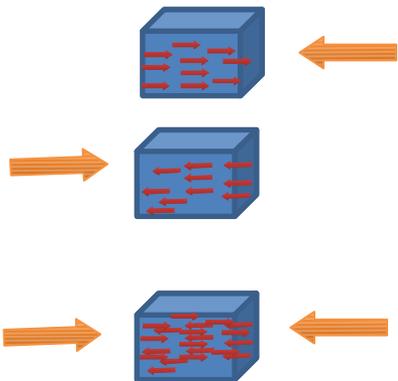
力は必ず釣り合い状態にあります。昔の諺に「暖簾に腕押し、糠に釘」があります。これは力が入らない状態を言っています。力が作用するためには釣り合い状態であることが必要です。

基本的に力は慣性力と釣り合います。加速度に質量を乗じた値が慣性力です。力に釣り合う慣性力は実際の力です。見かけの力ではありません。ダランベールの原理は慣性力を実際の力とみたとき

に外力との和がゼロになる、つまり釣り合うことを言っています。



外力と外力の釣り合いは物体に応力・歪は発生しますが運動はしません。加速度と反対方向の加速度がキャンセルされるからです。物体内部の応力・歪は外力と外力に釣り合い時には圧縮または引き張りで同じだから足されるのです。



この図は大きな石を天井から紐で吊るして下を引っ張ったとき上の紐が切れるか、下の紐が切れるかというクイズです。力の伝わる速さが有限である証拠になるかと思っ取り上げてみたのですが、多少無理なようです。

素早く引っ張れば下の紐が切れますが、ゆっくり引っ張ると上の紐が切れます。ゆっくり引っ張ると、上の紐は石の重さが引っ張る力に加わりやすから上の紐が切れます。早く引っ張ると、慣性力で釣り合つて上には引っ張る力が来ません。

ここで、ひとまず重力が力でない証拠を上げてみました。

力を検知する加速度計が重力を検知できないことが力でない一番の証拠でしょう。

自由落下により重力が消えてしまうことが力でない証拠です。自由落下する物体は外から見ると加速度運動をしているのですが、その物体に固定した座標系でみるとその物体は静止しています。力の

作用は座標系に依存しません。

スイングバイで宇宙機が壊れることはありません。太陽系の外まで飛行したパイオニアやボイジャーは木星や土星の重力を利用して加速しました。この方法をスイングバイといいますが、このとき宇宙機はそれぞれの惑星に対して自由落下していることに変わりはありませんので、宇宙機には何の力も働きません。

4 アインシュタインの生涯最高の思いつき

アインシュタインが特殊相対性理論を発表したのは1905年です。この特殊相対性理論はアインシュタインが発表しなくても、遅からず他の人が発表したであろうと言われています。実際、ポアンカレが1カ月前に殆ど同じ内容を発表していますのでアインシュタインを非難する人もいます。

アインシュタインは特殊相対性理論が重力を含んでいないことに不満を持ち、ずっと考えて思いついたことが「自由落下をしている物体は重力が消えている」ということでした。

現代の人は「V」や映画で無重力状態がどのようなものであるか判つていますが、アインシュタインは全部頭の中で思い浮かべたのです。有名な思考実験として天使に吊り下げられたエレベーターの中の人です。

自由落下するエレベーターの中では重力が認められないのです。ニュートン力学では重力と慣性力が釣り合っているからだと説明していません。しかし、物体の内部に応力・歪が発生していないのです。力が作用すると必ず応力・歪が発生しますから、重力が力であるとする矛盾を生じます。

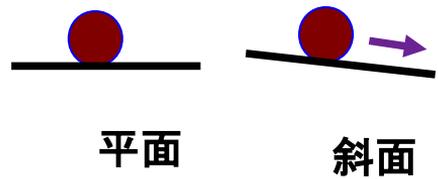
実際、理論物理学者は重力が力でないと言っているのです。

Gravity -- A Force or a Field?

Newton - 1687 - a force --
Bodies attract each other directly at a distance

Einstein - 1916 - a field --
Bodies separately distort the space between them.

But Einstein knew his theory was incomplete



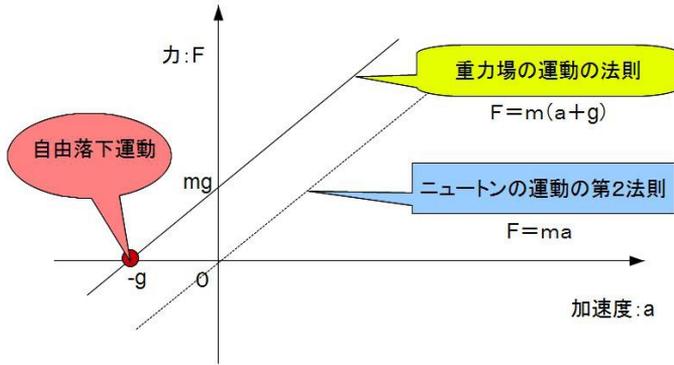
右の図はスタンフォード大学のホームページの内、GR-B ミッションの説
明から抜粋したものです。GR-B ミッションは一般相対性理論の帰結
の一つである時空の引きずり効果の存在を実証するものです。長年
かかって高精度のジャイロ装置を開発し、宇宙に打ち上げて1年間
の測定データを集め、そのデータ解析に1年以上かけてやっと成果
が発表されました。結果は一般相対性理論の予測どおりであった
ということ、今となつては逆に大きなニュースにはならなかったよう
です。

この図ではニュートンが1687年に重力は力と考えたことに対し、
アインシュタインが1916年に重力は場であると反論したことになっ
ています。

しかし、アインシュタインが重力が力でないことに気が付いたのは、
1907年のことです。

アインシュタインは重力は時空のひずみであるとし、これが
正しいことは今日では殆どの理論物理学者が認めています。

重力場における運動の法則



平面に置かれたボールは静止しているならいつまでも静止していません。時空のひずみとはこの平面を斜面にしてしまうような効果でボールは加速度を持つて運動を始めます。重力とはこのボールを押し下ろす力です。時空のひずみは重力場という言葉でも表現されます。重力場に置かれた物体は、どのような物体であっても同じように運動を変化させます。

ニュートンの運動の第2法則はニュートンの運動方程式とも呼ばれる式で $F=ma$ です。しかし、この式は重力場では $F=m(a+g)$ に修正する必要があります。 g は万有引力の式に含まれている重力加速度です。ニュートンが最初からこのようにまとめておけば良かったのです。重力場はニュートンの運動方程式の原点を移動させると解釈することもできます。

現在のニュートン力学では $W=mg$ を重力と言う力として扱っています。従って、認識の違いだけであり、実質上の差はありません。

ニュートンの運動の第一法則は慣性の法則とも呼ばれます。何も力が働かないなら、静止している物体は何時までも静止しており、運動している物体は等速直線運動を続けるというものです。

慣性の法則に従っている運動を慣性運動と呼びます。アインシュタインの慣性運動と呼ばれるのは自由落下による運動のことです。この運動はニュートンの慣性運動を含んでいますから、重力が力でないことを認めるなら、ニュートン力学でも慣性運動とは自由落下運動のことであるとすれば良いのです。

5 ニュートン力学での修正事項

これまでに述べたことを要約して、ニュートン力学で修正を要することとまとめますと次のようになります。

- ① 重力は力でなく加速度であると認識を改める。
- ② 重力質量の概念は不要である。
- ③ 慣性運動には自由落下運動を含める。
- ④ 運動方程式は重力場の運動方程式とする。
- ⑤ みかけの力とは加速度に質量を乗じただけの概念上の力とする。
- ⑥ 力の大きさ定義はフックの法則を使い、応力・歪から決める。
- ⑦ 自然に存在する四つの力という言葉は四つの相互作用とする。

6 耐高加速度鎧

前節で表したニュートン力学に対する修正事項も、認識を改めることですべてです。認識を改めて何か良いことはあるのだろうかという指摘があります。これまでのニュートン力学で、例えば軌道計算も間違っていたわけではありませんから。

認識を正しく改めることで大きな成果があったのはアインシュタインが一般相対性理論を確立できたことです。これがすべてかも知れません。

しかし、私は何か見落としているものはないかと考えてみました。そして昨春秋に一つ思いつきました。しかし、重力に関連して思いついただけで、重力が加速度であるという認識と直接に関係するものではありません。

それは人間が大きな加速度で飛行しても耐えられる方法の原理です。加速度負荷を水圧負荷に変換する鎧を着ることです。

今、地表の重力加速度をGで表します。Gの大きさは約 10m/s^2 です。ロケットのエンジンが強力で10Gの加速度で100秒間続いたとしますと達成できる速度は 10Km/s^2 です。100Gの加速度なら10秒でこの速度が得られます。地球の脱出速度が 11.2Km/s 、地球を回る人工衛星の速度が 7.9Km/s 、月面からの脱出速度が 2.4Km/s です。

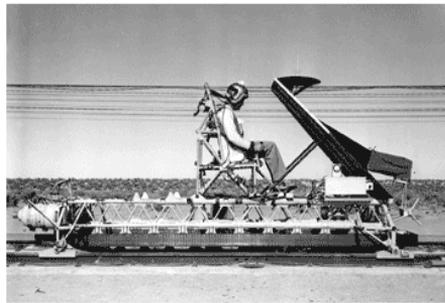
将来の宇宙機は高加速度のロケットが利用できるようになるかも知れません。このときに耐高加速度鎧は使われるようになるでしょう。遠い将来のことでしょうが。



右はソユーズロケットのエンジン部分(上の写真)と有人カプセル部分(下の写真)です。有人カプセル部分には4枚のペダルが取り付けられています。また右の方には写っていませんが打ち上げ時の事故に備えた脱出口ケットが取り付けられています。

1983年10月号のAW&ST誌によると、この緊急時脱出口ケットを実際に作動させたことが、ソユーズロケットを使いだした初期の頃に一回だけあるそうです。当時はソ連で一切情報は出てきませんでしたから正確なところは判りません。この緊急時脱出口ケットが作動すると16Gの加速度が5秒間かかるそうです。3人の宇宙飛行士は耐えられたのでしょうか。

戦闘機のパイロットも機敏な操舵で大きな加速度が掛かります。1950年代に米国でも秘密の実験が行われていました。



の経験があると答えてくれました。

砂漠の地にレールを引き、ロケットを付けた車で加速度にどれだけ耐えられるのかの実証試験をしているのです。米国空軍のスタップ大佐は自ら志願してこのロケットに乗っています。加速はロケットを作動させて5Gの加速度で5秒間継続し、時速約1000Km/sに達し、その後水中にプレートを突っ込む方法で急ブレーキをかけています。この急ブレーキのときの加速度(減速度)が43Gになったと記録されています。スタップ大佐は一時的に両眼とも失明したそうですが、その後回復して軍人生活を全うし、89歳で亡くなっています。

日本の防衛省では入間基地に遠心力発生装置を所有しています。現在の装置は人間が乗って最大12Gまで負荷できます。先月、筑波宇宙センターで宇宙飛行士の油井さんに会った時、この加速度試験機の経験はあるか聞いてみました。彼は昔の装置だったので8Gまで



月面マストドライバーの絵は NASA により 1987 年に描かれたものです。チャレンジャーの事故が 1986 年での後の年ですが、この頃はまだ宇宙開発の将来は夢が大きかった時代です。スペース・シャトルによる低コスト宇宙輸送が実現できて、将来の衛星は宇宙で修理も出来るようになるだろうとの見込みでした。私が担当していた ADEOS の概念設計もその方向でまとめていました。

月面のマストドライバーはリアモーターカーのように電磁力で打ち上げるものです。レールの長さを短くするためには高加速度で打ち出さなければなりません。人間は到底耐えられないだろうと考えられています。そのため、宇宙ステーションの資材や資源などを打ち出すためのものとしてマストドライバーという名前になっています。

高加速度負荷を水圧負荷に直せば人間は耐えられることにまだ誰も気が付いていないのです。



上部ページの上の写真は NASA の月面宇宙服で、下の写真は若田宇宙飛行士が ISS の船外活動時に着る宇宙服を紹介しています。



右の宇宙服は移動装置を背負っていて全体で MMU (Manned Maneuvering Unit) と呼ばれています。スペース・シャトルから紐なしで宇宙の 3 次元空間に人間が浮かんだ初めての姿です。

ケネディ宇宙センター (KSC) ではスペース・シャトルの打ち上げが無くなりました。KSC は淋しくなつたろうと思いますが、レールの上を高速飛行体を走らせる実験をやっているようです。

さて、次の写真は西洋の風呂桶です。我が家の風呂はこのようなものではありませんが、風呂に浸かっているときに思いつきました。頭も浸かってそのまま風呂ごと打ち上げられたら加速度荷重は少しばかりの水圧の上昇になるだけです。



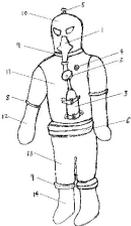
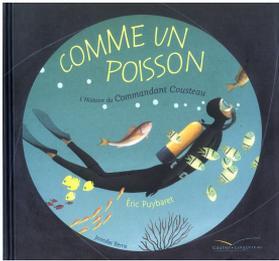
風呂桶では恰好が悪いですから他に探したら、エジプトの王様の棺が見つかりました。こんなのも良さそうです。



高加速度に強そうな生物を探してみました。固い甲羅に内容物が密着していれば良さそうです。オウムガイやサザエなどの貝類は強そうです。
TVのCMで若い女性が頭突きで瓦を何枚も割るシーンがあります。頭が瓦を割る瞬間にはかなり大きな加速度が加わると思いますが頭がい骨が割れなければ中の脳みそは大丈夫なようです。



耐高加速度鎧のイメージに近いのは、古代の埴輪です。宇宙人が高加速度の飛行体に乗って地球に降り立ったのではないかと思わせる様相です。



潜水士はウェットスーツを着てアクアラングを付けて潜ります。ウェットスーツは体温維持のために、アクアラングは呼吸のためです。耐高加速度鎧の下はこのようなウェットスーツを着て、呼吸のためのエアタンクを装備したことになるでしょう。時間が短いのでエアタンクは小さなもので済むでしょう。

ウェットスーツの浮力をキャンセルさせるウエイトを腰につけて、呼吸を調整しますと、丁度浮きも沈みもしない状態を保てます。この状態を中性浮力(Neutral Buoyancy)と言います。水面下でも、深度10mの海中でも、20mの海中でも潜水士は特に違いを感じることはありません。30m以上深く潜ると、潜水病になる可能性があります。潜っているときに違和感はありません。

風呂桶に使ったまま大きな加速度を受けると体の上部と下部で水圧差がありますが、違和感は全くないでしょう。

もちろん最初は遠心力試験機のような装置で水槽にいれた金魚や鯉で高加速度に耐えられるか試してみる必要があります。

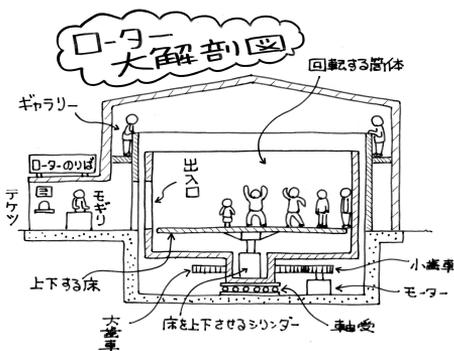
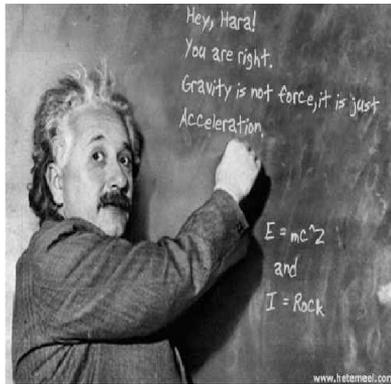


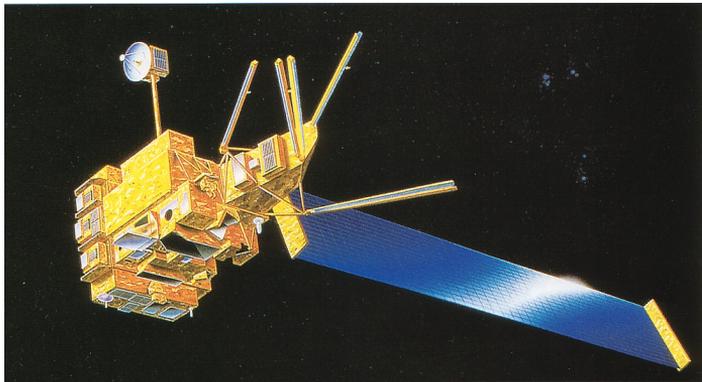
戦闘機のパイロット達が耐Gのスーツを着ますが、これは下半身を締め付けて血液が下半身に下がってしまうのを防ぐもので、せいぜい2G程度楽になるだけのものです。

おわりに

最後に、私は長らく宇宙開発に携わってききましたが、折に触れ感じたのは「宇宙開発は重力との闘い」であるということでした。そして、3年前に気が付いたことが「重力は加速度である」ということだったのでした。

(2014年4月4日)





S119E008577