

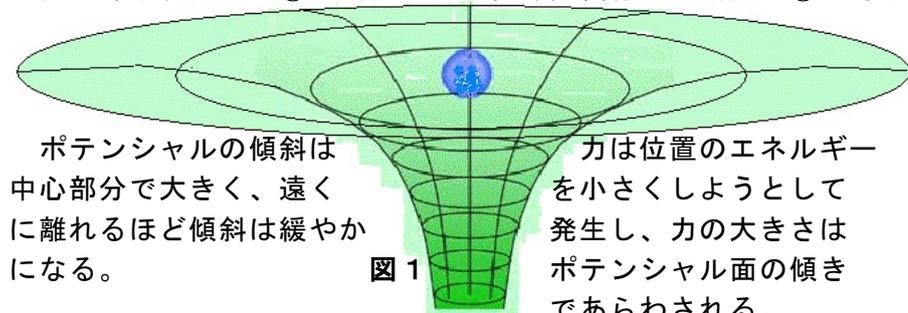
ビー玉ブラックホール

菅原 陽

抄録 科学館にある太陽系重力場モデルを学校などの現場に普及させるため、装置の製作を試みた。現在の宇宙論の知見も踏まえた「疑似重力場モデル」となった。

キーワード 重力ポテンシャル 銀河回転曲線問題 原始太陽系 衝突とエネルギー

はじめに 2011年のノーベル物理学賞は加速膨張宇宙の発見に与えられた。宇宙空間の近代の概念は、ニュートンの「均一で歪みのない静的宇宙空間」、次にアインシュタインの「大質量により歪み曲がる時空間」と変化してきた。このノーベル物理学賞は新たな宇宙空間の概念を提示しダークエネルギー70%、ダークマター25%、我々が知っている宇宙はなんと5%。その理論的な説明は新しい物理学に託されている。太陽系外惑星など宇宙に関する新しい発見がニュースになっている中、今回の「疑似重力場モデル」は、人工衛星、長楕円彗星軌道や原始太陽系の惑星衝突などの体験的理解を進めることに役立つ。ビー玉が回転しながら中心に吸い込まれていく様子に興味を深くし、回転、加速度、位置エネルギーの体験的理解を助ける教材になっている。本来の重力場の曲面ポテンシャルは図1の曲面であり、図2の①の断面になる。今回製作した断面は②であり、銀河の重力曲面は③となる。



ポテンシャルの傾斜は中心部分で大きく、遠くに離れるほど傾斜は緩やかになる。

力は位置のエネルギーを小さくしようとして発生し、力の大きさはポテンシャル面の傾きであらわされる。

図1

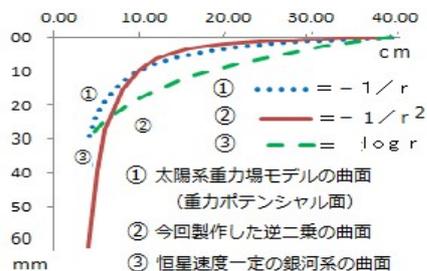


図2

具体的な説明 作品の曲面②は、新しい発見と製作や曲面の理解しやすさを考慮した。中心までの距離の2乗に反比例して深くなる面である。具体的には中心からの距離が40cmを基準とし深さ0cmとすると、1/2の中心からの距離が20cmになったとき深さ1cm、1/4の中心からの距離が10cmの時深さ2cm、1/8の中心からの距離が5cmで深さ3cm、1/16の中心からの距離が2.5cmでは深さ4cmである。

材料 このような面を作る材料の候補は、ポリ塩化ビニル、アクリル板、ポリカーボネートがあるが、より廉価であり手に入りやすい塩化ビニルで作成した。性質は粘弾性（ゴムのように元に戻る）性質もあり過熱修正も可能。ガラス転移点と変形温度は、ポリ塩化ビニルが82度、融点180度である。



図3 斜めから



図4 横から

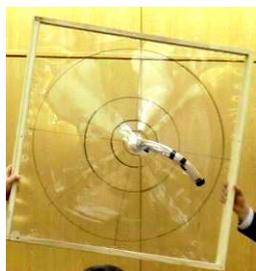


図5 正面から

図3～5は、逆二乗面を3方向からの写真です。

製作方法 ヒートガンで百度以上の熱風で中心を熱し麺棒で押した窪みに水を少量流し固くして突き破るのを防ぎます。その後、描いた円に沿った木製円盤を上から押しあて曲げ、曲面に沿って同様の操作を繰り返します。

実際の装置

写真の装置は3枚で製作原価1万円、キャスター装着で移動可能。

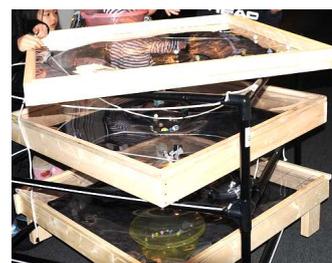


図6

今回、tok財団の支援を得て、この装置の配布を計画しています。

写真は3段の装置だが 配布計画は上段の②の曲面、下段はパラボラ放物面（焦点距離42cm）。キャスター付きイレクターパイプの骨組み。

すがわら よう
y0sugawara@gmail.com
ゆめ科学ネット HP



<http://www2.gol.com/users/sizukayo/index.html>

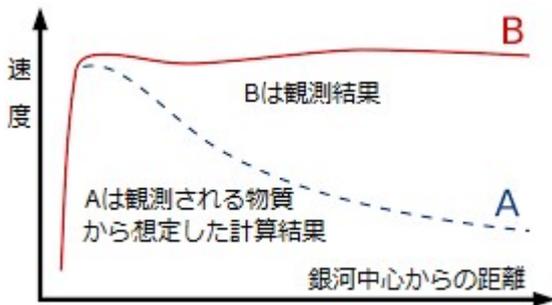
装置説明

曲面について

- ① この曲面は万有引力の法則やクーロンの法則での距離の2乗に反比例して減衰する形のイメージそのものです。しかし、真の重力場モデルではありません。正しくはその積分である、距離に反比例している曲面です（図2の①の $1/r$ ）。このことを理解するには微積分の修得後になります。さらに②の曲面にビー玉を転がすと、摩擦や回転モーメントの影響で計算上の軌道からさらにずれるので、装置は「疑似重力場」のモデルです。

② 銀河の回転曲線問題

「銀河中心から離れた周縁部の回転速度が低下せず平坦な速度分布となること」と「見えている恒星質量からの計算結果の矛盾」のこと。



③ 図2「③恒星速度一定」について

銀河系の曲面の形状を考えるにあたり、慶祥高校石川昌司先生から次の示唆をいただき③の曲面を提示した。「銀河の中心から星までの距離を r とするとき星にはたらく引力の大きさは mv^2/r 、仮に星の円運動の速さが銀河の中心からの距離に依存せず一定となるのであれば星にはたらく引力の大きさはそのまま r の1乗に反比例する。この $1/r$ を積分した $\log(r)$ が銀河系のポテンシャルの形になる。」

「 $\log(r)$ 面の傾きは $1/r$ 、仮にビー玉は鉛直方向にはほぼ動かず同一水平面内を摩擦なしに滑って等速円運動をしていると考え、質量 m の物体にはたらく力の大きさは斜面の傾斜角を θ として $mg \tan \theta$ 、今 $\tan \theta = 1/r$ であるからこの力の大きさは mg/r となる。」

④ 衝突と速度のエネルギー

ビー玉は衝突すると減速し、衝突されると加速する。つまり、衝突されるとより長く回転し、衝突すると速度のエネルギーを失いすぐに中心に落ちていく。

⑤ 2段目の放物面での回転

ビー玉はホースの中を通り2段目のパラボラの放物面に落ちる。ビー玉を円に近い回転に調整すると中心付近の回転もその外側の回転も同じ周期で回転する。

⑥ 太陽系の惑星

原始太陽系では、小さな塵が合体を繰り返し30個ほどの原始惑星に成長した時期があると想定され、さらに衝突を繰り返し現在の太陽系になった。

水星 3.285×10^{23} kg

すい星は他の原始惑星との衝突でも合体はせず、外側の地殻部分がはがされ中心の金属部分が主に残った

金星 4.867×10^{24} kg 水星の15倍

自転周期は243日で公転日数より大きく、他惑星の自転と逆方向である。

地球 5.972×10^{24} kg 水星の18倍

内核に液体の金属があり磁場を発生し太陽風を防御しオーロラも発生する。

火星 6.39×10^{23} kg 水星の5.5倍

直径は地球の約半分、質量は1/9程度。内核は冷えて固体なので、液体金属がないため太陽風の防御が弱く空気は剥がされた。

⑦ 長楕円彗星軌道

この装置に長楕円の軌道を描くようにビー玉を転がすと、スイングバイのような効果で長楕円周期軌道の方向の角度はプラスの方向に変化する。

⑧ ゲーム（小学生には人気です。）

各自は同じ色のビー玉を例えば2個選び、いっせいに反時計回りに転がす。最後まで残ったビー玉が勝者です。

⑨ 装置開発の経緯

この装置は20年前にも製作し札幌市の児童会館に寄贈した。小さな子供が曲面に体重をかけて、ビー玉を回収する場面はたびたびあり3年程度でひび割れが発生。しかし、普通の操作では曲面の剛性は強いと考える。

⑩ メンテナンス（修理）

装置は透明な塩ビ版で、温度85度以上で変形する。高温のラジエーターやストーブの傍での過熱に注意すること。修理する場合は製作方法を参考に、ヒートガンと変形位置に応じた円型板やナベやガラス瓶の口、手打ち麺棒（中心の窪み用）などがあれば修理可能です。（連絡いただければ対応します。）