

## 重力場のトリックアートについての考察

長谷川 能三\*

### 概要

展示場2階「カブラ広場」のスペースを利用して、「こんなところにブラックホール？」というトリックアートの写真スポットを設置した。重力場を描いたシートの上に立った様子を撮影すると、ブラックホールに吸い込まれるような写真を撮ることができるというものである。

このようなトリックアートでは、視点(カメラの位置)を設定して図柄をデザインがするが、重力場の場合には、設定位置以外の高さからでも、比率の異なる重力場として撮影できることがわかった。また、重力場の場合に効果を高くする設定についても考察した。

### 1. はじめに

新型コロナウイルス感染症拡大防止のため、大阪市立科学館は2020年2月29日(土)から臨時休館し、5月21日(木)からはプラネタリウムのみ定員を減らして開館したものの、展示場の公開は7月21日(火)からとなった。しかし展示場の公開においても、目や口などを近づける展示、消毒作業の難しい展示など、一部の展示は休止している。展示場2階の「カブラ」も、消毒作業が難しく、休止状態が続いている。

そこで、2021年3月20日(土)より、「カブラ」のスペースを利用して「こんなところにブラックホール？」と題したトリックアートを設置した。これは、愛媛県総合科学博物館でサイエンスショー「重力ってじゆう力？ 不じゆう力」に合わせて撮影スポットとして設置されていたもので、愛媛県総合科学博物館より図形パターン<sup>[1]</sup>の提供を受け、シートを作成、設置した。



写真1. 「こんなところにブラックホール？」

重力場をイメージした穴が床面に対して真下方向にあり、この穴が真下に空

にあるように図を描くと、シートの外形は円形となる。これに対し、このシートでは「床の穴が真下に空

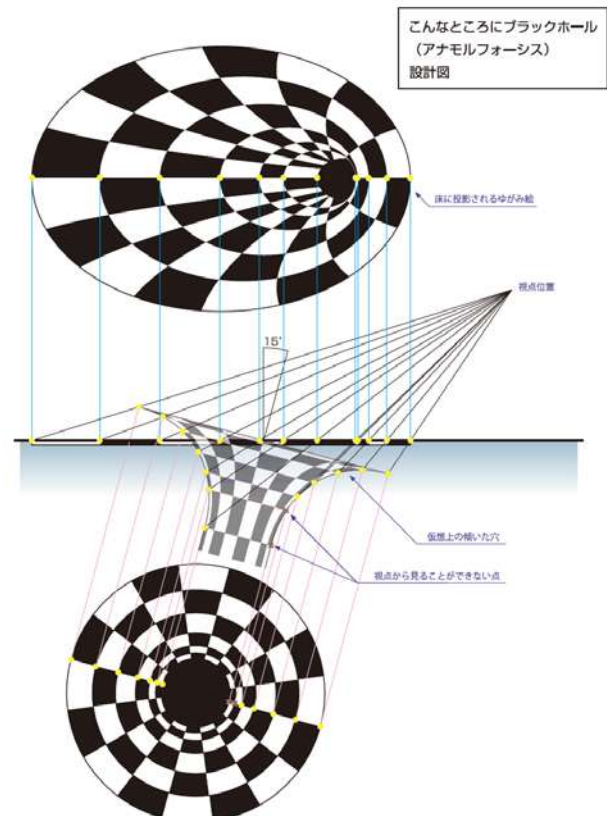


図1. 「こんなところブラックホール」設計図<sup>[1]</sup>

\*大阪市立科学館 学芸員  
hasegawa@sci-museum.jp

いているように描くと、実は穴が空いているように見えづらい。視点に合わせて穴を強調するように全体を手前に回転させた方が錯視効果が高い。」<sup>[1]</sup>ということで、外形が楕円形となっている。

そこで、穴が床面に対して真下方向にあいているように描いた図とはどのような違いがあり、全体を手前に回転させた方がなぜ視覚効果が高いのかに疑問を持ち、自分でも描いてみることにした。



写真2. 上部に設置したカメラ(左)とシートに立った人から見えるモニター(右)

## 2. 重力場のトリックアートの作成

ここでは床面に対して真下方向にあいた穴を設定するため、床面を  $xy$  面とし、床面に垂直上向きに  $z$  軸をとる。穴の形状は  $z$  軸からの距離  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  の関数  $z = f(r)$  と表わされるとする。穴は重力場をイメージしているため  $f(r) = -1/r$  としたいが、これでは穴の縁が無限に広がるため、 $f(r) = 1 - 1/r$  ( $z \leq 0$ ) を想定する。また、 $z = f(r)$  の逆関数を  $r = g(z)$  とする。この場合、 $g(z) = 1/(1 - z)$  ( $z \leq 0$ ) となる。

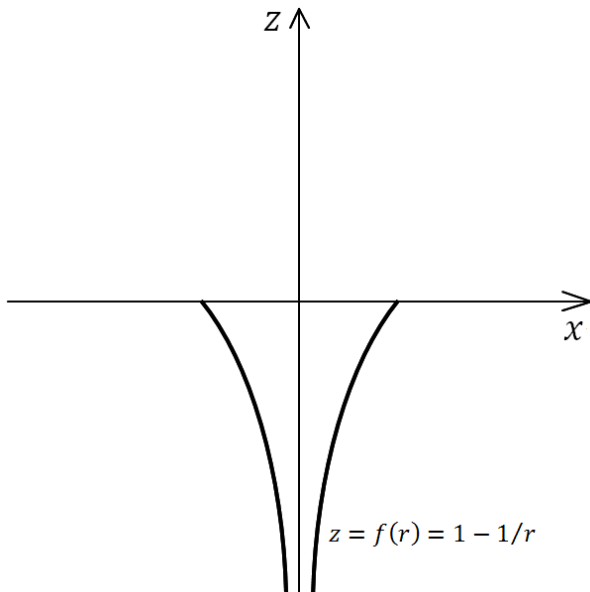


図2. 重力場をイメージした穴の設定

この穴を  $(x_0, 0, z_0)$  の位置から見た形を床面に射影することを考える。高さ  $z$  ( $z \leq 0$ ) での穴の形状は中心が  $(0, 0, z)$ 、半径が  $g(r)$  の円であり、これを視点の位置から床面に射影すると、中心が  $(x_0 z / (z_0 - z), 0, 0)$  で半径が  $g(r) z_0 / (z_0 - z)$  の円となる。視点の位置を  $(2, 0, 2)$  として、穴に市松模様のような模様をつけて描くと図4のようになる。

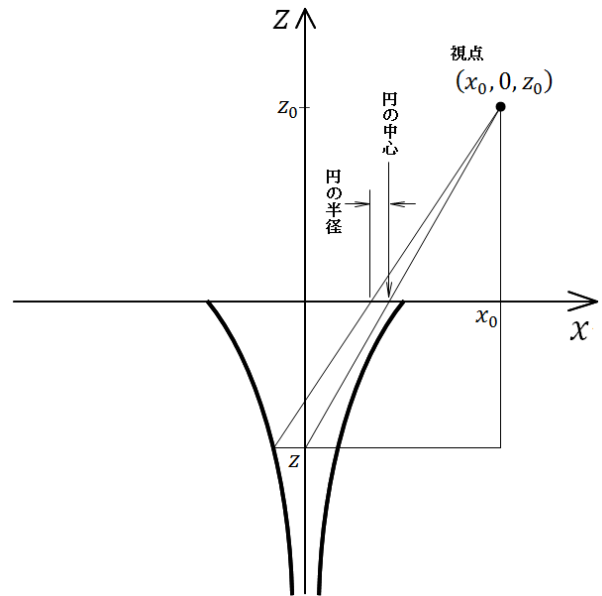


図3. 床面への射影

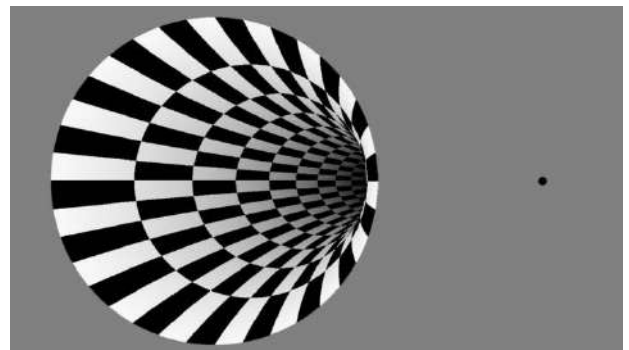


図4. 作成した重力場のトリックアート

図4を設定した視点の位置から撮影すると、写真3のとおり人形が穴に落ちそうに見える写真となった。なお、パソコンの画面上に人形を置いた場合には、人形の影がほとんどできないため、トリックアートとしての効果が高い。

更にこの図を、本来の視点の位置より低い位置からや高い位置から撮影したのが、写真4、写真5である。すると、設定した視点の位置でなくても、穴がいびつにはなっていないように見える。

これらの写真を周りの人に見てもらったところ、「高い位置から撮影した写真は落ちそうな感じに見えるけど、低い位置から撮影した写真は魔法使いが宙に浮かんでいるように見える」という感想があった。そう言われて



写真3. 設定した視点の位置からの撮影

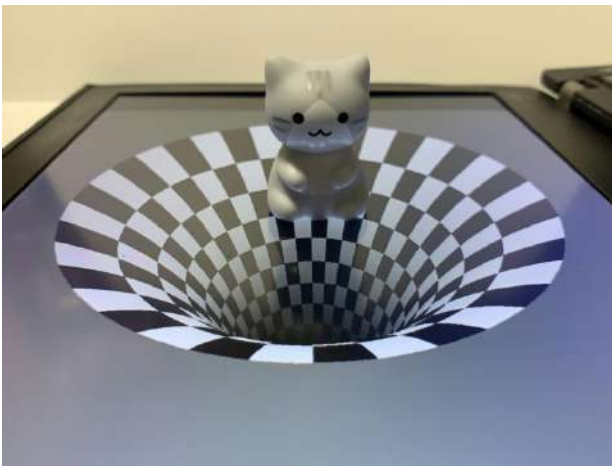


写真4. 設定した視点より低い位置からの撮影



写真5. 設定した視点より高い位置からの撮影

みると、確かに高い位置から撮影している方が、穴を上から覗き込んでいるため落ちている感じが顕著になっているように感じる。これは小さな人形を置いて撮影しているのでカメラの位置は自由に換えられるが、実際に人で撮影するサイズで作った場合には、あまりカメラの位置を高くすることができない。これが、「視点に合わせて穴を強調するように全体を手前に回転させた方が錯視効果が高い」理由ではないだろうか。

### 3. 視点の高さによる重力場の形状の変化

前章で設定した視点の位置とは違う位置から撮影した場合にも、穴の形状に違和感がなかったが、実際に形状は正しく重力場になっているのだろうか。

図5からわかるように、視点の位置の高さが異なる場合でも、それに合わせて穴の形状を上下方向に伸縮させることにより、全く同じ図が描かれることになる。

このことは、同じ図を低い位置から撮影した場合には上下方向に圧縮した穴の形状を設定していたことと同じであるから、上下に圧縮された穴のように写る。逆に高い位置から撮影した場合には上下に引き伸ばした穴のように写る。これは、重力場を表わした穴であるかどうかや軸対象の形状であるかどうかにかかわらず、設定した形状に対して上下方向に伸縮した形状に写ることになる。重力場の場合、上下方向に伸縮した場合であっても重力場を表わすため、撮影位置の高さについては、上下しても問題がないことになる。

写真3、写真4、写真5を比べてみると、同じ図を撮影したものであるが、視点の高さにより、上下方向に圧縮された穴のように見えたり、引き伸ばされた穴に見えるのがわかる。このことも、写真4に比べ写真5の方が落ちてる感じが強い原因のひとつかもしれない。

一方で、想定した視点の位置から前後方向にずれた(穴に近い、もしくは穴から遠い)位置から撮影した場合には、このような単純な変形とはならず、ゆがんだ穴のように写ることになる。

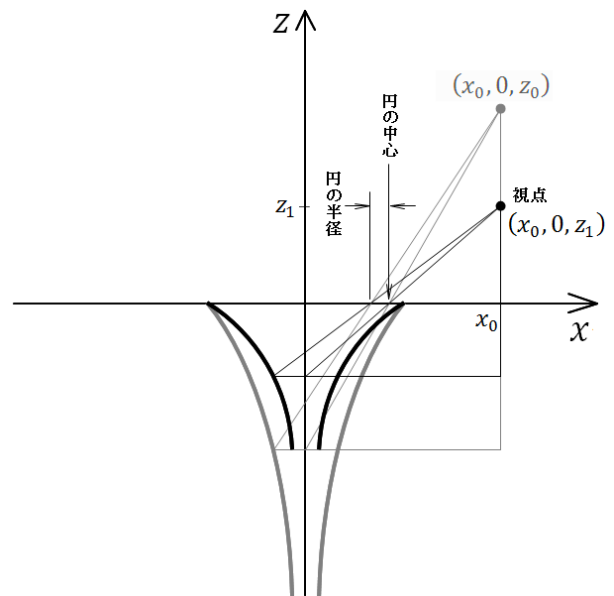


図5. 異なる視点の高さから同じ図が描かれる場合

### 4. 穴の形状

こんどは、同じ視点の位置のまま、設定する穴の深さを変えた場合を考える。

穴を上下方向に圧縮した場合(写真6)には、元の

穴の形状の場合(写真3)と比べると、穴が浅くなった分、視覚効果は低くなっている。

それでは逆に上下方向に引き伸ばすと効果的かといえ、そうとも限らない。写真7の場合、穴としては深くなっているが、重力場を示す窪みであることがわかりにくい。これは穴の手前部分が全く見えていないからである。これを解決するのに、穴を上下方向に圧縮するという方法もあるが、それでは穴が浅くなり、視覚効果が低くなる。そこで、重力場の  $-1/r$  ポテンシャル面をカットする位置を変える、例えば  $f(r) = 0.5 - 1/r$  とすることによって、穴の手前部分も表示させることが可能である。

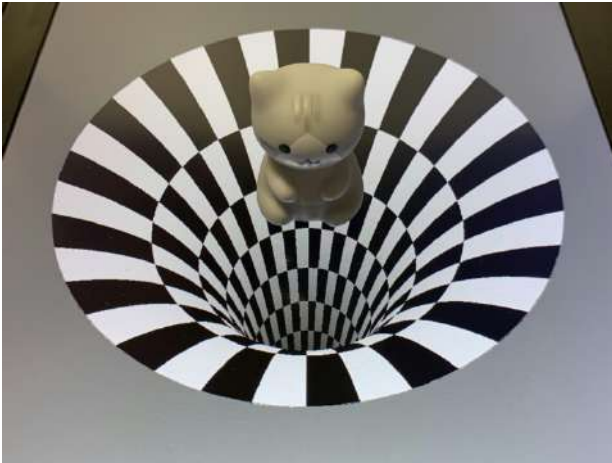


写真6. 穴を上下に圧縮した場合



写真7. 穴を上下に引き伸ばした場合

## 5. 穴の模様

ここまで、穴の面に市松模様のような模様をつけているが、これは穴の面に全く模様がなければ、穴の形状が視覚的にわからないからである。また、穴の奥の

### 【参考文献】

- [1]久松洋二「科学体験展示物の館内制作報告(2017年)ホロウマスク錯視とブラックホールカーペット」  
愛媛県総合科学博物館研究報告No.24, p23(2019)

方に行くにつれて市松模様の白い部分を暗くしていくことにより、奥行き感が強調されている。

またここでは、穴の深さ方向に一定の間隔で市松模様の白黒を切り替えているが、穴の縁に近づくと、穴の面に沿った距離では長くなっている。特に重力場の  $-1/r$  ポテンシャル面をカットする位置を変えた場合には、これが顕著になるため、穴の面に沿った距離で市松模様の白黒を切り替える方がいいと思われる。

また、ブラックホールにもものが吸い込まれる様子をイメージした渦巻き模様を描いてみた。しかし、これを視点の位置から撮影してみたところ、写真8のとおり穴が左右対称であるようには見えなくなってしまった。これは、左側と右側で視点から見た渦巻き模様の傾きと穴を見ている斜め上の位置の関係で、傾きが強調されたり打ち消されたりするからである。



写真8. 穴に渦巻き模様を描いた場合

## 6. おわりに

今回、床に対して真下方向にあいた重力場をイメージした穴についての場合、撮影位置を高くする、穴は深くするが手前の部分が見えるように重力場のポテンシャル面をカットするといったことで、視覚効果が高くなる傾向があることがわかった。

但し、これは人形サイズで、撮影位置を自由に設定できることが条件となる。また、穴の面の模様の付け方など、他にも視覚効果を左右する要因は考えられる。

## 謝辞

展示「こんなところにブラックホール」の作図データを快く提供いただいた愛媛県総合科学博物館学芸員の久松洋二氏に感謝申し上げます。