

展示場2階「みんなでたのしむサイエンス」の物理

石坂 千春

2024年8月に展示場が全面リニューアルオープンしてから、はや8ヶ月が経ちました。皆様はもう、新しい展示場を体験されたでしょうか？

2階の大テーマは「みんなでたのしむサイエンス」です。

展示改装前の2階は「おやこで科学」と題し、小学校低学年以下の子どもとその保護者を対象としていましたが、実際には年齢層を問わず、いつも多くのお客様でにぎわう人気のあるフロアでした。

そこで今回の展示改装では、展示の展開の仕方は引き継ぎつつも、対象を親子には限らず、「みんなで科学現象を楽しもう」という趣旨の名称に変更しました。

2階の展示手法は、1つの展示で1つのテーマを表現するのではなく、複数の展示群によって1つのテーマを扱うものです。

複数の体験型展示により、現象の背景にある物理法則に、言葉ではなく、なんとなく「ああ、そうか！」と気づいてもらうことを目指しています。

今回は「展示場へ行こう」の拡大版として、2階「みんなでたのしむサイエンス」を紹介します。

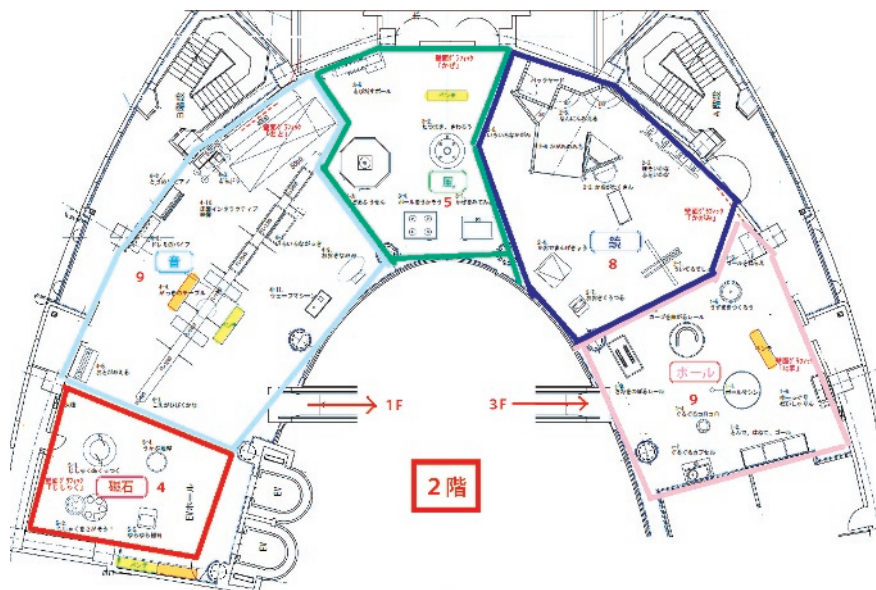


図1. 展示場2階「みんなでたのしむサイエンス」のエリア分け

0. 概要

2階は5つのテーマを扱うエリアに分かれています(図1)。

扱うテーマは、3階から降りてくるエスカレータから反時計まわりの動線順に「ボールがころがる」「鏡にうつる」「風がふく」「音がなる」「じ石にくっつく」です。

展示点数は、それぞれ「ボールがころがる」9点、「鏡にうつる」8点、「風がふく」5点、「音がなる」9点、「じ石にくっつく」4点で、全部で35点あります。

すべての展示はご紹介できませんので、各エリアで代表的なものを、その背景となる物理とともに、ご紹介しましょう。なお、物理をご紹介する際に、計数や式を詳細に記述するのではなく、大雑把な議論に留めます。

1. 「ボールがころがる」

ここにある9点の展示は下記のとおりです。

- ・ ボールマシン
- ・ ボールがはねる道
- ・ 坂道ゴルフ
- ・ ぐるぐるループ
- ・ うずをまいて落ちる
- ・ 車りんのきょうそう
- ・ どこにとんでく?
- ・ どうして上れる?
- ・ どれが曲がれる?

今回は「ボールがはねる道」と「うずをまいて落ちる」をご紹介しましょう。

(1) ボールがはねる道

改装前の名前は「とんで はねてゴール」でした。

空中にレールがあるわけではないのに、ボールはいつもほとんど同じところをはねていきます。

と言っても、ゴルフボールを使っていた時は成功率があまり高くありませんでした。ゴルフボールには凸凹(ディンプル)があるからです。



図2. 「ボールがはねる道」

そこで、この改装ではディンプルのあるゴルフボールではなく、真球のピンポン玉を使うように改良しました。成功率がずいぶん上がったと思います。

またボールの経路が分かりやすいよう、途中のゲートを増やし、背景に放物線を描きました(図2)。

「ボールマシン」や「坂道ゴルフ」でも、ボールは放物線に沿って運動していきます。なぜボールの経路は放物線なのでしょう？

横方向をX、縦方向をY、X方向のボールの速さをV、経過時間をTとして、それらの関係を調べてみましょう。

空気抵抗や摩擦抵抗がなければ、X方向には力が働きませんから、ボールは等速運動します(「慣性の法則」)。つまり $X=VT$ …①です。

Y方向には重力が働いています。重力は加速度運動ですから、位置は時間の二乗に比例します。つまり $Y \propto T^2$ …②(※ \propto は比例の記号)です。

①からTをXで表すと、②は $Y \propto (X/V)^2$ となって、これは正にYがXに関する放物線(二次方程式)であることを表します。

ところで、ピンポン玉にしても実際には、いつもうまくゴールするとは限りません。最初のスピードや、ジャンプ台の振動など、ほんのわずかな違いで飛び方が変わってしまうのです。①や②で、ほんのわずかVやTを変えるとXやYが変わることが分かります。

(2)うずをまいて落ちる

改装前の名前は「うずまき」でした。ひび割れが目立った漏斗を作り直しました。

縁にはボールの流し口も付きました(図3)。

流し口を使うと、ボールは縁に沿って転がり始め、だんだんスピードを上げながら中心に向かっていきます。中心ほど穴が細くなっていて、ボールはグルグルと渦を作りながら落ちていきます。この現象は、栓を抜いた水槽にできる渦や、ブラックホールなどの周りの降着円盤と同じです。



図3. 「うずをまいて落ちる」

さて、この展示は4階の「ケプラー・モーション」と見せたい現象が同じです。

その名の通り「ケプラーの法則」を再現したいのです。もちろん3次元的な宇宙空間を、鉛直方向にだけ重力が働いていて、漏斗でボールの運動方向が制限されている展示では再現できませんので、全くそのまま、というわけにはいきませんが、漏斗の形を工夫しています。

「ケプラーの第三法則」は、軌道長半径を X 、軌道周期を T として $T^2 \propto X^3 \dots$ ③です。

軌道周期は周回の速さを V とすると、ボールはほぼ円軌道として $T \propto X/V \dots$ ④と表せませんから、式③と④から、 $V^2 \propto 1/X \dots$ ⑤となります。

ところで漏斗上を転がっていくボールは、落ちていくときの重力エネルギーを運動エネルギーに変換していきます（「エネルギー保存の法則」）。すなわち中心近くに落ちていくほど、ボールは速くなるということです。

今、中心に向かう速度が全部、横方向（渦）に変換されるとして、漏斗の形を Y とすると、 $V^2 \propto Y$ ですから式⑤から、漏斗の形を $Y \propto 1/X$ にすれば、曲りなりにボールの運動はケプラーの法則に従うことになります。

実際、4階の「ケプラー・モーション」も、この「うずをまいて落ちる」も、漏斗の形は半径に反比例するように作っています。

2. 「鏡にうつる」

光の反射（鏡の性質）を扱う、このエリアには8点の展示があります。

- ・ ういて見える？
- ・ 顔がたくさん
- ・ ゆがんでうつる？
- ・ 顔でまんげきょう
- ・ わたしがたくさん
- ・ むげんにうつる
- ・ 大きくうつる
- ・ いろいろなかがみ

鏡というとよく「右と左が入れ替わるの？」「どうして上下は入れ替わらないの？」と質問されますが、「右と左が入れ替わるのか」確かめてみましょう。

「ういて見える？」は元々の名称は「ういてるでしょ」でした。

大きな鏡の両縁のところに向かい合って立つと、相手の半身が鏡映しの“全身”になります。この時、体を支えている方の脚を鏡に隠し、鏡に映っている方の脚を上げると、相手には、あら不思議、あなたが“浮いて”見えます。

今回の展示改装では、大きな鏡の真ん中に、新たな鏡を垂直に付けました。

相手にどう見えていたのか、自分でも確かめられるようになりました（図4）。

さて、ここで座標を定義しましょう。



図4.「ういて見える？」

これまで奥の方では青緑色になって暗くなっていましたが、さすが高精彩鏡！ずっと向こうまでクリアに映っています！

それにわざと、向かい合う2枚の鏡を平行からずらしています。

それこそ“無限に”自分が映っているのを見ることができます。

スマホを持っている方を「右」(横方向+)と決めます。つまりスマホを持っているのが右手です。

すると図4で鏡に映っている私も、スマホを持っている方が「右」です。たしかに「右」側の手にスマホを持っています。「右と左が入れ替わった」わけではないのです！※90°で鏡が交わっているので「わたしがたくさん」的な像も見えます。

上下も入れ替わっていません。頭がある方が上、脚がある方が下ですよ。

入れ替わっているのは、「前後」なのです！

向こうを向いていた顔が鏡の中では、こっちを向いています！鏡の世界では、横方向ではなく、奥行き方向が反転するのですね！

奥行き方向を何回も反転させる展示が「むげんにうつる」です(図5)。

合わせ鏡にすることで、私が「何人」も映っています。今回の展示改装では鏡を高精彩鏡に交換しました。



図5.「むげんにうつる」

3. 「風がふく」

このエリアは5点の展示

- ・ 風の通り道
- ・ たつまき作ろう
- ・ おどる風船
- ・ ボールをうかそう
- ・ 風が引っぱる

から成っています。

すべて「風がふくと、モノが引っぱられる」という現象を体験できます。

特に「ボールをうかそう」(図6)で確かめてみましょう。

4つの送風口が、天板に角度を変えて取り付けられています。取り付け角は90°、75°、60°、45°です。

天板に垂直に、つまり90°で送風口が取り付けられている時、ボールが浮くのは当たり前ですね。下から吹く風がボールを支えています。

でも斜めの送風口でもボールは浮かすことができます。ボールを下からの風が持ち上げているわけではありません。

サイエンスショー「風はふしぎ！」でも見られるように、実は物体のところで風の向きが変わっています。

風を折り曲げる反作用として、物体は風が吹いている方へ引き寄せられます。



図6. 「ボールをうかそう」

物体に働く力の強さをF、物体の大きさをA、風の速さをV、折れ曲がりの角度を θ とすると、 $F \propto AV^2 \sin \theta$ …⑥です。

同じ重さのボールを宙に浮かせたいなら、大きくするか、風を強くするか、折れ曲がりを 90° に近づけていくか、が必要です。

風に物が吸い寄せられる様子は、このエリアの他の展示でも確かめられます。

4. 「音がなる」

音や波に関する9点の展示があります。

- ・ いろいろな楽器
- ・ ピアノの中身
- ・ 楽器を鳴らそう
- ・ 音でふるえる
- ・ たたいてドレミ
- ・ はく手でこだま
- ・ 音を集める
- ・ 足あとウェーブ
- ・ 波のかたち

「たたいてドレミ」(図7)は改良して作り直しました。

長さが違うパイプを叩くと、きっちり音階を奏でます。

パイプの長さ(単位:mm)は短い方から左へ、1250、1340、1500、1700、1910、2030、2270、2550です。

短い方から、音階は、高いド、シ、ラ…、ミ、レ、低いドが鳴ります。

パイプ長と音の高さ(波長)は関係しているのです。



図7. 「たたいてドレミ」

5. 「じ石にくっつく」

2階に新たに拡充されたのは「磁石」のエリアです。5点あります。

- ・ じ石でつろう
- ・ じ力を見よう
- ・ 地球をうかそう
- ・ じ石ゆらゆら

このうち「じ石でつろう」と「じ力を見よう」は新作、「地球をうかそう」と「じ石ゆらゆら」は4階から降りてきました。

「じ石ゆらゆら」は、元は「ゆらゆら磁石」と言いました。

両端にNS磁石が取り付けられた袋ナットがピンの上でバランスを取っています。

ゴムベラがついたつまみによって、どれか一つの袋ナットの向きを変えると、次々と隣り合う袋ナットが向きを変えていきます(図8)。

袋ナット(小磁石)の向きは、その場での磁場の向きに平行です。

そして、その場での磁場の向きは、自分以外の小磁石の足し合わせで決まります。

小磁石の向きを $\{\mu_i\}$ とすると、

$$\mu_i // \sum [\text{小磁石 } j \neq i \text{ の配置で決まる行列}] \mu_j \dots \textcircled{7}$$

という行列式の固有ベクトルを求めれば、小磁石群の向き $\{\mu_i = 1, 2, \dots\}$ を計算することができます(※//は平行の記号)。

でも2個とか3個なら簡単ですが、数が増えると⑦式を解くのは複雑です…。



図8. 「じ石ゆらゆら」

6. まとめ

実は2階全体には隠れたコンセプトがあります。

それは「見えないものを見える化する」というものです。ここで扱う現象はすべて身近に存在し、日常生活にも応用されていますが、現象は透明なので、直接には見るできません。

たとえば「ボールがころがる」は眼に見えない重力の作用を、ボールなどの物体を転がすことによって観察することができます。

「鏡にうつる」(光の反射)も「風がふく」(流体力学)も、「音がなる」(音波)も、「じ石にくつつく」(磁力線)も同様です。

体験を通して現象を可視化することにより、背景にある物理法則に、言葉ではなく、なんとなく「ああ、そうか!」と気づいてもらうことを目指したフロアなのです。

今日も老若男女問わず、幅広い年齢層のたくさんのお客さまで、2階は賑わっています。

(いしざかちはる:科学館学芸員)