

サイエンスショー「振り子のふしぎ」実施報告

上羽 貴大 *

概要

2022年2月2日から5月29日の期間において、振り子を主題とするサイエンスショーを実施した。2001年にも大阪市立科学館にて同名のサイエンスショーを実施したが、内容、構成は全面的に見直し、新たなものとした。振り子の周期がおもりの質量ではなくひもの長さのみで決まること、そしてその周期に合わせて外力を与えることで、振り子の振幅を大きくできることを実験で示した。複数の長さの異なる振り子による波のような動き、選ばれた振り子のみがまるで念力で動き出したように見える実験、ブランコ模型の実験、メトロノームの同期実験、リサージュ曲線の描画実験を行った。

1. はじめに

中之島美術館開館に合わせて再開館する科学館のサイエンスショーとして、アートと関わる実験を検討し、リサージュ図形がクライマックスとなるショーを企画した。そこから逆算し、振り子をテーマに選んだ。振り子の周期は重さではなく長さのみで決まること、そしてその周期に合わせて外力を与えることで揺れを大きくできることを伝えるとともに、同期現象、そしてリサージュ図形を実験で紹介するものとした。

2001年にも振り子をテーマとした同名の「振り子のふしぎ」を開催している。いくつか同様の実験は取り入れたが、構成はいちから作り直した。

2. メインビジュアル

広報用メインビジュアルを図1に示す。振り子はその見た目が単純であり、そして興味深い現象は運動としてあらわれるものなので、静止画で見ても面白さがわからない。そのため、デザインには苦戦した。「振り子」の実験であることをストレートに伝えるため、一般の人が振り子と聞いてまず容易に想像されるであろう「催眠術のための五円玉振り子」を大きく提示し、扱う実験の例を伝えるために、大阪市立科学館の展示「振り子ウェーブ」の写真とメトロノームの同期実験の写真を配置した。色味で楽しさを出すため、振り子の運動をイメージした暖色の幾何学模様を背景に配置した。

非日本語使用者のため、サイエンスショータイトルには英語題を添えた。英語題「Swing, Swang, Swung!」は、swing「(振り子などが)揺れる」は語感で決定した。元ネタはLeroy Andersonの名曲「Plink, Plank, Plunk!」である。



図1. 「振り子のふしぎ」メインビジュアル

3. ショーの流れ

本章では、ショーの流れを、実験の詳細とともに記す。なお演示者により、実験の見せ方は異なり、また扱う実験にも多少の違いがある。

3-1. 振り子の揺れ(周期)は長さで決まる 振り子ウェーブ

「長いひもの先に、何でもいいのでおもりを結んでぶら下げます。おもりを持ち上げて手を離すとどうなります

*大阪市立科学館学芸員
ueba@sci-museum.jp

か?」「こういうものを『振り子』と言います。振り子ひとつでも面白いのですが、たくさんあるともっと面白くなります」と言って、振り子 12 個振り子による「振り子ウェーブ(写真1)」を観察する。同時に揺らし始めたのに時々刻々と様子(それぞれの振り子の位置関係)が変化する。

「どンドンと揺れ方が変わってきてきれいですね。この振り子にはどんな仕掛けがあるのでしょうか。どれも同じ振り子ですか?」と問いかけると、長さが違う、という反応が返ってくる。これを受けて「では長さが違うと揺れ方が違うということですか? 確かめてみましょう」と言い、次の実験に続ける。

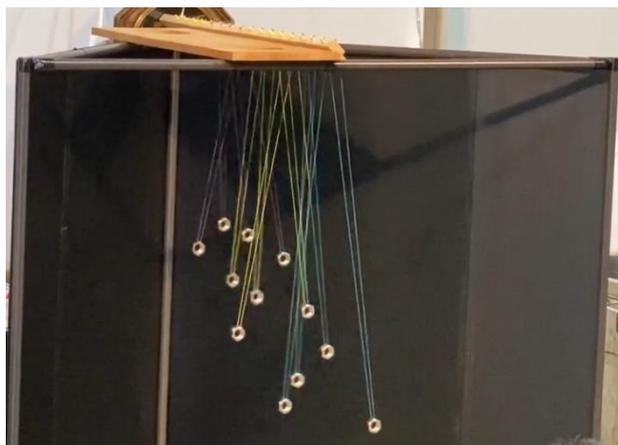


写真1. 振り子ウェーブ

この振り子ウェーブは本ショーのために新たに製作した。スペーシアで架台を作成した(写真2)。二等辺直角三角形の長辺が客席に向くことで、客席のどの位置からも柱が振り子の動きを遮らないようにした。また、背面には黒いプラダンを貼り、振り子の動きがよく見えるようにしている。

振り子の始点には木材を用いた。等間隔に押しピンをさし、おもりとなる M10 ナットを通した釣り糸の両端を押しピンに巻きつけた。この押しピンを糸巻として長さ調整ができる。おもりは V 字に吊るしており、左右には揺れやすく、前後には揺れにくい。さらに、糸の長さの変化に対し振り子の長さ変化はその半分となるため、微調整がおこないやすい。12 個の振り子は、手前から順に周期 60/30 秒、60/31 秒、60/32 秒、…、60/41 秒としており、同時に揺らすと、そこから 60 秒間で、位相が波打つようにずれていく。

振り子長の調整は、まず計算に基づいて粗く長さを決めたのち、実際に揺らした様子を録画し、最長の振り子の 30 回目に揺れる瞬間の各振り子の位相が揃うようにそれぞれの長さを微調整していった。60 秒後に再び揃う瞬間の感動が重要である。最終的には 1mm 単位の調整が必要となった。

微調整ののち、すべての糸巻は木工用ボンドで固定

した。微調整はできなくなるが、これで 3 か月間、通算 200 回以上の上演の間、調整なしで使用に耐えた。



写真2. 振り子ウェーブ架台

大阪市立科学館 4 階には、12 個の剛体振り子からなる「振り子ウェーブ」の展示がある。ショーのために製作した振り子ウェーブは、この展示よりも周期が長いいため、ゆるやかな変化を観察できる。振り子ウェーブを大型に作ったのは迫力があり、楽しめる実験になった。作る労力に見合う感動があると思う。

ペットボトル振り子の比較

スペーシアで作成した振り子台を立て、長さの異なるひもをつけた水入りペットボトルの振り子を吊るす(写真3)。「せーので同時に手を離します。返ってくるのは早いのは、短い方、長い方どちらでしょうか。」と問いかける。やってみると、短い方が先に手に戻ってくる。「行って返ってくるまでの時間のことを『周期』といいます。ひもの長さが短い方が周期は短く、ひもが長いほど周期も長くなります」

「ひもの長さを変える他に、周期を変えることはできますか?」と問うと、ときどき「重さを変える」という意見が出る。出ない場合も「たとえば、重さを変えれば周期は変わるのではないですか?」と続け、2 本のペットボトルを結んだ振り子を取り出し、ペットボトル1本の振り子と比較する。観客にとって意外なことに、周期は変わらない。振り子の周期は長さのみによって決まることを確認する。

ペットボトルにはいずれも色の異なるカッティングシートのラベルを貼り、それぞれの振り子の違いがはっきり分かるようにした。振り子は観客から見て左右に揺れる様子を見せるため、振り子台の手前には柱が来ないようにしている。

振り子ウェーブの再観察

振り子の周期はひもの長さだけで決まる、ということを確認したのち、もう一度振り子ウェーブを観察する。特にひもが短いほど周期が短くなっていることに注目し

てもらった。



写真3. ペットボトル振り子の比較

1 秒振り子

長さが決まれば周期も決まることを利用して、ストップウォッチをつくる。「周期をちょうど1秒にしたいときのひもの長さは計算することができて、ちょうど25cmらしいです。本当にそうなっているか、確かめてみましょう」と言って、周期を計測する。

新型コロナウイルス感染症感染対策として、観客に舞台にあがっていただき実験することができないが、それでも観客が実験に関われるように1秒振り子の検証の演出を工夫した。演者が振り子を持って揺らし、スタートとストップのタイミングを声で呼び掛け、計測は観客それぞれが自身のスマホで行う。観客は言われるままにスタート・ストップするだけなので、主体的に関わってはいないのだが、実験に参加したような気になってもらうのにはかなり成功しているように思う。実際、10往復させてストップしたときにほぼ10秒になるのを自分のスマートフォンで確認できた瞬間は歓声が上がった。

この実験ののち、所蔵品のアメリカ製振り子時計を展示し、振り子が揺れる様子、中のゼンマイを巻くことで振り子がすぐ止まらない工夫を簡単に紹介した。

3-2. 周期に合わせた外力で揺れが大きくなる

超能力？振り子

「じつは超能力が使えます」と言って、水平に持った1本の棒を見せる。電池、テープ、ホチキスがひもでぶら下がっている。このうち、観客に選ばれたひとつのみが、振り子には触っていないのにまるで勝手に揺れ始める。実は演者が揺らしていることは容易に想像がつくが、なぜひとつだけを揺らせるのか。ブランコを押してあげるとき、周期に合わせていることを思い出させる。3種の振り子はすべて長さが異なり、したがって周期が異なるため、棒を特定の振り子の周期に合わせて揺らせばよいことに気付かせる。

ブランコのおもちゃ

「振り子の乗り物に乗ったことはありますか？」と問い、ブランコのおもちゃ(写真4)をテーブルに置く。取っ手を下ろすと、人形の上半身についた糸が引っ張られ、立ち上がる様子を見せる。「この人形は、立つ・座るしかできませんが、それだけでブランコは漕げますよね？大事なのは、立つ・座るのタイミングだけです」と言い、ブランコの揺れに合わせて人形を動かしていくと、揺れがどんどん大きくなり、最後は大車輪を決める。大車輪は観客の期待に応える意味も大きいですが、それと同時に、次の実験との関連を見せるために重要である。

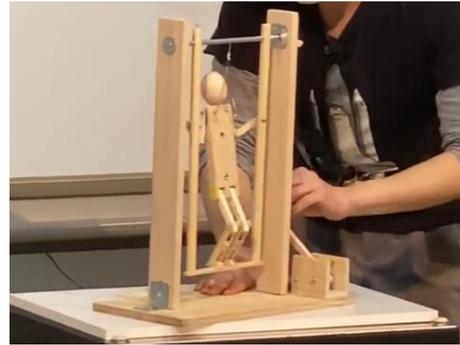


写真4. ブランコのおもちゃ

「どうして立ったり座ったりするだけで漕げるのでしょうか？」人形の背中にはワッシャーのおもりがついているのを見せながら、「このブランコも振り子です。振り子のおもりはこれです。立ったり座ったりすると、どうなりますか？」とおもりが上下するさまを見せる。「ブランコを漕ぐというのは、タイミングよく、振り子の長さを短くしたり、長くしたりする、ということなのです。」

ブランコのモデル

ペットボトル振り子の比較で使用した振り子台を取り出し、紙テープのロールをおもり代わりに結んだひもを引っ掛けておもりを垂らす。ひものもう一端は手で持っている。「このおもりがブランコです。立つ・座るとするのは、引っ張ってひもの長さを変えるということです。おもりがちょうど一番下に来たときにだけ立ちあがる、つまりこのひもを引っ張るのが、タイミングです」と説明する。

最初に少しだけ手で揺らして小さく初速をつけ、説明した通りにひもを引っ張ったり緩めたりすることで、揺れがみるみる大きくなる様子を見せる。十分に揺れが大きくなったところで、「ちょうど下に来たタイミングで、もっと勢いよく引けば、さらに勢いがつきます」といって、支柱に振り子が巻き付く様子を見せる。これを見せておくことで、次のおもちゃの説明がブランコと結びつく。

「ブランコに乗らなくてもブランコ遊びができるということです。でもこんなお大掛かりな道具を用意するのは大変なので、もっと簡単にできる、スリリングなおもちゃ

をご紹介します」といい、次の実験に移る。



写真5. ブランコのモデル

落ちないジョッキ

1.5m ほどのロープに、片側にガラス製ビアジョッキを、もう一端にナットを結んだものを片手に、もう一方の手に棒を持って見せる。水平に持った棒に、ビアジョッキを吊ったロープを引っ掛け、ナットを手に持ち、ロープが水平になるように支える。ジョッキを吊るした側は、棒から鉛直にぶら下がっている。そのままナットから手を離すと、ジョッキが床に落ちてしまいそうだが、ナットが棒に巻き付き、落ちない。

一度やって見せたあと、「なぜ落ちないのでしょうか。おもりはどうなりましたか」と問うと、「ぐるぐる巻きついている」と声が上がる。何度か繰り返し、観客全員にその巻き付く動きから、さきほどのブランコの大車輪を思い出してもらいながら、「このおもり(ナット)が振り子になっています。一回だけ揺れるブランコです。ブランコを漕いでいるのは、落ちていくジョッキです。手を離すと振り子が揺れながら、振り子の長さもどんどん短くなっていきます。このタイミングがぴったりなので、一発で大車輪を決めているのです」と説明する。

3-2. 風変わりな振り子の現象

メトロノームの同期現象

メトロノームを取り出して使い方を説明した後、3台を並べる。「テンポは全部同じにしても、バラバラに揺らし始めると、バラバラのままです。ですが、これが勝手に揃ってしまうという実験です」と言い、空き缶のコロの上に板を置き、その上にテンポを揃えたアナログメトロノームを3台並べる(写真6)。ばらばらに開始すると、その台も揺れることでそれぞれのメトロノームの位相の変調が起こり、次第に位相が揃って落ち着く同期現象が起こる。心臓を構成する心筋細胞はそれぞれが単体で運動するが、それが集まってひとつの心臓のテンポとなるのも同期によることを紹介する。

この実験は当初は成功率が極めて低く、演示の中止も検討したが、メトロノーム筐体に穴を開け、内部の

振り子の揺れを妨げないようにすると、安定した実験が可能になった。アイデアは長谷川学芸員による。



写真6. メトロノームの同期実験

リサーチ図形実験

「最後は振り子でアートをつくります」と言って、ステージの梁からぶら下げた、Y字のひもによる振り子を揺らすと、その軌道が幾何学模様を描く。振り子のおもりは白色のアートサンドを入れたペットボトルで、蓋に開けた穴から砂が落ちて軌道を描いている。

リサーチ図形の描画を、何を用いて行うかが問題であった。蓄光シートの上でLEDペン振り子を揺らす、絵具を垂らす、などを検討したが、アートサンドが扱いの楽なことがわかった。



写真7. 振り子の軌跡が描くりサーチ図形

4. おわりに

アンケートでは、「地味だが面白い」「振り子など面白いのかと思っていたがとてもよかった」といったニュアンスの感想が大人からみられた。

このサイエンスショーは、2021年2月2日から5月29日の上演期間で計251回上演し、見学者数は約9,160人であった。

このショーでは、身近な振り子としてブランコの紹介が必須と考えていたが、それが実現したのは秦職員の手作りからくりのおかげである。非常に説得力のある実験紹介ができるようになった。感謝を申し上げる。