

サイエンスショー「動く？動かない？チカラの実験」実施報告

小 野 昌 弘 *

概 要

2017年3月1日～5月28日に、サイエンスショー「動く？動かない？チカラの実験」を行った。実験テーマは、慣性で、慣性の法則とはどのようなものかを紹介する実験を行った。静止しているものは外力が働かなければ静止したまま、摩擦のないところで等速運動をしているものに外力が働かなければ、等速運動をし続けたままという、自然科学の基礎となる現象を、サイエンスショー見学者が楽しくハラハラしながら知ることができる実験を用意した。ここでは、そのサイエンスショーの開発と実施について報告する。

1. はじめに

慣性は、中学校理科や高校物理で、その現象や内容が解説される。実際の生活においては、乗り物の中で発進する時や、カーブを曲がる時、そして止まる時などに体全体で感じるができるため、誰もが想像しやすい自然科学の現象である。ただし、あまりにも身近過ぎて、実際にはその現象を「不思議」と思うことすらない。そこで、今回のサイエンスショーにおいては、あまりにも身近過ぎて、その仕組みや理由などに対して「問いを立てる」ことさえない、「慣性」に注目してもらい、その法則の紹介や、他にどのような現象がみられるかなどを実験を通して解説した。本サイエンスショーを見学することで、身近な動きや現象から科学への思考の誘導や、実験の追試を自宅でもしてもらえるよう、取り組んだ。

木槌を動かし、下の積み木から順番に外すことは、案外難しく感じている方が一定数おり、きれいにすべてを打ち抜くと拍手をもらえることが多かった。

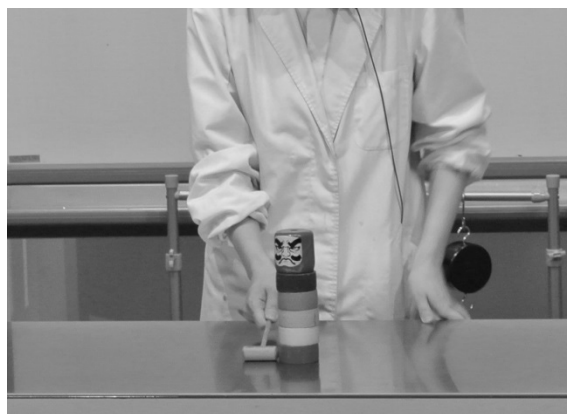


図1. だるま落とし

2. 実験

2-1. 実験項目並びに内容

今回サイエンスショーとして実施した実験は、以下の8種類である。

①だるま落とし

日本に古くからある、木製のだるま落としを行った。

現在でも、幼児の玩具として入手でき、演示の際にも知っているかを確認したところ、知っている見学者がほとんどだった。ただし、実際にやったことがある人は、少なくなり、毎回半数程度であった。少なくとも、素早く

②コップの上のコイン落とし

ある程度重さのあるコップの上に、コップの口を覆うだけの面積を持つ厚紙を置き、さらに10円などの硬貨を置く。指で、厚紙を弾き飛ばすと、厚紙上の硬貨が、コップに落ちる。この様子を確認してもらう。この実験の変型版として、硬貨の代わりにペットボトルのキャップとピンポン玉をのせて同様の現象を見せる追加実験も行った。硬貨を使うことに抵抗がある人が家で真似できるように配慮したものである。なお、硬貨で実験を行った場合は、硬貨が落ちた時の「チャリーン」という音が、実験成功の気分を高めてくれる。また、キャップとピンポン玉で行った場合には、キャップの上に再びピンポン玉がのって着地するので、見た目インパクトが

*大阪市立科学館主任学芸員
ono@sci-museum.jp

大きい。

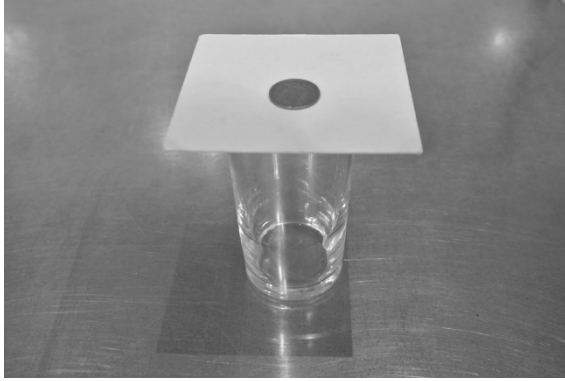


図2. コップの上に厚紙と10円玉をのせる
コップの上に約10cm角の厚紙と10円硬貨を置き、厚紙を指で弾き飛ばすことで、10円硬貨が垂直に落下する。古典的な遊びでもある。

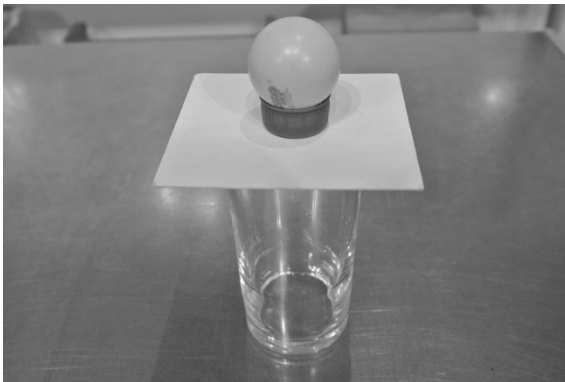


図3. コップの上のペットボトルキャップとピンポン玉
図2の硬貨の代わりに、ペットボトルのキャップの上にピンポン玉を置いたもの。紙を弾き飛ばすと、コップの底でもキャップの上にピンポン玉がのったまま着地する。

③止まっている物の慣性を確認する実験

レールの上にキャスターがついた椅子をおき、さらにその上に人形をのせておく。静止状態から急に椅子を動かし、その動きから慣性の現象を確認する実験。



図4. レールに乗せた椅子の上に人形をのせる
ここでは、お座り型のくまモンのぬいぐるみを使用。



図5. 急激に椅子を動かすと人形が倒れる

④ペン落とし(サインペン+刺繍枠(リング)+ピン)

②の実験同様、静止状態の慣性の法則を確認する実験。空き瓶の上に、刺しゅう用のリング、さらにサインペンを立てる。真ん中のリングを勢いよく引き抜くと、サインペンがビンの中に入る実験(図6)。



図6. ④のペン落とし実験

空き瓶の上に大きな刺繍枠をのせ、さらにその上にペンを立てている。リングを横に一気に引き抜くことで、ペンが垂直に落下し、ビンの中に入る。リング直径は、約300mm。

⑤大鍋が落ちる？落ちない？実験

本実験も静止状態の慣性の法則を確認する実験。天井から吊るしたロープに紙リボンで大なべを吊るす(図7)。

さらに、なべ底に吸盤を取り付け、その吸盤に別の紙リボンをひっかける。下についている紙テープだけを引きちぎるには、紙テープをどのように引っ張ればよいかを考える実験。

この実験をすぐ行い、結論を出すこともできるが、演習台上で同じ機構のモデルを作り、そこで確認実験をしてから、本実験に戻り、検証をすることを行った。

予備実験の結果が、本当に再現できるかという、検証を行う意味も込めている。



図7. 鍋を天井からのロープに紙テープで吊るす

⑥⑤の確認実験。紙テープで吊った重りの下のテープを引っ張る実験

大鍋でいきなり本番実験を行うのではなく、モデル実験で、予想と検証を行うため用意した。演示台上の吊り棒に、重さ500gの重りを紙テープで吊るし、その下にも同じ紙テープを取り付ける。重りをつり棒に残したまま、つまり上の紙テープをちぎらずに、下の紙テープだけを引きちぎる方法を探った(図8)。



図8. 下の紙テープだけを引きちぎるには？

⑦大鍋での慣性の法則確認実験

⑥で、紙テープで吊るされた重りが落ちないように、下の紙テープだけを引きちぎる方法を検証した。

そして本番として事前に吊るしておいた鍋の実験を行い、下の紙テープを勢よく引っ張れば、鍋は落ちないことを確認する(図9)。

一度すばやく紙テープを引くとなべが落ちないことを確認し、ゆっくり紙テープを引くとなべの上の紙テープが切れて、鍋が落ちることも確認した。

なお、鍋が人の頭の上にな落ちるのは、来館者にとっては実験の確認という意味以上に、お笑いのネタとして受けていた。



図9. 紙テープで吊るされた鍋の慣性を調べる

1 回目は、紙テープを勢よく引きちぎり、鍋を吊るしている紙テープがちぎれないことを確認する。その後、下の紙テープをゆっくり引き、上の紙テープがちぎれる様子も確認する。

⑧垂直ボール打ち上げ機を用いた、慣性の法則の確認

③の実験でも用いたレールの上に、垂直にボールを打ち上げられる装置を置き、レール上を椅子が走行している間にボールを打ち上げる。この時打ち上げられたボールは、走行して移動している打ち上げ装置に再び戻ることを確認した(図10)。

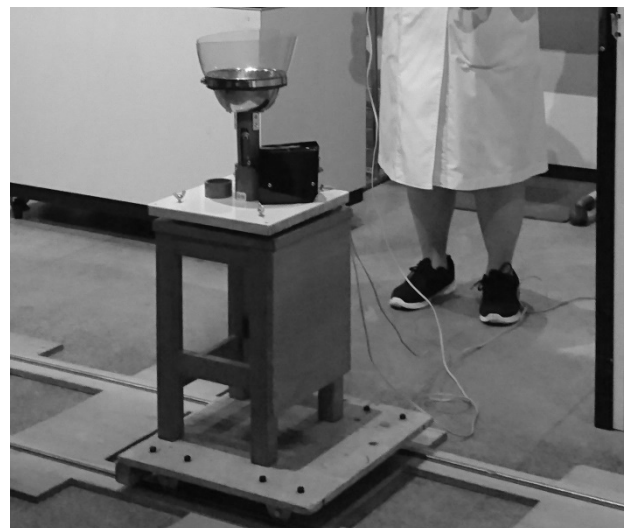


図10. レール上の垂直ボール打ち上げ機

レール上を走行させている間にボールを真上に打ち上げ、それを捕球できるようにしている。

⑨テーブルクロス引き

大道芸としてもお馴染みの演示。テーブルクロスの上に(プラスチック製の)コップを積み重ね、コップを倒さないように、一気にテーブルクロスを引き抜いた。

最初は、1段のコップのみ、これを成功させて、2 段重ね、3 段重ねで演示を行った(図 11)。



図 11. テーブルクロス引き

上段:コップを 1 列に 3 個並べたものを用意し、テーブルクロスを引き抜いた。

下段:コップを 3 段重ねにしてのテーブルクロス引きも行った。なお、一番下の段のコップには、高分子吸収材を入れて、重くなるようにしている。

3. 実験の解説

各実験の内容や、注目点は以下のとおりである。

①だるま落とし

昔ながらの玩具で多くの人知っているおもちゃを本サイエンスショーの導入とした。実験というよりも遊び方については、物心がつく年代の見学者にはわかる。

また、自ら遊んでいる人も多いため、何をするものかという内容を会場内で共有するのに有効な道具であった。

蛇足だが、だるまを落とさずに、きれいにすべてを打ち抜くようすを見せると、見学者から拍手をもらうことができたのは、意外な点であった。

②コップの上のコイン落とし

だるま落としと同じ原理を、身近な道具で再現しようとして用意した実験。コップ、厚紙、硬貨があればでき

る実験で、多くの方々が既知のものとして用意したつもりだったが、意外とこのような形の実験・遊びをした人が多くないことも分かった。

あくまでも筆者自身が演示をした時に、会場全体に確認すると、3 割くらいの人知らないという事であった。

そのため、本実験も意外性をもって見ておられる方が目立った。

③止まっている物の慣性を確認する実験

先の 2 つの遊びのような演示だけでは、あまり自分自身がいつも体感(体験)しているものには結びつかない感もある。そこで、自動車やバスの中で普段感じている力が今回のサイエンスショーの本質部分であることを理解してもらうため、レールの上を走る椅子の上にぬいぐるみを乗せ、静止した状態から椅子を急に動かしたときにぬいぐるみがどう動くのかを観察してもらい、普段体感している法則について、視覚的に理解してもらった。

静止した状態から、椅子を急に動かすと、ぬいぐるみが後ろに転がるように見える(図 12)。



図 12. 後ろ向きに倒れるぬいぐるみ

繰り返しになるが、この時、ぬいぐるみの落下する動きが、後ろ向きに転がり落ちていくため、見学者は後ろに落ちるという理解になっている。しかし、実際にぬいぐるみは静止している場所で後転して真下に落下しているだけで、後ろ方向に移動して転がっていない。

これを示すため、演示者とぬいぐるみが正面のお客さんに対して、「演示者」-「ぬいぐるみ」-「正面の見学者」の一直線になるようにして、実験を行うと、その実際の動きが確認できる。これは、大倉学芸員が注意深く演示しており、その解説方法を取り入れることで、その前の実験との共通点や、慣性の法則の本質を深く確認できるようになった。

④ペン落とし(サインペン+刺繍枠(リング)+ピン)

本実験は、ここまで演示してきた実験のまとめの形で行った。しかも、見学者にとっては、サインペン、リング、ピンといった身近なものを使いながらも、それを不安定な状態で立てて、しかもどうなるのであろうかという、期待と不安を持たせながら見ていただくもので、リングを素早く引き抜き、ペンがピンの中に張っていくようすは、非常に驚かれ、また喜んでいただいた。

リングを素早く引き抜くことで、ペンがまっすぐ落下し、ピンの中に落ちる。これは、ここまでの実験で確認してきた現象を別の演示で示しただけであるが、見ている人がハラハラするような気持ちの高ぶりをいかにさせる内容でもあったため、この実験を成功させるとさらに、本サイエンスショーへの見学動機が強くなったようである。

⑤大鍋が落ちる？落ちない？実験

⑥紙テープで吊った重りの下のテープを引っ張る実験

⑦大鍋での慣性の法則確認実験

この3項目は、ここまで行ってきた静止している土台となるものが急に水平方向へ動いた時の慣性の確認をしたが、今度は鉛直方向での慣性の確認実験である。鉛直方向では、物が自由落下するというごく当たり前の現象がある。

そのため強度の弱い紙テープでつるされた大鍋は、下の方の紙テープをどのように引っ張っても落ちてしまうのではないかという感覚にとらわれる。

しかし実際には、素早く下の紙テープを引っ張ると、重たい鍋の慣性があるため、上部の紙テープには、下から引っ張られた力は伝わらず、下の紙テープだけを引きちぎることができる。そしてゆっくりしたスピードで下の紙テープを引くと、その力と鍋の重さが上の紙テープに伝わることから、上の紙テープがちぎれ、鍋が落下する。

そしてこの大鍋の実験は、いきなり本番の実験を見せるのではなく、事前の確認実験として、図8のように小さなモデルを作り、それで確認をしたうえで、本番の大鍋を用いた実験を行うようにした。

このモデル実験での思考・観察・考察を経て鍋落としの実験に臨むことで、鍋落としの実験が、単にお客様受けを狙っただけというレベルで終わらないようになった。

なお鍋落としの実験は、安全性の問題もあるため、必ずしも演示者が下に入ることをせず、ぬいぐるみを下に置くことで演示をすることもあった(図13)。

また、床に鍋が落下すると大きな音がするため、階下のプラネタリウム投影に影響もあることから、紙テ

ープが切れても、床には鍋が着地しないよう、別途ロープで、床上10cmまでで落下が止まる状態にした。



図13. ぬいぐるみを下に置いての実験

⑧垂直ボール打ち上げ機を用いた、慣性の法則の確認

この実験は、これまで静止系の慣性について確認してきた内容から一転して、動いているものについての慣性の法則を確認する内容とした。

実際の生活上でも、動いている電車が止まるときに私たちの体が前方へ投げ出されるような力を感じることから、だれもが知っている現象ではあるが、これも慣性の法則の例であることを紹介した。

ただし実際は、摩擦が存在するため、演示をする内容も限られてくる。そのような中で、摩擦の少ないレール上を移動する椅子型の台車の上で、ボールが垂直に上がると放物線を描きながら、移動方向前方で、台車に再び戻るという現象を確認できる装置を作り、見学者にその現象を確認してもらうことができた。

なお、垂直ボール打ち上げ機を製作して使用する前は、理科実験の教材として販売されている小型の装置を利用して同じ実験を演示台で行っていた。

ただ、製作したボール打ち上げ機は大型のため、見学者に見やすいことから、こちらを利用することが主となった。

さらに、演示者に余力のある時には、この椅子型の台車の上に大型のだるま落としを乗せたもの、もしくは演示台上を走らせる小型の力学台車の上にだるま落としを乗せて、滑走させている間にだるま落としの積み木のひとつを打ち抜くという演示も行った。かなり難易度が上がるため、成功率は低かったが、動いている状

態での慣性を示すものとしては有効な実験である。

⑨テーブルクロス引き

これは、実験といえば実験であるが、ほぼ大道芸もしくは、かくし芸のひとつとして巷間で知られているものである。今回のサイエンスショーのまとめとして本実験の演示を行った。

当初は、ガラスのコップの使用を考え、予備実験を繰り返していたが、失敗してコップが破損したときに、ガラスの破片が客席側へ飛び散ることなどの危険性から、プラスチックコップを使用して実験を行った。しかしながら、本実験を行うためには、コップはある程度重いほうが良いため、プラスチックコップのみでは、実験の安定性に欠いた。そこで、高分子吸収剤に水を含ませコップを重たくし、実験を行うようにした。



図14. 3段重ねでテーブルクロスを引き抜いた後
最下段のコップにだけ高分子吸収剤を入れて
重たくしたが、全部同じ条件にして実験をした
方が安定感が増す。

4. まとめ

本サイエンスショーは、私たちの日常に非常に身近な慣性の法則を取り上げ、その中身を解説した。身近に感じていながらも、改めてその現象を確認することで、慣性の法則とはこういったものなのかを知ることができる内容になったと思う。

ガリレオの思考実験から始まり、ニュートン、そしてアインシュタインの相対性理論にまで通じる慣性の法則は、とても身近であり、とても難しい内容を含んでいる。

それを大道芸的な要素の実験を組み込み、楽しみながら考えてもらえるような構成を作ることができた。

本サイエンスショーを見ていただいた見学者が、科学的な内容により深い興味を持ってもらえるようになっていたら幸いである。

5. 謝辞

本サイエンスショーを実施するにあたり、名古屋市科学館の山田吉孝氏に多大なる助言をいただきました。本紙面をお借りして改めてお礼申し上げます。