

二つの視点からみた慣性実験

奈良旬平¹，遠藤龍介²

¹山形大学大学院理工学研究科，²山形大学理学部

慣性の法則に関するいくつかの実験を行い，これを二台のカメラで動画撮影をした。一台は地面（静止系）に設置し，もう一台は物体と一緒に動く運動系に置く。二つの視点から撮影した動画を用いることにより，慣性の法則の理解をより深めることを目指した。

キーワード：慣性の法則，静止系と運動系，慣性打ち上げ，だるま落とし，ハイスピードカメラ

1. はじめに

2015年の夏休み期間に，山形大学では高校生向けの「山形大学アカデミックキャンプ」を開催した。この企画は「社会でイノベーション(変革)を起こす人材の育成をめざし，山形大学の教授陣&アドバイザー学生の指導のもと，大学施設等を利用した課題探究型の取り組みを通して成長をめざす」(山形大学のホームページから引用)というもので5学部で開催された。われわれの理学部物理コースは8月3日，4日に実施した。

物理コースでは，山形県内の高校一年生2名を迎えて慣性の法則についての実験を行った。二人とも力学の基礎は未履修であった。教室ではできないスケールで実験を行うことで，慣性の法則を体感してもらうことを目指した。実施したものは，慣性打ち上げ(動く発射台からの投射)，相対論的だるま落とし(逆だるま落とし)，円運動の実験などである。

実験では二台のカメラを用いて動画撮影を行った。一台は床(静止系)に固定し，もう一台は物体と一緒に動くようにした(運動系)。二つの視点から撮影された動画を見ることにより，慣性の法則をより深く理解できる。

なお，撮影にはハイスピードカメラを用いているため，スロー再生される動画を見ることにより，目の前で起こっている運動について体験的に理解してもらうことができる。使用したカメラは，
・カシオ EX-FH25 (最高 1000fps)
・Panasonic HX-A1H (最高 120fps)
である。フレームレートとしては，おもに，240fps，120fpsを用いた。

生徒達と実施した実験について以下で説明す

る。また，本実験で撮影したデータは岩手県立総合教育センターのホームページ¹⁾から入手できる『多重露光』ソフトを用いての解析も行った。このソフトは昨年度の基本実験講習会²⁾で紹介されたものである。これについても紹介する。

2. 慣性打ち上げ

「いきいき物理わくわく実験」で紹介されてい

る慣性打ち上げ台車による実験である。^{3),4)}

図1のように，台車の上に乗せた発射装置はゴムの弾性力で真上にボールを打ち上げ，装置の元の位置に落下するようにできている。発射機構を電磁石でコントロールして遠隔スイッチで発射できるようにした。また，台車にはカメラを取り付け



図1 打ち上げ装置



図2 静止系からみた慣性打ち上げ

る部分を用意し、台車と一緒に動きながらボールの打ち上げを撮影できるようにした。

台車を等速直線運動させた状態で遠隔スイッチでボールを打ち出す。静止系でのカメラにはボールが放物線軌道を描いて発射装置にもどる様子が撮影される(図2)。一方、運動系のカメラには、真上に打ち上げられたボールが真下に落ち



図3 運動系から見た慣性打ち上げ

る様子が記録され(図3)、運動系でも静止系と同じ力学法則が成り立っていることが確認できる。

3. 相対論的だるま落とし

壇上氏の「逆だるま落とし」である。^{5),6)} 著者の一人(遠藤)はこれを大学1年生向けの相対論の講義で「相対論的だるま落とし」として演示している。⁷⁾ 今回は、高さ80cmの発泡スチロール製のだるまを用いた。これを慣性打ち上げと同じ台車に乗せて「逆だるま落とし」を行う。

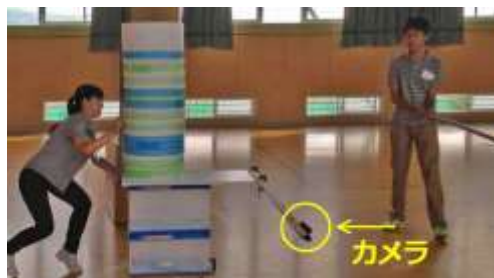


図4 台車に乗せた「だるま」

台車を走らせて静止したハンマー(実際は棒を使った)に当てる。静止系のカメラにはハンマーに当たっただるまだけが静止させられ、残りの部分がもとの速さで移動しながらすとんと落ちる

様子が記録される(図5)。一方、台車と一緒に動くカメラには普通のだるま落としのように叩かれた部分だけが打ち抜かれる様子が記録される(図6)。



図5 相対論的だるま落とし(静止系)



図6 相対論的だるま落とし(運動系)

4. 円運動実験

ロープの先端に固定したボールを頭上で回転させる。ロープとボールは慣性打ち上げと同様に遠隔スイッチで切り離せるようにしておく。十分な速さで回転しているところでボールを切り離す。この実験も2台のカメラで撮影した。1台は高所に置き、円運動であることがわかるように撮影する。他方はロープに設置し、ロープからボールを見る系で撮影する。高所から撮影したカメラでは、切り離した瞬間から円の接線方向にボールが飛んでいく様子を確認することができる(はずだったが、今回の撮影では、質量の無視できない切り離し装置の振動のためかボールはきれいな直線を描いていない(図7))。ロープから撮影したカメラでは、カメラからまっすぐ離れるように

ボールが動くのを見ることができる。



図7 円運動実験

5. 多重露光ソフトを用いた映像解析

本実験で撮影した動画を『多重露光』ソフト^{1),2)}を用いての解析も行った。動画データから一定の時間間隔で区切った写真データを重ねて表示することで、運動の単位時間あたりの変化が確認できる。



図8 ボールの落下実験

例えば円運動実験で接線方向に飛んだことがわかりにくい場合、このソフトを使うことで接線方向への運動を明確にすることができる。また、ボールを体育館の天井から落下させる実験も行ったが、このソフトを用いることで、最初は等加速度運動をしているが、次第に加速度が鈍る様子が見て取れる(図8)。

6. 最後に

ここで紹介した実験はカメラで実際に目の前で起こっている現象について理解を促すのに大変有効であると考えられる。今回は慣性の法則の理解を目的としたが、円運動実験でわかるように力学の様々な理解に応用が可能である。昨今ではハイスピードカメラを有している高校が多くあると聞くので、装置の工夫は必要なものの、普通の授業でも取り入れることは容易であると思われる。

アカデミックキャンプに参加してくれた2名の高校生に感謝する。二人は、まとめの発表で理学部の学生や教員を相手に素晴らしいプレゼンテーションを行ってくれた。また、慣性打ち上げ装置の発射機構を一緒に開発してくれた、山形大学理学部物理学科の学生である池野一樹氏と横山淳也氏にも感謝する。

参考文献

- 1) 岩手県立総合教育センター、情報・産業教育ウェブ
<http://www1.iwate-ed.jp/tantou/joho/material/tajuurokou/index.html>
- 2) 「第2回高校物理の授業に役立つ基本実験講習会 in 仙台」2014年12月20日、宮城県立宮城野高等学校にて開催。
- 3) 愛知・岐阜物理サークル「いきいき物理わくわく実験」新生出版(1988)。
- 4) 吉田功「ハイスピードカメラを活用した授業改善の試み」東北物理教育 24(2014)10。
- 5) 檀上慎二『「だるま落とし」と「逆だるま落とし」』
<http://homepage3.nifty.com/s-danjo/dynamics/daruma/daruma.htm>
- 6) 高橋尚志, 中山貴之, 穴吹佑太, 金家弘枝「ハイスピードカメラによる慣性の法則を視覚化する実験の解析」物理教育 58-4(2010)217。
- 7) 遠藤龍介「文系向け物理学における小道具」日本物理学会誌 56(2001)68。