

スマートフォンの音センサーによる スーパーボールの反発係数の測定

渡會兼也¹, 酒井佑士¹, 安達照²



文科省WWLIに ⇒
 採択されました!

- 1 金沢大学附属高等学校
- 2 東京都立桐ヶ丘高等学校



附属高校公認
 ゆるキャラ
 『ふぞっくん』

武田科学財団 2019年度 高等学校理科教育振興助成
 「スマートフォンの音センサーを利用した測定実験教材の開発」『ふぞっくん』

イントロダクション

★スマートフォンの物理教育利用@学校現場

スマートフォンの普及 ⇒ **規制** から **活用** へ

新学習指導要領(H30) ⇒ **センサー機器の活用** へ

☞『(生徒の)スマートフォンの音センサーを利用した
 高校物理実験の開発と提案』

★開発ポリシー

- ① 現場に優しい実験(※時間&お金)
- ② 音情報から力学現象を測定(※多様な手法の提供)

反発係数の測定: 従来法

➢ 高さ h_0 から小球を自由落下
 重力加速度の大きさ g 、空気抵抗無視

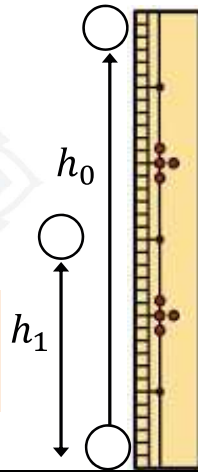
➢ 力学的エネルギー保存より、反発係数 e は1回目の衝突後の最高点の高さ h_1 を用いて、 $e = \sqrt{\frac{h_1}{h_0}}$

➢ この h_0 と h_1 を測定し、反発係数を決定

★HSカメラ以外の手法は測定誤差が大きい

★落とし方
 ・手で落とす
 ・小球を紐で吊るし、紐を切る

★測り方
 ・目視
 ・(HS)カメラ



衝突音による反発係数の測定①

★方法1

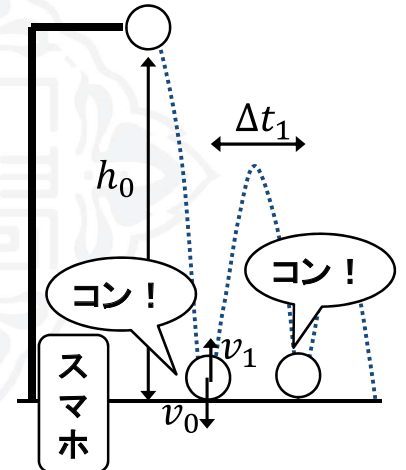
1回目の衝突直後から2回目の衝突直前までの時間を Δt_1 とすると、

$$\Delta t_1 = \frac{2v_1}{g} = \frac{2ev_0}{g} = 2e \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$$

これを e について解くと、

$$e = \frac{\Delta t_1}{2} \sqrt{\frac{g}{2h_0}}$$

☞ Δt_1 と h_0 を測定し、 e を計算。



衝突音による反発係数の測定②

★方法2

n 回目の衝突後から $n+1$ 回目の衝突までの時間 Δt_n は、

$$\Delta t_n = 2e^n \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$$

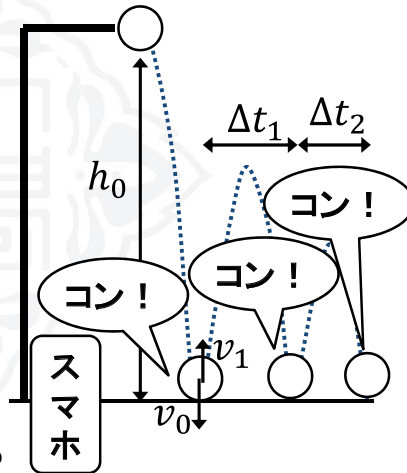
となる。 Δt_1 と Δt_2 の比をとると、

$$e = \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}$$

が得られる。

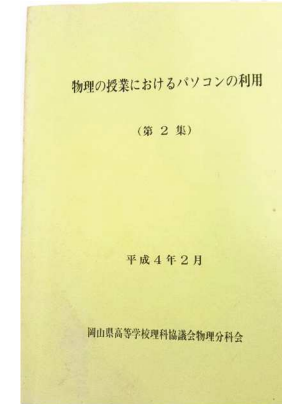
※ g や h_0 に依存しない方法

参考:無限等比級数を使う方法もある



先行事例

- 音で反発係数を測るアイディアは昔からあった
- 測定機器が変化



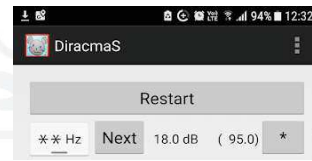
2 測定

(1) 測定原理
この実験では、物体を机の上に落下させて数回はねかえらせる。衝突時間を連続して測定し、それからはねかえり係数を求める。
物体をある高さから落とし、初めて衝突する時刻を t_1 とし、2 回目以降を t_2, t_3, \dots とする (図1)。 i 回目のはねかえりの前後の落下距離、上昇距離を h_{i-1}, h_i, \dots

速さが
数 e :
スーパーボール: 0.91~0.92
ピンポン玉: 0.90~0.91
で求め
この
ディス 硬式テニスボール: 0.78~0.80
鋼球: 0.70~0.72
木球: 0.63~0.64
ゴルフボール: 0.76~0.77
玉島高校・荒江先生

測定アプリ

- Diracma S (for Android OS, Google PlayでDL可)
安達は開発:私はユーザー

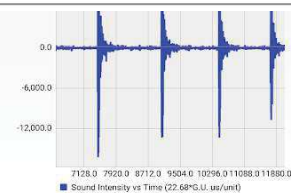


- 高校物理 スマホのソフトウェア開発とそれを用いた物理教育

東京都立蔵前工業高等学校 安達 照*



- 特徴2: サンプリング
周波数44100Hz

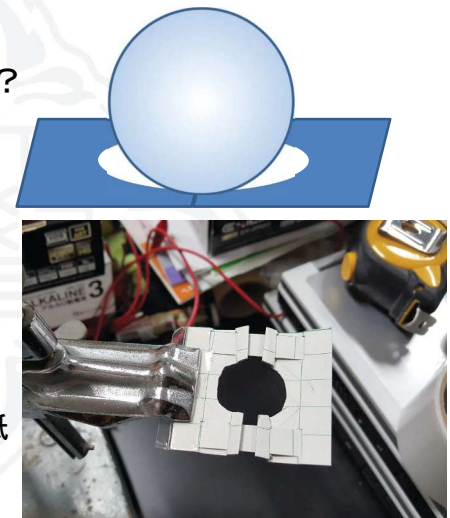


※過去にSPARK vueも使用

自由落下をさせる工夫

Q 金属でないボールを自由落下させる際にどうしますか?

- A1 適当に手で落とす
⇒ 本当に自由落下?
- A2 ボールに糸をつけて吊るしてから糸を切る
⇒ 何回も実験するのが...
- A3 水平投射
⇒ ボールの回転が...
- A4 半円を組み合わせた2枚厚紙をスライドさせ、穴のサイズを変えられるようにした。



結果①

★直径2.0cmのスーパーボールを $h_0=0.190$ mから自由落下。20回測定

• 方法1: Δt_1 と h_0

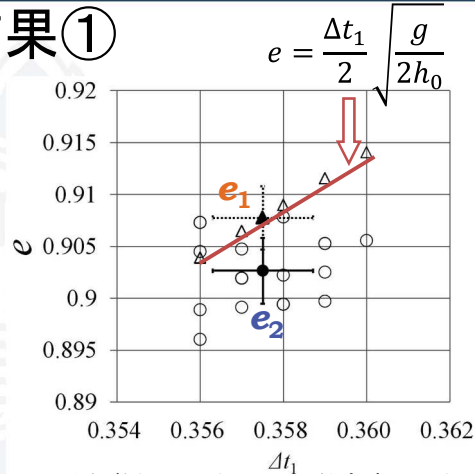
$$e_1 = 0.908 \pm 0.003,$$

$$\approx 2.5 \times \Delta t_1$$

• 方法2: Δt_1 と Δt_2

$$e_2 = 0.903 \pm 0.003,$$

⇒両者ともに高校物理の実験ならば**十分な精度**



反発係数と1回目と2回目の衝突時間 Δt_1 との関係。○は今回の方法での測定値、●はその平均値。△は以前の方法[1]から求めた測定値、▲はその平均値。

結果②

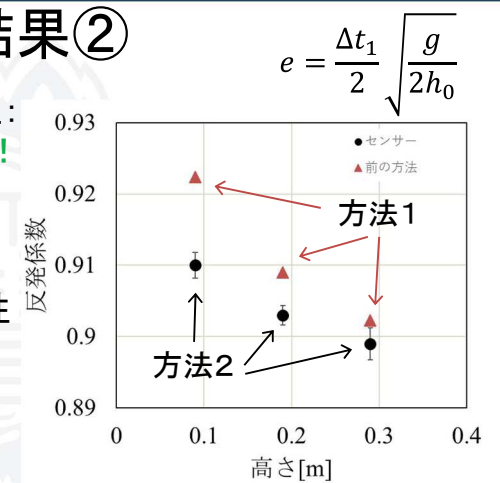
★反発係数の高さ依存性:
実験⇒ e は高さ h_0 に依存!

原因①

弾性体の非線形効果?
⇒反発係数の速度依存性
(吉田ら1985)似た傾向

原因②

空気抵抗の効果?
• $Re \sim 9.3 \times 10^3 \Rightarrow$ 慣性抵抗
しかし、0.19mでは殆ど効かない



反発係数と高さ h_0 との関係。▲は方法1から求めた測定値、●は方法2での測定値。

まとめ

★実験について

- 精度の良い実験が簡単にできた(方法1、2を提示)
☆10回の測定は10分で可能
- 反発係数の高さ依存性 ⇒ 調査継続

★スマホ計測について

- 音がすれば、どこでも測れる。
⇒音がする力学課題なら応用可能。
- 2学期に生徒実験を予定。

参考文献

1. 音センサーでピンポン玉の反発係数を測定する 渡會 兼也, 酒井 佑士 物理教育, 2018年66巻第3号 p.181-183
2. CBLシステムを用いた反発係数の測定 梶山 耕成 物理教育, 1999年47巻第1号p.9-12
3. スマホソフトウェア開発とそれを用いた物理教育 安達 照 平成29年度東レ理科教育賞受賞作品集(第49回)p.6-10
4. 反発係数と変形量の同時測定 吉田米夫, 高橋徹, 小坂純彰 物理教育, 1985年第33巻第4号 p.284-288
5. ピンポン玉が繰り返しバウンドする現象の数理的探究について 天羽康 日本科学教育学会研究会研究報告, 2018年 Vol.32 No.10, p.65-70