

音声解析ソフトを用いた重力測定方法の開発

高橋 尚紀

アクリル管の各部にエナメル線で一巻きのコイルを巻き、管内にネオジム磁石を落下させることにより、音声解析ソフト「音オシロ」に誘導起電力の波形を表示させ、その波形の分析からアクリル管の各部を通過する時間を測定し、重力を求める方法を開発した。

[キーワード] 音オシロ 重力加速度 どう見る君 高等学校物理

はじめに

高等学校物理 の「運動とエネルギー」の学習において、速度や加速度を測定する実験は、日常に起こる物体の運動を探究し、運動の基本的な概念や法則を理解させ、運動についての基礎的な見方や考え方を身に付けさせるための教材である。重力加速度は物理学において、基本的な物理量であり、落下時間や落下距離から重力加速度を求める過程には物理の基本的な操作が包括されている。

高等学校の物理において重力の測定方法で最も一般的なのは単振り子によるものである。しかし、この方法は直接、重力加速度を求めるものではない。直接、²⁾重力加速度を求める方法は、物体の自由落下運動から求める方法である。自由落下運動における重力加速度の測定方法の一つに、物体の落下時間や落下速度などをフォトダイオードなどを用いて測定し、重力加速度を求める方法がある。フォトダイオードによって落下する物体が光を遮るときの電気信号により時刻を記録するのである。今回の研究では、フォトダイオードの代わりに、センサーとしてコイル、落下する物体として磁石を用いて、電磁誘導による電気信号によって落下時刻を測定する方法を試みた。また、電気信号を読みとる方法として、理科教育センターで作製した音声解析ソフト¹⁾「音オシロ」を利用した。

1 音オシロについて

「音オシロ（正式名称 音を知ろう）」は、北海道札幌南高等学校大久保政俊教諭によって開発された音声解析ソフトである。このソフトは音声信号をコンピュータの内蔵マイクあるいは外付けマイクによって、直接コンピュータに取り込んで音声波形を表示する（図1）。

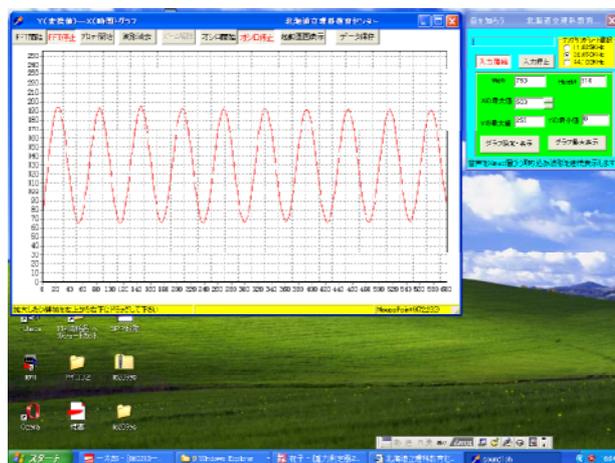


図1 「音オシロ」に表示された音叉の音の波形

また、波形の拡大表示したり、FFTによる音の振動数のスペクトル解析を行う機能も持っている。さらに、コンデンサーの放電による電圧変化やコイルと磁石による誘導起電力の変化を表示することができる。

2 「音オシロ」による落下時間，落下速度の測定方法

図2のように，2つのコイルを音オシロを起動したコンピュータに接続し，磁石を2つコイルの中央を通るように自由落下させる。すると音オシロのグラフ表示画面にはコイルの誘導起電力の波形が表示される。

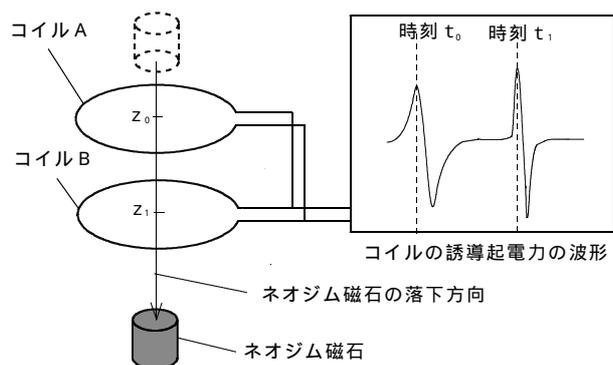


図2 速さの測定の原理

この波形には，ピークが2つ存在するが，始めのピークはコイルAに磁石がさしかかったときの時刻のものであり，後のピークはコイルBに磁石がさしかかったときの時刻のものである。それぞれのピークの時刻が t_0 ， t_1 であったとすると，コイルAとコイルBの間を磁石が落下する時間 t は，

$$t = t_1 - t_0$$

となる。また，コイルAの位置を z_0 ，コイルBの位置を z_1 とすると，2つのコイルの間の距離 z は

$$z = z_1 - z_0$$

で，コイルAとコイルBの間を通過したときのネオジム磁石の平均の速さ \bar{v} は，

$$\bar{v} = \frac{z_1 - z_0}{t_1 - t_0}$$

となる。

コイルAとコイルBの間の距離を小さくとれば，コイルAとコイルBの間の平均の速さは，コイルAとコイルBの中間における速さに近似できる。

3 自由落下運動による重力加速度測定の方法

(1) 測定方法1

自由落下運動で落下開始点を $z = 0$ とし， $z = z_1$ における物体の速度が v_1 であった場合，重力加速度 g は

$$g = \frac{v_1^2}{2z_1}$$

となる。実際の測定では，コイルは2つ使い，落下開始地点から2つのコイルの中間までの距離 z_1 を既知の値としてあらかじめ測っておく。

(2) 測定方法2

自由落下する物体が z_0 の地点を速度 v_0 で通過したあと， z_1 の地点を速度 v_1 で通過した場合，重力加速度は

$$g = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2(z_1 - z_0)}$$

となる。実際の測定では，コイルは4つ使い，2つのコイルで初速を測定し，残りの2つのコイルで終速を測定する。また，落下距離は2つのコイルの中間の地点間の距離とする。

(3) 測定方法3³⁾

$$z = z_1, z_2, z_3$$

の3点を取り，それぞれの点における落下する物体の通過時刻が

$$t = t_1, t_2, t_3$$

であったとすると次の3つの式が成り立つ

$$z_1 = z_0 + v_0 t_1 + \frac{1}{2} g t_1^2$$

$$z_2 = z_0 + v_0 t_2 + \frac{1}{2} g t_2^2$$

$$z_3 = z_0 + v_0 t_3 + \frac{1}{2} g t_3^2$$

3つの式をまとめると重力加速度 g は

$$g = \frac{2\{(z_3 - z_1)(t_2 - t_1) - (z_2 - z_1)(t_3 - t_1)\}}{(t_3 - t_1)(t_2 - t_1)(t_3 - t_2)}$$

となる。この方法では、コイルは3つ用い、コイル間の距離と、コイル間を通過する時間を測定するだけでよく、また、近似を用いていないので最も精度良く重力加速度を求めることができる。

以下この方法を用いた重力加速度の測定の具体的な手順を説明する。

4 具体的な実験方法

準備

セロハンテープ、コンピュータ、音声解析ソフト「音オシロ」、ピンジャック、クリップ付導線、アクリル管（直径25mm、長さ1m）、エナメル線（長さ25cm程度、3本）、やすり、ネオジウム磁石（直径15mm、4個）

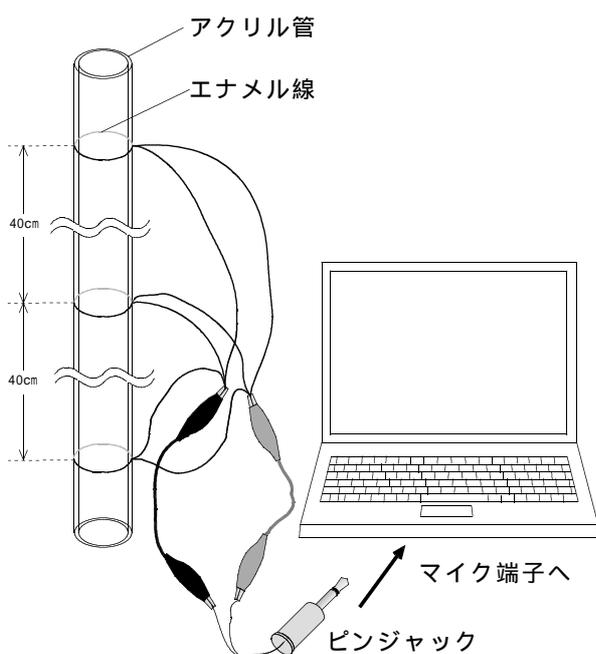


図3 装置の設定

方法

- (1) 3本のエナメル線の両端3cm程度の部分のエナメルをやすりではがす。
- (2) アクリル管の両端から10cmの位置にそれぞれエナメル線を1回巻き、セロハンテープで固定する。また、アクリル管の中央にもエナメル線を1回巻き、セロハンテープで固定す

る（図3）。

- (3) 方法(2)で巻いたエナメル線とピンジャックをクリップ付導線で接続する。
- (4) ピンジャックをコンピュータのマイク端子に接続する。
- (5) 「音オシロ」を起動し、サンプリングレート選択の22.050kHzを選択する（図3）。このことにより、1秒間に22050回電気信号のデータをコンピュータに取り込む。
- (6) 「Xの最大値」を80000程度に設定する（図3）。このことにより、4秒間程度測定ができるようになる。
- (7) 「グラフの設定・表示」ボタンを押した後、「入力開始」ボタンを押す（図4）。

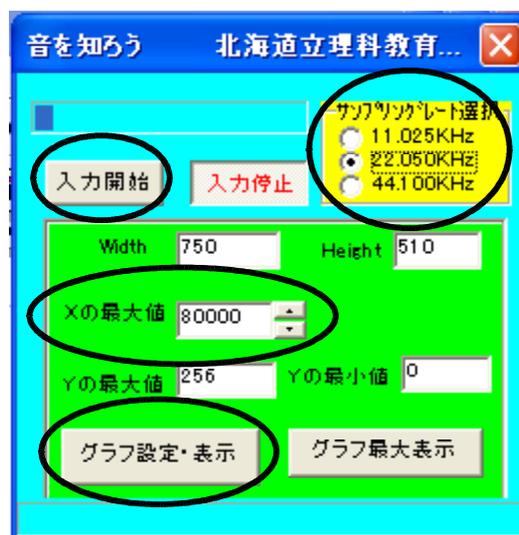


図4 「音オシロ」の設定画面

- (9) アクリル管を垂直に立てる。このとき鉄製のスタンドはネオジウム磁石が吸い付くので用いない。
- (10) 「音オシロ」のグラフの画面の「プロット開始」ボタンを押す（図5）。バーの色が赤くなったら、アクリル管の上端から4つのネオジウム磁石つなげたものを、アクリル管の内壁にぶつからないように落下させる。落下地点には柔らかい布等を敷き、ネオジウム磁石が割れないようにする。
- (11) 画面に波形が表示されるので（図6）。

波形を拡大し，グラフの線の山あるいは谷の頂点のXの値を読みとる（図7）。

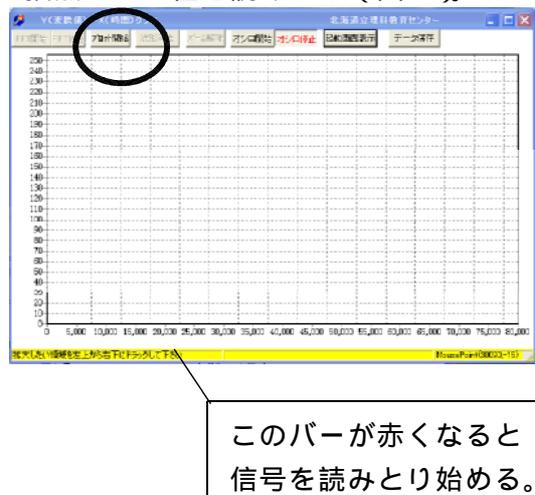


図5 「音オシロ」のグラフ画面

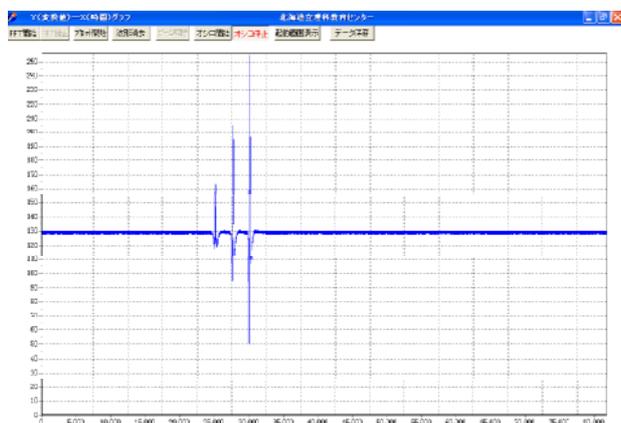


図6 表示された波形

- (12) 方法11で求めたXの値の差を22050で割り，コイル間を通過した時間を計算する。
- (13) コイル間の距離を測定し，(12)の結果とあわせて，重力加速度を計算する。

結果

最もよい値で，測定方法1で 9.74m/s^2 ，測定方法2で 9.76m/s^2 ，測定方法3で 9.77m/s^2 を得た。

生徒に指導するポイント

- (1) 測定誤差が生じる理由を考えさせる。
- (2) 計算に時間がかかる場合には表計算ソフトを利用させる。

観察・実験の発展のさせ方

画像解析ソフトや記録タイマーを用いて重力加速度を測定する方法について検討する。

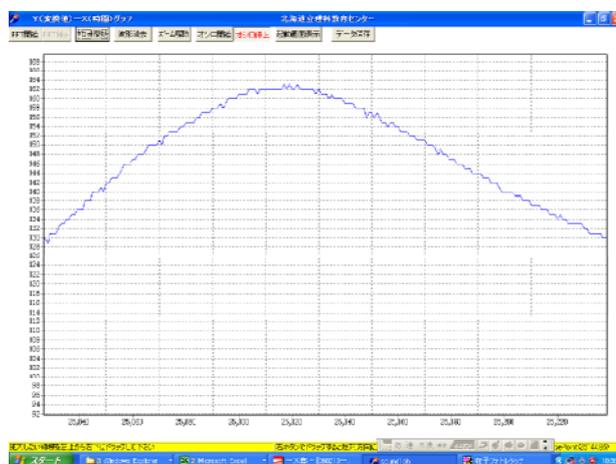


図7 拡大された波形のピーク

おわりに

紹介した重力加速度の測定方法は，精度良く値を求めることができる。欠点としては，ネオジウム磁石を用いるため，測定するとき測定器周辺に鉄製のものがあると，正確な測定ができないこと，アクリル管の中を通すため，管の内壁にネオジウム磁石が接触しないように落下させなくてはならないことである。

測定方法は3種類紹介したが，生徒の実態に応じて実験方法を選択することが望ましいと考える。

参考

音声解析ソフト「音オシロ」は，使用目的が教育用であれば，自由に使用できる。

参考文献

- 1) <http://www.ricen.hokkaido-c.ed.jp/212butsuri-b/scillo/oscillo.html>
- 2) 藤井清・中込八郎 物理実験ハンドブック pp.34-35 講談社 1977
- 3) 坪井忠二 重力 pp.19-56 岩波全書 1979

（たかはし ひさのり 物理研究室長）