

自由研究指導法 3

課題 J5

<振り子の研究>

足立区立東加平小学校 渡部貴美子

【研究背景と目的】

日常生活では地球の重力をあまり意識することはない。しかし、このおかげで、地面を歩くことができたり、水が勝手にコップからこぼれることなく、座って喉を潤したりできる。重力の恩恵がある一方で、誤って手を滑らし、落ちたガラスのコップが割れてしまうこともある。

小学校課程の振り子の単元では、その周期は質量に関係せず、振り子の長さだけで決まることを触れるだけである。しかし、教師として「重いほど速く往復するのではないか？」など児童が持ちがちな素朴概念の誤りを正すための基礎知識が必要と思われる。このような問題意識のもと、振り子の長さとの関係、振り子の重さとの関係、そしてこれらに關係することを考察した。

【実験器具】

使用した器具は、以下の5点である。

- 1 裁縫糸
- 2 50 円玉（質量 4 g）
- 3 ストップウォッチ
- 4 巻尺（振り子の長さを測るため）
- 5 セロハンテープ（糸固定用）



図1) 実験の様子

普段、学校での理科実験は、特別に器具が調達され、このために特別に整えられた環境で行われることが多く、児童は「あれは特別なふりこ。」ととらえたまま、学習を終えてしまうことがあった。そこで、今回の研究では、家庭でもできるだけ身近なもので実験を行うようにした。

【実験方法】

振り子のおもりとして、誰でも持っている 50 円玉を使った。この硬貨には穴があるため糸で縛りやすく実験に便利である。また、市販の裁縫糸を使い、振り子の長さとして、10, 20, 30, 40, 50, 100, 150, 200, 250cm の 9 種類を用意した。もっと長い振り子も実験したかったが、家庭でできる振り子の長さとしては 250cm ぐらいが限界であろう。また、振り子の質量は 50 円玉硬貨を 1, 2, 3 枚と増やして実験を行った。

実験は、実験誤差や測定誤差を省くために、振り子が数回往復した後に、測定を開始し、20 回往復した所要時間を測定した。実際授業でも児童が実験することも考慮し、測定時間があまりにも長くないように、20 往復にかかった時間を測定した。ばらつきも評価するため、同じ実験 3 回行った。それぞれを 20 で割れば、一往復する時間、すなわち周期を計算することができる

【実験結果】

(1) 振り子の長さによる周期の変動

9 種類の長さの振り子について、周期と周期の 2 乗の測定を行った。測定データ表とこのグラフを以下に示す。

振り子の長さ[m]	20回往復する時間[s]	1回往復する時間(=周期)[s]	周期の2乗[s ²]
0.1	12.94	0.65	0.42
0.1	12.91	0.65	0.42
0.1	12.91	0.65	0.42
0.2	18.1	0.91	0.82
0.2	18.19	0.91	0.83
0.2	18.13	0.91	0.82
0.3	22.22	1.11	1.23
0.3	22.03	1.10	1.21
0.3	22.19	1.11	1.23
0.4	25.28	1.26	1.60
0.4	25.19	1.26	1.59
0.4	25.5	1.28	1.63
0.5	28.3	1.42	2.00
0.5	28.34	1.42	2.01
0.5	28.25	1.41	2.00
1	40.35	2.02	4.07
1	40.32	2.02	4.06
1	40.18	2.01	4.04
1.5	49.57	2.48	6.14
1.5	49.47	2.47	6.12
1.5	49.47	2.47	6.12
2	56.93	2.85	8.10
2	56.94	2.85	8.11
2	56.95	2.85	8.11
2.5	64.2	3.21	10.30
2.5	63.75	3.19	10.16
2.5	63.5	3.18	10.08

表 1) 振り子の長ささと周期の関係

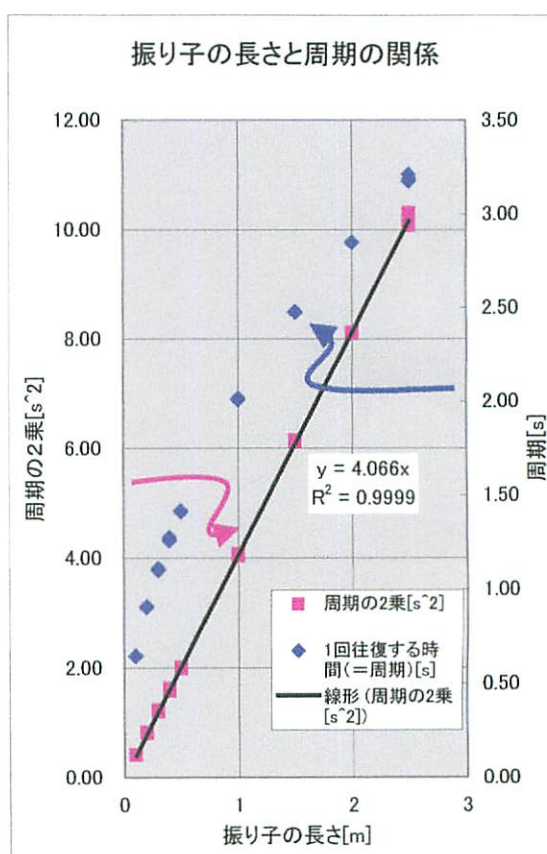


図 2) 振り子の長ささと周期のグラフ

それぞれ 3 回の測定値は、グラフにするとばらつきはほとんどなく、無視してもよさそうである。

振り子の長ささと周期の関係は複雑そうに見えるが、縦軸の周期を 2 乗すると、これと振り子の長さは、きれいに比例することがわかる。実線は、EXCEL を使った線形の近似曲線である。市販の糸を 50 玉に結び、振り子をセロハンテープで机に固定しただけの実験にしては、よい結果ではなかろうか。

(2) 振り子の質量による周期の変動

50円玉を1,2,3枚と増やし、それぞれ3回の周期の測定を行った結果は下表である。

50玉の枚数	20回往復する時間[s]	1回往復する時間(=周期)[s]	周期の2乗[s ²]
1	64.2	3.21	10.30
1	63.75	3.19	10.16
1	63.5	3.18	10.08
2	64	3.20	10.24
2	64.01	3.20	10.24
2	63.87	3.19	10.20
3	64.15	3.21	10.29
3	63.97	3.20	10.23
3	64	3.20	10.24

表2) 50円玉の枚数と周期の関係

振り子の質量を増やしても、周期はほとんど変動しないことが分かる。

【結果の解析と考察】

(1) 振り子の長さによる周期の変動

EXCELを使って、直線で近似すると、R²乗値=0.9999の精度で、

$$\text{周期の2乗}[s^2] = 4.066 \times \text{振り子の長さ}[m]$$

となることがわかった。一方、改訂版 高等学校 物理 I (数研出版)によれば、理論的には以下の式が成り立つ。

$$\text{周期の2乗}[s^2] = \frac{(2\pi)^2}{\text{重力加速度}} \times \text{振り子の長さ}[m]$$

重力加速度とは重力によって物質にはたらく加速度のことであるが、これは「1kgの物質にはたらく重力の大きさ」と言い換えれば、わかりやすいと思われる。今回の実験結果に当てはめると、

$$\frac{(2\pi)^2}{\text{重力加速度}} = 4.066$$

という式が成り立つ。この式から、重力加速度を見積もってみると、

$$\text{重力加速度} = 9.709[m/s^2]$$

となった。

図3)は、電子天秤(メーカー不明)の取り扱い説明書にあった重力加速度マップである。日本国内でも場所によって、わずかに異なることがわかる。今回の実験を行った東京都葛飾区は理論的には9.798となるようだが、実験結果は、誤差が、 $(9.798 - 9.709)/9.798 \times 100[\%] = 0.9\%$ の範囲で、理論値を再現できたようだ。このずれの原因については、いくつか考えられる。改訂版 高等学校 物理 I (数研出版)によれば、上述の理論式が成り

立つのは、振れ幅の小さい場合であり、今回の実験の振れ幅は大きかったのかもしれない。また、平面で振らせたつもりであるが、実際は円運動も加わり、理論値からずれてしまったのかもしれない。器具そのものにも原因がありそうである。実際は糸には伸び縮みがあったり、セロハンテープの止め方が甘かったり、5円玉に働く空気抵抗が影響したり、さまざまな原因が考えられる。

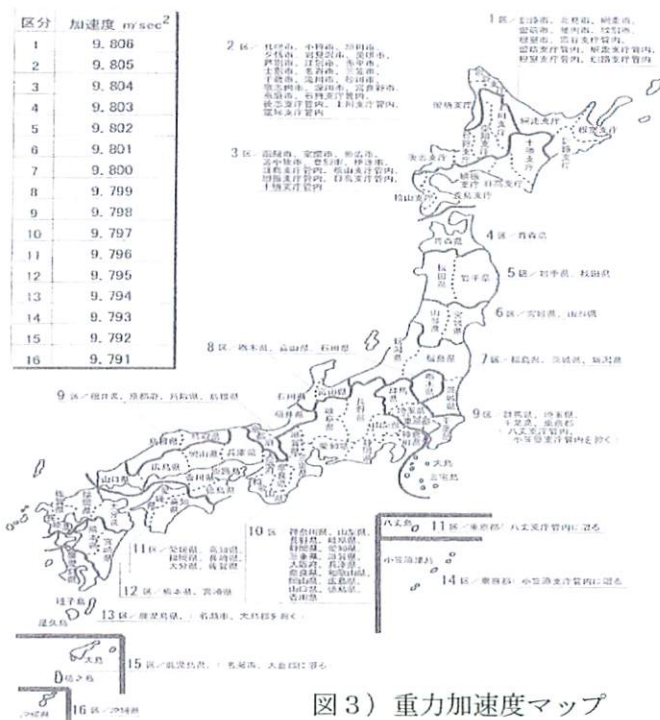


図3) 重力加速度マップ

さて、「なぜ振り子が短いと周期が短いのか？」については、以下のように考察した。右図は、長い振り子と短い振り子を同じ幅だけ振らせた（同じ振り幅）時の図である。振り子の長さがいくつであろうと、重りにはたらく重力の大きさは同じで地面を向いている。しかし、糸に縛られた重りの運動を決めるのは、重力そのものではなく、重りの運動する円弧方向にはたらく重力の成分である。右図のように長い振り子と短い振り子の振れ幅をそろえた時、かならず短い振り子のその成分は長い振り子のその成分より大きいことがわかる。よって、同じ距離を往復するにしても、短い振り子は、もとの位置（おもりの再下点）にもどろうとする力が大きいため、短時間で1往復する。しかし、ベクトルの成分がわからない児童には、理解が難しい。

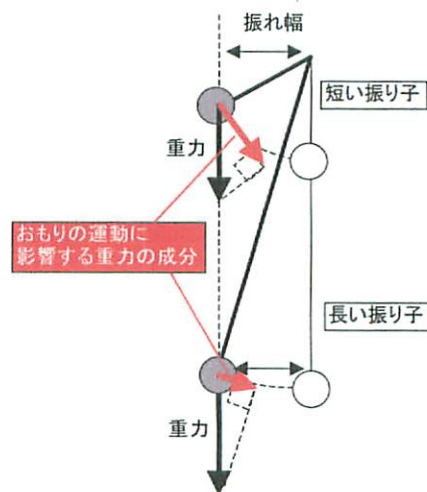


図4) おもりの運動に影響する重力の成分を表す図

(2) 振り子の質量による周期の変動

振り子の長さを 2.5m に固定し、50 円玉を増やし、振り子の実験をしたが、周期は変わらなかった。次に、この理由を以下に考察する。

鉄塊と鳥の羽根を同じ高さから落とすと、真空中では同時に落ちるが、空気中では鉄塊

の方が速く落ちる。質量の大きさに応じて重力は大きくなるが、重力加速度そのものはすべての物質で共通である。ただし、空気中では空気抵抗があるため、鉄塊の加速度が大きいと錯覚してしまう。振り子も同じ理由により、周期はおもりの質量に依らないと結論付けできるだろう。

【まとめ】

身近なものを使って、家庭で振り子の実験を行った。振り子の周期の2乗と振り子の長さが比例すること、そして周期はおもりの質量に依存しないことを正確に確認した。整った実験環境や実験道具がなくとも、十分にこの関係を確認することができた。そして、周期が長さだけで決まることの理由も考察した。

【課題】

自然の法則を児童に実感させるには振り子は最適な教材であるが、周期が振り子の長さによって変わることを児童に説明することは難しい。

以上