

小学校「理科」第5学年単元「振り子の運動」における実験の 定性的なズレについての考察

東條文治 (TOJO Bunji)
(名古屋芸術大学 教育学部 准教授)

1. はじめに

小学校「理科」第5学年では、単元「振り子の運動」について振り子の運動の規則性を学習する。この中で、振り子の周期(1往復する時間)に着目し、おもりの重さや振り子の長さ、振れ幅などの条件を制御しながら、振り子の周期が振り子の長さによって変わることが学習する。これは仮説を立て、実験によって確かめる活動である。このような科学的なものの見方・考え方を育てる重要なプロセスを踏む学習内容であるため、大学の教員養成課程においても、実際に学生に実験をさせるなど、体験的な学習において指導法を十分理解させる必要がある。そのような観点で名古屋芸術大学の小学校教員養成を目的とした理科に関する授業においても、実験を取り入れ実際の実験を通した振り子の規則性の理解や、学習指導の技術の向上を目指している。

しかしながら、実際には、特に条件「振れ幅」において傾向をもったズレが生じることが問題であった。振り子の周期を計測するにあたっては当然、毎回ストップウォッチなどの時間計測機器の操作による誤差などデータに違いが生じるため、複数回の平均を取ることを行っている。これは各教科書などでも取り入れられていることで、それによって誤差を相殺する狙いがある。しかしながら、振り子の振れ幅については正確には振幅が大きくなると周期が長くなることがわかっている。この影響は振幅が十分小さい範囲では無視できるとされ、またある程度の振幅の大きさにおいても、振り子の長さの変

化による周期への影響に比べると小さいため、小学校の授業においては取り上げられない。また、このような振幅による振り子の周期の変動については、古くから知られており、クリスティアーン・ホイヘンスによって振幅による振り子の周期への影響がないサイクロイド振り子が発見されている。

このように、科学的に実は意味のある違いが観測されている場合において、どこまで小学校「理科」の授業で取り上げるかという問題について、振り子の学習を例として掘り下げることが興味深いテーマであると感じた。本稿は、簡単なデータや気付いた事を文章として残し、今後積み上げていくことを目的として書いた。用語やデータの取り扱いについて厳密さは追求しないことを確認しておきたい。本稿はあくまでも研究ノートであるという点をご理解いただきたい。

2. 振り子の特性

小学校の理科で実験に使用する振り子は、固定された糸の先に重りを付けたものが一般的である。おもりの大きさが無視できるとすると、振り子の長さ l は糸の長さであり、重力加速度を g とおくと、振り子の周期は (l/g) の平方根に比例することになる。この式から振り子の周期は重力加速度が地球表面で一定と仮定できるとすれば、糸の長さによって決まるということがわかる。ただし、この結果を数学的に算出するにあたって、振り子の振幅を θ とおくと、 $\sin \theta = \theta$ という近似をおこなう。これは

θ が十分小さい時に成り立つ近似であるため、振幅を大きくするとこの通りの結果とならない。また、振幅が大きくなると周期が大きくなることがわかっている。さらに、おもりには大きさがあり、支点からおもりの重心までの距離が振り子の長さといえる。これはおなじ重さであっても糸の先に付けるおもりの形状によっては振り子の長さが変わってしまうという問題もある。振り子の長さによる変化の規則性を理解するためには、こういった影響に比べ振り子の長さによる周期への影響が大きいことが重要であり、条件制御において振り子の長さの変化が小さい実験を設定してしまうことは問題となる。振り子の長さの平方根に比例した変化であるから、振り子の長さを2倍にしても1.4倍程度の変化しか周期には現れない。

蛇足ではあるが、重力加速度についても触れておきたい。山の上のように地球の中心からの距離が長くなる場所や、地球の極地方と赤道付近というような自転の遠心力の影響を受ける地域、また地下に非常に密度の高い物質が存在しているなど、さまざまな影響によって地球表面上での重力加速度は厳密には異なる。振り子の周期が理論的には振り子の長さ l と重力加速度 g によって決まることを使って、重力加速度決定として振り子が使えることもわかっている（ケーターの可逆振り子）。

3. 実験データについて

大学生、7グループに振り子の実験をさせた。糸の先に直径1cmの球体のおもりを付けた振り子で、糸の長さは5cmと15cmで比較させた。5往復にかかる時間をストップウォッチで計測し、振り子の周期（1往復の時間）を求めさせた。これを3回行い、それらの値の平均値を算出した。それぞれの長さで振幅を大きくした場合と小さくした場合で測定してもらった。ただし、振幅の大きさについて具体的な数値での指定はしなかった。

図1は糸の長さ5cmでの結果である、7つのグループで値にばらつきはあるが、すべてのグループで振幅が大きい場合の周期が、振幅が小さい場合の周期より大きくなっている。これは図2で示される糸の長さ15cmの場合の結果でも同じことがいえる。

糸の長さ5cmの場合の振り子の周期7グループの平均は（振幅が大きい場合3.00秒、振幅が小さい場合2.76秒）、糸の長さ15cmの場合の振り子の周期7グループの平均は（振幅が大きい場合4.51秒、振幅が小さい場合4.16秒）、であった。それぞれ、振幅が大きい場合も小さい場合も、糸の長さの変化3倍に対して、それぞれの周期の長さが約1.5倍になっている。理論値では3の平方根で、約1.7倍が期待される。概ね想定される値と言える。

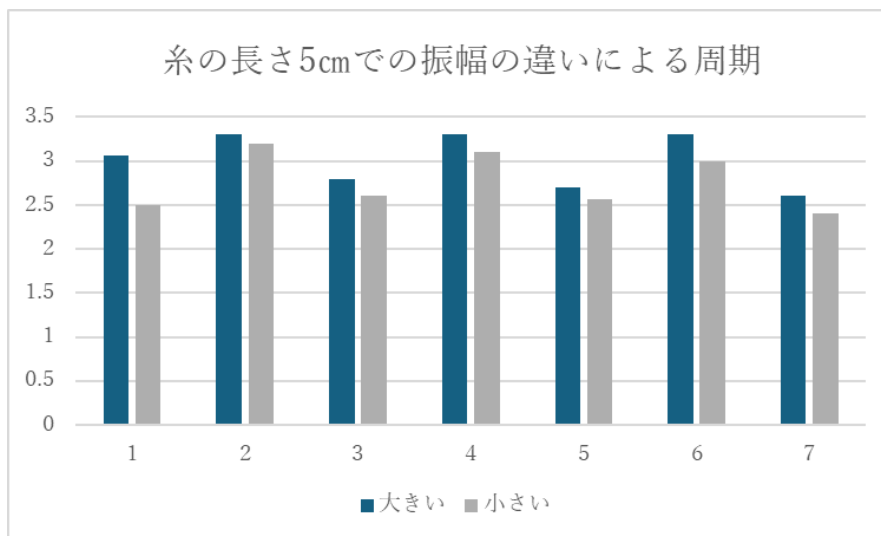


図1：糸の長さ5cmの振り子の周期（濃い色は振幅が大きい場合、薄い色は振幅が小さい場合）である。7グループのデータを示した。縦軸は時間（秒）。

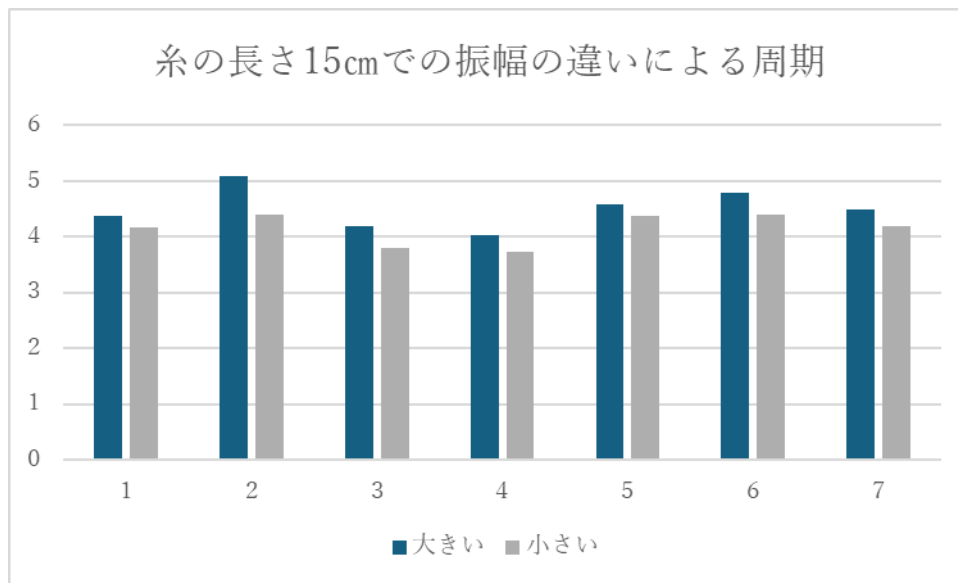


図2：糸の長さ15 cmの振り子の周期（濃い色は振幅が大きい場合、淡い色は振幅が小さい場合）である。7グループのデータを示した。縦軸は時間（秒）。

4. 考察と結論

実験結果は振幅の大きさの厳密な制御（振幅を角度で指定するなど）を行っていないものの7グループ平均すると、長さの変化によって期待される程度の周期の変化が見られたといえる。ここを強調し、グループ交流を促していけば、振幅による違いに比べて十分大きな変化が振り子の長さによって生じると誘導し、振幅の違いによる周期のズレは例えば誤差のようなものとして切り捨てることができるだろう。そうすることで振り子の規則性について「振り子の周期は振り子の長さで決まる」というサンプルで美しい結論を提示できる。一方この結果を見た学生の中には、振り子の周期は振り子の長さに大きく影響を受けるが、一方で振幅も振り子の周期と関係があるのではないかと気づくものもいるだろう。なぜなら、7グループの結果すべてで、その差がわずかであっても必ず振幅が大きい時に振幅が小さい時の周期を上回っているからである。こういった気付きも、科学的なものの見方・考え方にとっては重要な視点である。こういった疑問、気付きを持った児童に対してどのようなフォローを行っていくかが、振り子の学習・実験を実践して行く上で大切な力ではないかと思う。小学校教員を目標

す、大学生を養成する中での理科に関する授業においては、振り子の振幅による影響や、振り子の長さとは支点から重心までの距離など、丁寧に物理学的な説明を行うことで納得してもらうことができる。一方で小学校第5学年の児童に対してどう説明するかはまた、異なる説明となるだろう。

小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編には、「振れ幅が極端に大きくならないように適切な振れ幅で実験を行うようにする。また、振り子の長さは糸などをつるした位置からおもりの重心までであることに留意する。」とある。しかし、実際には多くの教科書会社が用意している実験には分度器による、振幅 20° と 40° の比較とあったり、10グラムの重りを連結させ重りを増やすなどの実験が散見される。これは学習指導要領解説が指摘している点を十分にカバーできているとはいえないものである。また、測定した時間的小数点以下どこまでを採用するかなどによってこの振幅の大きさによる違いなどを見えない形にし、児童に本質的でない問題で混乱させないなどの工夫もみられる。この場合、実験をした時のデータがいくつになるか事前に見定めて、切り捨て、あるいは四捨五入の値で見た時に糸の長さによる違いでのみ数値にちが

いができるような実験条件を仕込む必要がある。

仮説を持たせ、それを検証するためにはどのような実験をすればよいか、考える力も育てるという視点に立てば、そのような誘導も科学的なものの見方・考え方を育てるチャンスを逃すことになるように思える。一定以上振幅を大きくすると振り子の周期に影響が出ることは実験によって確認することや、振幅の大きさに影響を受けないサイクロイド振り子で実験を行うなど、より前向きな取り組みが必要なのではないだろうか。

参考文献

1. 小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編、文部科学省
2. 教科書ワーク理科5年東京書籍、株式会社文理、2020年3月。
3. 平成29年度版小学校新学習指導要領の展開、塚田昭一・八嶋真理子・田村正弘編著、明治図書、2017年11月。
4. Wikipedia：振り子、URL：振り子 - Wikipedia（2023年9月20日閲覧）
5. Wikipedia：振り子、URL：ケーターの可逆振り子 - Wikipedia（2023年9月20日閲覧）