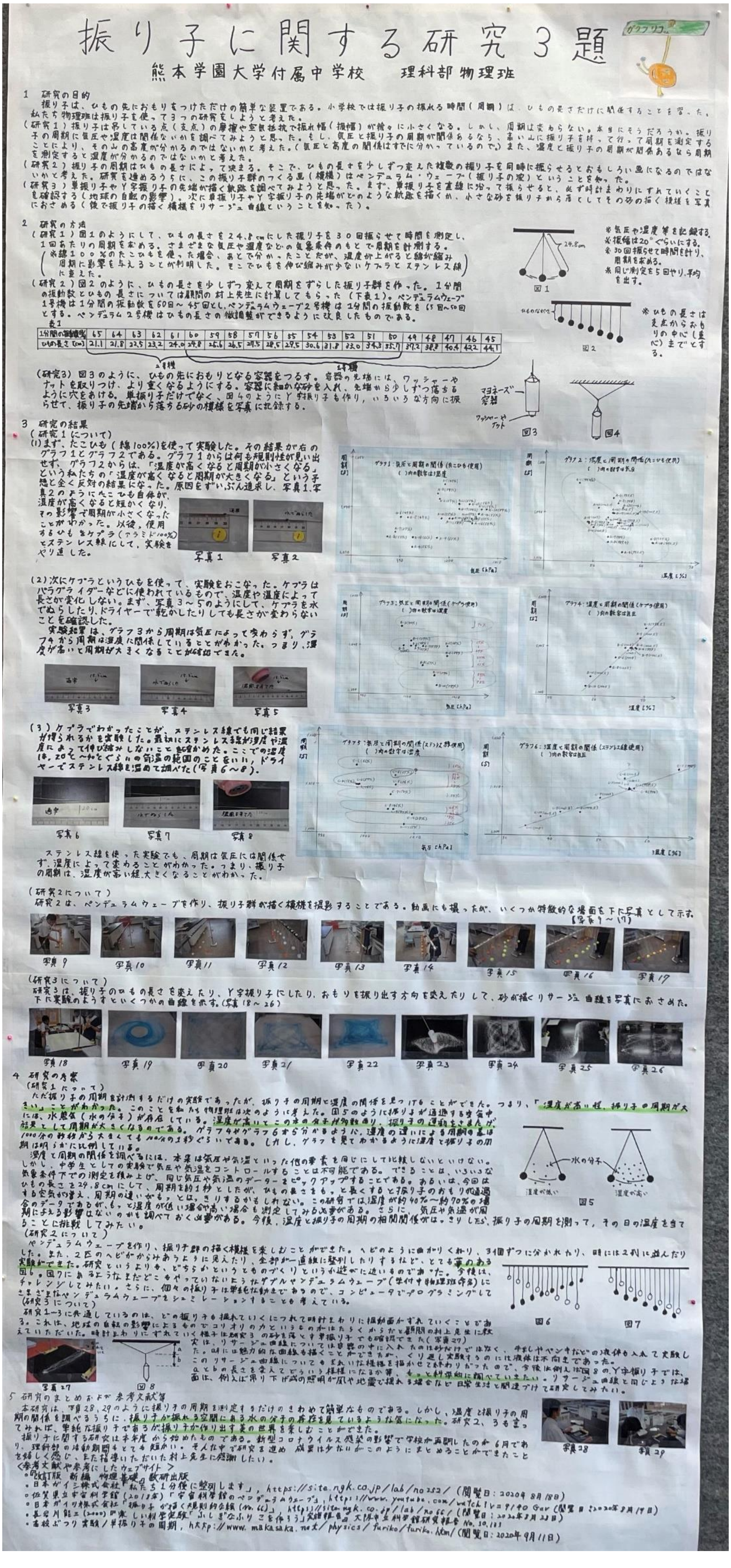
熊日ジュニア科学賞



振り子に関する研究3題

熊本学園大学付属中学校　理科部物理班

ガクブリコ

1　研究の目的

振り子は、ひもの先におもりをつけただけの簡単な装置である。小学校では振り子の振れる時間（周期）は、ひもの長さだけに関係することを習った。私たち物理班は振り子を使って3つの研究をしようと考えた。

（研究1）振り子は吊している点（支点）の摩擦や空気抵抗で振れ幅（振幅）が徐々に小さくなる。しかし、周期は変わらない。本当にそうだろうか。振り子の周期に気圧や湿度は関係ないかを調べてみようと思った。もし、気圧と振り子の周期が関係あるなら、高い山に振り子を持って行って周期を測定することにより、その山の高度が分かるのではないかと考えた。（気圧と高度の関係はすでに分かっているので。）また、湿度と振り子の周期が関係あるなら周期を測定すると湿度が分かるのではないかと考えた。

（研究2）振り子の周期はひもの長さによって決まる。そこで、ひもの長さを少しずつ変えた複数の振り子を同時に振らせるとおもしろい画になるのではないかと考えた。研究を進めるうちに、この振り子群のつくる画（模様）はペンデュラム・ウェーブ（振り子の波）ということを知った。

（研究3）単振り子やY字振り子の先端が描く軌跡を調べてみようと思った。まず、単振り子を直線に沿って振らせると、必ず時計まわりにずれていくことを確認する（地球の自転の影響）。次に単振り子やY字振り子の先端がどのような軌跡を描くか、小さな砂を振り子から落としてその砂の描く模様を写真におさめる（後で振り子の描く模様をリサージュ曲線ということを知った）。

2　研究の方法

（研究1）図1のようにして、ひもの長さを24.8cmにした振り子を30回振らせて時間を測定し、1回あたりの周期を求める。さまざまな気圧や湿度などの気象条件のもとで周期を計測する。

（※綿100％のたこひもを使った場合、あとで分かったことだが、湿度が上がると綿が縮み周期に影響を与えることが判明した。そこでひもを伸び縮みが少ないケブラとステンレス線に変えた。）

24.8cm

図1

※気圧や湿度等を記録する。
※振幅は20°ぐらいにする。
※30回振らせて時間を計り、周期を求める。
※同じ測定を5回やり、平均を出す。

（研究2）図2のように、ひもの長さを少しずつ変えて周期をずらした振り子群を作った。1分間の振動数とひもの長さについては顧問の村上先生に計算してもらった（下表1）。ペンデュラムウェーブ1号機は1分間の振動数を60回～45回とし、ペンデュラムウェーブ2号機は1分間の振動数を65回～50回とする。ペンデュラム2号機はひもの長さの微調整ができるように改良したものである。

ひものながさ

図2

※ひもの長さは支点からおもりの中心（重心）までとする。

表1

1分間の振動数(回)	65	64	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45
ひもの長さ(cm)	21.1	21.8	22.5	23.2	24.0	24.8	25.6	26.5	27.5	28.5	29.5	30.6	31.8	33.0	34.3	35.7	37.2	38.8	40.4	42.2	44.1

2号機（65～50）　1号機（60～45）

（研究3）図3のように、ひもの先におもりとなる容器をつるす。容器の先端には、ワッシャーやナットを取りつけ、より重くなるようにする。容器に細かな砂を入れ、先端から少しずつ落ちるように穴をあける。単振り子だけでなく、図4のようにY字振り子も作り、いろいろな方向に振らせて、振り子の先端から落ちる砂の模様を写真に記録する。

マヨネーズ容器
ワッシャーやナット
図3
図4

3　研究の結果

（研究1について）

(1)まず、たこひも（綿100％）を使って実験した。その結果が右のグラフ1とグラフ2である。グラフ1からは何も規則性が見い出せず、グラフ2からは、「湿度が高くなると周期が小さくなる」という私たちの「湿度が高くなると周期が大きくなる」という予想と全く反対の結果になった。原因をずいぶん追求し、写真1、写真2のようにたこひも自体が、湿度が高くなると短かくなり、その影響で周期が小さくなったことがわかった。以後、使用するひもをケブラ（アラミド100％）とステンレス線にして、実験をやり直した。

写真1　写真2

グラフ1：気圧と周期の関係（たこひも使用）（　）内の数字は湿度
周期[s]　気圧[hPa]

グラフ2：湿度と周期の関係（たこひも使用）（　）内の数字は気圧
周期[s]　湿度[%]

(2)次にケブラというひもを使って、実験をおこなった。ケブラはパラグライダーなどに使われているもので、湿度や温度によって長さが変化しない。まず、写真3～5のようにして、ケブラを水でぬらしたり、ドライヤーで乾かしたりしても長さが変わらないことを確認した。

実験結果は、グラフ3から周期は気圧によって変わらず、グラフ4から周期は湿度に関係していることがわかった。つまり、湿度が高いと周期が大きくなることが確認できた。

写真3　写真4　写真5

グラフ3：気圧と周期の関係（ケブラ使用）（　）内の数字は湿度
周期[s]　気圧[hPa]

グラフ4：湿度と周期の関係（ケブラ使用）（　）内の数字は気圧
周期[s]　湿度[%]

(3)ケブラでわかったことが、ステンレス線でも同じ結果が得られるかを実験した。最初にステンレス線が湿度や温度によって伸び縮みしないこと確かめた。ここでの温度は、20℃～40℃ぐらいの気温の範囲のことをいい、ドライヤーでステンレス線を温めて調べた（写真6～8）。

写真6　写真7　写真8

ステンレス線を使った実験でも、周期は気圧には関係せず、湿度によって変わることがわかった。つまり、振り子の周期は、湿度が高い程大きくなることがわかった。

グラフ5：気圧と周期の関係（ステンレス線使用）（　）内の数字は湿度
周期[s]　気圧[hPa]

グラフ6：湿度と周期の関係（ステンレス線使用）（　）内の数字は気圧
周期[s]　湿度[%]

（研究2について）

研究2は、ペンデュラムウェーブを作り、振り子群が描く模様を撮影することである。動画にも撮ったが、いくつか特徴的な場面を下に写真として示す。【写真9～17】

写真9　写真10　写真11　写真12　写真13　写真14　写真15　写真16　写真17

（研究3について）

研究3は、振り子のひもの長さを変えたり、Y字振り子にしたり、おもりを振り出す方向を変えたりして、砂が描くリサージュ曲線を写真におさめた。下に実験のようすといくつかの曲線を示す。（写真18～26）

写真18　写真19　写真20　写真21　写真22　写真23　写真24　写真25　写真26

4　研究の考察

（研究1について）

ただ振り子の周期を計測するだけの実験であったが、振り子の周期と湿度の関係を見つけることができた。つまり、「湿度が高い程、振り子の周期が大きい」ことがわかった。このことを私たち物理班は次のように考えた。図5のように振り子が通過する空気中には、水蒸気（水の分子）が存在している。湿度が高いとこの水の分子が多数有り、振り子の運動をさまたげ、結果として周期が大きくなるのである。グラフ4やグラフ6から分かるように、湿度の違いによる周期の差は1000分の数秒から大きくても100分の1秒ぐらいである。しかし、グラフを見てわかるように湿度と振り子の周期は明らかに比例している。

湿度と周期の関係を調べるには、本来は気圧や気温といった他の要素を同じにして比較しないといけない。しかし、中学生としての実験で気圧や気温をコントロールすることは不可能である。できることは、いろいろな気象条件下での測定を積み上げ、同じ気圧や気温のデーターをピックアップすることである。あるいは、今回はひもの長さを24.8cmにして、周期を約1秒としたが、ひもの長さをもっと長くすると振り子のおもりが通過する空気が増え、周期の違いがもっとはっきりするかもしれない。この研究では湿度が約40％～約70％の場合のデータであるが、もっと湿度が低い場合や高い場合も測定してみる必要がある。さらに、気圧や気温が周期に与える影響はないのかも調べておく必要がある。今後、湿度と振り子の周期の相関関係がはっきりしたら、振り子の周期を測って、その日の湿度を当てることに挑戦してみたい。

水の分子
湿度が低い　湿度が高い
図5

（研究2について）

ペンデュラムウェーブを作り、振り子群の描く模様を楽しむことができた。ヘビのように曲がりくねり、3個ずつに分かれたり、時には2列に並んだりした。また、2匹のヘビがからみあうように見えたり、全部が一直線に整列したりするなど、とても夢のある実験ができた。研究というよりも、どちらかというとものづくりというか遊びに近いものであった。今後は、図6・図7にあるようなまだどこもやっていないようなダブルペンデュラムウェーブ（学付中物理班命名）にチャレンジしてみたい。さらに、個々の振り子は単純な動きであるので、コンピュータでプログラミングしてさまざまなペンデュラムウェーブをシュミレーションすることも考えている。

図6　図7

（研究3について）

研究1～3に共通しているのは、どの振り子も揺れていくにつれて時計まわりに振動面がずれていくことである。これは、地球の自転の影響によるものでコリオリの力というものがはたらくからだと顧問の村上先生に教えていただいた。時計まわりにずれていく様子は研究3の砂を落とす単振り子でも確認できた（写真27）

実は、リサージュ曲線については容器の中に入れたのは砂だけではなく、牛乳やペンキなどの液体も入れて実験した。時には魅力的な曲線も描くことができたが、くり返し実験するのには液体は不向きであった。

このリサージュ曲線についてもきれいな模様を描かせて終わりだったので、今後は例えば図8のY字振り子では、aとbの長さを変えてどういう模様になるか等、もっと科学的に調べていきたい。リサージュ曲線と同じような場面は、例えば吊り下げ式の照明が風や地震で揺れる場合など日常生活と関連づけて研究してみたい。

写真27　図8

5　研究のまとめおよび参考文献等

本研究は、写真28、29のように振り子の周期を測定するだけのきわめて簡単なものである。しかし、湿度と振り子の周期の関係を調べるうちに、振り子が振れる空間にある水の分子の存在を見ているような気になった。研究2、3も言ってみれば、単純な振り子であるが振り子が作り出す美の世界を楽しむことができた。

振り子に関する研究は本年度から始めたものである。新型コロナウイルス感染の影響で学校が再開したのが6月であり、理科部の活動期間もとても短かい。そんな中で研究を進め成果は少ないがこのようにまとめることができたことを嬉しく感じ、また指導いただいた村上先生に感謝したい。

写真28　写真29

<参考文献や参考にしたウェブサイト>
- 『改訂版 新編 物理基礎』数研出版
- 日本ガイシ株式会社「私たち1分後に整列します」, https://site.ngk.co.jp/lab/no252/ (閲覧日：2020年8月18日)
- 佐賀県立宇宙科学館（2018年）「宇宙科学館のペンデュラムウェーブ」, https://www.youtube.com/watch?v=9140Gav (閲覧日：2020年8月19日)
- 日本ガイシ株式会社「振り子が描く規則的な線（No.66）」, https://site.ngk.co.jp/lab/no66/ (閲覧日：2020年8月23日)
- 長谷川能三（2000）『楽しい科学実験「ふしぎなふりこを作ろう」実験報告』大阪市立科学館研究報告 No.10,183
- 高校ぶつり実験／単振り子の周期, http://www.makasaka.net/physics/furiko/furiko.htm/ (閲覧日：2020年9月11日)