

## 振り子を使った転向力の検知

阪口和則 (大村市)

### A Verification of the Coriolis Effect

Kazunori SAKAGUCHI

#### はじめに

高等学校地学の中で、指導しにくい内容の一つに転向力（低気圧の渦や海流の原因の一つ）があり、従来多くの実験例や指導法などが発表されてきている。

転向力の理論についての教師自身の理解が不確かであったり、教科書に紹介されている実験の例が教師や生徒を共に混乱させる内容のものが採用されている（例えば回転円盤上でのキャッチボール）などの原因で指導法に苦労している場合が多い。

「回転円盤上で半径方向に運動している物体には半径方向に直角の転向力が働く」、この慣性力である転向力を遠心力と同じように直接確認できる実験法はないかと長年考え続けた。そのうち検知器として振り子が有効であることに気づき、それをもとにした実験装置（写真2）を作り、振り子の振れ角から転向力の大きさを測定しようと試みた（長崎県高等学校教育研究会理科部会誌（1986）に発表）。測定結果は、ふりこの振れ角が理論値の1.25倍と大きい値となって、その原因が分からずにいた。その後、その原因は振り子が転向力によって回転の中心から外れることによる遠心力の影響であることに気づき、それを補正することによって理論値の1.12倍まで縮小できた。したがって、この実験装置で観測される振り子のフレの大きさは転向力と遠心力の合力の大きさを示してい

ることになる。

この実験装置（写真2）をいくつかの理科教材製作会社にも開発を提案したが、製作費用がかかりすぎることと、需要が少ないことなどから採用されなかった。これを含めて、いくつかの定性的実験例を以下に示す。

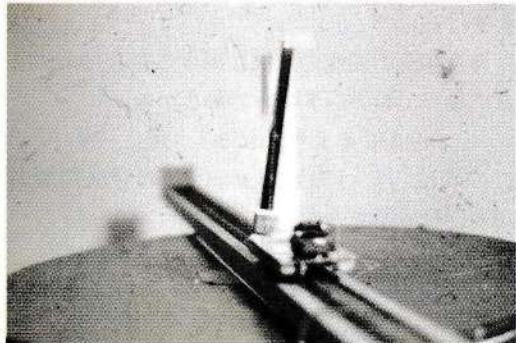


写真1 ヤグラに取り付けた振り子（第1号機）電動モーターでレールを走る



写真2 枠に取り付けた振り子（第2号機）吊り下げた振り子を左の小型モーターで半径方向に引っ張り、撮影記録から振れ角を測る。

転向力の理論

質点の質量 $m$ 、質点の速度 $V$ 、回転の中心 $O$ からの距離 $r$ とすると、質点の角運動量 $H$ は

$$H = m r v \quad \text{①} \quad \text{で表される。}$$

「質点系に外力が働かないか、または外力のモーメントの代数和が0であれば質点系の角運動量は変わらない、これを『質点系の角運動量保存の法則』という」

『角運動量保存の法則』から質点が半径方向に移動しての回転の中心からの距離 $r$ が小さくなると、速度 $V$ は大きくなる、すなわち回転の中心 $O$ に近づくとき速度は大きくなる。速度が大きくなるということはそこに加速度すなわち力が働いているから、この加速度を生じさせる見かけの力を転向力 $F$ という。

一方、回転円盤(角速度 $\omega$ )上の中心からの距離 $r$ での質点の速度 $V$ は、

$$V = r \omega \quad \text{②}$$

であるから、①は

$$H = m r^2 \omega \quad \text{③}$$

と書ける。

角運動量の変化の時間に対する割合はその質点に働く力のモーメントであるから、

$$Fr = dH/dt = d(mr^2\omega)/dt \quad \text{④}$$

この式は、 $y = f(r)$ ,  $g = f(t)$ の合成関数だから、合成関数の微分法により

$$Fr = 2m r \omega \cdot dr/dt = 2m r \omega \cdot v \quad \text{⑤}$$

⑤の両辺を $r$ で割り算すると、転向力の大きさは  $F = 2m \omega \cdot v$  となる。

ただし、 $v$ は質点 $m$ が中心に向かう速度である。

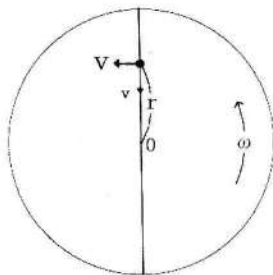


図1 転向力の説明

演示実験

1. 転向力の検知器(センサー)として振り

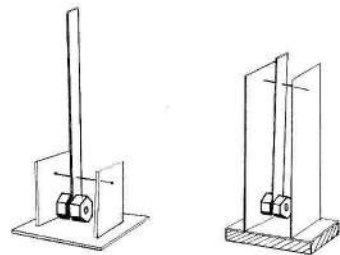
子を使う。振り子に以下の2種類を考えた。

1) 吊り下げ型振り子

いわゆる普通の振り子で今回製作したものは厚さ1mm、長さ13cmの振り子を、高さ14cmのヤグラ、重りは重さ15gのボルトとナット(8mm)を取り付けた。少しの衝撃で倒れてしまうので、台車の下に厚さ1.5cmの板を貼り付け、安定性を確保しようと試みた(図2右)。それでも不安定さは十分には解決していない。1986年に発表した装置は吊り下げ型振り子を採用した(写真2)。厚さ3mm、長さ11cmの亚克力板に43.1gの鉛板を貼り付けた。これは大きな枠に吊るすので安定性の心配はなかったが、今回の実験装置(写真1)では振り子の長さに応じた高さのヤグラを作る必要がある。転向力が大きく働くと台車ともに倒れ、不安定で、吊り下げ型振り子は不適當であることがわかった。

2) メトロノーム型振り子

重心を下げるためにメトロノーム型振り子を考えた。重心が下がるので、安定性は高くなり、実験がしやすくなる。振り子は厚さ1mm、長さ12cmで、重さ15gのボルトとナット(直径8mm)を取り付けた(図2左)。



メトロノーム型振り子

吊り下げ型振り子

図2 振り子の種類

いずれの場合も、転向力を受けて回転台が反時計回りの場合は、進行方向右側に振れ、時計回りの場合は、進行方向左側に振れることが観察される。30cm程の滑走台の上を走る短時間にしか観測できないので、子供たちに周知させるためには何回も試みる必要がある。これを解決するためには、1986年の装置のように補助モーターで振り子を引っ張る必要がある。これには、費用と労力が必要になり、簡単には作製するこ



とはできないのが難点である。滑走台にデジカメラ（ムービー）を装着すると（図3）、振れを後で確認できる。

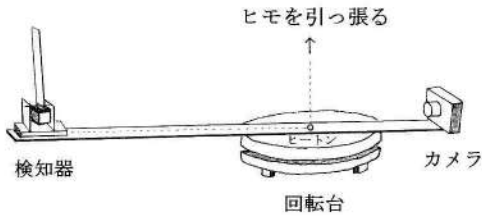


図3 転向力演示実験装置略図

2. ロートを使って、転向力による渦を作る。はじめは市販のロート（漏斗）を使っていたが、これは傾斜が急なので、もっと緩やかな傾斜をもつロートを自作することにした。

筆者が使っているロートは、直径約23cm、高さが約3cmの円錐形のもので、

厚紙に半径12cmで円を描き、中心角で10°分を切り取って貼り合わせたものである（写真3）。



写真3 自作ロートと受け皿

真ん中に立てた棒を引き抜くと水が落ち、水流が生じ始める。

#### 参考文献

- 斎藤錬一（1959） 気象の教室 東京堂出版 134 - 136  
 阪口和則（1986） 転向力実験装置の工夫  
 長崎県高等学校教育研究会理科部会誌第25号 21 - 25  
 田中 博（2007） 偏西風の気象学 気象ブックス016 成山堂 42 - 46  
 鳥羽良明（1977） コリオリの力と海洋循環  
 東書「地学」No.168 東京書籍  
 豊田博慈・林野俊彦（1972） 遠心力とコリオリの力  
 科学の実験 実験ファイル43 誠文堂新光社

この大きさは、それぞれの装置に合わせて最適な大きさのものを作るようにする。底には、水を使用するときには小さめの穴、ビーズ玉を使う場合は玉のサイズに合わせてやや大きめの穴を開ける。

1) 水を流す実験の場合は、防水とある程度の強度のある材料の選択が必要である。

2) ビーズ玉（1～7mm程度）を転がし入れる。この場合は、厚紙で作ったものをそのまま使用できる。

回転台が反時計回りの場合は、反時計回りの渦が、時計回りの場合は、時計回りの渦が観察される。回転台が大きく、余裕がある場合は回転台の中心から離れた位置にロートを置いて転向力の効果を確認する。ただし遠心力のためにロートが倒れる場合があるので注意が必要である。

#### おわりに

定量的な実験の場合は、かなり手の込んだ実験装置になるので、今回は、授業にすぐ使える定性的な転向力の検知装置について紹介した。ぜひ試みて欲しいと思っている。

できれば、いつの日か人が乗れる大回転台（メリーゴーラウンド、鉄道機関車の転車台など）や大きくカーブする線路（長崎県では東園駅近く、大村の与崎、松原あたりが適当）を走る汽車の中で、振り子を手を持って汽車の進行方向に直角に歩いて、転向力の効果を確認してみたい。