

応用物理実験としての Foucault 振子*

宮坂 忠 昭**・春 原 眞 一***

(平成8年10月31日 受理)

Foucault Pendulum for Applied Physics Experiments

Tadaaki MIYASAKA and Shinichi SUNOHARA

In this paper we want to report the results of the Foucault pendulum experiments which were performed by 130 students in Nagano National College of Technology.

We think we were able to set some valuation and get good results on physical education through these experiments.

A summary of the experiments is as follows.

We can recognize the results: (1) a lot of students were satisfied with the explanation of Foucault pendulum motion because of the fact that their observation focuses on the surface of a circular cone. (2) though the comparison of the theoretical and experimental calculation, the students were able to recognize the agreement with the value of these two calculations. (3) they made these experiments sincerely and interestingly as one of the pure educational experiments of the field of applied physics.

1. 緒 言

物理教育においてフーコー振子は、慣性系に対して回転する座標系の具体例として扱われる。地球の自転現象を天体観測ではなく、具体的に地上観測で理解できる貴重な教材であるが、その取り扱いが理論的にかたよりがちで、実験的取扱例としてはあまりなかったようである。その原因として地球上の極点 $\theta = 90^\circ$ および赤道 $\theta = 0^\circ$ においては、振り子の現象がほぼ慣性系での運動として扱うことができ、説明も容易であって理解も簡単である。

しかしながら、緯度を持つ地点ではみかけ上複雑な運動になりこの説明は理論的にならざるを得ず、コリオリの力などを導入して教えるためであると考えられる。また実験装置による観察にしても、振り子が振動平面上で回転をはじめる説明方法が¹⁾研究されているが、応用物理実験として現場で実施した例はあまりないようである。

* 平成7年3月第42回応用物理関係連合講演会にて発表

** 基礎専門 応用物理 教授

*** 一般科 技官

先に、フーコー振子が緯度 $90 > \Theta > 0$ の地点で回転をはじめる現象の説明に、緯度 Θ の地点における南北方向の接線は、地球の自転によって包絡面を作り、その結果は頂角が 2Θ の円錐となることを利用した。そしてこの円錐上で振り子の振動を考えることで、フーコー振子の振動方向が地上で観測すると回転するように見えることを、簡単に説明する方法を述べた²⁾。

本研究では、この説明法が教育現場でその役割を果たすかどうか、長野高専3年生約120名の応用物理実験の1テーマとして Foucault 実験を実施したので、結果を報告する。

2. 実験指導書

学生に配布した指導書を示し、実験の流れを明らかにする。なお、実験時間は2コマ100分である。

- 1) 目的 フーコー振子は、地球の自転現象を示すものである。実験により、その振動の変化を測定し、緯度による変化の違いを円錐を製作することにより考察し理解する。
- 2) 理論 前報²⁾での理論と重複するので省略するが、重要な点は円錐上に引いた2平行線の頂点となす角の変化分が観測される振子の振動面の変化に当たり、それは緯度 Θ とどのような関係にあるかを考察することにある。

3. 実験

実験装置は、島津製 FP-10 型で振り子長1m、タイミング検出器付、振動減衰防止装置付きである³⁾。

- 1) フーコー振子の装置を水平になるよう調節し、振り子がセンターに合致していることを確認した後起動させる。
自分の時計で時刻を記録して、振り子の振動面に片目で正確に角度スケールの0点を合わせる。
- 2) 30分毎に角度を片目で正確に読み取る。この際、視差が生じないように注意する。また、右回りか左回りかを確認する。
- 3) 北極での $\Theta = 90^\circ$ 振り子の振動面の角速度 ω_n を計算せよ。(レポート)
長野高専での ($\Theta = 36^\circ 40' 28''$) みかけの角速度 ω' を計算せよ。(レポート)
同じく、振り子の振動面のみかけの周期 T' を計算せよ。地球の自転周期を24hとせよ。

4. 報告事項

$$\omega_n = \frac{\Delta\theta(rad)}{\Delta t(h)} = () rad/h = () \text{度}/_{0.5h} \quad T = \frac{2\pi}{\omega_n} = ()(h)$$

$$\omega'(\text{長野}) = \frac{\omega_n}{\sin\Theta} () rad/h = () \text{度}/_{0.5h} \quad T' = \frac{2\pi}{\omega'} = ()(h)$$

フーコー振子の θ' の測定.

時 刻	Δt (min)	θ'	$\Delta\theta$
	0	0° 0'	
	30		
	60		
	90		
回転方向 左・右 (○印)			

5. フーコー振子を理解する工作

- 1) 材料 用紙 (20 cm 四方のカレンダー用紙), マッチ棒 8 本, セロテープ, はさみ
地図, 地球儀
- 2) 頂角 2θ の円錐を作る. 方法の詳細は先の研究に述べてある. まず, 縁の $1/4$ を重ね合わせた場合にできる円錐を作り, 頂角 2θ を計算し, この θ は地球上のどの緯度 (代表都市パリ) に相当するかを考える. θ は, $\theta = \sin^{-1}(1/4)$ で求められることに注意する.
($1/4$) は全円周に対する, 重ね合わせた円周を除いた 円周の割合.
 $\angle AOD = \pi/2$ のとき $\theta =$ _____ この緯度にある代表都市 _____ であり, 東京より _____ 度 高い, 低い. (レポート)
- 3) マッチの貼り付けによる振動面の変化の理解.
 - (1) AD 上にマッチの頭を円錐頂点に向けてセロテープで固定する. この場合振り子を南北に振動させ, その動きを示している.
 - (2) AD のマッチとできるだけ平行に, F に 2 つ目のマッチを固定する.
 - (3) 順次 BGCH と同じ作業を繰り返す.
 - (4) 最後 1 周した後の AD に (1) の上にマッチを貼りつける. (1) のマッチと (4) のマッチの角のずれが 1 日の振動面のずれとなる.
はじめの AD の向きと約 $\Delta\theta =$ _____ 度 ずれている. (レポート)
 - (5) AD を固定しているセロテープをはがして円錐を展開し, 平面にしてみよ.
マッチの向きを調べよ. マッチの向きは _____ である. (レポート)
 - (6) 本校 (長野高専) の緯度 (北緯 $36^{\circ}40'28''$) 相当の円錐を作ってみよ.
ヒント $\sin 36^{\circ}40'28'' = x$ とすると, 円周から x に相当する割合を残して, その部分が円錐の底面円周になるようにすればよい.
 - (7) マッチを 3 時間おき相当 (8 等分) に円錐面に固定する. (6)(7) の作品提出. (レポート添付)
 - (8) (7) の結果から 1 日 (1 周) で回転角のずれ $\Delta\theta$ は約何度か. $\Delta\theta =$ _____ 度. (レポート)

6. 実 施 結 果

実施年月日は平成6年10月より同7年3月まで。対象学生は、長野高専3年生機械工学科50名、電気工学科40名、電子制御工学科40名である。実施後のアンケート調査にもとずき、その結果を以下に述べる。

- 1) Foucault 振子への興味については、約65%の学生が示し、実験への導入としての位置づけは成功したように見える。Fig.1
- 2) 新たな取り入れへの反応は、工学的実験が多い中、純粋な自然現象実験としての違和感を危惧したが、意味があると、70%を越す反応が選られた。Fig.2

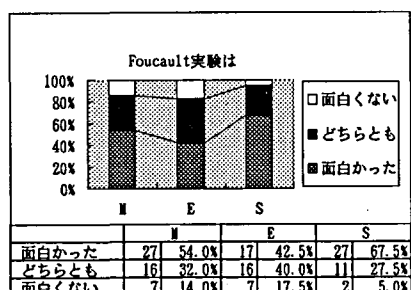


Fig.1

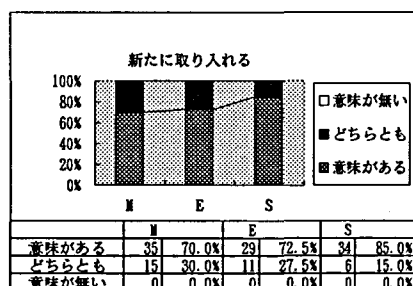


Fig.2

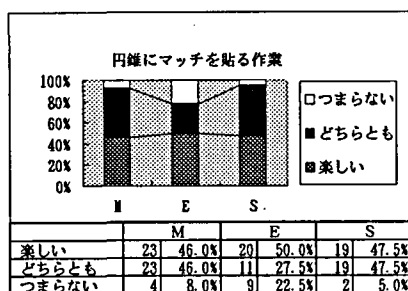


Fig.3

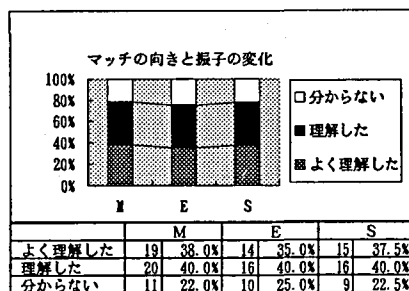


Fig.4

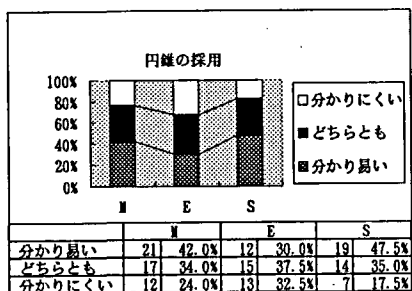


Fig.5

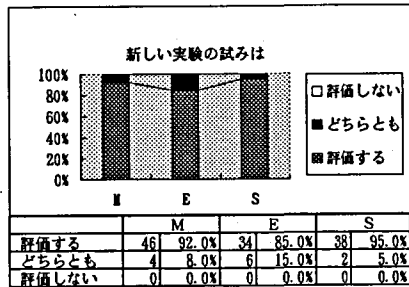


Fig.6

- 3) マッチを円錐に貼り付けてゆく作業は、半数に近い支持が得られた。つまらない割合をもっと多く予想したが、真剣に取り組んでいる様子からも納得できる。 Fig.3
- 4) マッチの向きと振子の変化の関係が理解できたかどうか、本実験の一番の力点であった。各科平均して 35% がよく理解できたとし、理解できたとする者を含めると 75% 以上になり、当初の目標は達成したと考えられる。しかしながら 2 割強は理解が必ずしも得られず、この対策が今後に残された。 Fig.4
- 5) 説明のために円錐を採用した点については意見が分かれ、理解し易いとした者は約 40% に留まり、わかりにくい 20% を考慮するともう 1 つ工夫が必要か、また説明の方法と時間を増やすことを考えねばならないだろう。 Fig.5

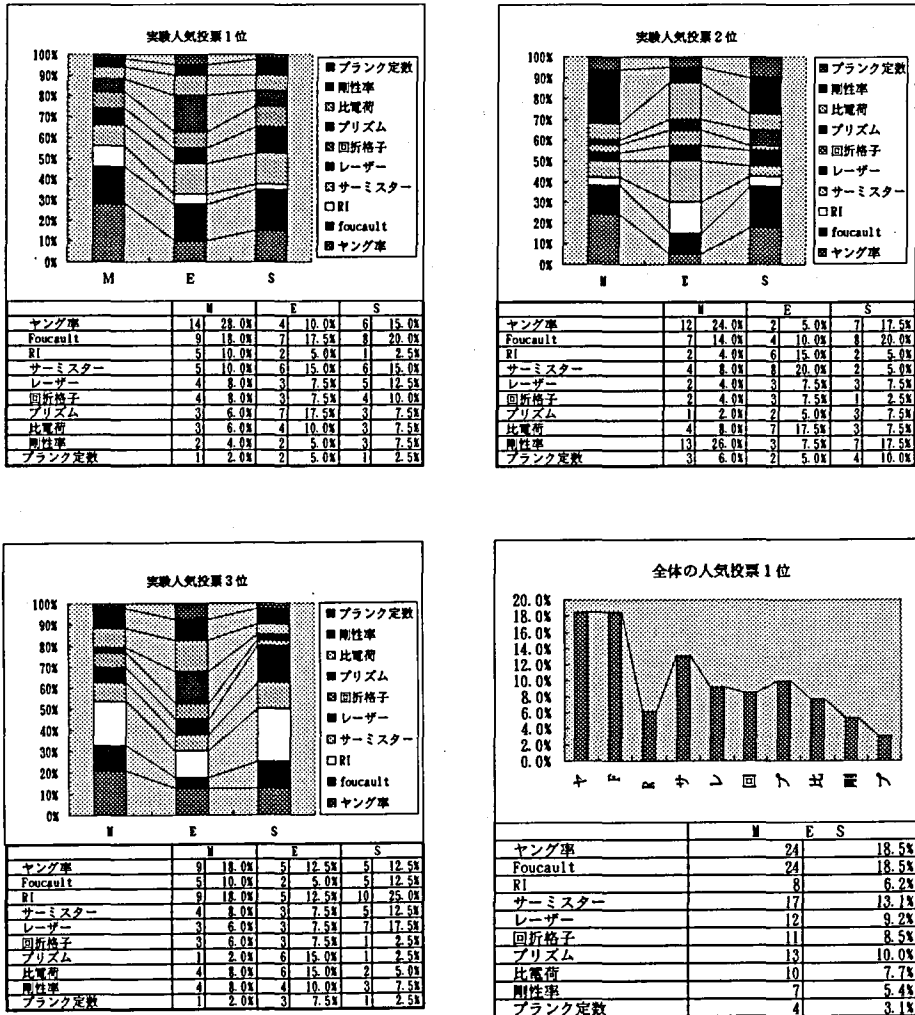


Fig.7

- 6) 新しい実験の試みを学生に評価してもらった結果は、9割近い評価を得た。無記名及び評価しないが0であることを考えれば、あながち教官への配慮とは限らないであろう。

Fig.6

- 7) 最後に実験人気投票を行ってみた結果を示す。他の実験テーマとの関連で、本実験がどのような位置を占めるか興味があるところだったが、意外にも電気と電子制御工学科では1位を、機械工学科では2位を占めた。Fig.7

2位にあげた者は機械工学科では3番目、電気工学科では4番目、電子制御工学科では1番に多かった。

以上のように Foucault 実験は、他の物理的工学実験、例えば剛性率、ヤング率、サーミスター等と比較しても遜色のない位置を占めたことは、学生は地球が回っているという当たり前の現象を、単純な実験を通して真剣に考えようとしているのではないかと思える。

- 8) 理解度確認のために次のような試験を行った。

今年度あらたな試みとして Foucault 振子の実験を取り入れました。

- (1) 実験の目的に○印をつけよ。

- (a) 振り子の運動の変化を測定し、地球の公転運動を知る。
- (b) 北極星の高度(仰角)を調べると自分の地上の経度がわかる。
- (c) 振り子の運動の変化を調べ、地球の自転運動を理解する。
- (d) 振り子の運動の変化は、地球の緯度による磁気の影響を受ける。

- (2) 次の をうめよ。

緯度 θ の地球上の地点に引いた南北方向の接線の集合は、頂角 (1) の (2) になる。 $\theta = 0$ 度は、いわゆる (3) であるから、この場合の接線の集合は (4) になる。また $\theta = 90$ 度はいわゆる (5) であるから、この場合の接線の集合は (6) になる。

- (3) マッチ棒を振り子の振動方向と見立てて4)に貼ってゆき、1周すると振動方向は (7) 。又同じく6)に貼ってゆき、1周すると接線方向は (8)

- (4) 右図のような円Oを半分切り取り、OAとOBを接着した円錐を作った。Aに図のようなマッチを貼り付けた場合、Bにはどのように貼るか図示せよ。

円錐が24時間で1回りした場合、このA点(B点)の人はFoucault振子の振動方向は (9) 度 (10) に回ったように見える。またこのA(B)の地点はA Oを比にとると北緯 (11) の地点になる。

結果は満点52点3人を数え、平均は34点正解率65%であった。これはアンケート結果から得られた理解度とほぼ等しく、満足すべきであると考えている。

試験解答例。(1)◎ (2) 1) 2 2) 円錐 3) 赤道 4) 円柱 5) 極点 6) 平面
7) 変化しない 8) 1回転する 9) 180 10) 右 11) 30°

7. 結 言

前報¹⁾において、フーコー振子の振動面の変化を簡単に説明する方法を、応用物理実験の1課題として本校3年生130名に実施した。予想以上に興味をもって取り組みかつ好評であった。説明方法には更に改良する点があるが、おおむね期待された理解度が得られた。

工業系の実験の中に異質なものをという観点もあるが、実施してみて、かえって学生は単純な現象の中にひそむ真理に興味を持つという一面もあることを改めて教えられた。

自然科学の第一歩は、現象(事実)の正確な観察、把握からであることは言を待たない。従って、実験実習こそ自然科学技術教育の中心に位置し、最重要視すべきであろう。これら指導には多大の物的、人的な支援が必要なため、教育現場ではともすればこれを避け、理論的思考に重点が移行している。これが理科離れ、物理嫌いの1原因になっていると考えられる。これらを解決してゆくにはまず、「面白い」「興味がわいた」から出発して「Why?」になるべきで、先に理論があってはならない。

このフーコー振子の実験を実施して、自然科学教育の教材として充分利用できるものと確信した。

参 考 文 献

- 1) 桑原 浩二：東レ理科教育賞授賞作品，第19回，P.53-55，1987.
- 2) 宮坂 忠昭：長野工業高等専門学校紀要，第28号，PP.75-80，1994.
- 3) 島津カタログ フーコー実験装置 FP-10型.