

フーコー振り子の見学・活用ガイドの発行と調査について

渡部 義弥*

概要

フーコー振り子は初めて地球の自転を証明した実験であり、実験装置の名前である。初実験から2ヶ月後には市民への公開実験が行われ、現在でも科学博物館の常設展示として定番であるなど、科学普及の歴史を考える点でも興味深い実験である。筆者は、このフーコー振り子について、パリ天文台のデ・バルパ研究員が行った2001年のフーコー振り子150周年を記念した世界のフーコー振り子設置リスト調査に2002年から参加し、以降も日本国内のフーコー振り子について調査を続けてきたが、2018年度に全国科学博物館振興財団より研究費の支援をうけて調査をすすめ「フーコー振り子の見学・活用ガイド」を作成、発行を行った。本報告では、ガイドの作成のために行った調査とガイドの内容について概説する。

1. はじめに

フーコー振り子は、地球の自転を証明するために使われる実験器具であり、実験の名称である。1851年にフランス人のレオン・フーコー(図1)により、パリで最初の実験が行われた。



図1. レオン・フーコー肖像

*大阪市立科学館

実験では、ワイヤーで錘を吊った長大な振り子を用意する。最初の実験ではワイヤーの長さ2mだったが、一般的には10~50mのものを用意する。ワイヤーの支持は点になるように工夫し、どの方向にも自由に振動するようにする。

実験では、この振り子を横風など振動方向に影響する外力が加わらないように留意したうえ振動をつづけ、その振動方向が回転していくのを観察する。振動方向は本来振り子の振動面の保存の性質で変わらないはずだが、観察者が立つ地球が回転しているために、変化して見えるのである。このことによって、地球の自転を証明するのがフーコー振り子である。

フーコー振り子以前にも、大砲の弾などの運動を観察し、地球の自転のために方向が変位するのをとらえようと試みられたことがあったが成功した事例はなかった(アクセル 2005年)。

また、長距離に渡る風は、地球の自転によって進路が変わり、台風などではそれが決まった方向の渦巻きとなって現れるのでわかる。また、地球を南北方向にまわる人工衛星は、同じ地点の上空を通らない。これも、地球が自転している証明となる。

しかしながら、台風の広範囲の観測や人工衛星などは、フーコー振り子の時代の19世紀には存在せず、ただ、地球の形状が測量によって回転楕円体であるらしいという事実から間接的にとらえられているのみであった。

フーコー振り子の実験を考案し、成功させたレオン・フーコーは科学記者であり、アマチュア科学者であったが、当時パリ天文台台長だったフランソワ・アラゴと知遇を結んでおり、アラゴの手引きで、パリ天文台にて科学者の前での実験を行い、その後科学好きだった当時の大統領ナポレオン 3 世の手引きで国家霊廟のパンテオン(図2)において市民向けの公開実験が行われた。この公開実験は現在日本国内のどの振り子よりも長い、67mという長大な振り子が使われている。さらに、南半球のブラジルのリオデジャネイロも含めた各地で追試が行われ、実験が間違いないことが証明された(Tobin 2003)。



図2. パンテオンにおけるフーコー振り子の再現実験

その後、フーコー振り子は、1855年のパリの万国博覧会で公開されるなど、科学普及、アトラクションとしてよく設置され、現在でも世界各国の科学博物館などで常設展示として公開されている。

日本では1934年に東京の上野にある国立科学博物館に設置され、現在でも後継の振り子が振られているほか、全国に70程度の振り子が常設されている。また、振り子は見学をするだけでなく、学生の実験教材として教科教育や課外活動の材料としても使われている。ただ、これらは相互に独立として行われていて、他所での実践についての情報交換はあまり行われておらず、また見学するにもどこにフーコー振り子があるのかも明確ではなかった。

筆者は2002年にパリ天文台のシュザンヌ・デバルバ研究員がフーコー振り子150周年を記念して行った、世界のフーコー振り子の所在調査(中村2002)に参加し、当時の国内のフーコー振り子の所在について調査を行った。以降も少しずつ調査をしてきたが、2018年度に全国科学博物館振興財団より研究費の支援をうけて調査をすすめ「フーコー振り子の見学・活用ガイド」を作成、発行を行った。本報告では、ガイドの作成のために行った調査とガイドの内容について紹介する。

2. 先行研究・調査

日本のフーコー振り子の所在については、筆者の2002年の調査以前に少なくとも2つの先行研究がある。一つは、天文教育普及研究会のWGによる1992年ごろに行われた「天文教具」の調査によるもので、日本天文学会春季年会(大阪学院大学)で展示とフォーラムが行われ、一部は天文教具の冊子にまとめられていた(横尾他1993)他、全調査の結果が調査メンバーの出雲晶子氏が勤務していた横浜こども科学館のホームページにリストを掲載していた。現在は氏が退職し、ホームページはなくなっている。

また、愛媛県立科学博物館の友の会会員で科学愛好家の黒瀬康正氏が行ったフーコー振り子に関する調査もある。1999年ごろから各地の科学博物館に郵便でアンケートを取り、設置状況を確認したものである。2002年の筆者の調査の際、調査について知った黒瀬氏の厚意により調査情報を提供していただいている。

ただし、いずれもまとめて刊行物には現時点で筆者が知る限りにはなっていない。これは長期にわたりデータが残る教育関係の発表媒体が少ないことと、アマチュアのしかし重要な調査がそこにリーチされにくい状況を物語っている。

これら先行調査は、単に本調査に役に立つ土台というだけではなく、上に述べた様に調査が散逸しやすいこともまた示している。

フーコー振り子は、資料ではなく一定期間で展示がえなどで変更・破棄されやすい実験装置の動的展示である。設置状況を示すには、アップデートしやすいWEBは発表の場として相応しい。しかし、上記の様に一定時期の状況を残すには紙の刊行物の優位性はあるので、今回では成果物として、紙のガイドブックという形で出版しておくことをゴールとしたものである。

3. 2002年のフーコー振り子調査

筆者のフーコー振り子の所在調査は、1. はじめに述べたとおり、国立天文台の中村士助教授(当時)の天文月報での呼びかけに呼応して行ったものである。

約1年間、先行研究の取り込みとネットでの呼びかけ、科学教育施設のパンフレットの読み込みや訪問時のデータ、ホームページの検索などで行った調査の結果は、中村助教授に送り、さらにはパリ天文台のデバルバ研究員に提供された。その時点のデータはホームページに掲載(渡部 2003)している。

さらに、このホームページは、2003年に YAHOO! の週間ベストWEBサイト5選に選ばれ、それがきっかけで、さらに情報が寄せられる様になった。

その後は散発的に情報の収集を行いながらホームページをアップデートしていったが、新規の情報がほぼ得られなくなったことから、2010年にひとまずのまとめとして研究報告誌に調査報告を記載した(渡部 2010)。

この間、2004年に私的な旅行で渡仏し、パンテオンやパリ工芸博物館で1851年のデモンストレーションに使われたフーコー振り子を見学したり、他館に視察の際にその存在を確かめたり(図 3)。職員に散発的に話を聞くことがあったが、しばらく発展させることがなかった。



図3. さいたま市青少年宇宙科学館玄関ロビー前のフーコー振り子風実験装置(2012年撮影)任意の周期で回転が変更可能なので純粋なフーコー振り子とは言えない。

4. 今回の2018年のフーコー振り子調査の動機

2010年から停滞していたフーコー振り子調査だが、大阪市立科学館の第4次の展示改装(2018年施工)の計画を契機に、単純な所在調査ではなく、展示としての運用や教具としての意義づけなども含めたことを知る必要にかられた。特に小型のフーコー振り子は、実験の精度が出にくいことや、フーコー振り子といっても実際は振動面の回転を磁石などでコントロールできる「フーコー振り子風」の実験装置が展示されていることなどが分かってきたためである。

また、フーコー振り子の大きさ(長さ)では、長らく長

崎市の長崎観音にある30mのものが最大であったが、名古屋市科学館が2011年のリニューアルで30mクラスの振り子を設置すると聞かされたり、千葉大学、九州大学(図4)、弘前大学などに相次いで日本最大クラスの振り子が設置されるというニュースを見聞したりして、再調査の必要性を感じ始めていた。ただこれらをまとめた資料が自分のWEB以外に存在していなかった。さらに、フーコー振り子の活用法については、他施設担当者に聞いても共有されているとは言えなかった。

これらを踏まえ、単に職場の振り子展示の検討だけでなく、広く共有する資料の作成をゴールとした調査の必要性を痛感していた。そのおり2018年度の全国科学博物館振興財団の助成金の公募があり、職場内の調整で筆者が応募することになったので、応募した。結果、調査ならびに資料の印刷送付の費用を助成していただくことになった。



図4. 九州大学工学部のフーコー振り子

5. 調査計画

上記助成に応募する前の2017年ごろは、次の様な調査計画を考えていた。

1. 調査票郵送による調査
 - ・日本国内の科学系博物館に郵送で調査票送付
 - ・メーカーに出荷リストを提供してもらい、リストにある施設に調査票送付
 - ・かつて作ったリストの施設に調査票送付
2. 上記で返答があった施設に個別にインタビューに行き、聞き取りを行う

上記の郵送調査票による調査を行う前に、日本プラネタリウム協議会の大会など、多くの施設の関係者が集まる機会を捉え、聞き取り調査を予備的に行ってみた。その結果、次のことがうかがわれたので、調査票の送付を行わないこととした。

まず、フーコー振り子については一部の施設以外は

あまり熱心に運用をしておらず、また調査票に答えられる職員があまりいないことがわかったためである。調査票が大部分返ってこないことが見込まれた。

また、いくつかの施設はフーコー振り子を廃棄していた。これは開館当初は、展示業者や教員などからなる展示委員のアイデアで設置したものの、特に小さな子どもなどにフーコー振り子の意味の説明が困難であるため、フーコー振り子の運用をやめたり、作動が不良となり廃棄してしまったりしたからである。

以上より、リストについては今回の調査では完璧を期さず、フーコー振り子の運用などについての聞き取りをできるだけ多くの施設から行い、一方でリストはメーカーの出荷リストなどで従来のものを補間して作成する方針に変更した。

6. 調査

調査は、予備的なものも含めると次表の通り行った。

表1. 実施した調査一覧

| 日 | 場所 | 内容概要 |
|--------|---------------------|-------------------------------|
| 5月16日 | 大阪市立科学館 | 大阪府高校地学研究会の出席の先生にヒアリング |
| 6月4～6日 | セーレンプラネット(福井市) | 日本プラネタリウム協議会参加施設(80程度)に聞き取り調査 |
| 6月6日 | 福井県立エンゼルランド(児童科学館) | 展示状況調査、ヒアリング |
| 6月11日 | 大阪大学 | 展示状況調査 |
| 7月25日 | 共創テクノ集団(京都) | メーカーヒアリング |
| 8月20日 | 弘前大学 | 展示状況調査、ヒアリング |
| 8月24日 | 名古屋市科学館 | 展示状況調査 |
| 8月27日 | 伊丹市子ども文化科学館 | 展示状況調査、ヒアリング |
| 9月7日 | 国立国会図書館、さいたま市青少年科学館 | 論文調査、資料コピー 展示状況調査 |
| 9月21日 | 京都市青少年科学センター | 展示状況調査、ヒアリング |
| 9月23日 | 元姫路科学館職員小関氏 | ヒアリング |
| 11月23日 | 株式会社ナリカ | メーカーヒアリング、 |

| | | |
|--------|---------------------|----------------|
| | (東京) | 研究会参加によるヒアリング |
| 12月17日 | 元杉並区立科学館茨木氏 | ヒアリング |
| 12月18日 | 株式会社ナリカ(東京) | メーカーヒアリング、資料複写 |
| | 慶應高校 | 展示状況調査、ヒアリング |
| 1月12日 | 京都市青少年科学センター | 展示状況調査(撮影) |
| 1月27日 | 姫路科学館 | 展示状況調査 |
| 1月28日 | 神戸市立青少年科学館 | 展示状況調査、ヒアリング |
| 1月30日 | 名古屋市科学館 | 展示状況調査、ヒアリング |
| 3月11日 | 九州大学 | 展示状況調査 |
| 3月16日 | 国立科学博物館、葛飾郷土と天文の博物館 | 展示状況調査 |

以上のうち、共創テクノ集団は国内で継続的にフーコー振り子を製作している木下製作所の関連会社(住所は同じ)であり、最近の納品やメンテナンスに関する資料をいただいた。木下製作所は歴史的に島津製作所と関係が深く、島津製作所に発注された振り子も木下製作所で製作されていると教えていただいた。

また、フーコー振り子に関しては釣り元のメンテナンス依頼がよくあること。学校への納品が目立つことを教えていただいたほか、木下製作所のWEBサイトに納品一覧があることを教えていただき、最近のメンテナンスリストを提供いただいた。リストは表2の通りである。

表2. 共創テクノ集団が実施したフーコー振り子作業(2006年以降)。いただいたリストから項目一部抜粋

| | | |
|-----------|------|---------------|
| 渋谷教育大学 | 部品交換 | 指針、ナイフエッジ、等交換 |
| 法政大学 | 新設 | |
| 神戸市青少年科学館 | 改造 | 自動振出装置、回転補正メカ |
| 山形県産業科学館 | 部品交換 | ワイヤー交換 |
| 弘前大学 | 保守点検 | |
| 常翔学園 | 新設 | 250φ SUS製 |
| 山梨県立科学館 | 部品交換 | ナイフエッジ研磨 |
| 常翔学園 | 点検 | |

| | | |
|----------|------|-----------------|
| 啓明学園 | 点検 | |
| 山形県産業科学館 | 部品交換 | ナイフエッジ研磨、ワイヤー交換 |
| 横浜南高校 | 点検 | ナイフエッジ交換、ワイヤー交換 |
| 啓明学園 | 点検 | |
| 星と森の科学館 | 部品交換 | ナイフエッジ研磨、ワイヤー交換 |
| 山形県産業科学館 | 点検 | ナイフエッジ研磨 |
| 大阪大学 | 点検 | ワイヤー交換 |
| 武蔵高等学校 | | |

また、株式会社ナリカは、フーコー振り子を説明するための教材を継続的に製造販売しており、その教材の開発についての話や、出荷が多かったときの状況（入試でフーコー振り子が頻繁に出題された時期が1980年代にあったこと）を教えていただいた。

また、理科教員が集まる研究会にて調査の中間報告的な発表を行い、その場でディスカッションを行いフーコー振り子について何が関心時で何が知られていないのかを探れた。ナリカには後日伺い、過去のすべてのカタログからフーコー振り子に関するページの複写を行わせていただいた(図5)

さらに、施設 OB でフーコー振り子の設置、活用に携わった小関高明氏(元姫路科学館)にインタビューを行った。

設置時の展示業者の提案が純粋なフーコー振り子ではなかった(振動方向の回転を磁石でコントロールできるタイプ)ため、米国のカリフォルニア科学アカデミーがアカデミー内にあったファクトリーで作成したキットを導入したこと(同じものが葛飾区と東京ディズニーシーにある。

葛飾の導入は後述の元杉並区立科学館の茨木孝雄氏と伊東昌市氏が関わっている)。ワイヤーに当たる風の影響が思いのほか強く、送風ダクトの方向を変えるなどして対応したことなどを教えていただいた。図6はその姫路科学館の振り子である。

なお、カリフォルニア科学アカデミーはファクトリーを現在は廃棄しており、当時製作に携わっていたメンバーが外部の会社となり同じスペックの振り子のキットを販売していることがわかった。価格は500万円弱であり、代金先払いでないと購入できない。納期はストックがあっても半年である。6個ずつキットを作り、売り切れたら次のキットを作成しているが、作成は外部の工場を使っている関係で半年から1年ほどかかるとのことである。

なお、かつては設置まで請け負っていた様だが、現在は設置マニュアルだけがあり、施工や調整は自分でやるということになっている。葛飾区郷土と天文の博物館は、元杉並区立科学館の伊東氏からの情報では株式会社サテライトが設置し、メンテナンスは、同葛飾区郷土と天文の博物館の新井学芸員によると、乃村テックが行なっているとのことである。



図5. ナリカ(当時は中村理科)1975年カタログ。バナネ式振り子がここで新発売となっているのがわかる。



図6. 姫路科学館のフーコー振り子。カリフォルニア科学アカデミーのキット。キット価格は500万円程度。錘は100kg近くと重く、安定して振動し続けるが、ワイヤーに連続的に当たる風には弱い。

元杉並区立科学館の茨木氏にもインタビューを行った。杉並区立科学館は2017年で活動を終了、取り壊されている。その際にプラネタリウムやフーコー振り子など搬出できなかつたものと一緒に取り壊されたとのことであった。

茨木氏とは2時間ほど懇談して、長時間観察しなければいけないことに対応しての教育プログラムの工夫を伺った。同施設は学校からの移動教室での利用が多く、滞在時間は半日だが様々な活動を行わなければならない。そこで最初のオリエンテーションでフーコー振り子を説明して振動方向を確認させ、学校への帰りがけに再度振り子を見せて、振動方向が回転していることを認識させるという方法である。

また、振り子の釣り元のナイフエッジのメンテナンスの問題などについて伺った。ナイフエッジは損耗しやすく、数年程度ごとに再研磨または交換の必要がある。その費用は数十万円に上ることもある。小さな施設ではこの費用が出せず、傷んだ状態で振り子を使い続け、結果正確な実験ができないことが起こる。

ナイフエッジではなく、ボールの様な支持部や、単にワイヤーをリングで把持するだけという支え方もあるが、ナイフエッジによる支持が佐々木(1981)により最適とわかっている。ただし硬質な材料などの登場によってこのあたりは変わる可能性もあるであろう。

このほか、調査の結果わかったことを列挙しておく。

弘前大学は、日本一長い40m超のワイヤーのあるフーコー振り子を持っている。これは校舎の建て替えの時に、高さ40mのパイプ状の中庭ができることがわかった時点で、理工学研究科の宮永崇史先生が設置を企図したとのことであった。当初はメーカーの商品が高価で購入できなかったため、工業者に依頼して支持部を設置するキャットウォークと桁のみを作成し、支持部のナイフエッジは自作したとのことである(図7)。現在は木下製作所が作り直した振り子に置き換えられている。



図7. 弘前大学で最初に設置されたフーコー振り子の自作支持部と設置を企図した宮永先生

伊丹市こども文化科学館では、開館の平成2年の後早い時期にフーコー振り子を撤去し、ロケット打ち上げ実験の場所に変えたとのことである(図8)。

同館の丸川氏によると、フーコー振り子は、同館にやってくる児童年齢では、意味が理解できず、教育効果が上がらないとのことであった。



図8. 伊丹市こども文化科学館の振り子跡地

また、京都市青少年科学センターや神戸市立青少年科学館では、地震や建物の変形の影響でメンテナンスしても精度よく実験が行えなくなるなどを教えていただいた。京都市青少年科学センターでは、釣り元にアクセスするには高い櫓や足場を設置しなくてはならず、高所の作業が必要であり、コストがかかってしまう悩みを教えていただいた。この観点で、名古屋市科学館や慶応高校のフーコー振り子を観察すると、釣り元にアクセスできるようにキャットウォークが設置されていることがわかる。メンテナンスについて検討しての設備である(図9)。

そのほか九州大学や弘前大学、慶応高校では、学生実習や高校生の大学体験時のフーコー振り子を使った実験実習についてのワークシートなどが用意され、実際に授業などで使われていた。重力加速度の測定、フーコー振り子の回転角から緯度を割り出す、解析力学の実践的演習問題としての使用があった。同学では、学生にチームを組ませ日・月食のときにフーコー振り子の回転に異常があるという説の検証もしていた。

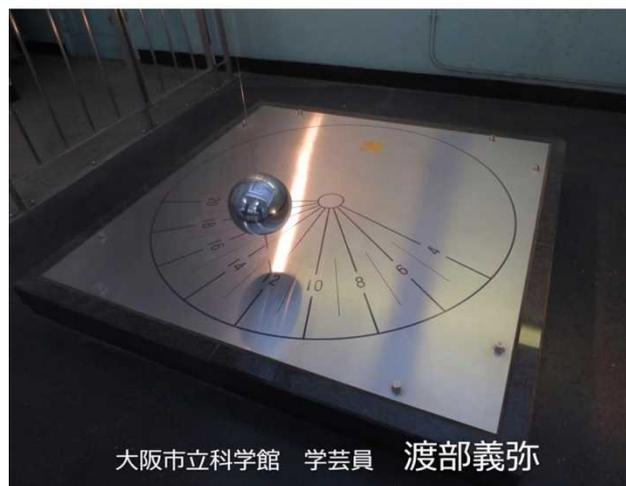


図9. 名古屋市科学館のフーコー振り子の釣り元。キャットウォークがあるのがわかる。

7. フーコー振り子の見学・活用ガイドの発行

以上の調査を行いながら、最終目的であるフーコー振り子の見学・活用ガイドの構成を考えてみた。インタビューの際に、他所のどこにフーコー振り子があるのかわからないという声や、筆者自身が大阪市内の常翔学園に日本最大級のフーコー振り子が設置されているのを知らなかったこともあり、見学リストを充実させることとした。

フーコー振り子 見学・活用ガイド



大阪市立科学館 学芸員 渡部義弥

横浜市の慶應義塾高等学校のフーコー振り子 最初は手作りだったとのこと

図 10. 冊子の表紙。カラー印刷とした。裏表紙には、パリ天文台の子午線ホール付近の写真をあしらった。

ただし、冊子発行までに調査が間に合わなかったため、最終的には電子版を正式とすることとし、紙で発行したものを施設に送付し、修正のお願いをするということにした。

また体裁についてはハンディな A5サイズとし、表紙をカラーにすることで目を引いてもらう様に工夫した。後で電子出版しやすい様に、MS-WORD で原稿を作り PDF を版下として印刷所にわたし 300 部を製作した。図 10 は表紙である。

内容は、上述する様に施設リストのページを割き、実習の仕方はどうしても長くなるので原理的なことを述べるにとどめた。大学等から実習シートもいただいているので、将来的にはこれらを許可を得て電子版に付属させるかオリジナルのテキストを作ることを考えている。

また、フーコー振り子について誤った記載のキャプションが散見されたので、歴史的なことをお話しとして使いやすいフーコーの人物像などのエピソードを加えたエッセイを差し込む形式にした。

図 11 は目次である。

フーコー振り子見学・活用ガイド もくじ

| | |
|---------------------|--------------------------------|
| はじめに 1 | 日本のフーコー振り子リスト 6 |
| もくじ 2 | 北海道 6 |
| | 東北 6 |
| 第1章 知る 3 | (コラム) 日本最大の振り子 7 |
| 地球の自転を証明 3 | 関東 8 |
| 最初のフーコー振り子実験 4 | (コラム) 日本初のフーコー振り子 9 |
| (コラム) 発明者レオン・フーコー 4 | 中部 10 |
| | (コラム) ユニークな場所にある フーコー振り子 11 |
| | 関西 12 |
| | 中国・四国 13 |
| | 九州 13 |
| | 世界の有名なフーコー振り子 14 |
| | 最初のフーコー振り子 14 |
| | フーコー振り子の「聖地」 15 |
| | パンテオン寺院ほか |
| | アメリカの有名なフーコー振り子 16 |
| | (コラム) フーコー振り子の振り方 16 |
| | 第3章 フーコー振り子を使った実験 17 |
| | 設置場所の緯度を測定する 17 |
| | 重力加速度を測定する 18 |
| | その他の活用事例 18 |
| | 第4章 |
| | フーコー振り子の設置・メンテナンス 19 |
| | 資料 参考文献など 20 |
| | メーカー・教員の情報 20 |

図 11. 冊子の目次。エッセイコラムを随所に配置し、気楽に読んでもらい、話のネタにしてもらえる様に配慮している。

8. おわりに—今後の展望

以上、2018 年度に行った冊子の発行とそのための調査について述べた。調査についてはその後、冊子を送付した先から訂正の情報をいただいております、電子版にて修正していく予定である。

なお、残念なことにフーコー振り子を展示から外したという報告がいくつか寄せられた。いずれも 20 年程度稼働していた模様だが、振動を励起する機構など、電気的な故障か施設の建て替えなどで維持をやめたことが理由としてあげられていた。

一方で、高校が予想以上に多く設置しており、慶応高校と京都の堀川高校以外はほぼ調査が行えていないが、どの様な活用がされているのかを今後探って行きたい。

また、フーコー振り子の活用方法については、実践論文や学生の研究論文がリポジトリなどで拾えることが終盤になってわかってきたので、これらを整理しリスト化するなど、次の研究に繋げやすい様に行きたいと考えている。

いずれ、冊子を発行するまでは行えたが、研究としてのまとめには程遠い状態であり、今後研究を進展進捗させて行きたいと考えている。特に近隣の学校園の調査は計画的に行っていきたい。

謝辞

本調査ならびに冊子の発行、発送などは全国科学博物館振興財団の平成30年度「全国科学博物館活動等助成事業」によって賄った。特に弘前大学など遠

方への出張調査などで、他の業務の都合などで日帰りなど交通手段が選べないためコストがかさむことがあり、大変助かった。感謝したい。

また、調査に協力して下さった方々、リストにはないが電話やメールなどでの問い合わせにご協力いただいた多くの方々に感謝したい。

参考文献

横尾武夫他、1993 年、「天文教具」、天文教育普及研究会刊行

W.Tobin、2003 年、「The life and Science of Leon Foucault」、University of Canterbury

中村士、2002 年、フーコー：振り子を回転させた男、シュザンヌ・デバルバ、天文月報2002年5月号、日本天文学会

佐々木勝浩、1981 年、国立科学博物館のフーコー振り子の改良について、Bulletin of the National Science Museum, Series E, Physical sciences & engineering、国立科学博物館

渡部義弥、2003 年、フーコー振り子の調査リスト(2002年度版)、

<http://www.sci-museum.kita.osaka.jp/~yoshiya/foucault/list1.html>

A.D.アグゼル、2005 年、水谷淳訳「フーコー振り子科学を勝利に導いた世紀の大実験」、早川書房

渡部義弥、2010 年、日本のフーコー振り子、大阪市立科学館研究報告誌第19号