

フーコー振り子ひとつばなし

科学館学芸員 渡部 義弥

1. まさか、まだ、だれも思いついていなかったとは！

1851年2月3日。ルーブル美術館から南に2km。リュクサンブール公園に隣接するパリ天文台の子午線ルームは、熱気につつまれていました。それまで誰もなしえていなかった「地球が自転している証明」がなされるというのです。

しかも、パリ天文台の台長アラゴーと太陽熱量の測定で著名で、広く読まれる教科書の著者ポワレが見届け人になるというのです。実験者は学会では無名のアマチュア科学者レオン・フーコー氏。

はたせるかな、3時～5時まで行われたその実験で、多くの物理学者はうちのめされたのです。「まさか、まだ、だれも思いついていなかったとは！」。



図1. パリ天文台子午線ルーム

その実験は、どの方向にでも振動できる振り子を、ただ静かに振らせ、あとはそっと見守るというものでした。振り子は最初の振らせた方向に振動し続けます。たとえば南北であれば、南北に振動し続けるはずですが、しかし、足元の地面＝地球は回転していますから、長時間観察していると、振動方向が、力も加えていないのに、右へ右へと変化してしまうように見えるのです。

このエレガントな実験が「フーコーの振り子」といわれるものです。どちらにでも自在に振動する振り子を用意し、風などの影響がない屋内で、ただ振り子をそっとひっぱり、離し、あとは放置し振動方向が変化するのを観察するだけ。それで、地球の自転が判るというのです。変化がわかりやすいように振り子は大きいほうがよいですが、子午線ルームでは高さ11mという振り子が使われました。

実験はナショナル・ニュースペーパー誌に報じられ、反響がありました。そこで、アラゴーとフーコーは追加の公開実験を子午線ルームで行います。多くの人々が「地球の自転を目撃」するために、パリ天文台に集まったのだそうです。科学の最先端の現場に、市民が集まる先駆的な事例としても、フーコー振り子は興味深いものです。

2.後のナポレオン3世がパンテオンでの公開実験をやらせた



図2. パリのパンテオン

1851年に地球の自転の証明に成功したフーコー振り子は、シンプルな実験ですので、ただちに各地で確認実験が行われました。フランスのみならず、イギリスや南米などでも行われ、南半球だと振動方向の回転が逆方向になるなど、まちがいをなく地球の自転を証明していることが何度も確認されました。

また、公開実験も多数行われ「地球の自転を目撃」するために、多くの人々が集いました。そのなかで、最も有名な

公開実験はパリのパンテオンで行われたものです。パンテオンは、あらゆるい神々の場といった意味で、ようは宗教にかかわらない寺院といったところです。フランスの国家寺院、国家霊廟となっていて、現在ではキュリー夫妻や文豪ビクトル・ユーゴーなどがパンテオンの地下に眠っています。

さて、パンテオンでの公開実験は、1851年の3月から行われました。巨大な建物なので振り子はなんと67mのものが使われています。これは、現在日本国内にあるどのフーコー振り子より巨大なものです。現在も、デモンストレーションで実験がされています。

ところで国家寺院のパンテオンを使う許可は、だれが出したのでしょうか？パリ天文台長のアラゴーでもそんな権限は持っていません。実は、時の大統領ルイ・ナポレオン（翌年に皇帝ナポレオン3世）の命令によるものだったのです。ナポレオン3世は、叔父のナポレオンの七光りはあったものの、無名の政治家でなりあがったものですから、無名の科学者であるフーコーの成果にシンパシーを感じていたようです。また、そもそもこの大統領は科学実験好きだったようなのです。人気を利用しようという気持ちもあったかもしれません。後に、皇帝になっても、1855年のパリ万博でふたたびパンテオンでの公開実験をやらせ、世界にフランス人すごいだろうということを見せさせることになります。



図3. パンテオン内のフーコー振り子

3. フーコー振り子は、科学博物館の定番展示物

さて、フーコー振り子は、現在でも各地でデモンストレーション実験が行われています。科学的な意味というより、歴史的実験を再現するという教育的な意味が高く、特に博物館でよく見られます。

日本では東京・上野の国立科学博物館に、戦前からフーコー振り子が設置され、現在でも3代目が動いています。地下の入口をはいて、売店の近くの階段のところなので、見た人も多いかと思います。約20mのなかなか立派な振り子です。

また、以前私が調査した限りでは、次の科学博物館に設置されています。まず、大阪近郊では、伊丹市立こども文化科学館（7.5m）、神戸市立青少年科学館（8m）、姫路科学館（15.6m）。京都市青少年科学センター（9m）、橿原市立こども科学館（奈良：12.9m）となっています。大阪市立科学館にないのが逆に目立ちます。あ、なんでスラスラと出てくるかということ、2002年からフーコー振り子の設置場所の調査を続けているからです。簡単な経緯は、月刊うちゅうの2009年6月号に書いてありますので、古い号が読める人は引っ張り出してみてください。もちろん、科学館でも読めます。また、大阪では、博物館ではありませんが、大阪大学の豊中キャンパスにフーコー振り子が設置されています。そのほか、各地の設置博物館は、表の通りです。

表1. 国内のフーコー振り子が設置されている博物館(筆者調べ)

帯広市児童会館(帯広市青少年科学館)	岐阜市科学館
札幌市青少年科学館	名古屋市科学館
名寄市郷土資料室	浜松科学館
名寄市北国博物館	三重県立みえこどもの城
盛岡市子ども科学館(振り子風の模型)	京都市青少年科学センター
霊山こどもの村遊びと学びのミュージアム	神戸市立青少年科学館
山形県産業科学館	姫路科学館
栃木県子ども総合科学館	伊丹市立こども文化科学館
群馬県生涯学習センター	橿原市立こども科学館
さいたま市青少年宇宙科学館	日原文天台星と森の科学館
国立科学博物館	山口県立山口博物館
八王子市こども科学館	徳島のあすたむランド
葛飾区郷土と天文の博物館	北九州市市立児童文化科学館
新潟県立自然科学館	荒尾総合文化センター子ども科学館 (熊本県)
福井県児童科学館	鹿児島市立科学館
山梨県立科学館	

4. 意外なところにフーコー振り子

博物館の定番展示なのは、国内だけではもちろんありません。

思い出せるだけでも、シカゴの産業科学博物館や、カリフォルニアアカデミーオブサイエンス（ここでは、フーコー振り子の製作キットも作っていました）。スペインのバルセロナの科学館、ベルリンの技術博物館、ロンドンの科学博物館、北京プラネタリウムなど、各地の科学博物館にフーコー振り子が展示されています。

ただ、調べてみると、博物館以外にも展示は結構あるのです。

一つは学校です。大阪大学にあることは先ほどご紹介しましたが、東京学芸大学、九州大学、弘前大学にもあります。また、慶応高校や京都の堀川高校、宮城第一女子高校、杉並総合高校など、高校に設置されているものもあります。これらは、熱心な先生によって校舎の改修などのタイミングで設置されているものです。

とまあ、ここまでは教育的なことでは設置されたのだなと思いますよね。ところがもっと意外なところにフーコー振り子は設置されているのです。

そのなかで割と見学しやすいのが、東京ディズニーシーにあるものです。場所はマゼランズというレストランの横です。そばには、レンズを通して部屋を見る、科学館にあるようなしかけも設置されています。振り子はカリフォルニアアカデミーが製作した本格的なもので、毎日実験が行われているようです。なお、マゼランズレストランの天井は星座絵になっており、巨大な太陽系儀が動いています。宇宙好きなら一度は行ってみたいですね。フーコー振り子についてはレストランに入らなくても、横の入口からちょっと入って見学できます。少しわかりにくいですけどね。

さらに、リストを作るなかで、ここは行ってみたい変わり種の設置場所ができました。国内の施設は今年中に調査に行くつもりですが、果たして入れるのでしょうか。

一つは、長崎観音です。長崎駅近くの福濟寺にある、大きな観音の中が空洞になっており、そこにフーコー振り子が設置されています。実はこの振り子は一時日本一の規模だったこともあるものです。いったいどうして振り子をお寺に設置したのか、どんな風な活用をされているのか。全然想像がつかえません。だからこそ行って調べてみたいと思っています。



図4. ディズニーシー内の振り子

また、変わり種としては、神奈川県厚木市のソニーの研究所に設置されているものがあります。シンプルでオリジナルな実験で地球の回転を示すという精神でソニーの研究者の刺激とするため？ でしょうか。これもできれば見せていただきたいと思っています。

さらに、海外を見渡すと、なんとニューヨークの国連ビルの中にフーコー振り子が設置されているのだそうです。総会会議場ロビーにあり、目を引くそうです。実際、長さ23mという巨大な振り子で、1955年にオランダが寄贈したのだそうです。地球の自転を証明する装置で、地球は一つというイメージを想起するのが目的なのでしょうか。さすがに気軽に調査にはいけません、国連関係機関を通じて何かがわかればおもしろいと思っています。だいたい毎日振動させているのは、どんな人なんだろうね。警備員さんとかなのかな。

5. フーコー振り子の活用方法

ところで、フーコー振り子ですが、北極で実験すると、振り子の振動方向がちょうど1日で1周します。一方、赤道ですと振動方向は動きません。

では、その中間では1周する周期はどのようなのでしょうか。これはフーコーが関係式を出しています。

$$\text{周期} = 1 / \sin(\text{緯度})$$

となります。sinは右の図の、高さ/斜面の長さになります。緯度が90度だと、1になり、緯度が0度だと高さが0になるので、周期は1/0で、0で割るので、無限、つまりまわらなくなります。



図5. sinとは

これでフーコー振り子の設置場所の緯度がわかれば、一周する周期もわかることになるわけです。実際、各地で行われた実験では、この関係式の通りの周期になったのでフーコーが正しいことは証明されたのですが、実はフーコー自身はこの式はヤマ勘で考え、厳密な数学的証明はしていなかったのだそうです。

という余談はさておき、実はこれ、逆に利用することで、フーコー振り子をふらせば、自分のいる場所の緯度がわかってしまうこともさしています。

もちろん、24時間以上も、じっと振り子を見続けるのは、あまり賢いとはいえませんし、そもそも振り子が減衰してとまってしまう可能性も高いです。なので30分程度観察して、回転した角度を測り、そこから周期を計算して、そこから緯度を調べるということになります。

ところで、時間は時計で測ればよいとして、回転角度をどうやって測ればいいのか。フーコー振り子ではデモンストレーション用に、よく多数

のピンを回りにぐるりとたてておき、それが倒れていくことで、振動方向の回転を実感させます。このピンの間隔をあらかじめ知っておけば、角度はある程度測れます。ただ、あまり精度よくは角度が出せそうにないですね。まっすぐ振り子を振らせるのは結構難しいからです。

では、どうすればよいのでしょうか？ 一つの方法としては精密にたとえば15度を測っておき、そこに達するのを観察しつつけるという手があります。どんなに速くても1時間以上はかかるのですから、1時間くらいはほったらかしで、そこからまじめに測定してもよいでしょう。

あるいは、望遠鏡やトランシットで振り子を吊るすワイヤーをみてチェックすると、さらに精度がよくなるかもしれません。これを書きながら「そもそもフーコーや、追実験をした人たちはどうやって回転角度を測定したのだろう」という疑問がわいてきました。考えてみれば、そうしたことは本には書いていません。論文に残っているかな？ 調べてみないといけませんね。



図6. ピンの転倒で回転を知る
写真撮影: Daniel Sancho

6. 研究してみたいフーコー振り子の活用法

私がフーコー振り子について調べ始めたのは、2001年のフーコー振り子150周年でパリ天文台が調査をしていて、単純に日本にどれだけ振り子があるのかを知りたいなと思ったからでした。また、そしてたくさんあったら、大阪市立科学館にも振り子を展示する後押しになると思ったからでした。



図7. フーコー振り子が描く砂絵
地球の自転がつくるアート

ただ、調べていくなかで、少なくとも国内に70か所設置された(今はないものもふくむ)フーコー振り子が、どんなデザインで、どう使われ、どれほど活用されてきたのか？ また活用法などが共有されていないのか、いるのかという疑問がわいてきました。実際、大学や高校などのフーコー振り子は学生実験に使われてもいるようです。ただ、それが他の大学や高校に伝わっているかということ、どうも怪しいようです。

フーコー振り子で何ができるのか？ 砂模様を描かせる実験写真をみながら、今年はとりくむ決意を固めています。思わぬ発見があるかもしれません。

わたなべ よしや(科学館学芸員)