

フーコーのハードディスク

～地球の回転を測ろう～

練馬区立大泉中学校二年 森川 遙光

ハードディスクは大きなコマだから、宇宙の一定の方向を向いている。それを細い糸でぶらさげて、地球の自転の運動を測る。糸や電源ケーブルがハードディスクの自由な回転を邪魔しないように、あるいは、コマ自身の運動によって地球の運動の効果が邪魔されないように、順番に工夫して行って測定した。そして、地球の回転の証拠を自分の装置で見つけた。

1 動機

僕は、パソコンが好きで、家にパソコンやパソコンのパーツがたくさん転がっている。パソコンのパーツの中に、ハードディスクドライブというパーツがある。その、ハードディスクドライブはパソコンのデータを記録しておくもので、中では金属の円盤が回っていて磁気的なもので記録している。そんなハードディスクも壊れるときはある。僕は数回壊れたことがあるので、そのとき治す。治すときにハードディスクの電源を入れたままケースから外して手でもってしまったことがある。ハードディスクは、中の円盤が高速で(分速7200/5400回転)している。そんなものを手で持ったときに感じたのはよく言葉では表せない。ハードディスク本体が動いていて、手で強く持っていないと吹っ飛ばしてしまいそうだった。手で持ってハードディスクの姿勢を傾けるのが普通に難しかった。なかで高速回転している円盤の力だ。

ハードディスクは強力なコマになっている。コマはいったんまわりだしたら一定の方向を向いている。地球上でも、地球の自転にくっついていかないで宇宙の一定の方向を向いて回り続けているのではないか。そこで、ハードディスクを使えば地球の自転が分かるのではないかと考えた。たとえば北極で、ハードディスクをひもでつるして自由に回転できるようにしてみよう。すると、ハードディスクは地球の東向き自転に取り残されているだろう。それを、地上から見ると、まるでハードディスクが西へまわって行っているように見えるだろう。

似たような装置で、国立科学博物館で大きなフーコーの振り子を見たことがある。大変長い紐に重い重りをつけてゆっくり振れていた。宇宙に対して振り子は素直に振れているが、地球が東に回っているので振り子が振れる方向はだんだん右に動いていくように見える。昔、フーコーがこの実験をして地球の自転を発見したということを聞いたことがある。

ハードディスクで自転を見つけようというのはそれと同じ。僕は、もっと小さな装置でハードディスクを使って地球の自転を確かめてみようと思った。

ハードディスクを自由に回るようにするために、ターンテーブルの上に乗せてみたり洗面器に乗せて風呂に浮かせてみたり、長い紐を付けて回るようにしたり、たくさん試してみた。

2 ハードディスクについて

ハードディスクとは、中で何枚もの円盤が高速回転していて、これによってデータを記憶するパーツのことである(図2.1)。その円盤の回転の精度はすごい。分速7200/5400回転とピッタリ決まっている。本来はパソコンの記憶装置として使われるパーツなので正確なのはあたりまえだとは思いますが、やはりすごい。

ハードディスクを分解したところこのようになっている↓

図 2.1 カバーを取ったハードディスク。

図の左の反射しているのが金属の円盤。これが高速で回る。右下にあるのは強力なネオジウム磁石。

そして、そこから円盤に向かっているのがヘッドで、これでデータを記録する。重さ540グラム。



これは、非常に精度のいい高速回転するコマである。実験ではこのことを使う。

でも、地球の自転は24時間に一回転とゆっくりしているので、なかなか見つけにくい。国立科学博物館でも、本当に振れている糸が回っていているのか、はっきりとはわからなかった。小さな回転を見つけるために、家の中に転がっていたレーザーポインタを使うことにした。レーザーの光はたぶん直進するだろうから、ハードディスクに鏡を貼って反射させれば、わずかな回転で、離れたスクリーンの上に、光の点が大きく動くはずだ。

3 直進するレーザー光線

光の中でも、レーザーはまっすぐ拡散しないで綺麗に進む光である、といわれている。この光を使ってハードディスクの小さな回転を感じ取ろうと思った。すごく小さな回転でしかないがそれを拡大したい。ハードディスクにレーザー光線を反射して使おうと思う。

そのまえに、レーザー光線は本当に直進するのだろうか、これを確認したい。そのために、レーザーを曲げてみる実験をする。どうやっても曲がらなければ、「直進している」ということになるであろう。

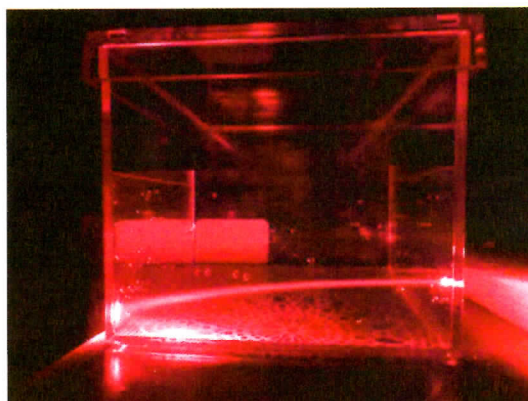
レーザーポインタは秋葉原で500円で買って来たものがいくつか家に転がっていたので、電池を補充して使った。

夜、近くの公園でレーザー光線を50mほど飛ばす。途中で強力なネオジウム磁石(ハードディスクの中にある、図 2.1)で先の標的が曲がるかどうかチェックした。何をしても光の点はまったく動かなかった。だからレーザー光線は全く曲がらなかった。レーザーポインタ本体にもネオジウム磁石を近づけたが、全く曲がらなかった。

別の方法でもやってみた、透明な長方形のケースにお砂糖を溶かしてレーザーを斜めから入れても、屈折(折れる)するだけで曲がらない。お砂糖のほかにも塩を入れたりしてもダメだった。

あるときハチミツをたくさん入れてみた。溶けきらないで底に残り、レーザー光線は下の方向に曲がった。お砂糖溶液もかきまぜないで作ると、下に曲がる。蜃気楼と同じ原理かなと思う。

図 3.1 レーザーポインタの光線を何とかして曲げようとして、溶けきらない大量のハチミツを入れた水の中を通して見た。図でレーザー光線は右から水平に入れていた。光線はハチミツ溶液の中を、下に曲がっている。溶液を一日置くと、最も綺麗に曲がるようになった。



レーザー光線が曲がるのは、このような密度の違う液体の中だけだろう。それ以外では直進すると考えてよいだろう。だから、これを僕の実験に使おうと思う。

4 ハードディスクは「動かない」か

まず、リビングルームの天井に2mほどの紐をかけて、ハードディスクをつるした。ハードディスクの電源ケーブルは長い電話線(4線)をつないで、紐に沿って張った。ハードディスクは針金で巻いて水平から45度くらいに固定する。これをつるした。適当な角度からハードディスクのピカピカしている金属表面にレーザーポインタの光を当てた。部屋の天井に近い上のほうの壁にスクリーン(白い紙)を貼って、反射してくる光の点をペンで記録した。

ハードディスクのスイッチを入れると、光の点はいったん大きく動く。でも元の場所近くに帰ってきて、おとなしくなる。このおとなしくなった場所を出発点に、データを記録した。

光の点はたいていゆっくり右に動いていくが、別の実験では時々左に動いていくときもある。光の点はスクリーンの上をよく左右に揺れる。その時刻あたりでふらふらする光の左端と右端を記録した(図4.1)。

スクリーン上で光の点の移動距離を測った。そして、その移動距離は、

$$\text{回転角度} = 360 \text{ 度} \frac{\text{スクリーン上の移動距離}}{2\pi (\text{ハードディスクとスクリーンの距離})} \frac{1}{2}$$

の式で、これをハードディスク面の回転角度に直せる。この最後にある二分の一は次の理由によるものである。ハードディスクは45度回したときに反射する光の先の点は90度回ることになる。ほかの角度でも同じなので、光の点を作る移動して作る角度を半分にしてハードディスク面の回転にしなくてはいけない。

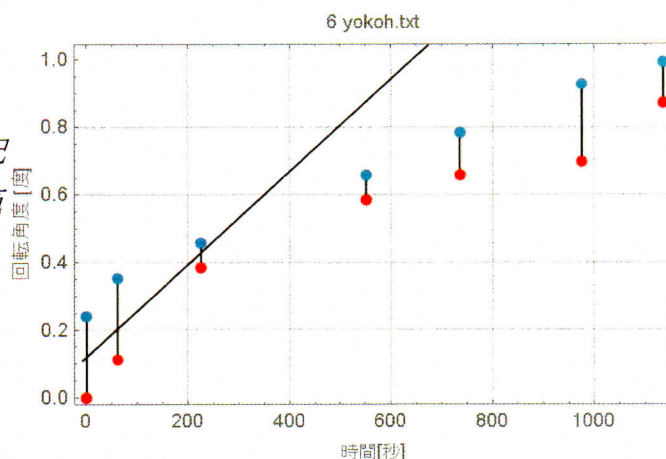
すべてのデータに対して計算してグラフにしたのが図4.1である。実際にはマティマティカを使ってパソコンで一気に計算させた。光の点はフラフラしながらスクリーン上を移動していく、ある時刻にふらふらする左端と右端を記録してそれぞれ赤と青の点で表した。

図4.1 各時刻(横)の回転角度(縦)。

ふらする光の左端(赤の点)と右端(青の点)を記録した。その間の線は、光の点がフラフラする範囲。

ハードディスクとスクリーンの距離 3.58m

レーザー光の角度は測ってない。



光の点はスクリーンの上を右へゆっくり移動していることがわかる。時間がたつと、速度はだんだんゆっくりになってくる。もしこれが地球の運動を見ているのであれば、戻じれた糸が戻ろうとして速度がゆっくりになってくると考えられる。だから、回転し始めのほうを直線(一定の速度)で合わせて地球の回転速度を計算してみた。図4.1から600秒の間に0.8度動くことになる。これは、一日(24×60×60秒)に115.2度回転することになる。

360度ではない。

しかし、何度か実験してみると動く速度は変わってしまうし左に動く場合さえある。本当に地球の動くのを見ているのだろうか。そこでさらに、いろいろな実験を試してみた。

4.1 ターンテーブルの上で回るようにする

まず初めに、去年の実験で使ったターンテーブルがあったので、ハードディスクを立ててこれに乗せて光の点の移動を見てみた。(図 4.2)

結果(図 4.3)は、ハードディスクは、ゴムのカバーの上で少し後ろに傾くだけで、期待していたようには全く回らない。傾く方向は、ハードディスクが宇宙に対してうごかない時に期待できる方向ではある。しかし、それはほんのわずかでしかない。やはりグラフに直線を引いて、回転速度を計算すると、一日に1.4度にしかならない。

図 4.2

ハードディスクをターンテーブルに乗せてみた。

外側に乗せてみたり、内側に乗せてみたりした。

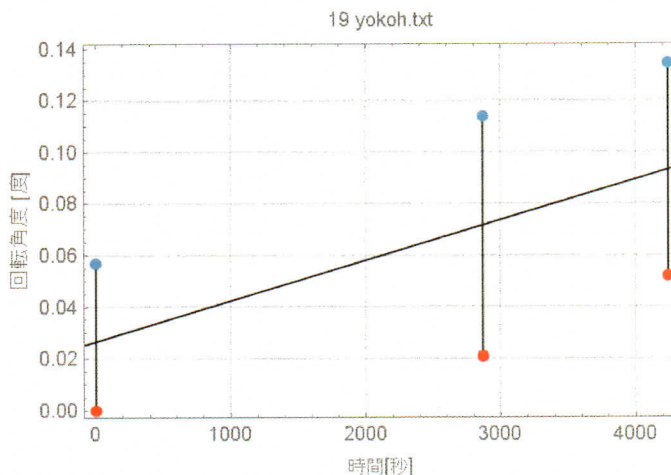


図 4.3

ハードディスクとスクリーンの距離 5.53m

スクリーンは東西の方向に垂直に置く。

光の点は水平から60.1度西側上方にずれていった。同じように、回転速度を計算すると、一日に1.4度にしかならない。



4.2 洗面器の上に乗せて風呂で

夏休みに沖縄の宮古島に旅行に行ったときに、もっと別の方法を考えた。水を張ったホテルの大きな風呂に洗面器を浮かべ、その上にハードディスクを乗せてレーザーの光の点が動くのを調べた。この方法でスムーズにハードディスクが回転すると思った。

図 4.4

沖縄(宮古島)のホテルでの実験(天気が悪かったので)

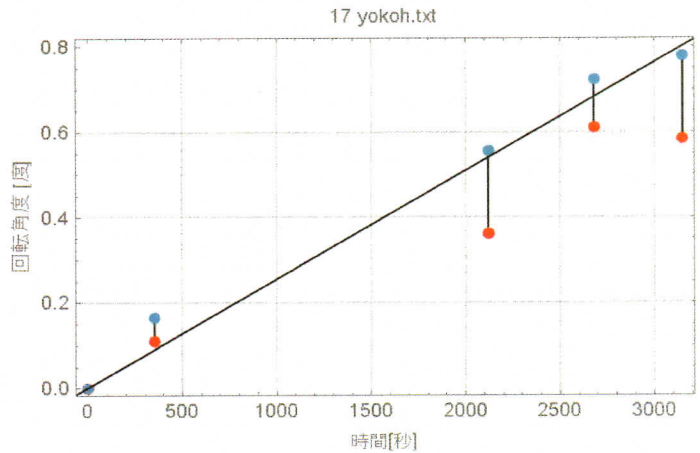
スクリーンは南北の方向に垂直に置いた。

そこからハードディスクまでの距離 1.03m

レーザー光線の方向は適当に固定した。

光の点は水平から56.2度南上の方向にずれていった。残念ながら、少し回転して途中で止まる。

それ以降いくら待っても止まったまま。



スクリーンは南北の方向に垂直に置いた。光の点は水平から56.2度南上の方向にずれていった。これもハードディスクが宇宙に止まっていたとすると期待できる方向ではある。

同じように直線を引くと、3000秒の間に0.75度回っているので、一日にすると21.6度回ることになる。

これらの方法では、ハードディスクは期待したようには回らない。別の方法を考えることにしよう。

4.3 細い釣り糸でつるす さらに自由にまわるように

ハードディスク面がもっと自由に回転するように、細い釣り糸でつるした。ハードディスクは結構重いので、糸は輪っかにして、2重にしっかりつないだ。(図 4.5)ハードディスクと糸は大きなクリップでしっかり止めた。スクリーンは6mほど離して、東西方向の窓に垂直に張り付けた。風でディスクの回転が邪魔されないように、スクリーンはリビングに貼ってそこに書き込み、三脚で釣り下げたハードディスクは隣の寝室の机の上にセットした。2部屋の間は、レーザー光線が通るのに邪魔にならない最小の隙間だけ開けて、寝室にできるだけ風が入らないようにした。

図 4.5 ハードディスクは細い釣り糸でしっかりした三脚につるしてみた。糸の長さはおよそ1m。それを重いしっかりした机の上に固定して実験した。

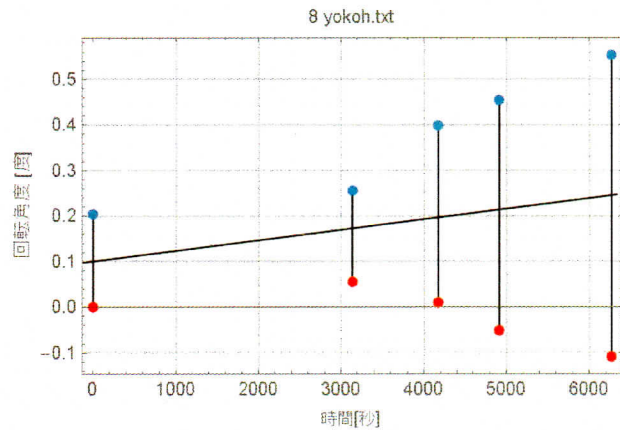


結果は、図 4.6 のようになった。

図 4.6

ハードディスクとスクリーンの距離 6.05m

だんだん振幅が大きくなっていった。全体として西に少し移動しただけだった。



だんだん揺らぎが大きくなっていく。そして、その中心はゆっくり西へ動いていく。6000 秒の間に 0.15 度回る。一日にしたら、2.16 度しか回らないことになる。釣り糸を2重にしているからもとに引き戻されてしまうのだろうか。

4.4 糸一本でつるす もっと自由にまわるように

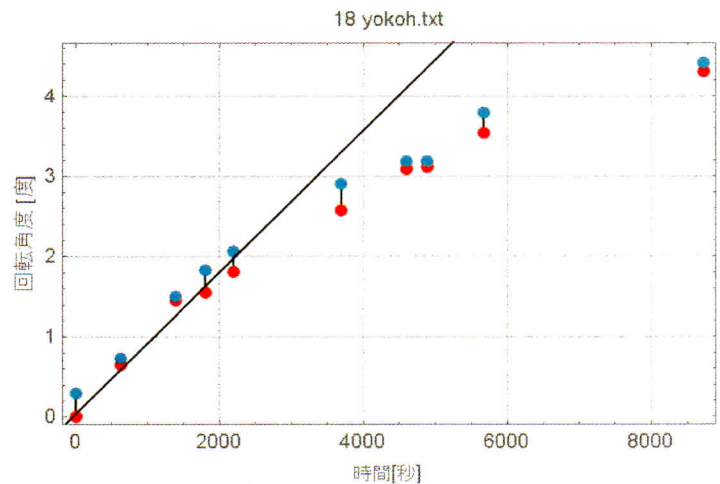
2重にした釣り糸が、ハードディスクの自由な回転を止めているのではないかと思って、釣り糸を一本にして、電源ケーブルも注意深く糸に密着させて、もっと自由に回るようにしようとした。

そうしたら結構動き出した。結果は、図 4.7。

図 4.7

ハードディスクとスクリーンの距離 5.53m

前と同じように、回転し初めの速度を、直線を引いて計算した。



図から、4000 秒の間に、3.5 度回っていることがわかる。一日にすると、75.6 度回転することになる。

でも、何回も実験していると、時々東に移動することもあった。なんでだろう？地球って逆回りするのだろうか？前にもこんなことがあった。

4.5 細い電源ケーブルに取り換える

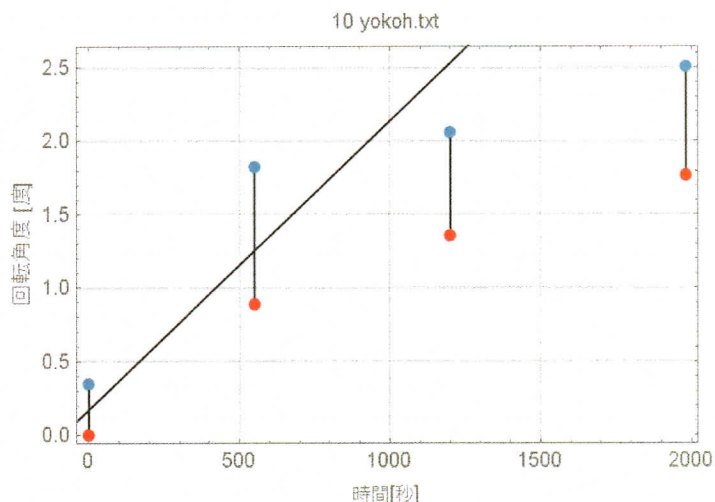
とりあえず、釣り糸でなく電源コードが回転の邪魔をしていると思い、細いコードに変えてみた。

結果、図 4.8

図 4.8

細い電源コードにした。

ハードディスクとスクリーンの距離5.53m



1000 秒で 2.1 度回る。一日にすると、181 度回ることになる。確かに先ほどよりかなり速くなっている。

左(東)に回るハードディスクについて、いろいろ悩んでいると昔、国立博物館で回転いすの上で回転している自転車の車輪を両手で持って、その方向を変えるとさすが回って自分も回り出したのを思い出した。だから、今の場合、ハードディスクの回転軸を水平にすれば、そのような余計な動きにはならない、と思った。ハードディスクの回転は表から見て左回りなので、ハードディスクが上に向いていたなら、上に向いていたなら右に回ろうとする、下に向いていたなら左に回ろうとする。今回の実験の左回り、つまり東へ移動していくのは、この「車輪効果」なのだろうか？

4.6 正確に水平に 一車輪効果の影響をなくすために

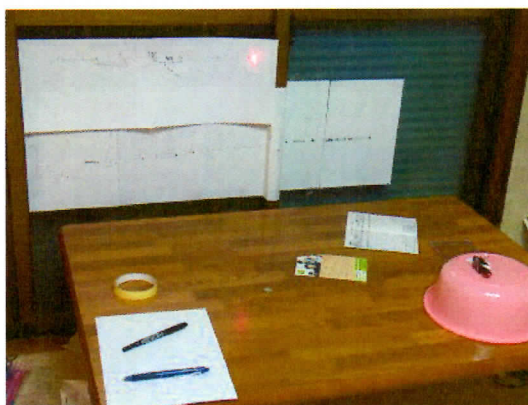
ハードディスクが正確に垂直になるように、レーザー光線が水平に高さが同じところで飛んでくるように調整した。

正確に水平にするために高さを洗面器などを使って合わせた。

レーザー光線を床上 44.5cm に水平に飛ばす。ただし、正確には水平に調節できなくて、スクリーンはこれから 2.5cm 上になってしまった。とにかくこのようにすると、ハードディスクのスイッチを入れたときの反応がほとんどなくなった。

図 4.9 ハードディスクの回転軸を水平にするために。

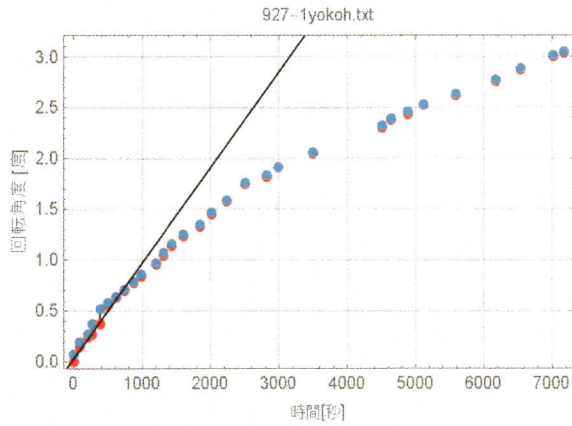
洗面器などを使って光線が水平に飛ぶように高さを合わせた。



結果は図 4.10。

図 4.10

ハードディスクとスクリーンの距離5.79m
 レーザーポインタは床上44.5cm、
 ハードディスクの光が当たる点は床上44.5cm
 スクリーンは床上47.0cm
 反動無し



3000秒で2.8度回転するので、一日にすると80度の回転になる。さきほどよりもおそいけれども、東へ行ってしまふデータはなくなった。そしてスイッチを入れたときの反動もほとんどなくなった。車輪効果を止めて地球の運動がわかりつつあるんだと思う。

4.7 もっと重く もっと「動かない」ように

もっと正確に地球の回転を調べるには、ハードディスクがもっと「動かないように」すればいい。つまり地球の運動にできるだけ引きずられないようにすればいいだろう。そのためにはハードディスクをもっと重くすればいい。トレーを使ってハードディスク3個分を回転させた。5個乗せたら糸が切れてしまったので3個にした。

もし、回転が今までより遅くなれば、まだ車輪効果が効いていることになる。もし、今までより速く回転すれば、ハードディスクは「より動きにくく」なっているので地球の自転の証拠だと思われる。ドキドキしながらやってみた。

図 4.11

金属トレーを使ってディスクを3個のせる。
 1個だけモーターを回して回転させる。
 箸1本を水平に通して、つりさげる糸の場所を変えて、水平になる点を探した。
 重さ2.9kg。



図 4.12

ハードディスク3個分に重くした。
 ハードディスクもレーザーもスクリーンの点も床から44cmの高さ。
 ハードディスクとスクリーンの距離 5.79m
 少しだけ反動があった。

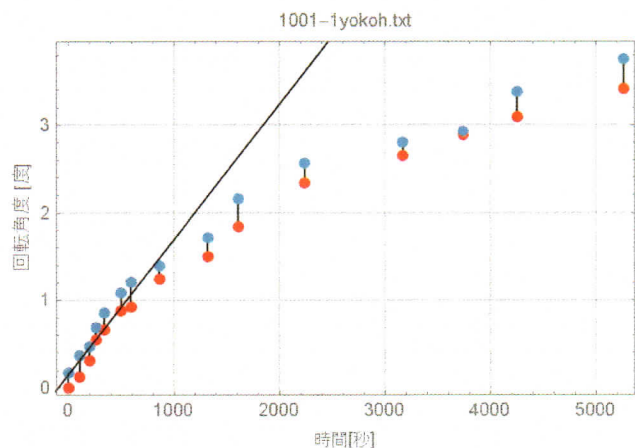


図 4.12 から、2000 秒の間に 3.3 度回転している。一日にすると、142.6 度回転していることになる。今までよりかなり速くなった。つまり、地球の回転をちゃんとみていることになる。

実験した時、スイッチを入れたときの反動が少しだけあったので、ほとんど水平だが全く反応がないように調整して再び実験してみた。(図 4.13)

図 4.13

ハードディスクとスクリーンの距離 5.79m

ハードディスクもレーザーも床から 44cm の高さ

反動が全くないように調整したら、スクリーン上、床上 70cm に光の点 came。

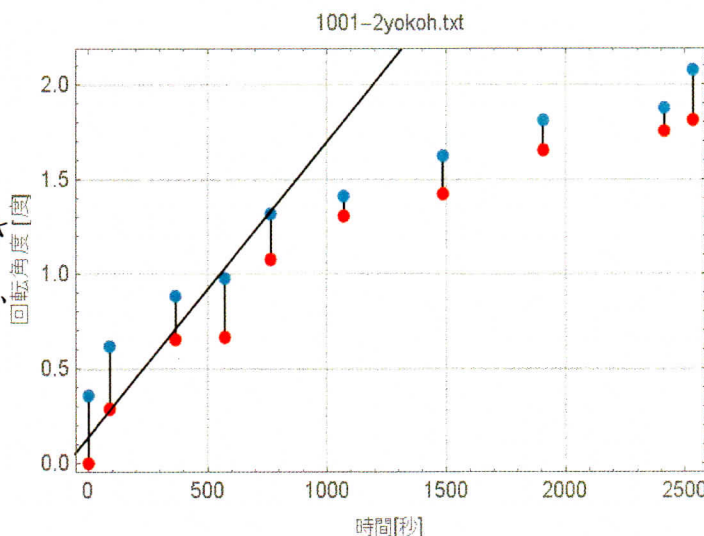


図 4.13 から 1000 秒の間に 1.7 度回転している。つまり一日では 146.9 度回転していることになる。さきほどよりもほんの少しだけ大きな速度だ。

ただ、ここまでやっても 1 日に 360 度の回転には程遠い。

ところで、このハードディスクの実験を北極(北緯 90 度)でやれば、確実に一日に 360 度回るはずだ。でも赤道(北緯 0 度)に持ってきたら、全く回らないはずだ(0 度)。東京の緯度は北緯 35 度 41 分なので、一日に回転するのは 360 度と 0 度の間なのではないかと思われる。緯度と一日に回転する角度が比例するとすれば、東京では一日に

$$\frac{1}{90} \left(35. + \frac{41}{60} \right) 360 = 142.7$$

度だけ回転することになる。僕が上で得た 142.6 度、146.9 度に近い！！

5 まとめと将来の実験について

ハードディスクは強力なコマになっているので宇宙に対して一定の方向を向いている。これを使って地球の自転を測った。でも、なかなか純粋な自転は見つけられなかった。困難は、次のとおりである。

- ・ターンテーブルでは摩擦があるのでうまくいかない。
- ・水に浮かべた洗面器の上では浮き上がるだけ。
- ・普通の糸でつるすと元に戻ろうとしてなかなか回らない。
- ・ハードディスクを回すための電源コードも、ハードディスクが自由に回れないように邪魔する。

- ・ハードディスクの回転軸が水平でないと車輪効果で変な方向に動いてしまう。
- ・ハードディスクを重くしないとなかなか「止まらない」つまり、ハードディスクが動いたように見えない。

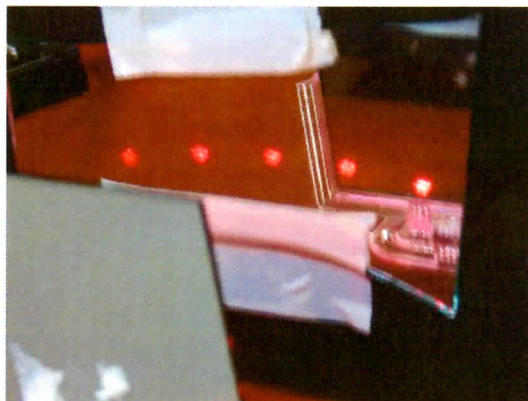
これらを順番に克服して、最終的にハードディスク面が一日におよそ 145 度程度回転することを見つけた。これは、東京の緯度 35 度 41 分を考えると、24 時間に一回転する地球の自転とあっている。

これからやろうと思うのは、次の実験である。

- ・ハードディスクをもっと重くしたら、もっと「動かなく」なって正確に地球の回転がわかるのではないか。
- ・ハードディスクの中の強力磁石はコンパスと同じで 地磁気を感じて運動を変えてしまうかもしれない。あらかじめハードディスクを開けて磁石を取り出しておいたらいいと思われる。しかし精巧にできているハードディスクのバランスを壊してしまうかもしれない。
- ・電源ケーブルが自由な回転の邪魔になっているので取り外したい。電源のついているノートパソコンでやったらどうだろうか。いわば、、、「フーコーのノート PC」。
- ・鏡を使ってさらに小さな装置にする。2枚の向かい合った鏡の間の像が鏡の中に何重にもなって奥へ奥へと続いていく経験をしたことがある。そして、鏡を少し動かしただけで奥の像はかなり速く動いた。同じことをレーザー光線を二枚の鏡の間を何度も反射させて、角度を測る精度を上げたい。(図 5.1)

図 5.1:

レーザー光線は、ハードディスクに張り付けた鏡(向こう側)と固定した鏡(裏面が見ている。手間側)の間を何回か往復してから、スクリーンに向かう。張り付けたほうの鏡に当たるたびに、ディスクの回転角度の2倍だけ、方向がどんどん変わっていく。図では5回反射しているので、ディスクの回転角度の10倍ほど曲がった方向に、光は曲げられるだろう。



6 ありがとう

雅博さん mathematica プログラムの書き方を教えてくれて、実験も手伝ってくれてありがとう。

瑠水さん 去年やったコマの実験をいろいろ見せてもらっていて、ハードディスクを強力なコマとして使おうと思いついた。ありがとう。