

月食と振り子の運動

2010年12月21日の月食の際に
行われたフーコー振り子の実験
の結果について

実験概要

- 日時; 2010年12月21日、16時30分～19時10分
- 場所; 弘前大学理工学部2号館吹き抜け
- 天候; 曇り、気温は9°C前後
- 実験方法; 振り子を南北方向に振り出し、1分おきに北側南側それぞれで振り子の位置を“ふせん”でマークした。減衰の様子を知るために、“ふせん”は振動面と振幅(振り子が最も外側にある位置)を同時に表すようにマークした。

実験の精度と誤差について

測定は1[mm]刻みのメジャーを用いて行った。

測定したのは南北を結ぶ基準線から東西方向への距離 x [mm]と、
各時点における振幅 r [mm]である。

いずれも二人一組で測定を行った。

一人がメジャーの100[mm]の位置を基準線もしくは基準点に合わせ、
もう一人が“ふせん”までの距離を読み取った。

レーザーポインタの指し示す位置に“ふせん”を張り付けた時の誤差と、測定時の誤差を考慮すると、本実験における測定誤差は±1[mm]程度であると考えられる。

この誤差によって生じ得る振動面の角度の誤差範囲については後述する。

月食の経過

16:05 月の出

16:30 実験開始

16:40 皆既食の始め

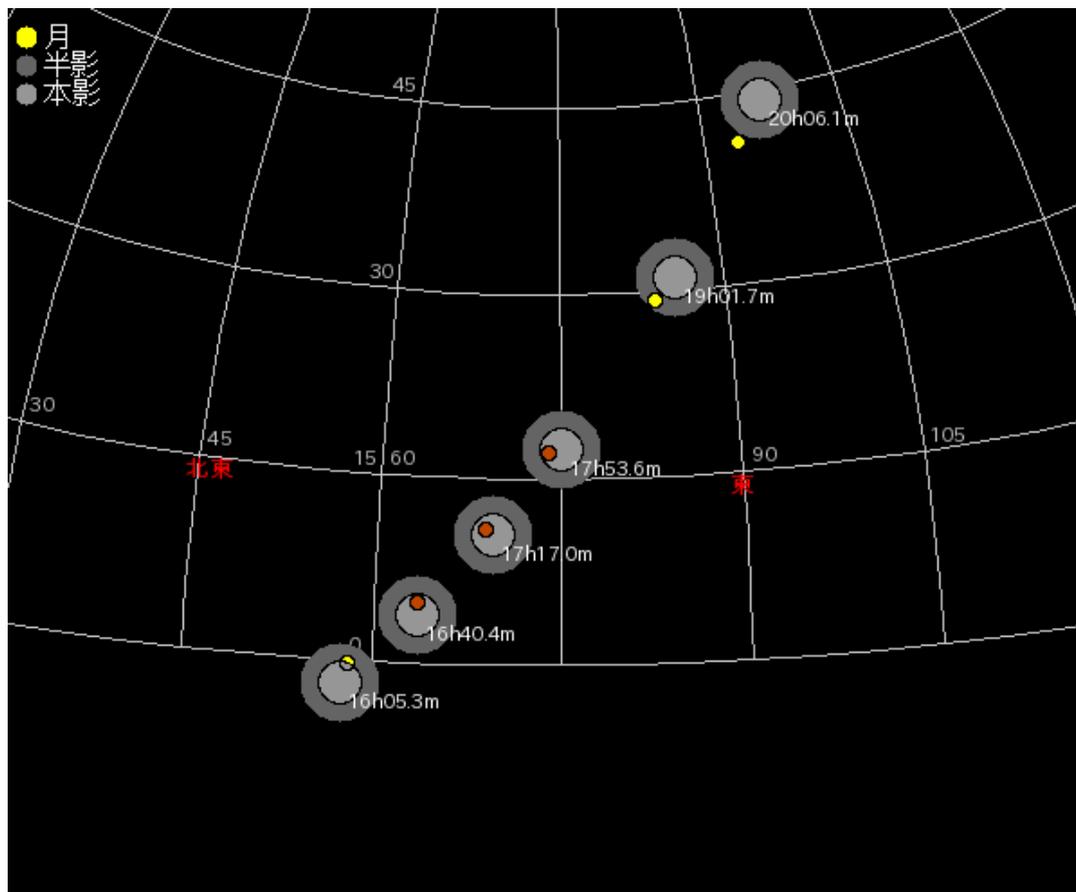
17:17 食の最大

17:53 皆既食の終り

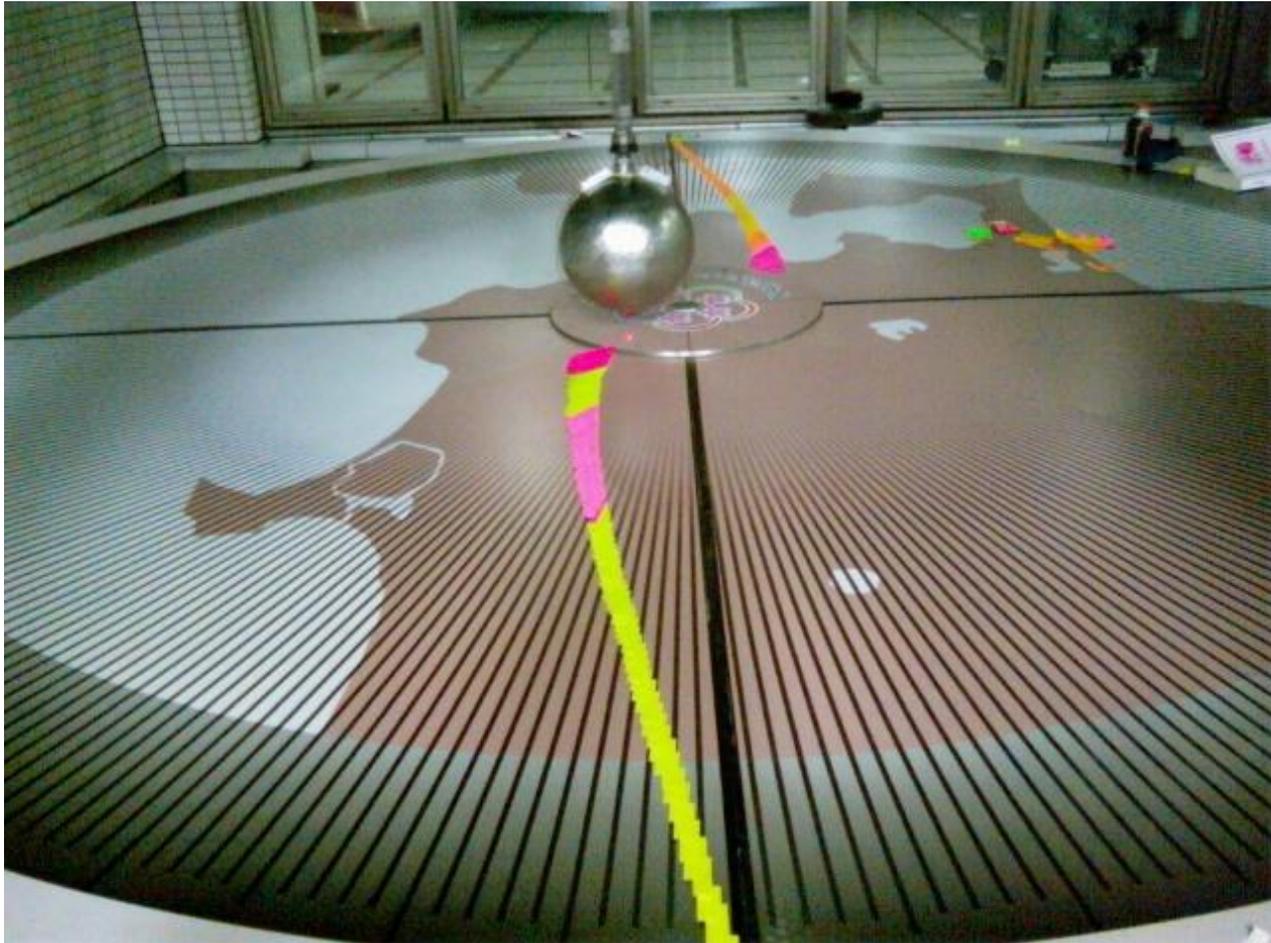
19:01 部分食の終り

19:10 実験終了

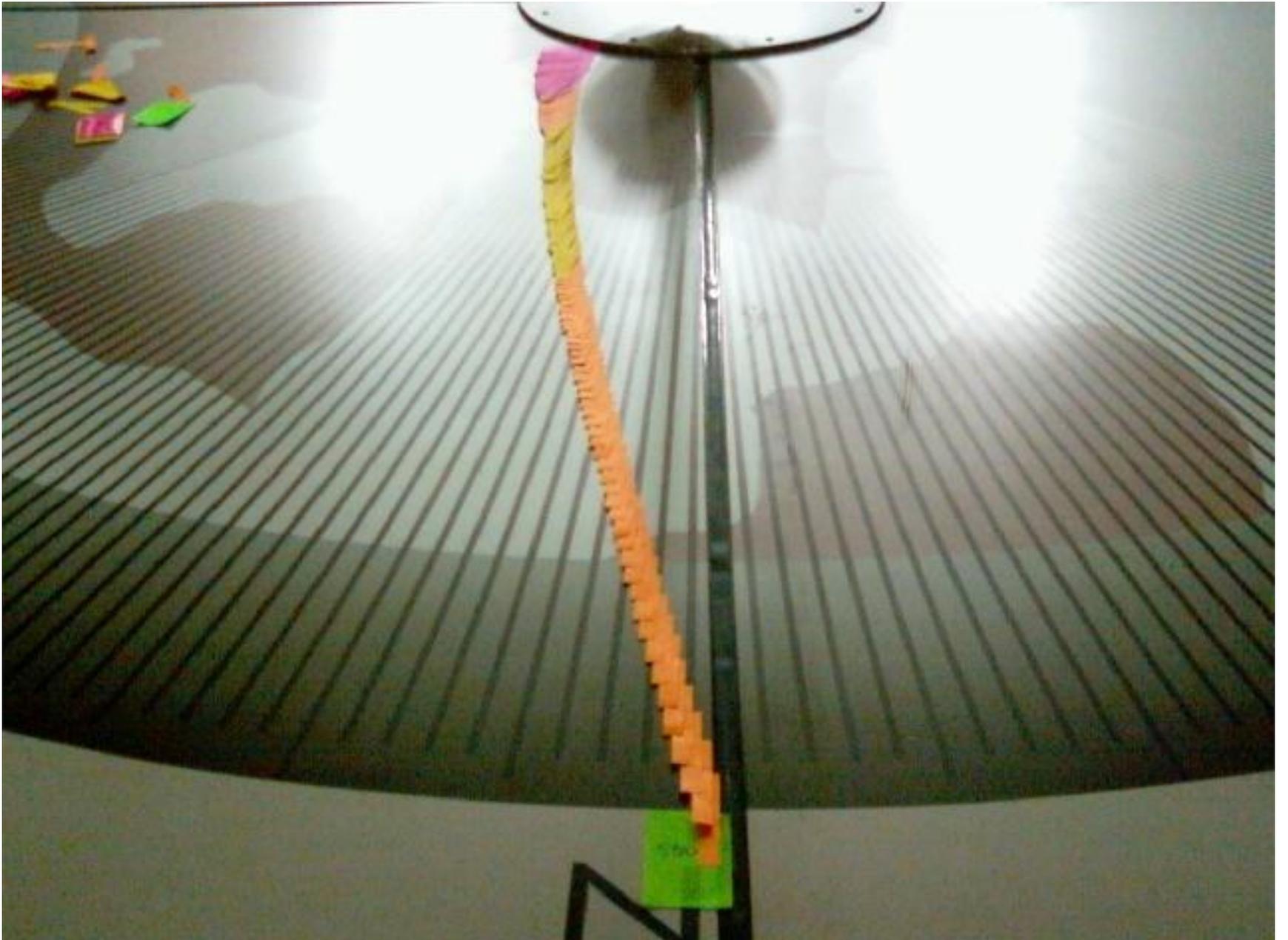
20:06 半影食の終り



実験の様子



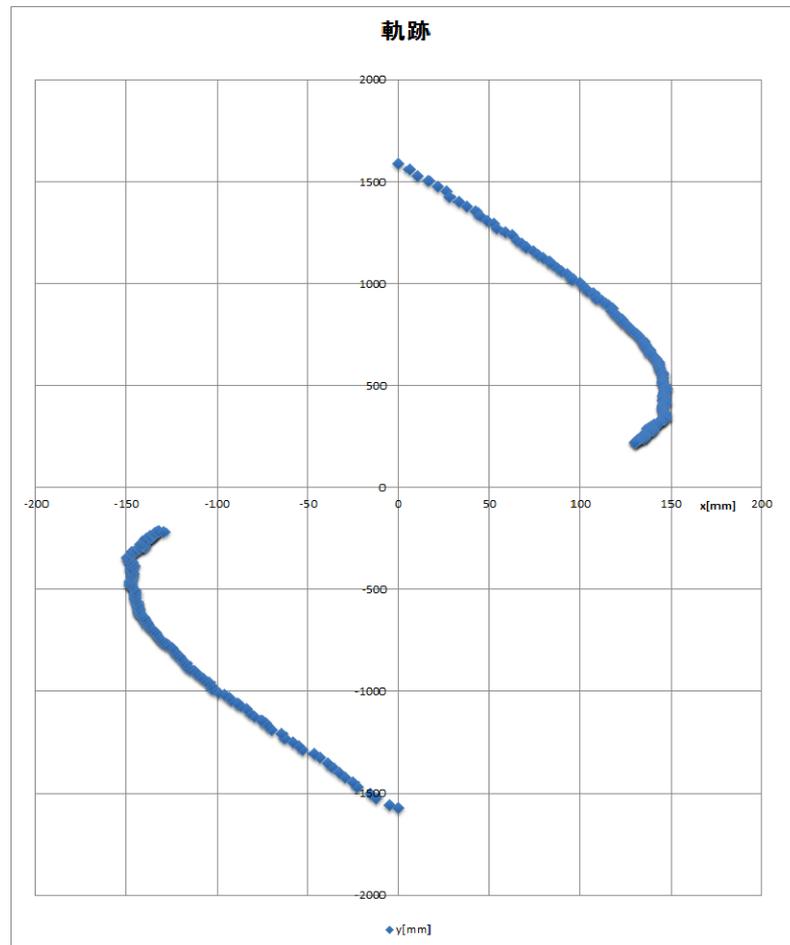




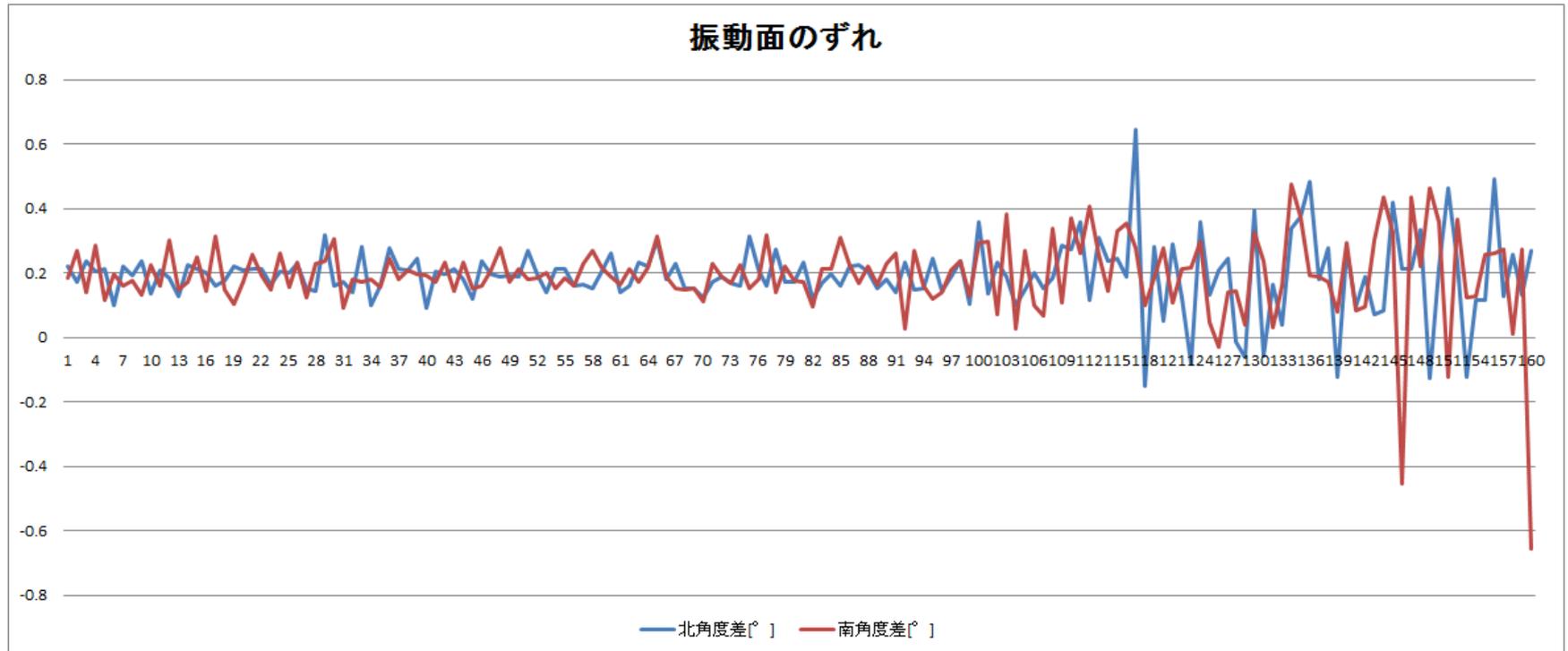


実験結果

振り子の軌跡



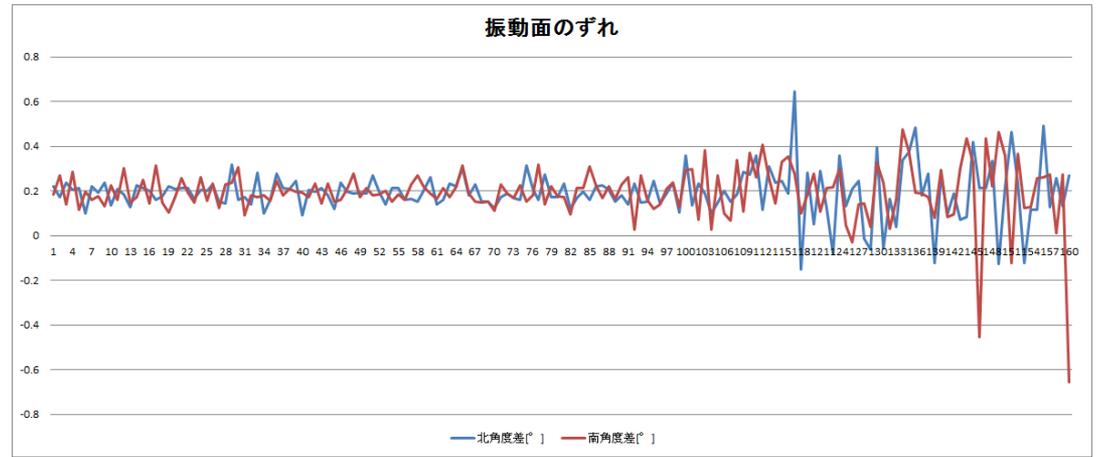
各時間における振動面の变化



分析1

本実験から得られた各時点における振動面の変化は右のグラフの通りである。

先に述べた通り、本実験における測定誤差は±1[mm]程度であるから、その測定誤差から生じ得る振動面の角度の誤差範囲を算出し、振動面の変化について分析する。



算出角度に生じ得る誤差

長さの測定誤差は±1[mm]程度、

角度は $\alpha = \arcsin(x/r)$ で求められるから、

$$\alpha_+ = \arcsin\{(x+1)/(r-1)\}$$

$$\alpha_- = \arcsin\{(x-1)/(r+1)\}$$

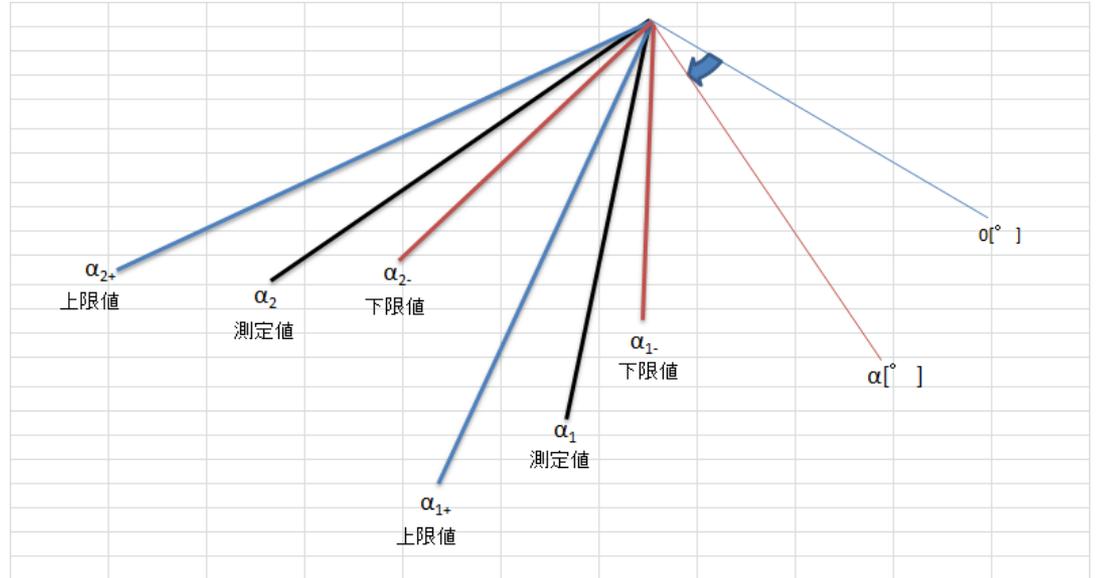
とおくと、誤差を考慮した場合の角度差の最大値は、

$$\alpha_M = \alpha_{2+} - \alpha_{1-}$$

角度差の最小値は、

$$\alpha_m = \alpha_{2-} - \alpha_{1+}$$

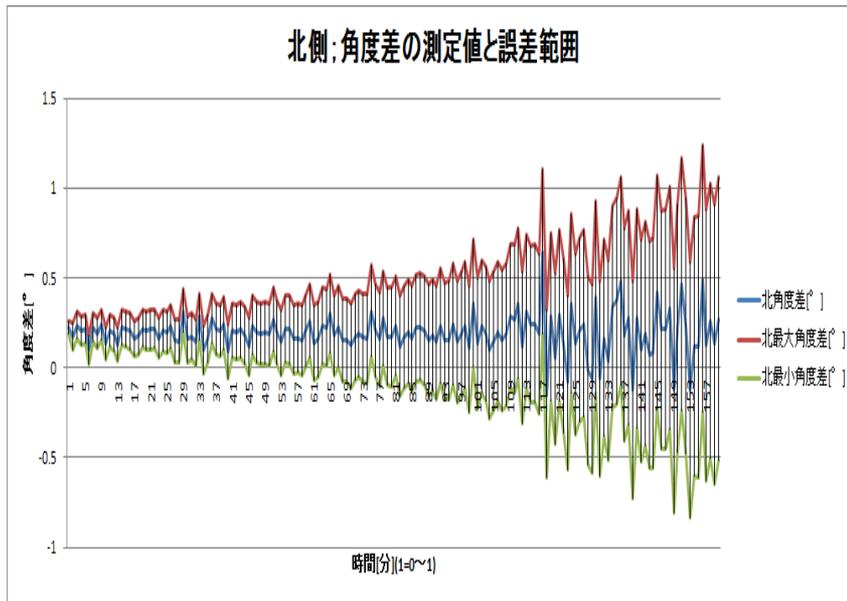
である。



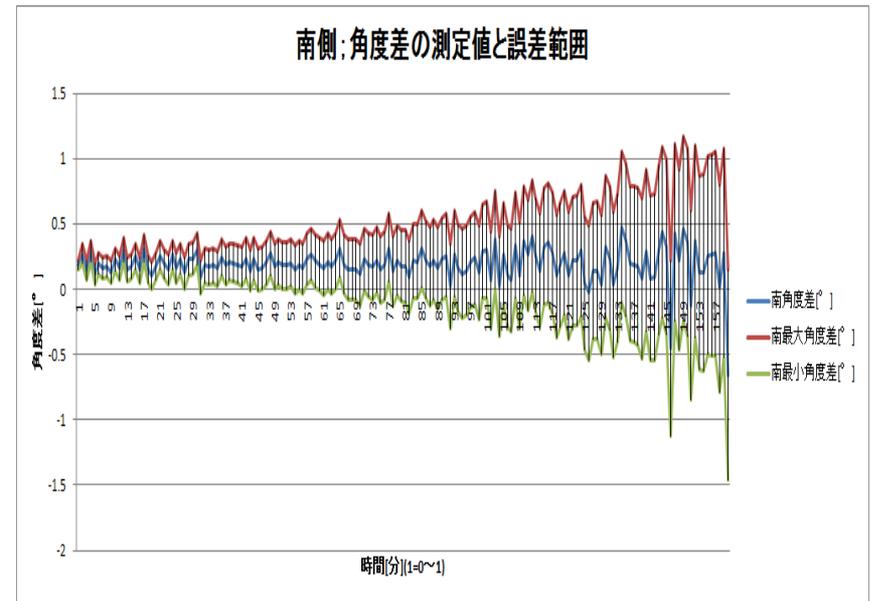
次に示すグラフは、
測定された振動面のずれと共に
各時点における誤差の範囲を示し
たものである。

南北それぞれの測定値と誤差範囲

北側：角度差の測定値と誤差範囲



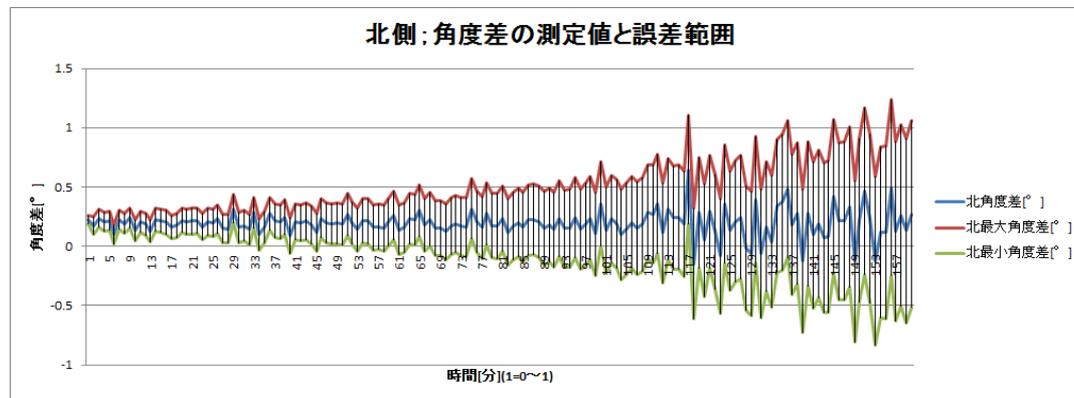
南側：角度差の測定値と誤差範囲



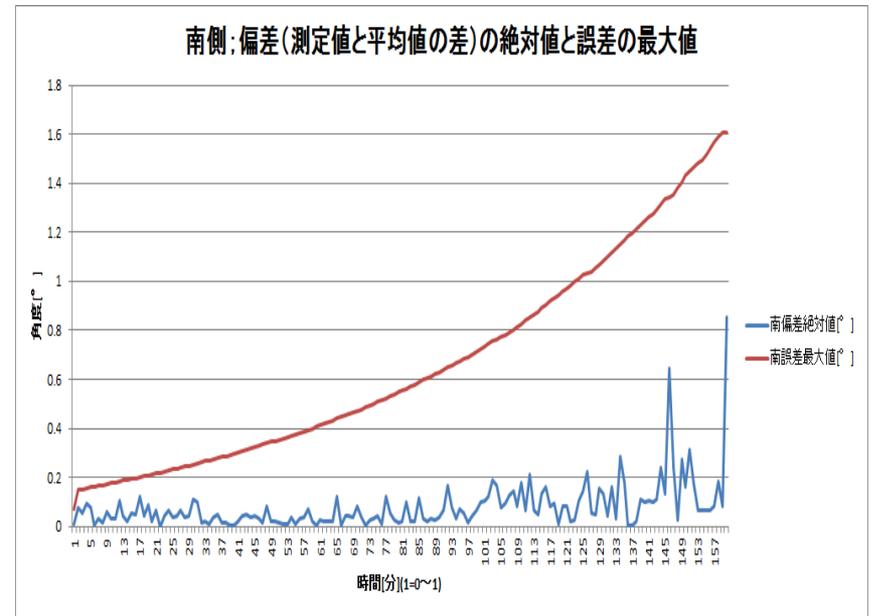
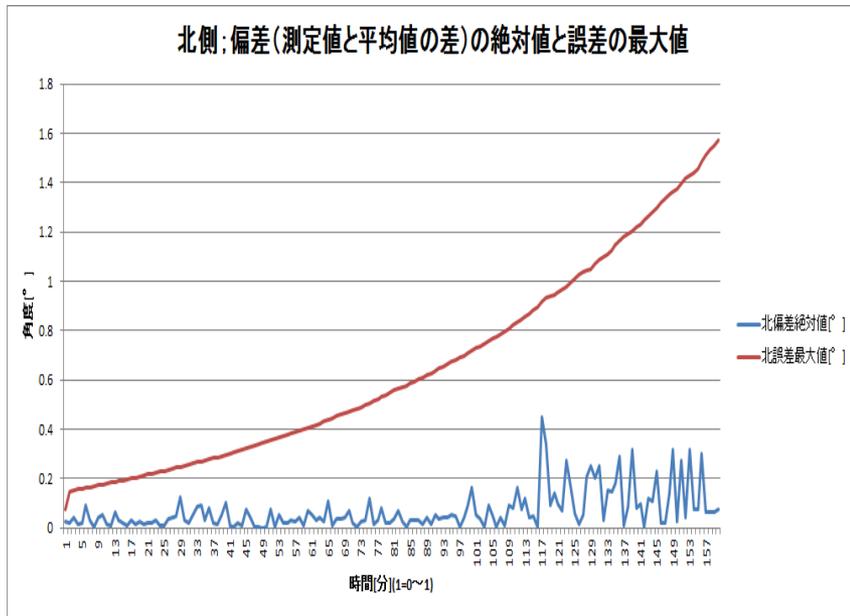
角度差の誤差は振幅の減少と共に増大している。

右のグラフから解るのは、振幅が減少するにつれて ± 1 [mm]の測定誤差から生じ得る角度差の誤差が増大しているということである。

振動面のずれのみに着目すると、徐々に振動面のずれが増大しているように感じるが、誤差の増大を考慮すると、いずれの時点においても振動面のずれは誤差の範囲におさまっているようである。



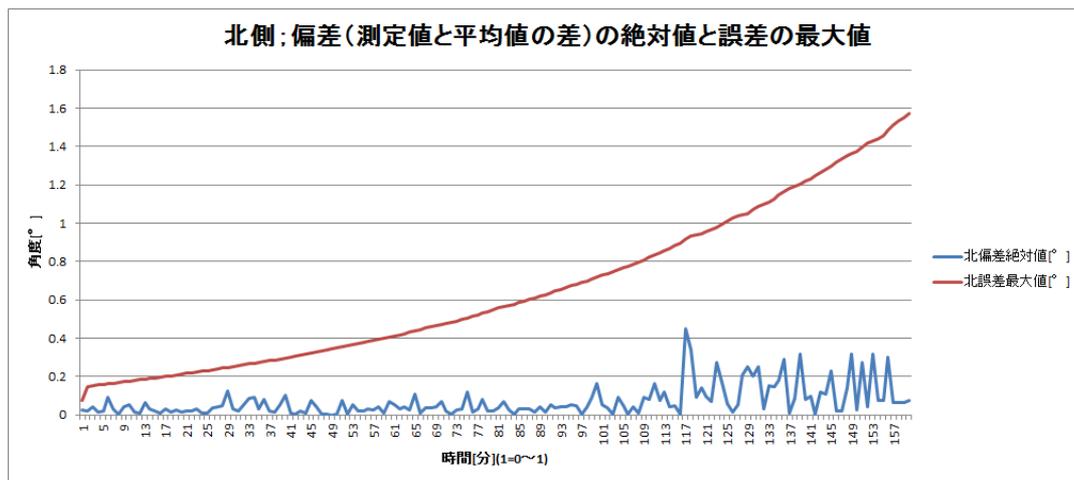
南北それぞれの誤差の最大値と変位の比較



測定された振動面の ずれは誤差の範囲内 である。

右のグラフから解るように、
本実験で測定された振動
面の変化はどの時点にお
いても誤差の最大値よりも
小さいものである。

すなわち、測定された変化
は誤差によって生じ得るも
のであり、この変化の特徴
が月食の影響の結果であ
ると結論することはできな
いと判明した。



本実験の目的は月食がフーコー振り子の運動に与える影響を検出、分析することであった。しかし、分析1によって、本実験で得られた振動面の変化角度は全て誤差の範囲内であり、その特徴が全て誤差によって生じ得るとということが判明した。

しかし、本実験の測定値がわずかな誤差しか含まないと仮定した場合は、測定値に月食の影響が反映されている可能性が残されている。

以下の議論は、本実験の測定値の誤差が極めて小さいものであったと仮定した場合、それぞれの測定値がどのような意味を持ち得るのかという観点で進めるものである。

分析2

振動面の変化の平均を計算すると、

北 ; 0.192403[°]

南 ; 0.192442[°]

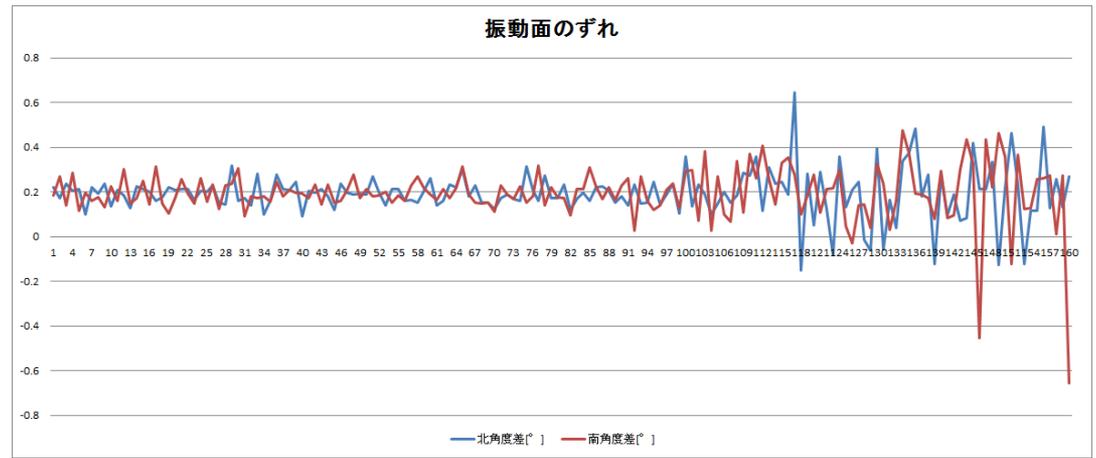
となった。

これは1分おきの振動面の変化の平均値であるから、1時間の振動面の変化は、

$$(0.192403 + 0.192442) / 2 \times 60$$

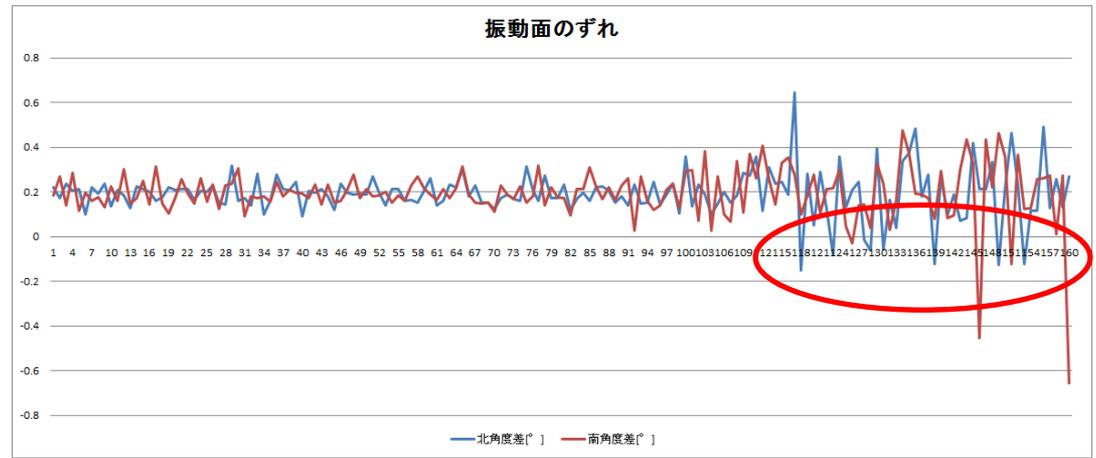
$$= 11.54535 [^\circ]$$

となる。

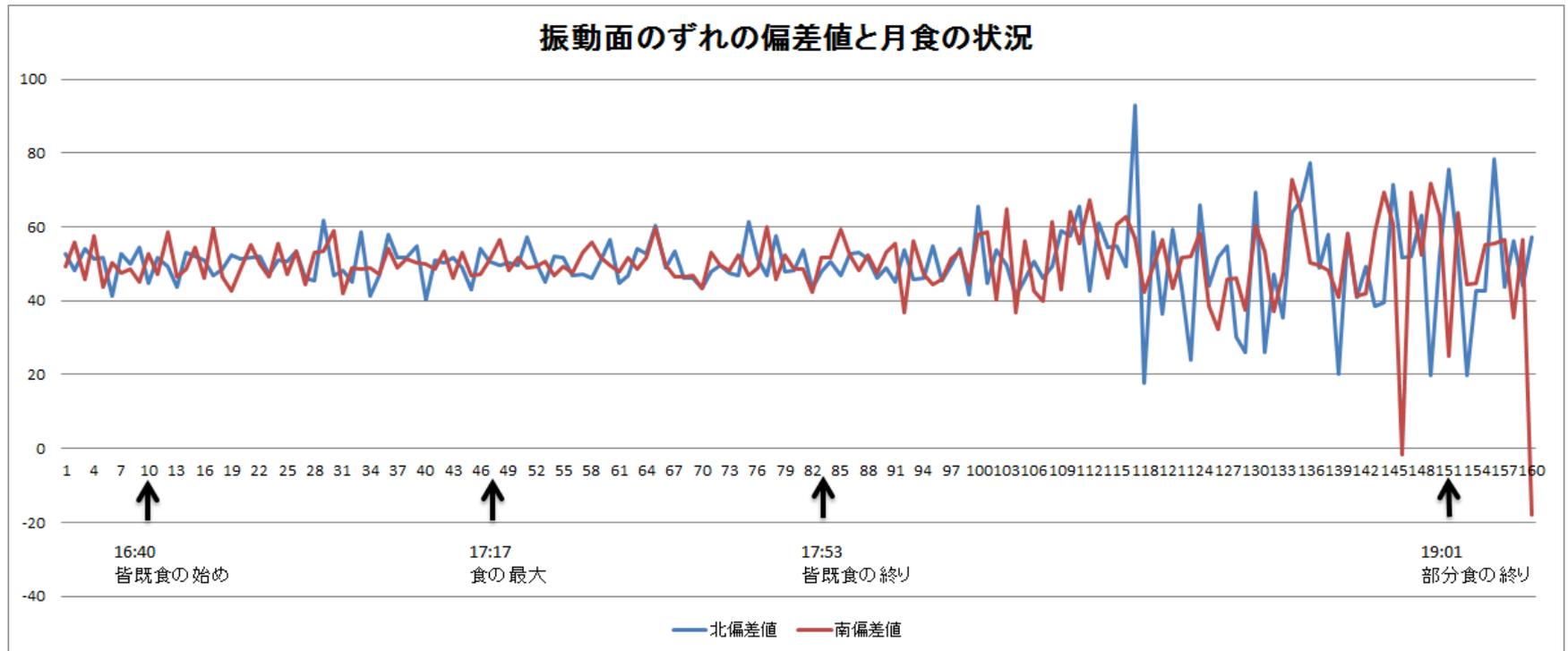


分析3

振動面の変化が負の値を持つ箇所がいくつか認められるが、これは振動面の変化が逆転していることを示している。



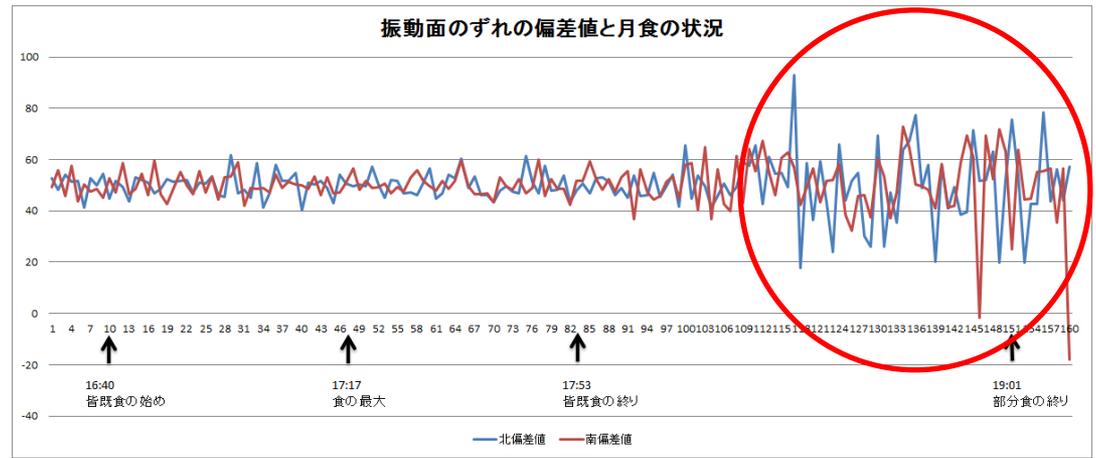
振動面の変化の偏差値と月食の経過



分析4

振動面の变化を偏差値で示したものが右のグラフである。

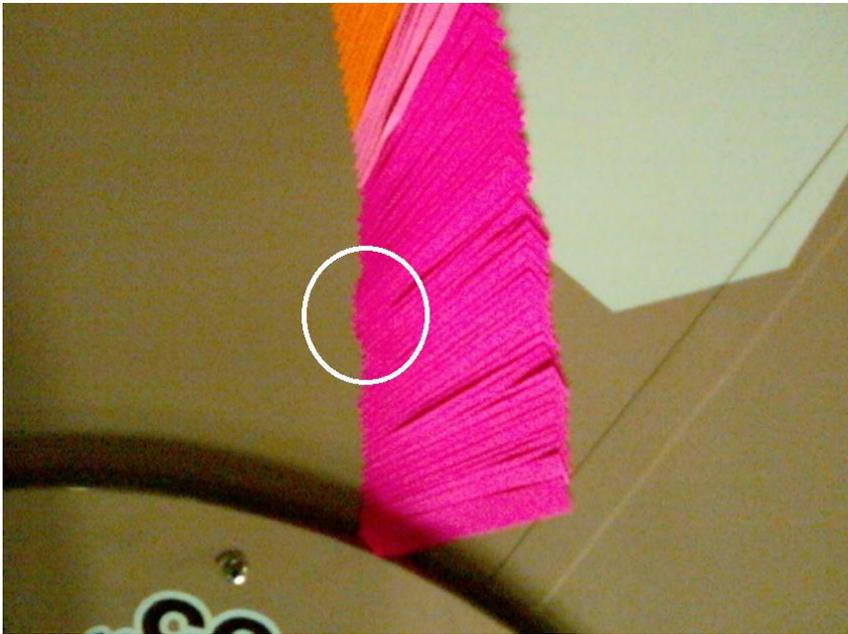
グラフを見てわかるように、実験開始から115分頃までは、偏差値は50前後を一定の範囲内で推移しているが、116分頃の北側での大きな変化を皮切りに、偏差値の変化が増大していることを確認することができる。



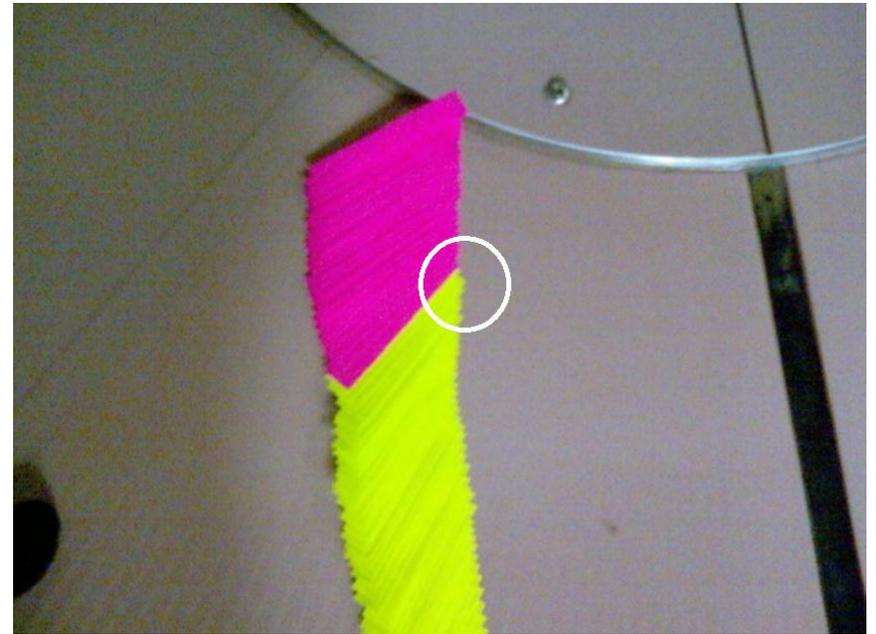
我々は肉眼でも確認できる
特異な点に着目していた。

南北同時に現れた特異点

北側の特異点

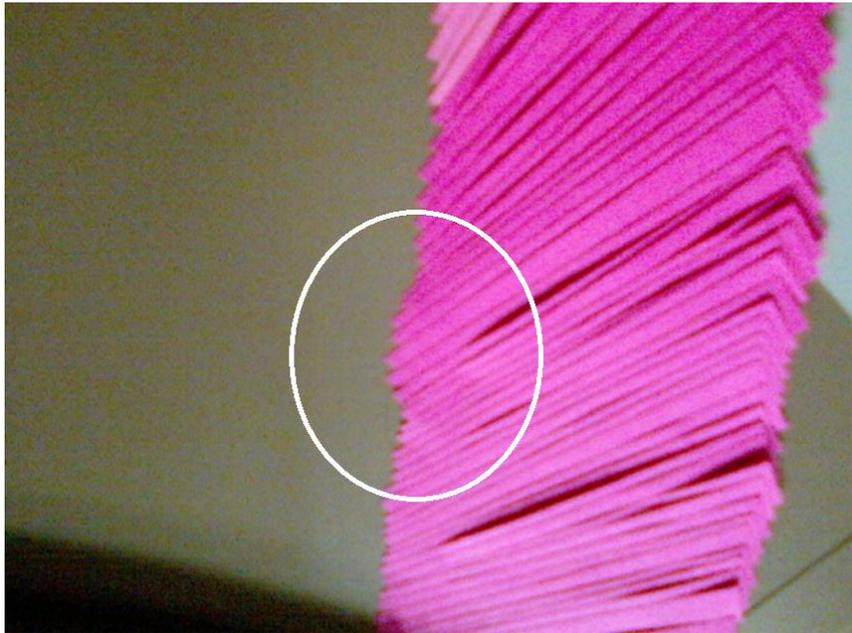


南側の特異点

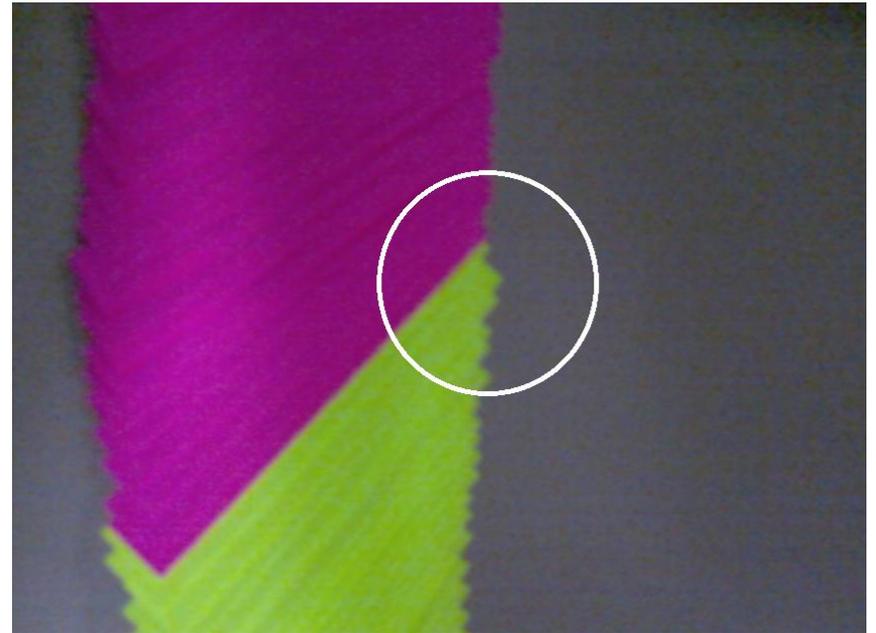


兩特異点

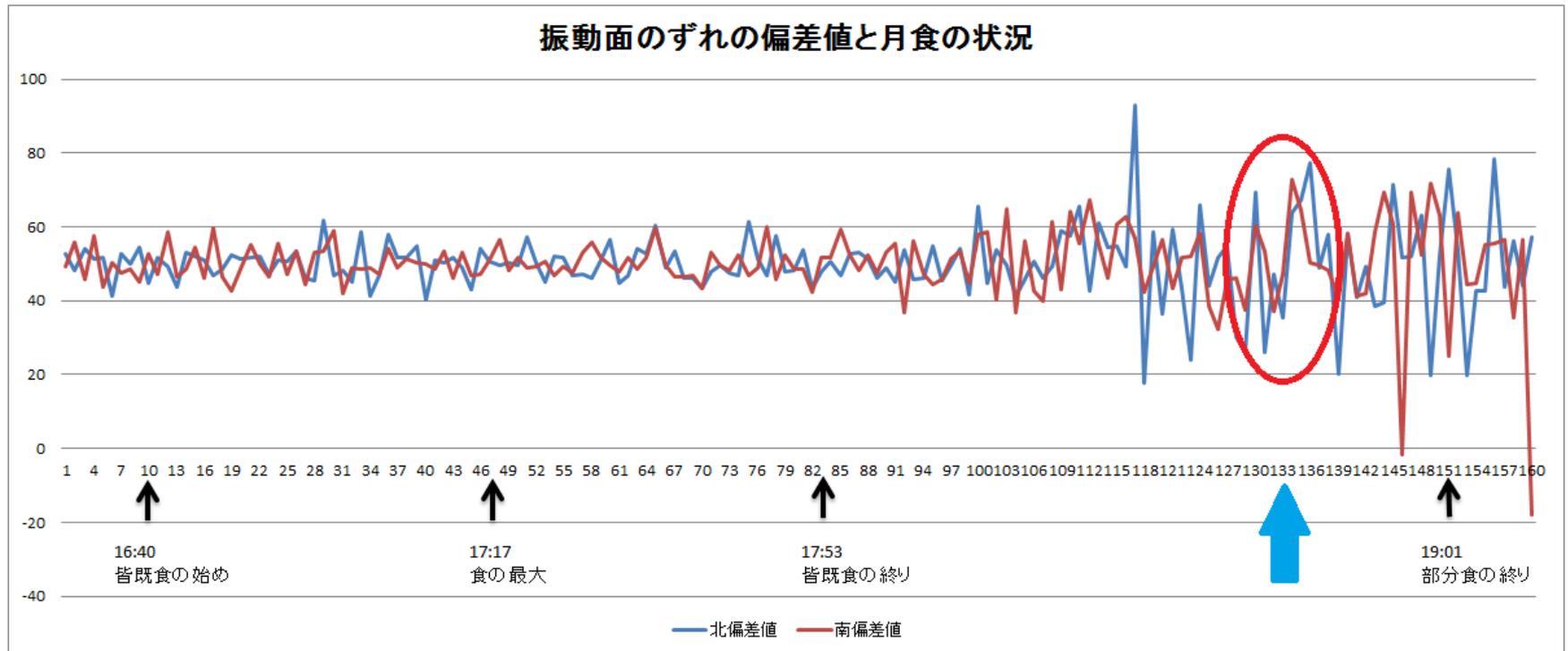
北側特異点



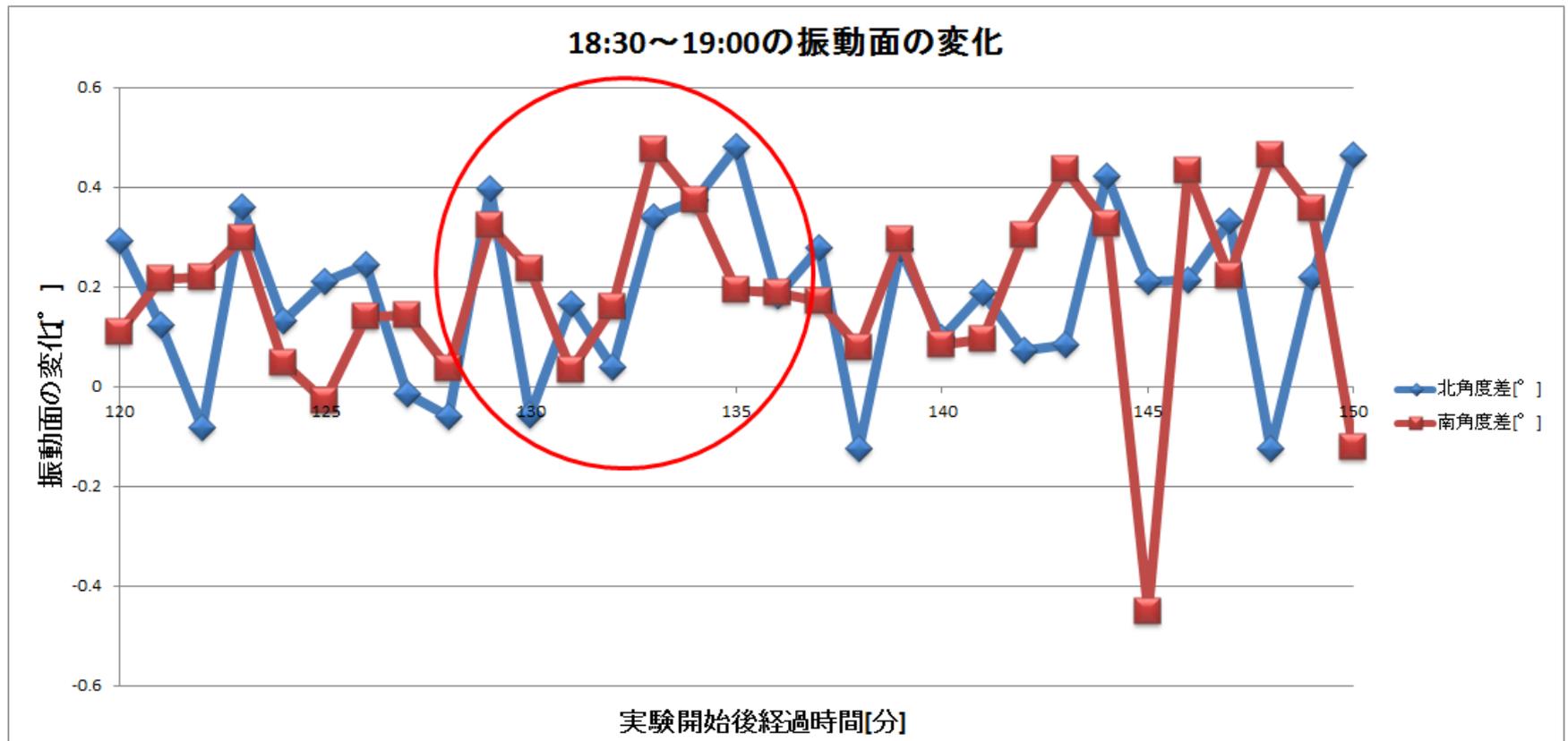
南側特異点



特異点が見られたのは実験開始から133分が経過した頃で、時刻は18:43頃、以下のグラフで丸で囲んだ部分である。



以下のグラフは18:30～19:00の振動面の変化を示している。丸で囲まれた範囲が特異点の出現箇所である。



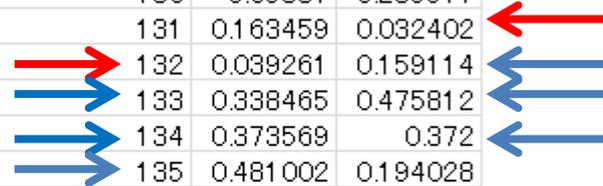
分析5

133分に出現した特異点と振動面の変化の様子に関連を調べてみると、まず特異点の出現の前に北側南側双方で振動面の変化が負に転じる時点がいくつか存在している。

そして、北側では132分、南側では131分に振動面の変化が減少し、その後の3分間程は振動面の変化は平均値の2倍以上まで増大、その後は再び平均的な値に戻っている。

肉眼で確認できた軌跡のふくらみは、振動面の変化の減少とその後の増大によって形成されたものと思われる。

時間[分]	北角度差[°]	南角度差[°]
120	0.290246	0.108028
121	0.122523	0.214241
122	-0.08361	0.218233
123	0.359259	0.297389
124	0.130914	0.046498
125	0.208722	-0.02935
126	0.244177	0.139391
127	-0.01506	0.142013
128	-0.0611	0.036546
129	0.395511	0.323709
130	-0.05887	0.235577
131	0.163459	0.032402
132	0.039261	0.159114
133	0.338465	0.475812
134	0.373569	0.372
135	0.481002	0.194028
136	0.181783	0.18638
137	0.27763	0.171551
138	-0.12436	0.078921
139	0.274371	0.294457
140	0.096379	0.084534
141	0.186008	0.093683
142	0.07262	0.302234
143	0.083336	0.434332
144	0.419808	0.325
145	0.210479	-0.45332
146	0.213844	0.433255
147	0.332137	0.221451
148	-0.12542	0.464172
149	0.217717	0.35633
150	0.463381	-0.12272



月食の経過と特異点出現時刻の関係

16:05 月の出

16:30 実験開始

16:40 皆既食の始め

17:17 食の最大

17:53 皆既食の終り

18:43 特異点出現

19:01 部分食の終り

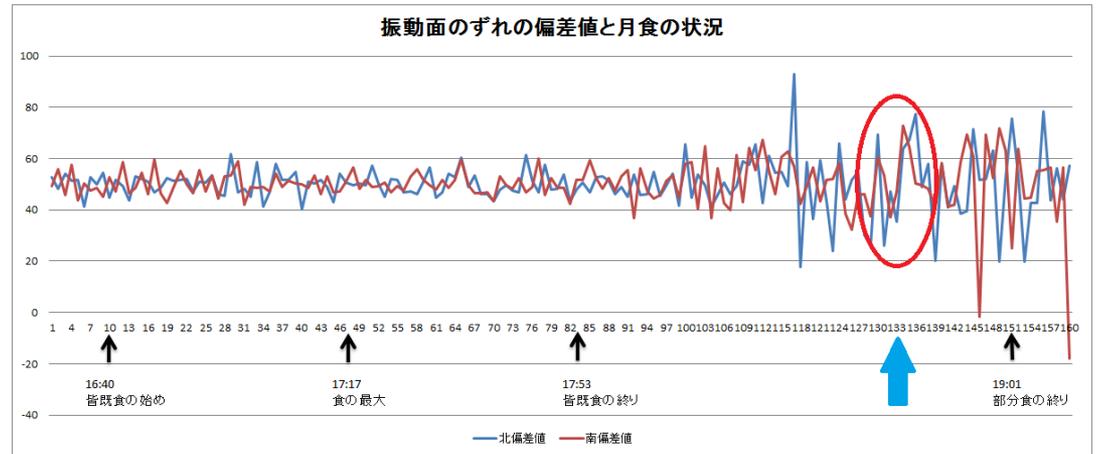
19:10 実験終了

20:06 半影食の終り

分析6

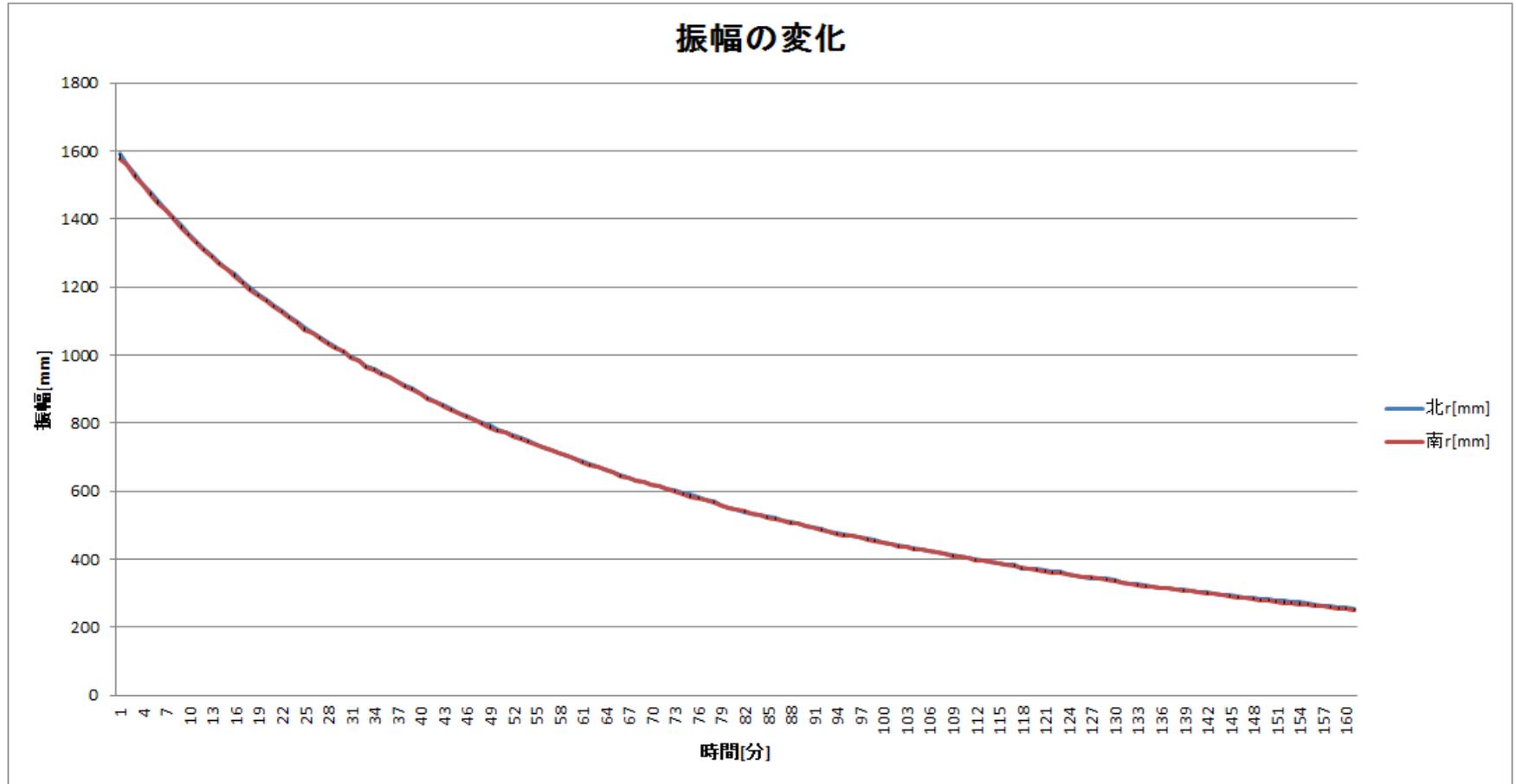
特異点が出現した時刻は18:43頃で、皆既食の終りと部分食の終りの間の時間であった。

我々は実験前、皆既食の始めや食の最大、もしくは皆既食の終りに振り子の運動に変化が起こるのではないかと期待していたが、この時刻はそのいずれでもなく、また部分食の終りの時刻とも異なっている。



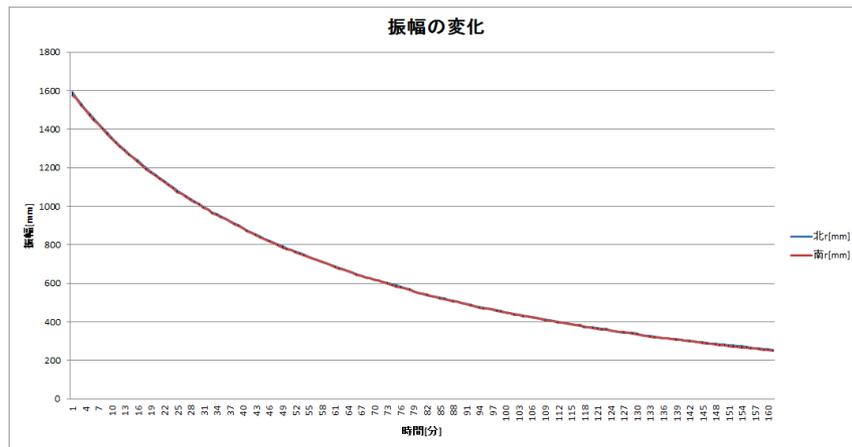
減衰の様子

振幅の変化

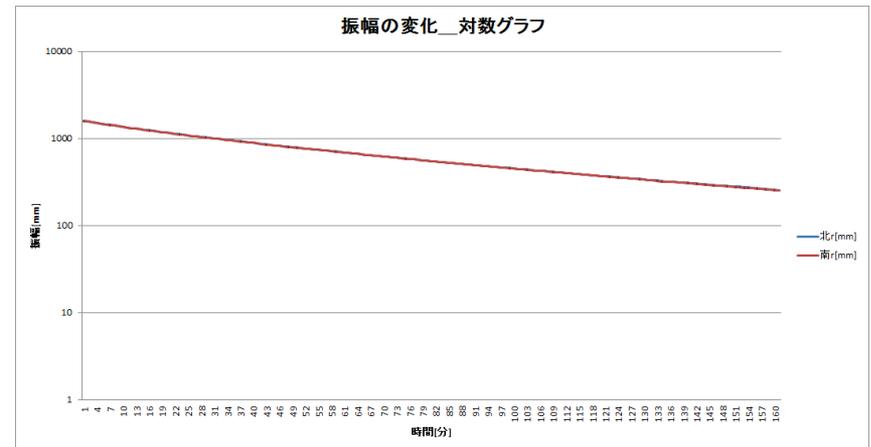


減衰の様子を対数グラフで表示するとほぼ直線となることから、減衰は指数関数的に起こっていたと言える。

減衰の様子

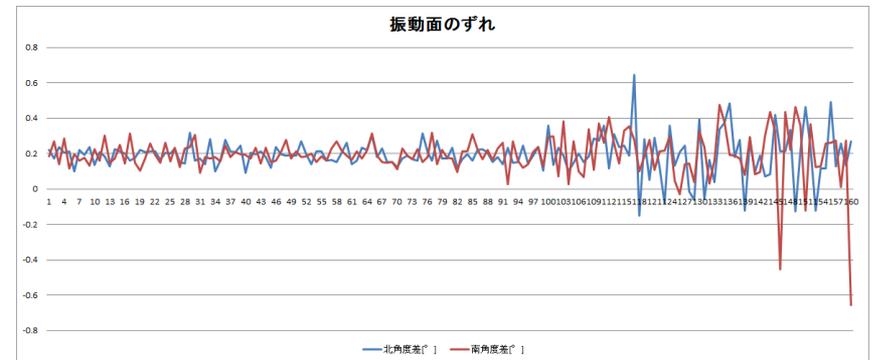
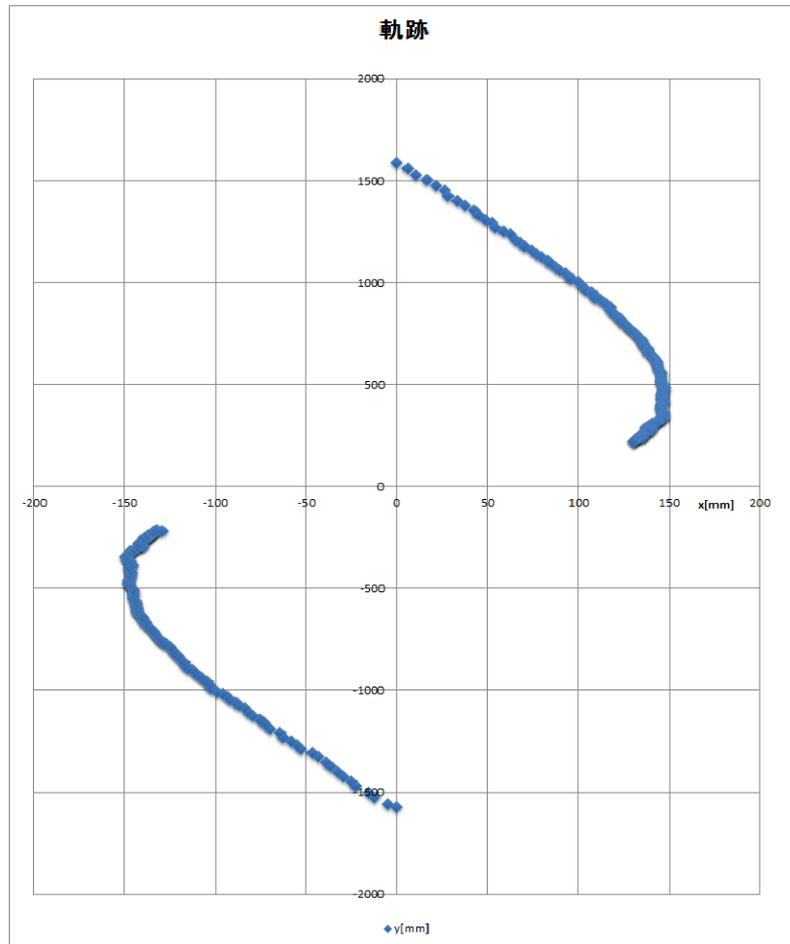


対数グラフによる表示

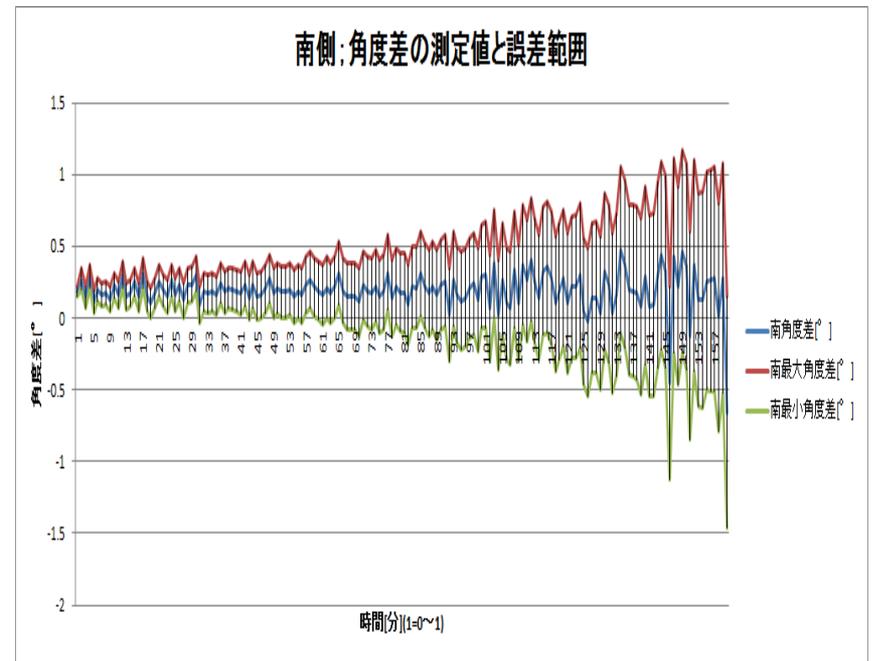
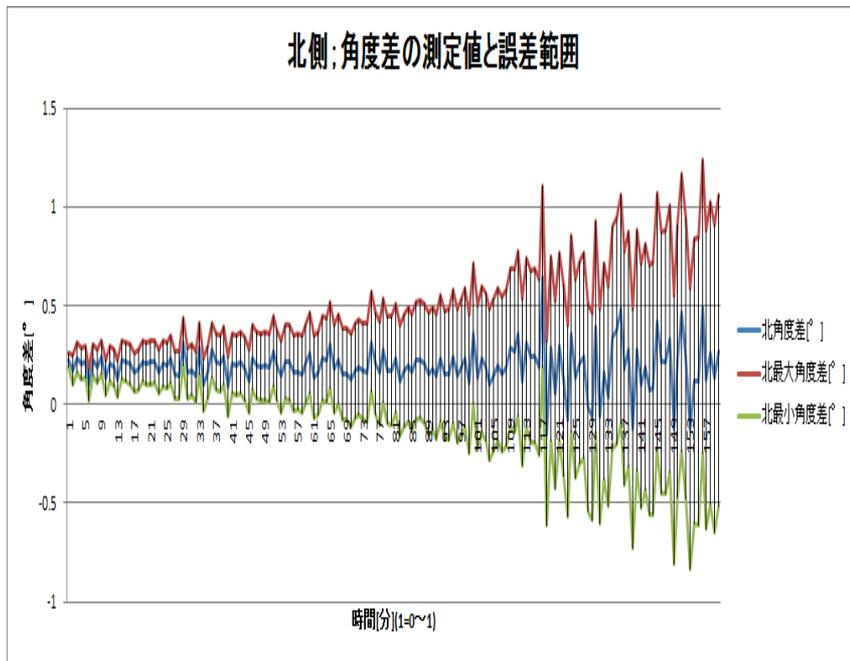


実験結果のまとめ

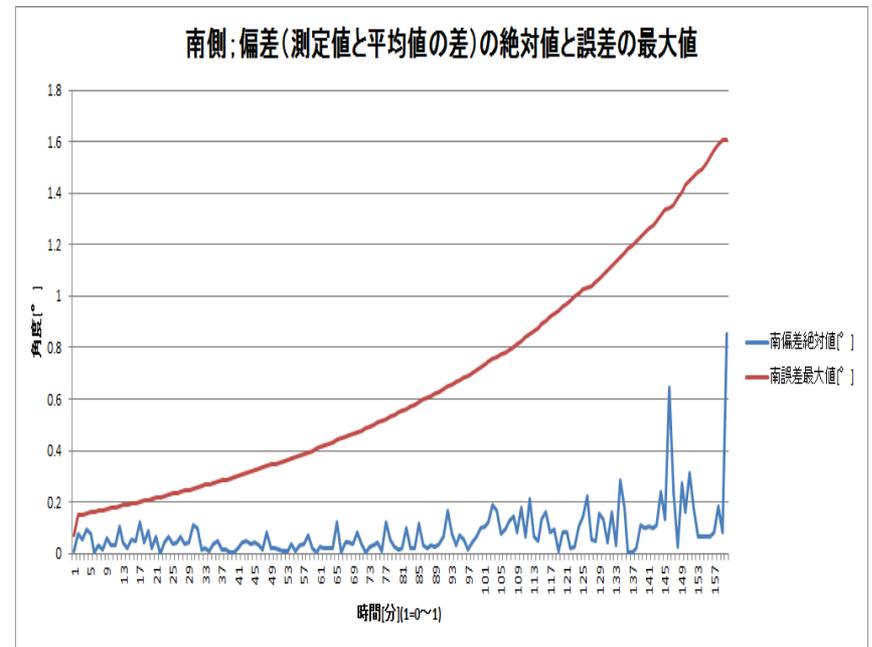
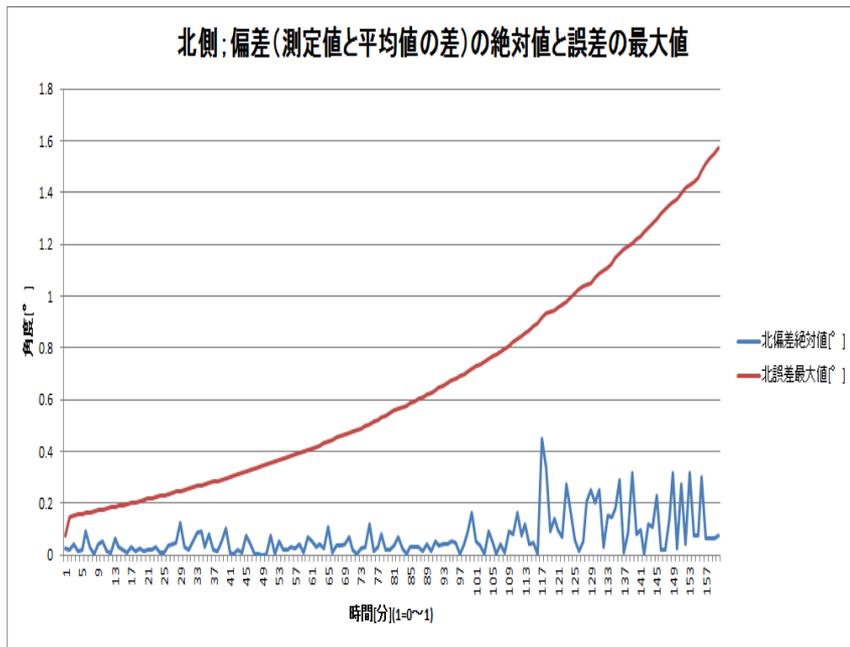
振り子の軌跡と振動面の变化



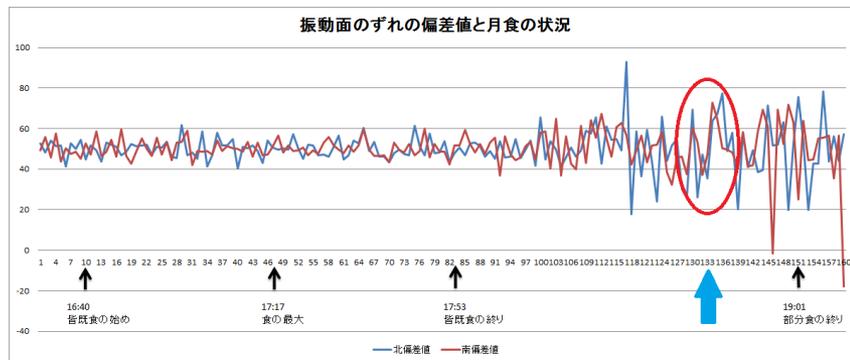
角度差の測定値と誤差範囲



誤差の最大値と変位



変化の偏差値と特異点



16:05 月の出

16:30 実験開始

16:40 皆既食の始め

17:17 食の最大

17:53 皆既食の終り

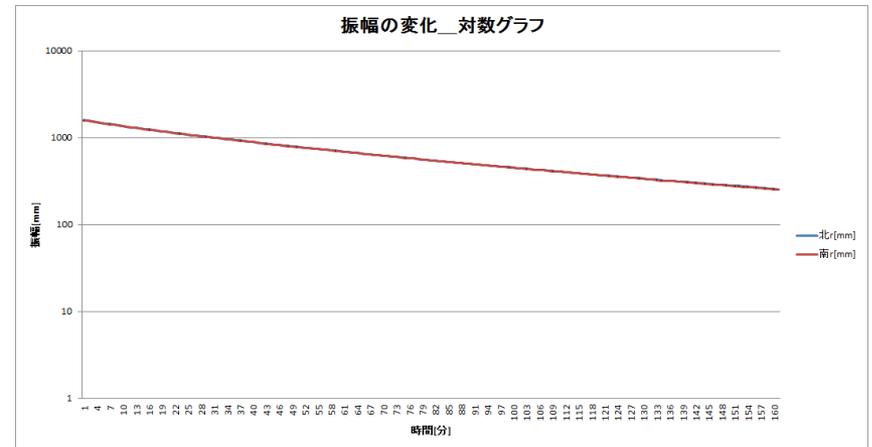
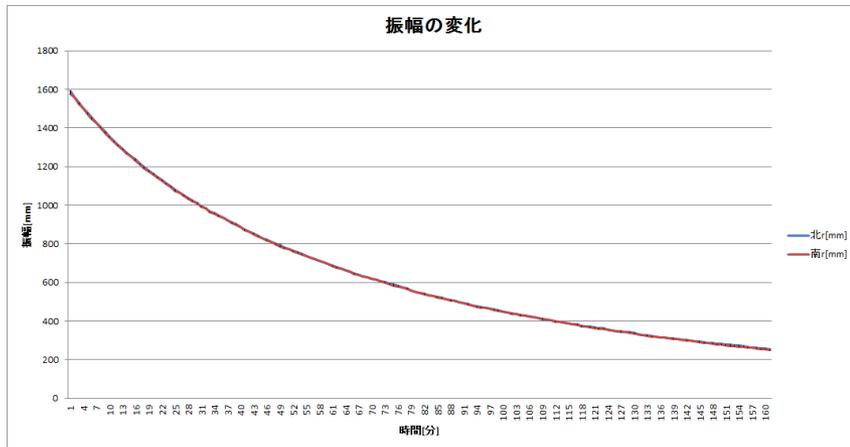
18:43 特異点出現

19:01 部分食の終り

19:10 実験終了

20:06 半影食の終り

減衰の様子



結論 1

1. 前述した通り、本実験で測定された振動面の変化は
全て各時点における誤差の範囲内であった。
誤差がほとんどなかったと仮定した場合にのみ
月食がフーコー振り子の運動に与える影響について
論じることが可能であり、その結論が結論2以降である。

結論2

2. 皆既食の始め、食の最大、皆既食の終り、部分食の終り、
いずれの時点においても振り子の運動に顕著な変化は
見られなかった。

結論3

3. 振り子の運動に顕著な変化が現れたのは皆既食の終りと部分食の終りの間の時刻であり、その変化とは振動面の変化の著しい減少と増大である。

減少に関しては、その変化が負に転じている時点が存在し、増大に関しては、その変化が平均値の倍以上になっている時点が存在する。

結論4

4. 肉眼でも確認できた軌跡のふくらみ(特異点)は、
振動面の減少とその後の増大によって形成されたと考えられる。
特異点の出現時刻は18:43頃で、その時刻は皆既食の終りと
部分食の終りの間の時刻である。

結論5

5. 今回の実験結果になんらかの物理的意味を見出すには
相当数の対照実験の実施とその実験結果が必要。