六分儀の傾きについて

樽 美 幸 雄*

On the Inclination of the Sextant

Y. Tarumi

Abstract

Generally we cannot avoid a slight inclination of the sextant from the vertical plane, in observing the altitude of a celestial body on the ship.

In order to investigate the inclination regarding its property and quantity, I carried out lots of experiments by photograph measurement, using a special equipment of my making. (Refer to Fig. 1, Fig. 2 and Fig. 3)

From the results of the experiments, the following points have been clarified.

- (i) The plane of the sextant usually has a tendency to incline clockwise against the celestial body.
- (ii) The quantity of the inclination is generally small, that is, about 1 degree.
- (iii) The property of the inclination rather resembles that of the personal error.

1. 緒 言

天体の高度を観測するにあたり、六分儀を傾けたために生ずる高度の誤差 Δa は次式で与えられることが知られている。

$$\Delta a = 3438' \left(\tan^2 \frac{\varepsilon}{2} \sin 2a_0 - \frac{1}{2} \tan^4 \frac{\varepsilon}{2} \sin 4a_0 \right)$$

但し ε = 六分儀の傾きの角

a_0 = その時の測高度

この誤差を避けるために、一般に海上では天体の像を視地平上におろして来た時に、先ず六分儀を左右に振つて天体像が円弧を描くようにし、その円弧と視地平との接点の方向を見定めて、しかるのちマイクロメーター (Micrometer) を微動しつつ、その方向において天体像が視地平に接する瞬間の高度を読取る方法を常用している。

私がここに行つた実験は、海上における上記の天体観測法を実施した場合、六分儀の傾きは事実上どの程度に抑えられているか。また六分儀の傾きに関する一般的な傾向としてどういう点が挙げられるか等を写真測定によつて見出そうとしたものである。

2. 実 験 装 置

本実験に使用した主なる装置及び器具は次の通りである。

* 神戸商船大学

- (1) 六分儀 2 台 玉屋製 No.8411及び No.8425
- (2) 廻転架台 (第1図参照)
- (3) カメラ キヤノンフレックス
- (4) 尖光装置 ストロボフラッシュ
- (5) 三杆分度儀 1分読

3. 実験の準備

六分儀が観測者の垂直圏面から傾いている角を写真測定するためには、撮影の瞬間においてカメラの視軸線は六分儀の器面と同一面内になければならない。そして尚かつその面内において鉛直線を同時に撮影しておかなければならない。

この条件をいかにして満足させるかということが本実験の価値を大きく左右することになる。しかも実験の目的から考えて天体を観測する方法自身には海上における場合とあまり相違があつてはならない。

以上の点を勘案して、先ず本実験のための廻転架台を作製した。第1図及び第2図に示すものがそれで、この架台は底部に廻転軸（直径35耗の鉄製パイプ）Aをとりつけ、この廻転軸はコンクリート露台の中にうめこんだボールベアリングBに嵌合させる。

第2図 実験装置側面図

第1図 実験装置写真図

またこの架台の底部四隅にはゴム製の自在車Cを取付けてあるので、観測者は桝木Dの内側に入つて天体の方向に直面すれば、架台自身がその方向に廻転して、中心軸上に備えつけたカメラE及び鳥居型の横木から垂下した鉛直線Fは自動的にほぼ同一面内に来る。

なお更にこの操作を確実にするためにカメラの後方に指標G（着色したガラス棒）を取付けて、観測の際には六分儀の望遠鏡を通してこれの上端をみとめさせるようにした。

また天体の方位角の変化は特に高高度でない限りそれほど早くないが鉛直線は架台の廻転軸の中心線とほぼ同一直線内に位置するように垂下してあるので、架台をかなり急激に廻転させてみてもそのための鉛直線の振れは生じなかつた。それよりもむしろ風のために鉛直線が振れる場合があり得るので、直径120耗の円筒Hで撮影に不必要な鉛直線の下方向約 $\frac{2}{3}$ をおおうよう

にした。

以上のように廻転架台は最初に示した条件を満足させるべく周到な配慮を施したが、それでもなお六分儀の面とカメラの視軸線との間に僅少なズレを生じた場合には、傾きの角の測定を行う際に測定が困難なばかりでなく、必然的にそのための誤差を生ずる。

第3図 六分儀にスリガラスの取付け

この誤差を解消する方法として更に六分儀の側に次のような細工を施した。第3図に示すように六分儀の把手の内側に、厚さ2耗、幅5耗、長さ400耗のスリガラス棒を六分儀の器面に対し平行にとりつけ、ビニールテープで固着した。このガラス棒の取付け位置は六分儀の観測上に支障を来さないためには把手に取付けるより他ないので、把手のうちで手を触れなくてもよい個所を選んだ。そしてこの取付け作業は最終的な傾きの角の測定に直接影響を及ぼすものであるから、特に入念に行つた。

4. 実験の方法

観測者はスリガラスを取付けた六分儀を持つて廻転架台の枠木Dの内側に入り、通常の方法で天体をとらえる。その際望遠鏡の視野内にカメラの後方にとりつけた指標Gの上端を見ながら高度観測を行う。

一方補助者は鳥居型横木に実験番号札をととのえ、廻転架台の側方に位置してカメラのレリーズJを手を持ちクロノメーターKを見ながら待機する。

観測者は観測の瞬間に号笛を吹き、補助者はその号笛を聞いた瞬間にカメラのシャッターを切つて同時にクロノメーターの示時を読む。この実験では、特に観測者が天体を観測した瞬間からカメラのシャッターが切られる瞬間までの時間的なズレを出来るだけ小さくするようにつとめた。また観測者はカメラのシャッターが切られる音を聞くまで、観測の状態をそのまま維持するようにつとめた。

フィルムは35耗のネオパンSS (ASA 100) を使用し、昼間は絞り16、シャッタースピード $\frac{1}{60}$ 秒で撮影し、夜間はストロボフラッシュ (色温度約5600°K) を使用して絞り11で同調撮影を行つた。

これを複写用印画紙 (A5版サイズの三菱CH) に引伸して現像し、出来上つた写真面上において、六分儀に取付けたスリガラス棒と架台の横木から垂下した鉛直線との交りの角を三杆分度儀によつて0.°1単位で読取つて「六分儀の傾き」とした。

なおこの傾きの角を記録するにあつては、便宜上写真面上でスリガラス棒が左へ傾斜している場合即ち観測者が天体に向つて六分儀を時計廻りに傾けた場合を(+)と定め、その反対を(-)と定めた。

5. 実 験

実験は昭和36年8月7日から同年9月7日にわたつて、神戸商船大学航海学科第1号館観測露台 (Lat. 34°43. '0N, Long. 135°17. '6 E, 眼高約10米) において、本学航海学科第7期生徳丸順君及び森明生君の応援を得て、第1表のように行つた。表中の観測者の欄においてAは私、Bは徳丸君、Cは森君を表わす。

なお観測地点において視地平を利用し得るのは真方位130°から182°までの52°間であり、その

ために天体の種類、高度等を自由に選択することはできなかった。

第1表 実験回数 (要目別)

実験 年月日		36 ・ 8 ・ 7	8	10	11	17	18	21	24	26	9 ・ 1	5	7	計
天 体	☉	11	14	24	27	30	26	31	20	9	0	0	0	192
	☽	2	9	21	21	30	20	30	20	0	0	0	0	153
	☾	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0	0	0	47
	24	0	0	0	0	0	0	0	22	0	36	35	34	127
高 度	20°	0	0	0	0	0	0	0	14	0	19	0	0	33
	25°	0	0	0	0	0	0	0	8	0	17	35	34	94
	35°	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	20
	40°	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	20
	45°	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	7
	60°	0	0	0	0	0	3	5	14	0	0	0	0	22
	65°	0	4	9	15	35	24	51	26	9	0	0	0	173
	70°	13	19	36	33	25	19	5	0	0	0	0	0	150
視地平の状態	極 良	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0	0	0	47
	良	0	0	0	0	60	19	30	57	9	36	0	0	211
	可	13	0	45	0	0	27	31	5	0	0	35	0	156
	不 良	0	23	0	48	0	0	0	0	0	0	0	34	105
観測者	A	0	0	0	10	20	58	21	37	0	13	19	23	201
	B	8	10	22	18	20	0	20	10	9	13	0	11	141
	C	5	13	23	20	20	35	20	15	0	10	16	0	177
要目別総計		13	23	45	48	60	93	61	62	9	36	35	34	519

表掲の519回の実験中、8月24日夕刻に行つた木星観測においてフラッシュの失敗が2回あつたので、実験資料は全部で517個であつた。

6. 実験値の整理

先ず、全観測値517個について、相加平均値 M_0 及び中央誤差 r を計算したところ、

$$M_0 = +0.^\circ 39, \quad r = 0.^\circ 64$$

を得た。

ここでライト (Wright) の棄却法を用いて残差 v_i が $5r$ よりも大なるものを棄却した v_i が $3.5r$ よりも大なるものは視地平の状態が不良なるものについてのみ棄却し、結局最終的には501個の資料が残つた。

傾きの角を 0.5° 毎に区切つて横軸にとり、頻度即ち個数を縦軸にとつて、全資料 501 個に対する柱図表を描いたものが第 4 図である。

第2表 相加平均値と中央誤差 (要目別)

		実験資料数 n	相加平均値 M_0	中央誤差 r
天 体	☉	189	$+0.26^\circ$	0.49°
	☽	152	$+0.21^\circ$	0.54°
	☾	47	$+0.32^\circ$	0.48°
	♄	113	$+0.61^\circ$	0.66°
高 度	20°	31		
	25°	82	$+0.72^\circ$	0.70°
	35°	20		
	40°	20		
	45°	7		
	60°	22		
	65°	172	$+0.08^\circ$	0.51°
	70°	147	$+0.45^\circ$	0.51°
視 地 平 の 状 態	極 良	47	$+0.32^\circ$	0.48°
	良	207	$+0.29^\circ$	0.57°
	可	153	$+0.30^\circ$	0.55°
	不 良	94	$+0.47^\circ$	0.59°
観 測 者	A	191	-0.03°	0.52°
	B	139	$+0.43^\circ$	0.51°
	C	171	$+0.65^\circ$	0.54°
全 体		501	$+0.33^\circ$	0.56°

なお点線で示したのは、傾きの角のばらつきがガウス (Gauss) の分布にしたがうものとして描いたガウス曲線で、相加平均値 M_0 と中央誤差 r の値は

$$M_0 = +0.33 \pm 0.03, \quad r = 0.56$$

であつた。

第4図 全資料による柱図表

第5図 天体の種類による分類

第6図 高度の大小による分類

なお参考のために、これらの資料を使つて

(1)天体の種類、(2)高度の大小、(3)視地平の状態、(4)観測者の別等によつてこの傾きの角がどの程度相違して来るかを調べるために、同じ要領で柱図表及びガウス曲線を描いたものが、順次第5, 6, 7, 8図である。またこれらの分類によつて、相加平均値 M_0 と中央誤差 r の値を計算したものを第2表に示す。

第7図 視地平の状態による分類

第8図 観測者による分類

7. 実験結果の検討

全観測についていえることは、相加平均値及び中央誤差の値からも明らかなように、傾きの角は案外に微少でたかだか 1° 程度であり、ほとんど問題とするに足らない。また一般的な傾向としては(+)の傾き即ち天体に向つて時計廻りの方向に傾き易い傾向にあるといえる。

次に要目別の分類について検討すれば、

(1) 天体別では、ガウス曲線の形状から判断してやはり最も観測の機会が多い太陽の下辺観測が良好であり、次いでその上辺観測が傾きの少いことを示している。

木星の観測では、薄明時観測のために視地平が昼間ほど明瞭でないことも原因してかなりの傾きを生ずることが分る。

(2) 高度別では、理論上からすれば低高度において傾きが少く高々度において傾きが大となる筈であるが、本実験では各高度についての資料の個数が均等に得られていなかったため、この点については何ともいえない。

20° , 35° , 40° , 45° , 60° については資料数が比較的少ないので、ガウス曲線を描いても到底妥当性のあるものは得られないと考えて描かなかつた。

25° については一応資料数が82個あつたのでガウス曲線を描いてみたが、この資料は全部木星の薄明時観測によるもので視地平の状態もあまり良好でなく、高度別の資料としてこれを一般的に見ることはできない。

これに反して 65° 及び 70° については、天体は太陽観測のみであるが、ある程度の普遍性を認めてよく、この附近の高度としては案外に傾きの角は微少であることが注目になる。

(3) 視地平の状態が傾きの角に直接影響を及ぼすことは当然で、ガウス曲線の形状がその模様をよく表わしている。

ただし「極良」、「良」及び「可」の3段階ではほとんど大差はなく、視地平が見えにくい状態即ち「不良」の場合において傾きの角は明らかに増して来ることになる。

(4) 最後に観測者別のグラフを見れば、3人共中央誤差はほとんど変らないが、相加平均値に大きな変動が見られることは注目になる。即ち六分儀の傾きは観測者の個人的な癖による場合が最も大きいといえる。

8. 結 語

本実験は装置において周到な準備を施し、写真測定の同時性と記録性とを有効に活かして、

501 個というかなり多数の資料を得て行つたので、六分儀の傾きの角についてある程度定性定量的なものを把握することができた。

もつとも実験の性格上、本観測は陸上の露台において行わざるを得なかつたが、このために動揺している船の上での観測に比較すれば傾きの角が小さく現われ易いことが指摘できる。

ところが一方、観測者 3 名のうち 2 名は天体観測の経験に乏しい学生であつたために、傾きの角が大きく現われ易いことも指摘できる。

この 2 つの事項が上記の実験結果に何がしかの変動を及ぼすかも知れないが、本実験の総合的な結論として次の 3 項目を示すことができる。

- (1) 六分儀は天体に向つて時計廻りに傾き易い。
- (2) しかしその傾きの角は概して小さく、一般に 1° 程度である。
- (3) 六分儀の傾きは個人誤差としての性格が最も大である。

なお本実験では天体の高度別に見た傾きの角の吟味が充分でなかつた。特に 70° 以上のいわゆる高高度観測についての傾きの角を定量的に求める問題が今後に残されたが、次の機会までにその点を明らかにしたい。

稿を終るにあつて、終始本実験の遂行に協力をいただいた神戸商船大学航海学科第 7 期生徳丸順君及び森明生君に深甚の謝意を表する。

参 考 文 献

酒井 進：天文航海学

秋吉 利雄：航海天文学の研究

秋吉 利雄：海上で測る高度に関する二、三の問題，水路要報第 11 年第 12 号

塚本祐四郎：高高度天測法について，水路要報第 20 年第 10 号