星測高度の誤差について

日下 治夫*・橋本 進*

On the Error of Altitude by Stellar Sight

H. Kusaka and S. Hashimoto

1. ま え が き

実測天体高度の誤差の原因については、定誤差 (Constant Error) と偶然誤差 (Random Error or Accidental Error) にわけて論じられるが、実際特に海上においては、両者を判然と分離し解析することができないのは周知のとおりである。

普通、天測を行なつたときの誤差量の測定は、かつて渋谷氏、内田氏、滝川氏などによつて実施されたことがある。これらの実験値は、海上での天測における実際にもつとも近い状態の誤差量として高く評価されている。その後、鮫島氏などによつて陸上実験などが行なわれ、観測天体高度の誤差量が糾明されてきた。そして、それまでの諸論を総合して、太陽および薄明時における星測の天測誤差量の目安を $0.5'$ において、その後の天体観測の誤差論が展開されてきた。我々航海者がその誤差量の目安を定量的に把握することができたことは、実際の航海に当つて大きな進歩であり、初心者練度向上のためのよき参考となつてきた。

さて、前述した諸実験を検討するとき、そこには実験のための天体観測が行なわれ、それによつて求めた実験値であることからみて、我々航海者が実務遂行上、実験を意識せずに求めた観測値についての実測高度の誤差量ほどの位あるか、それを明らかにする必要がある。

それで実験を意識せず、実務遂行上の立場から求めた観測値について、その誤差量を検討することとした。

航海中における天測誤差の測定は、種々の悪条件が含まれて簡単にできるものではない。如何なる交点をもつて真値とするかは、極めて困難であり、また、明確に決定することも困難である。したがつて、その誤差量を定量的に求めることにやや不安定さはあるが、かつて、渋谷氏が海上実験を行なつた方法、すなわち、薄明時の星測について、4本～6本の位置の交わりからもつとも確からしいと思われる船位を求めて、その点から各位置の線に下ろした垂線の長さをおのおのの位置の線の誤差とする方法を利用し、誤差量を表わすのに推定中央誤差をもつて検討することとした。

2. 観 測 資 料

(1) 観 測 概 要

* 航海訓練所 (東京都千代田区霞ヶ関2-1-3)

船名	航海区分		期間	位置の線			観測者
				総数	内 訳		
					恒星	惑星	
日本丸	夏期航海	東ポ ー ト ラ ン ス 京 ド ン 京	S 39. 5 ゝ S 39. 8	75	75	—	A
日本丸	冬期航海	東 ヒ 東 京 ロ 京	S 39.10 ゝ S 39.12	81	63	18	A
日本丸	夏期航海	神シ カ 東 ア フ トル 戸 ル イ 京	S 40. 5 ゝ S 40. 8	88	83	5	A
日本丸	冬期航海	東 ホ 東 京 ル 京	S 40.10 ゝ S 40.12	81	62	19	A
日本丸	夏期航海	東サ ポ 東 ン ジ ト イ ア エ レ 京 ゴ ン 京	S 41. 5 ゝ S 41. 8	66	66	—	A
海王丸	夏期航海	横ウ プ リ ン ス カ 東 イ ン ク ト リ ア パ ー イ 京	S 42. 5 ゝ S 42. 8	126	115	11	B
海王丸	冬期航海	東 ホ 東 京 ル 京	S 42.10 ゝ S 42.12	134	118	16	B
海王丸	夏期航海	神ホ ポ シ 東 ノ ト ア トル 戸 ル ン 京	S 43. 5 ゝ S 43. 8	99	99	—	B
総計				750	681	69	

(注) A : 海上経歴19年, B : 海上経歴9年

(2) 観 測 値

測高度 a_0 : 器差を加減した実測高度方位角 Z : 計算方位角修正差 I : 航走距離を修正して決定した最も確からしい船位より逆算したもの(同時観測)とし、誤差量の算出資料とした。

(3) 使用計器その他

- ① 六 分 儀 玉屋マイクロ式
- ② 測 程 儀 (曳航測程儀と手用測程儀)
- ③ 時 辰 儀

④ 計算諸表 天測歴、航海表、天測計算表（海上保安庁水路部）

位置決定は作図により、1'=1cm として求めた。

なお、本資料の整理に際して、星測値はすべて同程度の精度をもつものとして処理し*、また、航走距離の修正は、手用測程儀、曳航測程儀の読み（P. log については小数点2桁で四捨五入した）によつたが、観測時における速力は2～6ノット/時（主として帆走）であつたので、転位の誤差は考慮しなかつた。また、針路についても、観測間隔が短時間であつたことから、針路による誤差は考慮に入れなかつた。

以上のことから、この資料より求まる中央誤差量は、眼高差の変化（うねりなど）、天文気差の異常、六分儀・測程儀・時辰儀などの機械誤差および偶然誤差量が総合された海上における実務遂行上考えられる実際面の定量的な誤差量である、と考えて差し支えないと思われる。

3. 資料についての検討

観測資料について、誤差量を表わすための推定中央誤差 $\hat{r}$ を次式によつて求めると次表の如くなる。

$$\text{中央誤差算式} \quad \hat{r} = 0.6745 \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2}$$

ここで、 $\hat{r}$ ：推定中央誤差

v_i ： $x_i - \bar{x}$

x_i ：毎回の観測値

$\bar{x}$ ：観測値の算術平均値

n ：位置の線の数

推定中央誤差 $\hat{r}$ 値表

測者	項目 航海区分	位置の線の数			恒星	惑星	全観測
		総数	恒星	惑星			
A	ポ ー ト ラ ン ド	75	75	—	0.44	—	0.44
	ヒ ロ	81	63	18	0.31	0.93	0.57
	シ ア ト ル	88	83	5	0.31	0.51	0.34
	ホ ノ ル ル	81	62	19	0.46	0.67	0.54
	サ ン ジ イ エ ゴ	66	66	—	0.29	—	0.29
	小 総 合	391	349	42	0.36	0.76	0.45
B	ヴ イ ク ト リ ア	126	115	11	0.34	0.52	0.36
	ホ ノ ル ル	134	118	16	0.48	0.55	0.52
	シ ア ト ル	99	99	—	0.30	—	0.30
	小 総 合	359	332	27	0.39	0.53	0.41
総 合		750	681	69	0.38	0.69	0.43

* 観測者A、Bの全観測についての根源誤差は、ほとんど Gauss の誤差法則にしたがい、正の誤差量と負の誤差量は同程度であつた。したがつて、誤差量は正規分布であつたとみなし、誤差量をあらわす場合の修正は必要ないと見ることができる。Gauss の正規分布式 $y = nh/\sqrt{\pi} e^{-h^2 x^2}$ に叶うものとして処理した。

この表値から観測者A, Bについて見ると, 前者の位置の線 391 本に対する推定中央誤差量 $\hat{r}$ は 0.45' となり, 後者の位置の線 359 本に対するそれは 0.41' の結果を得た。また, それをさらに恒星と惑星について検討すると, Aについては 0.36' および 0.76', Bについては 0.39' と 0.53' となった。両者の惑星の中央誤差量 $\hat{r}$ に大きな差異を見せているのは, 観測値の個人差に基因するが, むしろ全観測 (航海毎の) に対する惑星数によるものではないかと思われる。

また, 航海別に見るとき, 冬期航海 (10月~12月) の値が夏期航海 (5月~8月) より大きな値を示していることに気がつく。これについては, 気象, 海象についても検討を加えてみたが (たとへば風力, 動揺などによる変化, 水平線など) ほとんどその差異は認められず, また, 観測時の航走距離の誤差についても, 前述のように差異はなく, これは案外, 惑星の観測数によるものと考えられる。

また, 観測者A, Bについてみても, 恒星観測による場合と惑星観測による場合の推定中央誤差量 $\hat{r}$ に割合大きな差が認められるが, それは器械的誤差, 個人差, 眼高差, 天文気差等よりも, 惑星観測に左右されるものと判断した方が妥当のようである。

4. む す び

実際の海上における天測値の誤差量については, 種々の誤差が基因し必ずしも定量的な値を表示することは困難性はあるが, 以上の結果を総合し, 海上実務者の実務遂行上の天測値について次の事項を見い出すことができる。

(1) 推定中央誤差量 $\hat{r}$ は

恒星については, 0.4'

惑星については, 0.7'

の見当と見るのが妥当であろう。

(2) 一般星測について, 3~5本の恒星の位置の線と1本の惑星の位置の線を使用すると考えるならば, その推定中央誤差量は, 実際面において 0.45' 見当と見ることができよう。

(3) 星測位置の精度を高めるためには, できるだけ惑星観測をさけ, やむをえず惑星観測を余儀なくされた場合には数少ない方がよい。

(4) したがって, 初心者星測練度向上をはかるためには, 従来から比較的多く見られる惑星観測は, 船位決定の精度向上にはならないので, 恒星観測に重点をおくべきであろう。

以上の結論を見るが, ここでは測者A, Bだけの観測結果から定量的な数値を導き出すことにやや妥当性を欠くが, 一応の目安と今後の海上実務者の天測値の練度向上を目ざす参考資料となれば幸いである。

今回は観測者A, Bだけの調査解析結果に過ぎないが, 今後, 数多くの観測資料と多数くの測者とかから, さらに精度の高い結果を得, また, 明確な結論を得ることができると期待し, 機会をみて継続する予定である。

参 考 文 献

- [1] 鮫島直人著: 船位誤差論
- [2] 樽美幸雄著: 天文航海学

[質疑応答]

只今浅井先生の質問に対して, 最確船位 (M. P. P.) は, 位置の線の二等分線の交点との御

返事でしたが、それだと三角形の内接円または傍接円の中心となり、同量同符号の位置の線の誤差が求められることになり、恒星も、惑星も差はない筈である。そして求められた誤差は、定誤差であるから、正規分布はしない筈だと思われますが如何でしょうか。(鮫島直人)

〔解答〕

1回の船位を求めるための観測星数は4～6個である。その最確船位は定誤差を除去した一点を求め、その一点より位置の線へ下した垂線の長さを夫々の位置の線の誤差として中央誤差 $\hat{r}$ を求めたものである。

真の誤差は求められないので全観測値(誤差)の算術平均と毎回の観測値(誤差)との差を用いて中央誤差を算出したものである。

〔質疑応答〕

眼高差は何で求めたか?

眼高差測定器で求めるか、または計算のとき未知数として、最小自乗法的に取扱はないと、結果は眼高差の誤差も含まれたものと思うが? (鈴木裕一)

〔解答〕

この資料から求めた誤差量は、海上における実務遂行上考えられる実際面の誤差と考えられるので眼高差の誤差も当然含まれている。

〔質疑応答〕

1. 惑星の精度が特に悪い原因?

視半径の問題が含まれていないか?

2. Most Probable Position は、恒星の精度検討には恒星のみ、惑星の精度検討は惑星のみによったか。それとも恒星、惑星こみで M.P.P. を求めたか?

Equal Weight として込みで求めか M.P.P. から天体別の精度を求めることは問題があると思う。(川本文彦)

〔解答〕

(1) 実験を目的にしたものではなく、通常実施した星測結果からの検討であるので、惑星については視半径の問題が含まれ精度の悪い一因であると思われる。なお、今後の資料をもとに検討したい。

(2) 実際、海上において、恒星だけによる星測はできても、惑星だけによる星測で船位を求めることは極めて困難である。

天測時機

観測期間(日々)

惑星を3ヶ以上同時に天空に仰ぐ時機

などから、惑星のみを取り出すことはできない。

従って恒星、惑星込みの位置決定によらざるを得ないのが実際面であろうと考えられる。

なお、天体別の精度については、今後検討してみたい。