

天測計算の誤りについて

高木保昌・中根重勝・合田政次

Miscalculation in Astronomical Navigation

Yasuaki TAKAKI, Shigekatsu NAKANE, and Masaji GODA

One of the main causes for the error of LOP by astronomical navigation is miscalculation. The authors investigated the percentage of the occurrence of miscalculation and the steps of such miscalculation. The subjects of this study were the cadets of the training ship Nagasaki-maru, consisting of 11 juniors (A class) and 7 postgraduate students (B class) of Faculty of Fisheries, Nagasaki University. The data were obtained from their practice note of astronomical navigation on their training cruise from August to October in 1974.

As the result, although there are some differences between the two classes and by the observed celestial spheres, sun and stars, the average percentage of their miscalculation was unexpectedly as high as 40~50%, and considerable discrepancies were noted among individuals in the same class. More than about 60% of miscalculation occurred in the step of altitude calculation where the nautical astronomical table is used frequently.

Generally, they showed a tendency to try only to reduce the time of calculation and to neglect its exactness.

天文航法におけるLOPには種々の誤差が含まれるが、理論的に解明された誤差や使用する天測暦、計算表の誤差はそれほど大きく影響しない。その反面人手によって行なわれる、高度測定技術の巧拙や、天測計算、位置記入などの誤りは、その精度如何によっては測得LOPが利用出来ないほどの大きさとなる¹⁾。それだけに、いわゆる天測技術の向上には高度測定と計算記入の両面に習熟することが不可欠である。

著者等は、本学部練習生の天測における計算面での誤りについて調べ、2、3の知見が得られたので報告する。

方 法

資料： 本学部練習船長崎丸の第67次練習航海における練習生の天測実習の資料を主として用い、熟練者の資料も一部参考にした。

練習生は海技コース三年次生(Aクラス)11名と専攻科生(Bクラス)7名であり、前者のうち水産高校出身者の一部3名と専攻科生は約3~4ヶ月の航海実習を終え、天測の経験をしており、技術面では未熟ながらも、計算方法には習熟しているとみられる²⁾。その他は、数回の計算演習により一応計算方法を理解しているが、はじめて練習航海にのぞむ者である。

整理方法： 各人が、実際に測定し、計算を行ったときのデータをそのまま用いて再計算した。その際に人手によれば再び誤りを生ずることが考えられるので、米村表の原式に従い、本学電子計算機室のFACOM 270-20/30を用いて計算した。

両者の計算高度と方位角をそれぞれ比較し、その差を誤りの値とした。従って高度測定技術の巧拙、すなわち修正差の精度とは無関係である。また誤りの発生段階について調べるため時角も算出した。

集計に際し、高度計算では手計算に使用する米村表の誤差は、一般に中央誤差で $\pm 0.2'$ 程度といわれている³⁾から、 $0.5'$ （以下すべて絶対値）までは $0.1'$ ごととした。それに表の比例部分のとり方やその加減算などの微小な誤りが加わったものとして $0.6' \sim 0.9'$ と、実用上からロランAシステムの空間波によるLOPとほぼ同精度とみられる $1.0' \sim 5.0'$ 、および使用不可能と考えられる $5.1'$ 以上に区分した。

方位角計算では、実用上の観点から一般に 0.1° 単位で算出される。したがって天測計算表に微小な誤差があっても、まれに四捨五入の際に影響し 0.1° の誤差を生ずるにすぎないので、 $0.0 \sim 0.1^\circ$ 、 $0.2^\circ \sim 0.9^\circ$ および 1.0° 以上に区分した。

これらを個人別、天体別に集計し測定回数に対する比率を求めた結果が第1、2表である。

Table 1. Differences between individually calculated values by hand and computer in the sun sight

Name	Altitude									Azimuth			
	N*	0~0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6~ 0.9	1.0~ 5.0	5.1~	0~0.1	0.2~ 0.9	1.0~	
A class	a	39	43.6	2.6	0.0	2.6	0.0	2.6	12.8	35.9	66.7	15.4	17.9
	b	44	41.0	11.4	4.5	2.3	2.3	6.3	22.7	9.1	52.3	11.3	36.4
	c	49	53.1	10.2	2.0	2.0	0.0	2.0	16.3	14.3	57.1	32.7	10.2
	d	49	69.4	6.1	2.0	0.0	0.0	4.1	16.3	2.0	73.4	18.5	8.1
	e	52	46.2	11.5	5.8	1.9	7.7	3.8	11.5	11.5	50.0	25.0	25.0
	f	59	71.2	10.2	1.7	3.4	0.0	1.7	6.8	5.1	67.8	22.0	10.2
	g	31	67.7	9.7	0.0	0.0	3.2	0.0	6.5	12.9	71.0	19.4	9.6
	h	35	31.4	20.0	0.0	5.7	2.9	2.9	22.9	14.3	48.6	14.3	37.1
	i	52	53.8	3.8	5.8	3.8	0.0	7.7	15.4	9.6	55.8	19.2	36.6
	j	51	52.9	11.8	7.8	2.0	0.0	5.9	9.8	9.8	64.7	19.6	15.7
	k	35	28.5	8.6	2.9	5.7	2.9	8.6	11.4	31.5	45.7	20.0	34.3
Total	496	52.0	9.5	3.2	2.6	1.6	4.2	13.7	13.1	59.9	20.1	20.0	
B class	o	28	71.4	7.1	3.6	0.0	0.0	14.3	0.0	3.6	67.9	7.1	25.0
	p	23	47.8	4.3	0.0	13.0	0.0	0.0	17.4	17.4	65.2	17.3	17.5
	q	31	45.3	6.3	6.5	3.2	0.0	3.2	25.8	9.7	64.5	12.9	22.6
	r	16	68.8	0.0	18.8	0.0	0.0	0.0	0.0	12.4	62.5	12.5	25.0
	s	68	66.2	5.9	7.4	1.5	0.0	7.4	5.9	5.9	75.0	14.7	10.3
	t	29	55.2	6.9	3.4	0.0	0.0	6.9	13.8	13.8	86.2	6.9	6.9
	u	24	62.5	0.0	4.2	4.2	4.2	0.0	20.8	4.2	50.0	20.8	29.2
	Total	219	60.2	5.0	5.9	2.7	2.7	5.5	11.4	8.7	69.4	13.2	17.3

* N : number of calculation

結果と考察

高度計算では第1、2表から分かる様に個人差はあるが、全般に $0.0'$ と $0.1'$ がほぼ同率で、 $0.2'$ から急減し $0.3'$ 以上の出現頻度は極く少ない。ことに $0.0'$ や $0.1'$ の占める比率が大きく、誤りの少ない者では $0.3' \sim 0.5'$ の範囲で、ほとんど 0% となっている。したがって $0.5'$ 以下は計算表の誤差に起因するもので、計算は正しく行なわれているものとした。

方位角計算では $0.0 \sim 0.1^\circ$ のうちに 0.1° が $14 \sim 20\%$ 含まれている。これは前記の計算表の誤差によるもののほか、 $0.1'$ 単位まで正確に計算せずに四捨五入して度単位にするための間違いも含まれることが考えられる

Table 2. Differences between individually calculated values by hand and computer in the star sight

Name	Altitude										Azimuth		
	N*	0~0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6~ 0.9	1.0~ 5.0	5.1~		0~0.1	0.2~ 0.9	1.0~
A class	a	49	32.7	6.1	4.1	6.1	0.0	2.0	4.1	44.9	61.2	12.2	26.6
	b	45	28.6	2.2	6.6	6.6	0.0	4.4	15.5	35.4	48.9	11.0	40.1
	c	53	58.5	3.8	7.5	1.9	3.8	7.5	5.7	11.3	75.5	11.4	13.1
	d	51	56.9	13.7	3.9	2.0	0.0	2.0	11.8	9.8	86.3	3.9	9.8
	e	48	43.8	2.1	2.1	8.3	0.0	6.3	14.6	22.9	43.7	16.8	39.6
	f	40	82.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	77.5	10.0	12.5
	g	42	64.3	7.1	4.8	2.4	2.4	2.4	2.4	14.3	68.0	11.9	20.1
	h	34	67.7	5.9	0.0	2.9	0.0	2.9	8.8	11.8	79.4	2.9	17.7
	i	56	51.8	12.5	1.8	0.0	1.8	1.8	7.1	23.3	64.3	3.6	32.1
	j	53	66.0	5.7	1.9	3.8	0.0	5.7	11.3	5.7	83.1	5.7	11.2
	k	57	36.8	5.3	3.5	7.0	5.3	5.3	7.0	29.8	49.1	19.4	31.5
Total	528	52.7	6.4	3.4	3.8	1.3	3.8	8.1	20.4	66.7	10.1	23.2	
B class	o	57	68.4	1.8	3.5	1.8	1.8	3.5	10.5	8.8	82.4	8.8	8.8
	p	45	33.3	11.1	4.4	2.2	0.0	0.0	17.5	31.1	57.8	17.8	24.4
	q	44	47.8	6.8	2.3	0.0	0.0	4.5	13.6	25.0	54.6	13.6	31.8
	r	34	64.8	5.9	5.9	2.9	0.0	2.9	5.9	11.7	79.4	5.8	14.8
	s	35	60.0	11.4	5.7	2.9	0.0	0.0	8.6	11.7	80.0	0.0	20.2
	t	56	44.7	3.6	1.8	0.0	1.8	7.1	16.1	25.0	64.3	19.7	16.0
	u	30	46.7	0.0	3.3	3.3	10.0	10.0	20.0	6.7	70.0	6.6	23.4
	Total	301	52.1	5.6	3.7	1.7	1.7	4.0	13.3	17.9	69.4	11.2	19.3

* N : number of calculation

が、0.0°と0.1°を正しいものとして集計した。

高度と方位角を別々に集計したが、一方が正しくとも他方で誤っている場合もあるので、高度は0.5'以下で、かつ方位角では0.1°以下のものを正しい計算がなされたものとして個人別、天体別にその比率を示したものが、第3表で、それらをクラス別にまとめた結果が、第1図である。(Bクラス, t, uは時角計算結果の記録がないため発生段階については除外した)

1. Aクラス

天体による差は少なく、いずれも平均50%前後の誤りがあるが、最高最低の幅が40~50%に達し、RMSも±15%で個人差が大きい。

誤り発生率の高い者のノートは、書き方が不揃いで一定しておらず、また時辰儀違差、均時差の比例部分、眼高差の改正などが正しく行なわれていないことが散見された。

一部の経験者は誤りが少なく、Bクラスに比べて損色なく、高い確度を示している。

2. Bクラス

Aクラスに比べ太陽の場合には約10%良いが星ではほとんど同じである。また個人差も大きく、Aクラスとはほぼ同じ程度のバラッキがあり、経験の差は明らかでない。ただ前記のAクラスの一部経験者を除いて比較すれば、7~15%の差となり、経験による差があると言えよう。ちなみに熟練者はBクラスよりも更に15~24%高くなっている。

3. 計算段階別の誤り

天測計算の過程は、時角、高度および方位角の三段階に区分される。測定回数に対する各段階で発生した誤

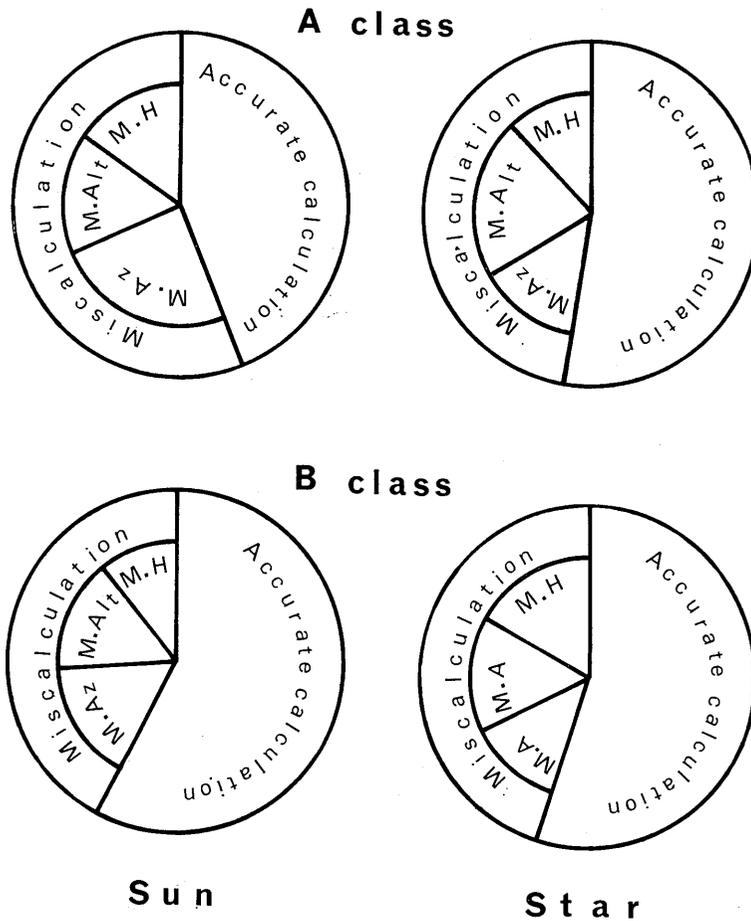


Fig. 1. Rate of miscalculation in each step of calculation by class

M. H : Miscalculation of hour angle
 M. Alt : Miscalculation of altitude
 M. Az : Miscalculation of azimuth

転に対する不注意もその一因と考えられる。

星の場合は同じ日に行なわれた計算の誤りは同じ段階に集中していることが多い。これは日出没時頃に5～6個の天体を測定し、まとめて計算するため、共通部分で同じ誤りをするものと考えられる。

しかし、同一観測者でも、天体によって異った傾向を示し、偶然性がかなり強いことを示している。またAクラスで両天体とも、各段階で一樣に高い比率を示している者は、経験回数の差のみならず、天測計算そのものの理解度が低く、また全般にわたって正確さに欠けるものと考えられる。

Bクラスの中には、ある段階で非常に高率を示し、Aクラスの初心者とほぼ同程度であり、クラス全体の比率を高くしている。彼らは計算方法をマスターしているかどうか疑わしい。しかしながら、ある程度慣れるにつれて正確さに対する配慮がおろそかになったものとも考えられる。

4. 経験回数との関係

全航程を寄港地毎に区切って、初、中および終期に分け、クラス別の誤り発生率を第2図に示す。

両クラスとも航海日数の経過に伴い発生率が低下しているが、Aクラスの終期はBクラスの中期とほぼ等しく、経験による効果は明らかである。しかしBクラスの初期は、Aクラスの終期を上廻っている。

同一クラスの異なる年度による比較ではないから断定は出来ないが、前航海で完全に習熟していないため、それ以来約二年間のブランクで後退したものと考えられる。したがって完全に理解習熟することと共に、普段

り数の比率は第3表と第1図の通りである。

これらは各段階の結果のみについて集計したから、計算途中に誤りがあっても相殺された場合や、計算表の誤差範囲を0.5' (方位角では0.1°) としたために、厳密に言えば微少な誤りが含まれる場合も、すべて正しく計算されたものとした。

時角計算で、すでに10～17%の誤りを生じている。この段階では簡単な時間と角度の加減算であるが、時間と弧度の換算においては、計算表によらず暗算による場合の錯覚も主因の一つであると考えられる。

高度計算は、天測計算表から数値を求める回数が多く、特にその比例部分のとり方や、五桁の加減算の誤りが加わり、15～20%に達している。

太陽の場合には方位角計算の誤りが高度計算の場合を上廻っているのは、赤道通過や、太陽赤緯の符号反

Table 3. Rate of miscalculation in each step of calculation

Name	Sun					Star					
	N	T. M	M. H	M. Alt	M. Az	N	T. M	M. H	M. Alt	M. Az	
A class	a	39	66.7	15.4	35.9	15.4	49	65.3	16.3	34.7	14.3
	b	44	63.6	26.3	13.6	22.7	45	71.1	13.3	42.2	15.6
	c	49	63.2	14.3	20.4	28.6	53	37.7	3.8	20.8	13.2
	d	49	34.7	6.1	16.3	12.2	51	27.5	7.8	17.6	2.0
	e	52	61.5	13.5	13.5	34.6	48	64.6	29.0	25.0	20.8
	f	59	42.3	8.5	5.1	28.8	40	22.5	2.5	10.0	10.0
	g	31	41.9	6.5	12.9	22.6	42	35.7	7.1	11.9	16.7
	h	35	71.4	25.0	17.1	31.4	34	32.4	11.8	11.8	8.8
	i	52	55.8	19.2	9.6	25.9	56	46.4	16.1	19.7	10.7
	j	51	47.1	13.7	11.8	21.6	53	35.8	9.4	13.2	13.2
	k	35	77.1	22.9	28.6	25.7	57	66.7	21.1	21.1	24.6
Total	496	55.8	15.1	15.9	24.8	528	46.8	11.9	21.0	13.8	
B class	o	28	46.4	3.6	14.3	28.5	57	31.6	8.8	15.8	7.0
	p	23	43.4	13.0	21.7	8.7	45	57.8	33.3	15.6	8.9
	q	31	48.4	12.9	25.8	9.7	44	65.9	15.9	27.2	22.7
	r	16	37.5	6.3	6.3	25.0	34	29.4	17.6	2.9	8.8
	s	68	35.3	10.3	8.8	16.2	35	37.1	8.6	11.4	17.1
	Total	166	41.0	9.6	14.5	16.9	215	44.7	16.7	15.3	12.6

N : number of calculation M. H : miscalculation of hour angle M. Az : miscalculation of azimuth
 T. M : total miscalculation M. Alt : miscalculation of altitude

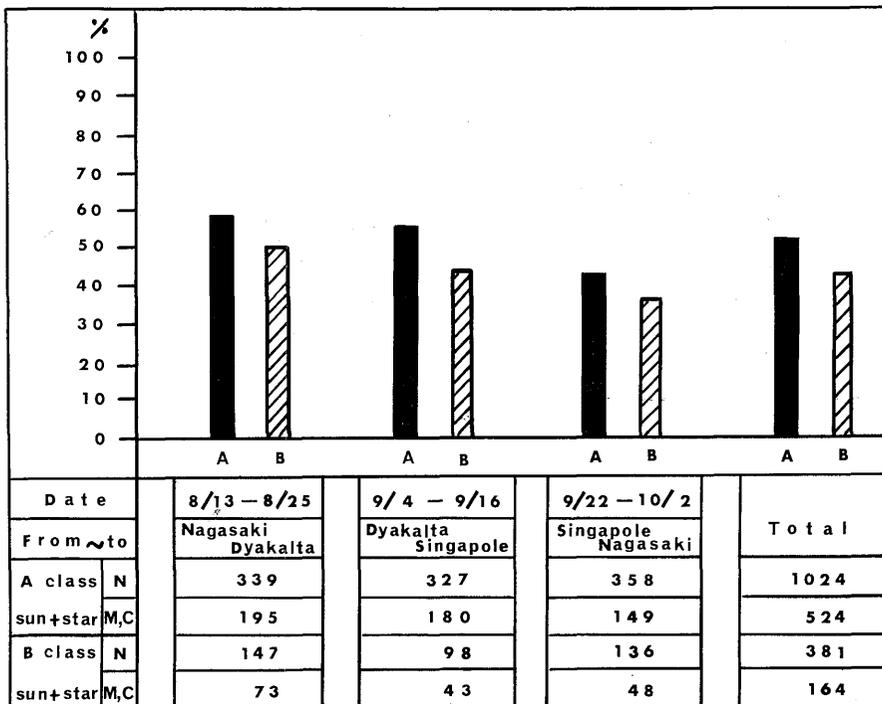


Fig. 2. Rate of miscalculation by class and by the term of cruise

の練習も必要であろう。

船酔い度と作業能力との間には密接な関係があり⁴⁾天測計算においてもその影響が大きいと考えられるからその割合についても調査した。しかしながら全航程を通じて好天にめぐまれたため、船酔するものはほとんどなく、誤りの発生との関係については明確にし得なかった。

5. 計算の確度

実用上の観点から高度 $0.9'$ 以下，方位角 0.9° 以下を許容範囲とした場合，平均 $70\sim 80\%$ である。両クラスを通じ約半数の者が高度 $5.0'$ 以上，方位角 1.0° 以上の誤りの発生率 $20\sim 30\%$ に及び，根本的な理解度の不足と計算態度における慎重性の欠除がうかがわれる。

一般に練習生の間には，計算の所要時間が短いことを競い合う傾向がある。算出した結果に対する責任がないため，時間短縮にばかり重点を置き，精度に対する配慮に欠け，微小部分の取扱いが粗雑になるものと考えられる。

天測船位の精度は，高度測定技術と計算精度によって左右されるから常に慎重な計算態度が必要である。近年，航海士の労力節減や，計算の簡便化のために，新造船には種々のコンピュータの導入が進められているが経費の問題もあって普及度は低い。天測計算上の誤りの解消のためにも非常に有効であり，時間短縮にもなるので，小型の簡便でしかも安価な計算機の開発と普及が望まれる。

要 約

手計算における誤りは当然予想されることではあるが，その発生率が意外に高い。それは練習を重ねるにつれ減少する一方，慣れに伴う慎重性の欠如も生ずる。

天測船位は，他の諸原因による誤差が加わるから，その精度が一層低下する。精度向上のために，高度測定技術の習熟と平行して，計算の面では時間短縮を図る前に正確さ，特に表値の比例部分の取扱いや簡単な加減算における慎重性をもっと重視すべきである。

おわりに，種々御協力いただいた長崎丸の矢田船長，秋重一等航海士，練習生諸君，および本学部学生下野不二雄君に深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 鮫島直人：船位誤差論，天然社，東京，p. 26—27 (1954)
- 2) 中根重勝・日高 昇：天測の個人誤差について，本誌，28，205—212 (1969)
- 3) 岩永道臣・樽美幸雄：精説天文航法（下），成山堂，東京，p. 158，(1963)
- 4) 神田 寛・山上明倫：船酔に関する研究（第1報），労働科学，38，466—469 (1962)