

天測計算における誤りの内容について

合田政次・高木保昌・中根重勝・久野俊行・吉村 浩

On the Contents of Errors in Astro-Navigation

Masaji GODA, Yasuaki TAKAKI, Shigekatsu NAKANE,
Toshiyuki KUNO and Hiroshi YOSHIMURA

In astro-calculation, it is effective and necessary for the education and instruction for students to make clear the steps of the many errors and their contents. The data is the same as in a previous paper. We subdivided the calculation into 22 steps, and checked on the percentage of error and its contents in detail.

As a result, the percentage of error of plural steps in one astro-calculation decreased accordingly as cadets were promoted to higher classes. The highest average of the error is shown in azimuth calculation. The error of steps in which they use the Altitude and Azimuth Tables decreased with the promotion of school year and according to progress in mastering astro-calculation. But we were surprised that they made many errors in subtraction, especially in azimuth calculation, and we could see no difference between the school years. Subtraction in azimuth calculation has absolutely nothing to do with the rate of mastery of astro-calculation.

前報(1)では天測計算において、計算の誤りがどのような割合で発生するかについて報告したが、その内容に関しては、計算過程を時角、高度、方位角の3段階に大別して考察を行なった。

本報では各計算段階を更に細分し、誤りの内容を詳細に分類して考察を加え、その結果誤りの発生頻度や習熟度との関係などについて知見を得たので報告する。

資料および整理

資料は前報(1)と同じもので、本学部海技コースの学生3クラスの各3ヶ年間にわたる天測計算練習ノートにより、総数13,305回の天測計算結果を用いた。計算過程を時角、高度および方位角の3段階に大別し、全資料より各段階において、正しい結果との差が時角で0.3′、計算高度で0.6′および方位角では0.2°以上の値を示すものを計算に誤りがあるものとして選び出した。各段階は4~10段階の計算により構成されているが、これを便宜上項目(step)と名付けて区別した。

計算の過程においては、前の項目の結果が次の項目の計算要素となるから、ある項目で誤りを生ずるとそれ以後はすべての項目で、誤った結果が生ずる。しかしいったんある項目で誤りをおかしても、その結果をそのまま次の項目の計算要素とした場合、計算そのものは正しく行なわれたか否かについて点検した。このようにして各項目の誤りの数をクラス別および学年別に集計し天測計算回数との比率を求めた。学年、クラスの区分方法は前報(1)と同様である。天測計算の過程は米村表(2)に従って細分して各項目を記号で表わすこととしその内容をTable 1に示す。なお略号・記号は航海用語集(3)によった。

結果と考察

1 計算過程はTable 1に示すように22項目に細別される。従って1回の計算のうちには、ただ1項目においてのみ誤りをおかしているものと、複数の項目にわたっている場合とがある。そこで誤りの項目数が

Table 1. Marks of steps in astro-calculation and their meaning.

Mark	Meaning
H1	universal time+equation of time+12 ^h =H _G (greenwich hour angle)
H2	H _G in time → H _G in angle
H3	H _G ± Long. in time = H.A. (hour angle)
H4	posting of Long.
A1	H.A. → A ₁
A2	dec. → A ₂
A3	lat. → A ₃
A4	A ₁ + A ₂ + A ₃ = A ₄
A5	A ₄ → A ₅
AD	lat. ± dec. = LD
A6	LD → A ₆
A7	A ₅ + A ₆ = A ₇
A8	A ₇ → altitude
A9	posting of lat. or dec.
Z1	H.A. → Z ₁
Z2	dec. → Z ₂
ZZ	Z ₁ + Z ₂ = ZW
Z3	A ₇ → Z ₃
Z4	ZW - Z ₃ = Z ₄
Z5	Z ₄ → azimuth
Z6	determination of a sign North or South
Z7	determination of a sign East or West

→ : use the table

A₁ ~ A₇, Z₁~Z₄ are the marks of Altitude and Azimuth Tables.

Abbreviated marks are based on the book of navigational terms.

1, 2 および 3 以上の場合に分類し, 誤計算回数に対する比率をもとめ測定天体別, 学年別にあらわしたものが Table 2, Fig. 1 である. 各学年とも天体による差は少なく, 学年がすすむにつれ複数項目の場合が減少し 3 年では 30% 以上におよぶものの, 5 年ではほぼ半減しており習熟度と理解度の高まりを示している. 5 年における 3 項目以上の場合には太陽で 22 回, 星で 15 回にすぎず, 各クラスとも 1~2 名の者に限られ, 特定の個人による影響が著しくあらわれている. 従って大半は 1 項目のみであり, その主因は不注意によるものと考えられる.

2 各計算段階における項目別誤りの, 計算回数に対する割合を学年別に示したものが, Table 3 および Fig. 2, 3 である.

(i) 時角計算においては, 太陽の場合最も高率な項目は H2 である. 3 年では推測経度をいったん時間に換算してグリニジ時に加減し, 再び時角に換算するというように計算方法をよく理解していない者が数多くみられる. これと表を引く事の不慣れさとがあいまって高率になっていると考えられる. 高学年になると上記の様ないわゆる 2 度手間はしなくなり, 計算方法はよく理解していると考えられるが, 表を引く場合の粗雑さや, 暗算で換算する場合の誤りが目立つ. H1 は加算のみであるが位取りの誤りのため他の加算の場合よりやや多い. 星の場合にはさらに E_{*} の比例部分のとりまちがいが加わり 3.2% の高率を示している. H3 は加減算であるが航海区域がほとんど東経であったため, 大部分が加算のみであり誤りは比較的少ない. H4 は転記する際の誤記であり計算の誤りとは異なるものであるが, 高学年になると非常に少なくなり, 習熟度によって左右されるものと考えられる.

(ii) 高度計算は最も項目数が多く, しかも米村表を

Table 2. Percentage of miscalculation in each number of miscalculated steps.

School year	Sun					Star				
	N _m	N _s	1	2	3	N _m	N _s	1	2	3
3	1044 (2476)		68.5	22.4	9.1	1058 (2612)		66.4	21.2	12.5
4	631 (2279)		76.7	17.9	5.4	689 (2127)		74.8	15.4	9.9
5	488 (1767)		83.6	11.9	4.5	554 (2044)		81.2	16.1	2.7

N_s : Number of miscalculated step

N_m : Number of miscalculation

() : Number of calculation

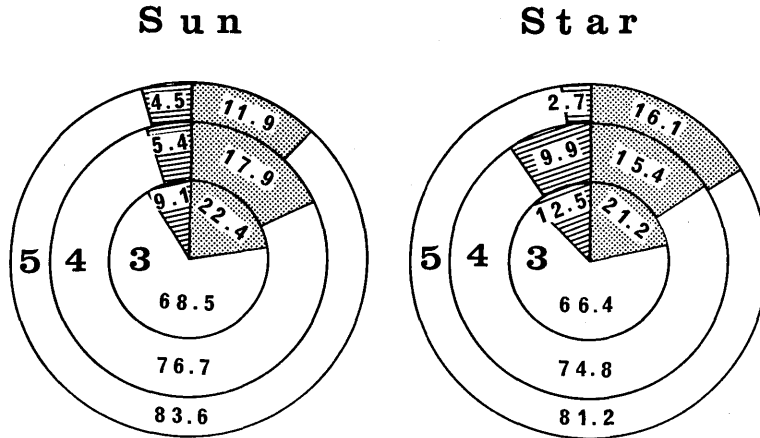


Fig. 1. Percentage of miscalculation in each number of miscalculated steps.

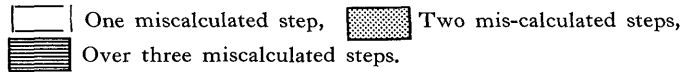


Table 3. Percentage of miscalculation in each step.

Mark	Sun				Star			
	3	4	5	Total	3	4	5	Total
H1	2.0	2.0	1.8	1.9	3.4	4.0	2.4	3.2
H2	4.3	2.9	2.6	3.3	3.3	2.7	2.4	2.8
H3	2.0	1.5	1.0	1.5	1.9	1.2	1.8	1.6
H4	1.5	0.8	0.4	0.9	0.5	0.5	0.0	0.3
Mean	2.5	1.8	1.5	1.9	2.3	2.1	1.6	2.0
A1	2.8	1.5	2.3	2.2	2.6	1.6	1.2	1.8
A2	0.8	0.7	0.3	0.6	2.1	1.2	0.8	1.4
A3	2.1	0.4	1.8	1.4	1.5	1.1	0.6	1.1
A4	1.8	0.6	1.0	1.1	1.9	1.4	1.1	1.5
A5	3.9	1.7	2.3	2.6	4.0	1.8	1.6	2.5
AD	2.5	1.3	0.9	1.6	2.9	1.7	1.6	2.0
A6	4.4	1.3	1.6	2.4	4.3	3.6	0.6	2.8
A7	0.5	0.6	0.1	0.4	1.2	0.4	0.3	0.6
A8	5.8	3.1	3.2	4.0	6.9	4.3	3.0	4.8
A9	0.7	0.2	0.1	0.3	0.3	0.7	0.1	0.3
Mean	2.5	1.1	1.4	1.7	2.8	1.8	1.1	1.9
Z1	4.9	1.6	1.6	2.7	4.2	2.5	2.0	2.9
Z2	1.3	0.7	0.2	0.7	2.2	0.8	0.8	1.3
ZZ	1.3	0.6	1.1	1.0	1.3	1.0	1.5	1.3
Z3	6.7	3.6	2.3	4.2	3.2	2.0	1.4	2.2
Z4	3.5	3.8	3.7	3.6	4.2	4.0	4.0	4.1
Z5	4.3	2.7	3.0	3.4	3.9	3.9	2.6	3.5
Z6	2.9	3.9	2.0	2.9	4.0	3.5	2.8	3.5
Z7	0.9	0.4	0.3	0.6	1.8	1.2	0.9	1.3
Mean	3.2	2.2	1.8	2.4	3.1	2.4	2.0	2.5

3 : Junior class, 4 : Senior class, 5 : Postgraduate class.

使用して弧度から表値を求めたり、あるいはその逆の操作を行なう項目(表引き)が過半数を占め、他の項目は比較的単純な加減算である事から、表引きの習熟度が大きく影響する。表引きの各項目のうち表値から弧度を求める A8 で各学年とも最も高率を示し、表値から表値を求める A5 や、表の引き方が上段からとなる A6 がこれに次いでいるが、特に不慣れな 3 年では 4.4% で A5 よりも高率となっている。A1 は正中時前後に天測を行なった場合比例部分の数値が大きくなり、これを暗算で計算したり、また時角によって表引きの方向が変わる事などのため誤りをおかすことが多く、学年がすすんでもあまり減少しない。A2, A3 は最も簡単な表引きで、下段より同じ欄にある表値を求めるため誤りも少ない。加算のみの A4 と A7 は比較的低率であり 3 年でも 1% 台である。しかし AD は、測者の緯度と天体の赤緯によって加算または減算となるが、減算の場合に誤り易い。特に星の場合には測定した星ごとに赤緯が異なるので減算と加算をまちがえるという誤りも見られた。また 3 要素でも加算のみの A4 よりも高率であり、減算における誤りが多いことを示している。A9 は H4 と同じく誤記であるが、天測暦から求めた赤緯を緯度の下へ記載するのが普通であるが、赤緯の下に緯度を転記するときに誤記を生ずることがあった。しかしその数は少なかった。

(iii) 方位角計算における Z3, Z5 は高度計算の A5, A8 と同様比較的複雑な表引きである。Z3 においては計算に慣れていない 3 年は太陽で 6.7% の最高率を示しているが、学年が進むにつれ急減する。また星の場合の方が各学年とも低率であるのは、一般に太

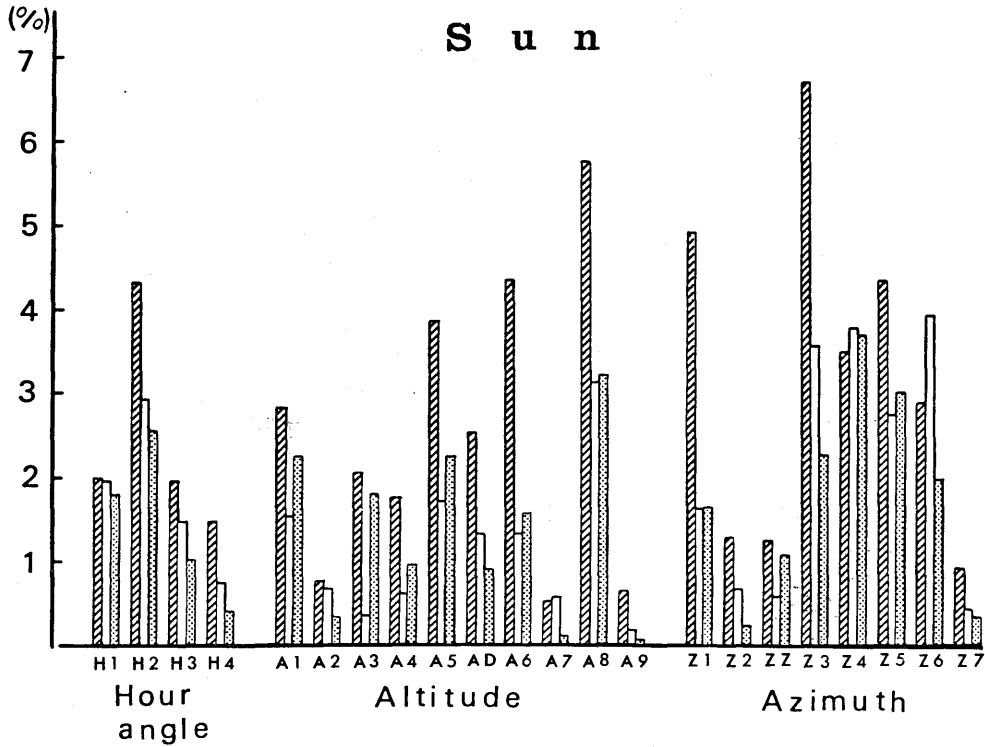


Fig. 2. Percentage of miscalculation in each step.

Junior class,
 Senior class,
 Postgraduate class.

Marks are based on Table 1.

陽での計算である程度慣れてから行なうことによるものと考えられる。一方 Z5 は学年間の差が少なく、表引きに慣れて減少する反面、引き方の粗雑さによる誤りが加わるものと考えられる。Z1 は A1 と同じような表引きであるが全般的に A1 より高率である。これは A1 に対応する Z1 の値を引くべきところを、1 行上下の値を引いたり、A5 の欄の値を引いたり、あるいは 1° 異なった Z1 の欄から引いたりする誤りが多い。なお比例部分を加減しなかったり、その加減算をまちがえているのも見られたが、その誤りのみでは 0.1° 以内の誤差におさまるものとして扱われている。このような誤りや、誤りが相殺される場合等を考慮すると実際の誤りはさらに増加するものと考えられる。Z2 は A2, A3 と同様簡単な表引きで誤りも少ないが、本来 Z2 と A2 は同値であるから同率になるものと予想されたが、学年によってわずかながら差があるのは A3 の値を転記したり、Z2 で再び表を引いた際の誤りによるものである。加算のみの ZZ と減算の Z4 では両者に顕著な差がみられる。Z4 は高率でしかも高学年になってもほとんど減少しない。それらは誤って加算を行っていたり、減算をしないまま

Z3 から方位角を求めたりするものも多少みられたが、大部分は単純な減算そのものの誤りであった。符号の決定のうち Z7 では時角のみによって決定されるから誤りも少ないが、Z6 では赤緯と緯度が同名で、計算高度と東西圏上の高度を比較して決定しなければならない場合に誤りが多く、計算が粗雑であったり、表値（第 7 表）を求めず憶測によって決定していると考えられる。

3 各段階別の平均値は各学年とも方位角計算で最も高率を示し、3 年では表引きに不慣れのため項目数の多い高度計算がこれに次ぐが、4 年になると急減し 5 年では最低率となり、習熟の割合によって左右されることを示している。他の段階でも学年の進むにつれて減少するが、その割合は低い。習熟することによって減少する割合は同じであるとすれば、慣れによる不注意や粗雑さによる誤りが増加するものと考えられる。次に各項目をその内容によって表引き、加減算およびその他に大別し各々を 3~4 種類に細分し (I-1~III-3) Table 3 の値から学年別の平均値を求めたものが Table 4 であり、全学年の平均値および 5 年の平均値を Fig. 4 に示す。表引きに不慣れな 3 年でも (I-1)

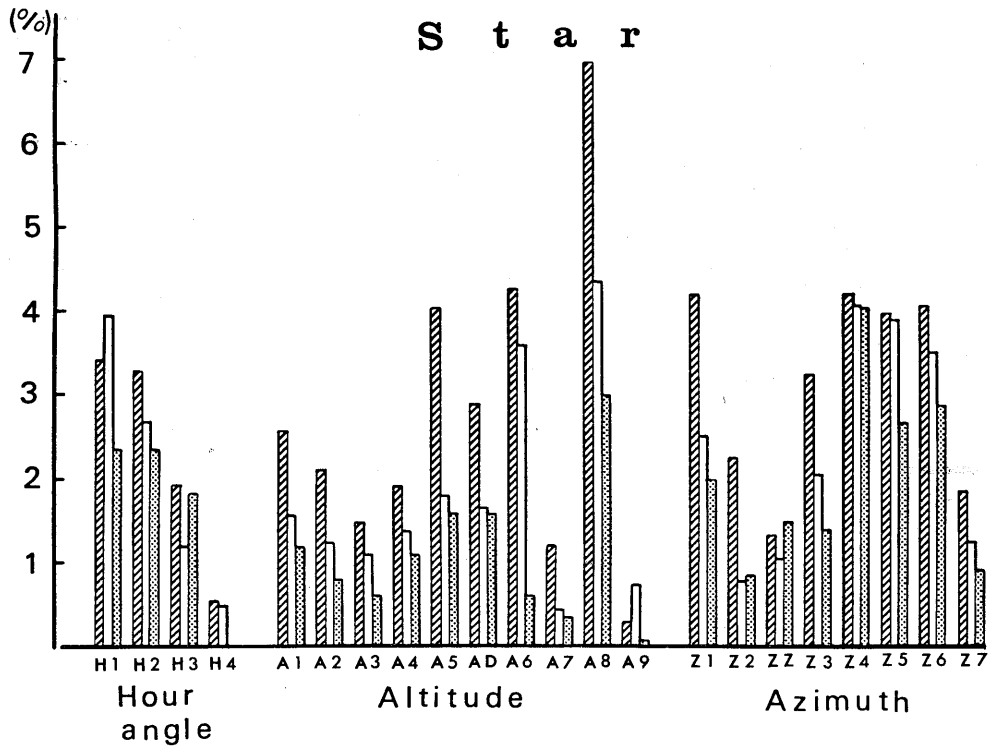


Fig. 3. Percentage of miscalculation in each step.

Junior class,
 Senior class,
 Postgraduate class.

Marks are based on Table 1.

Table 4. Percentage of miscalculation in each section of calculating method.

Section of calculating method	Steps	Sun				Star			
		(3)	(4)	(5)	Mean	(3)	(4)	(5)	Mean
I Use of the tables	1 A2, A3, Z2	1.7	0.6	0.8	1.0	1.9	1.0	0.7	1.2
	2 A1, A6, Z1	4.0	1.5	1.8	2.5	3.7	2.5	1.2	2.5
	3 A5, A8, Z3, Z5	5.2	2.8	2.7	3.6	4.5	3.0	2.1	3.2
	4 H2	4.3	2.9	2.6	3.3	3.3	2.7	2.4	2.8
	Mean	3.9	1.8	1.9	2.5	3.5	2.3	1.5	2.4
II Method of addition and subtraction	1 H1, A4, A7, ZZ	1.4	0.9	1.0	1.1	2.0	1.7	1.3	1.7
	2 H3, AD	2.3	1.4	1.0	1.6	2.4	1.4	1.7	1.8
	3 Z4	3.5	3.8	3.7	3.6	4.2	4.0	4.0	4.1
	Mean	1.9	1.5	1.4	1.6	2.4	2.0	1.8	2.1
III Others	1 Z7	0.9	0.4	0.3	0.6	1.8	1.2	0.9	1.3
	2 Z6	2.9	3.9	2.0	2.9	4.0	3.5	2.8	3.5
	3 H4, A9	1.1	0.5	0.2	0.6	0.4	0.6	0.0	0.3
	Mean	1.5	1.3	0.7	1.2	1.7	1.5	1.0	1.4

(3) : Junior class, (4) : Senior class, (5) : Postgraduate class.

Each step is separated from I-1 to III-3 by means of calculating method and when plural steps were included in it their mean value is shown.

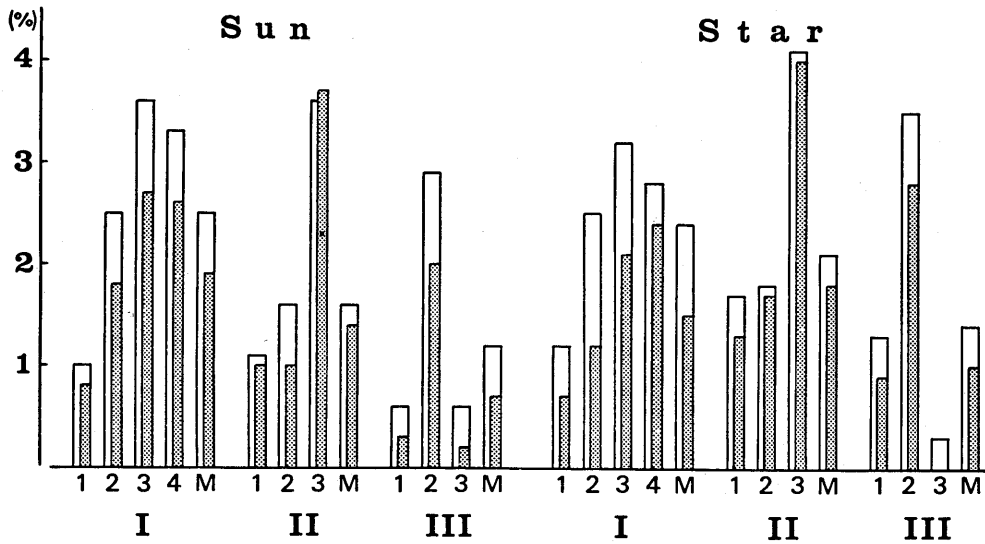


Fig. 4. Percentage of miscalculation in each section of calculating method.

▨ Postgraduate class, □ Mean value.

Arabic, Roman numerals and M are based on Table 4.

のような簡単な場合は加算（Ⅱ-1）と同程度で、習熟するとそれ以下に減ずる。一方ややまぎらわしい（Ⅰ-2, 3）では2～3%にまでしか減少しない。加減算では全般的に学年間の差が小さいが特に（Ⅱ-3）は3者ともほぼ同率であり、減算そのものの誤りであるから、天測計算に限らず他の計算においても同様な率で誤りをおかすものと考えられる。その他のうち（Ⅲ-2）が高率を示し、減少の割合も少ないが、（Ⅲ-3）は習熟するに従いほとんど誤りを生じなくなる。全般的に表引きが最も高率であるから、反覆練習により表に慣れ、減算を慎重に行い、N, S の符号決定を正確に行なうことにより、大幅な改善が期待できよう。

ま と め

- 1 1回の天測計算の中で複数箇所において誤りをおかす事は、高学年になるにつれて少なくなり、5年では3箇所以上の誤りはきわめて少ない。
- 2 各学年とも方位角計算で単位計算項目当りの誤

り発生率が最も高いのは、減算と符号決定の項目が高率であることに起因する。

3 表引きは各計算段階とも習熟するにつれて減少する傾向がみられる。減算は学年による差がほとんどなく、天測計算の習熟度とは無関係である。

4 高学年では符号決定や換算の粗雑さと不注意により、習熟による誤りの減少を妨げる傾向がある。

おわりに、種々御協力いただいた鶴洋丸船長阿部茂夫教授、長崎丸船長矢田殖朗助教授をはじめとし、両船の乗組員各位、および、練習生諸君に深甚の謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 高木・合田・中根・久野・吉村（1979）. 本誌, (47), 83～89.
- 2) 海上保安庁. 書誌第601号天測計算表.
- 3) 日本航海学会（1978）. 航海用語集.