

# 学生群の天測精度について— I.\*

## 天測技量の上達過程

内田和良・浜口正人・深田耕一

### On the Accuracy in Astronomical Observations by the Cadet Groups — I. Process of Gaining Skill in the Meridian Altitude Observations during Training Cruise

By

Kazuyoshi UCHIDA, Masato HAMAGUCHI, and Koichi FUKADA

Position fixing by astronomical observations has its basic importance even in the present days in spite of a remarkable advance in electronic navigation aids. The present report aimed at showing quantitatively the process of the cadets gaining skill in the meridian altitude observation during the extensive cruise in the western central Pacific and its adjacent waters from 1969 to 1975. The results obtained were summarized as follows:

1. As shown in Fig. 2, the variation of the altitudes observed by the untrained cadets ranged more than 10 miles, but became smaller with progress in training and settled down less than 3 miles within two months.
2. The skillfulness was represented by the standard error ( $y$ ) of the observed altitudes, and the following three equations were adopted to express the process of gaining skill:

$$y = ae^{-bx} \dots\dots\dots \text{I}$$

$$y = a + \frac{b}{x} \dots\dots\dots \text{II}$$

$$y = ax^{-b} \dots\dots\dots \text{III}$$

where  $x$  is the number of watches trained for the observations.

The estimated coefficients and the results of the test of fitness to the observed series of the standard error were shown in Table 1 and Fig. 3.

3. Equation I showed the closest approximation to the observed trend throughout the

---

\*水産大学校研究業績 第780号, 1977年1月18日 受理.

Contribution from the Shimonoseki University of Fisheries, No. 780.

Received Jan. 18, 1977.

process. In order to estimate the number of watches necessary for attaining to the satisfactory level as navigator (i.e. 0.7 miles in standard error), however, Equation III was more suitable than the former.

4. The number of watches necessary for training differed according to the altitude. The number of watches of necessity under respective altitudes was estimated to be as follows, under the setting that the applicable level as the apprentice officer is 1 mile in the standard error:

lower than 75°	7
lower than 83°	10
higher than 87°	19

安全な航海をするためには船位決定の精度が高くなければならない。近年、電波計器の発達により電波航法が定着し人工衛星航法時代の幕開けがみられるけれども、天体観測による船位決定法はあくまでも基本的な航海術であり、大洋航海における重要性は依然として必要不可欠であると考えられる。

天測位置の精度は位置の線の精度により左右される。位置の線の精度に影響をおよぼす要素として、天体の高度測定時に定誤差として上げられる理論誤差、器械誤差、個人誤差と過失誤差および偶然誤差がある。これらのうち個人誤差と偶然誤差について検討した。個人誤差は定誤差として取扱われているが常に一定ではなく、特に初心者においては変動が大きい。そこで本報告では初心者（学生）群の天測技量はどのような個人誤差および偶然誤差を有し、どのように上達して行くかを数量的に把握するため、練習船の実習中に得た太陽高度観測の結果を用いて検討を加えた。

## 材料および方法

本報告に用いた資料は次の方法によって得られた。

1. 本校漁船運用学課程 4 年次生を A・B の 2 群に分け、隔日毎に天体観測実習を行ない、その測定高度を用いた。
2. 使用した六分儀は玉屋製 I 又は II 型である。出港前にあらかじめ十分器差修正を行なった器体を、両群より 1 名ずつ計 2 名を 1 組とし、各組に 1 台ずつ貸与した。
3. 各器体における器差の値は定期的に可能な限りの多人数で器体ごとに器差測定を行ない、その平均値を用いた。
4. 実験は 1969, '72-'75 年の 5 年間、本校練習船耕洋丸 (1215.33 トン) の遠洋航海中、第 1 図に示す海域で観測可能な日すべてにわたり、太陽下辺高度観測を午前と正中時に行ったものを用いた。
5. 気温、水温、気圧等は気象報告用機器により計測した値を用い、その他の推測位置決定に必要な要素は全て同じ値を用いた。
6. 測定値中、異常にとびはなれた値がみられる場合は SMIRNOV の棄却検定 (95% の信頼度)<sup>1)</sup> にしたがって棄却後整理した。
7. 天測誤差における個人誤差と偶然誤差については多くの報告がなされているが<sup>2)3)4)</sup>、個人誤差は多数回の測定を整理しその算術平均値から求め、偶然誤差はいわゆる確率論的処理法により中央誤差 ( $\sigma=0.6745s$ ) として表わされている<sup>2)5)</sup>。本報告では子午線正中時の太陽観測を一般的解析法に準ずることとした。す

なわち正中時の高度測定時期は1日1回であるため、毎日の測定値よりその群の平均値を求め学生（初心者）群の中央値とし、これよりのひろがりか偶然誤差と考えられるので、後者のばらつきを標準誤差( $s$ )で表わし、天測技量の上達過程を標準誤差で検討することとした。

8. 天測技量の上達過程を知るため数式化をこころみると共に、最低限必要とされる精度を標準誤差で1マイルと決め目標達成までの回数について検討を加えた。

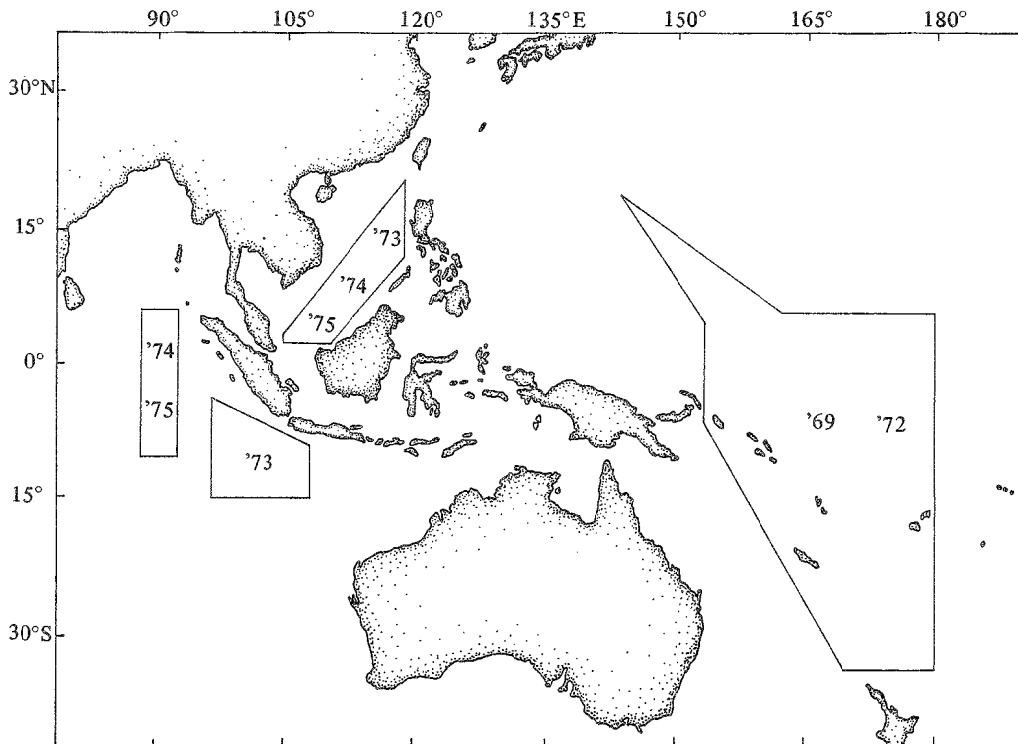


Fig. 1. The training areas of the cadets for position fixing.

## 結 果

天測により位置を決定する場合、種々の条件が精度に影響をおよぼすが、本報告では学生群の天測技量の上達過程を把握することが目的であるため、日々変化する諸条件のもとでどのように上達して行くかを検討した。上記方法により整理した結果を第2図に示した。

第2図にみられるように席上課程で理論と実験を経てきて、実際に洋上で天体観測に直面した場合は相当の戸惑いをみせ、学生群の測定値の分布範囲は最初10マイル以上にもおよんでいる。しかし、天測回数を重ねるごとに急速にその分布範囲は小さくなり、一定回数を経験すれば測定値の分布範囲の変動も安定する。その後は徐々にその範囲が小さくなり航海終了近くには3マイル以下となる。これを標準誤差値であらわせば最初3マイル前後であるにもかかわらず、航海終了近くでは0.7マイル以下となり、学生群の天測技量には十分な上達がうかがわれる。すなわち測定値は変動をしながらも回数を経るにしたがい測定値の分布範囲を

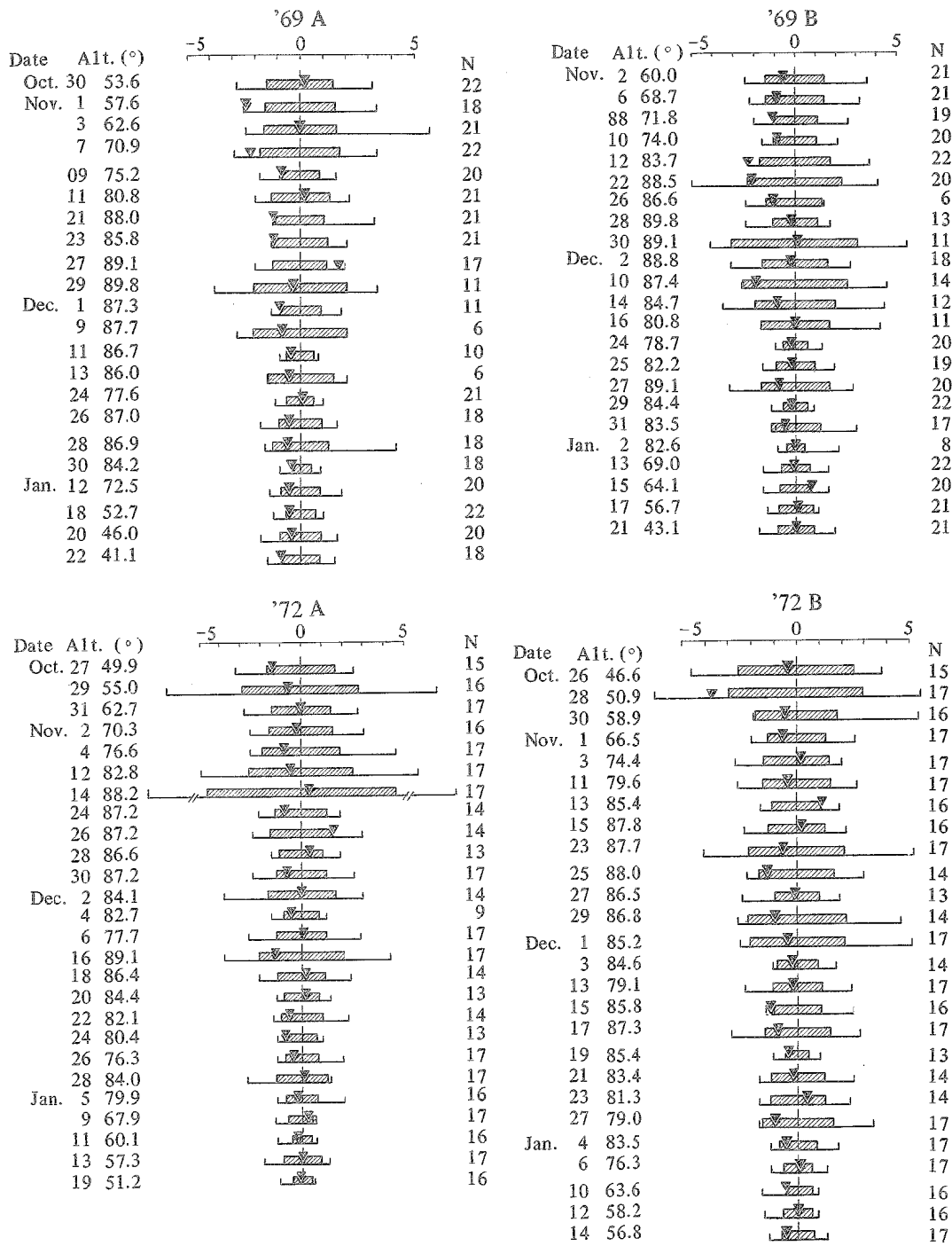
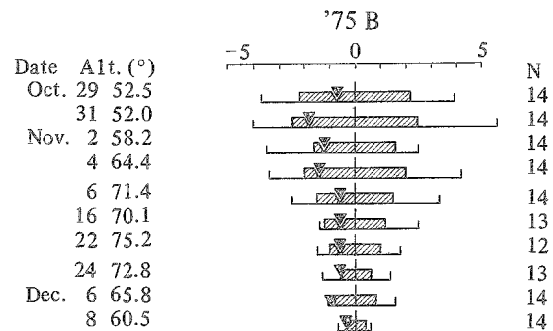
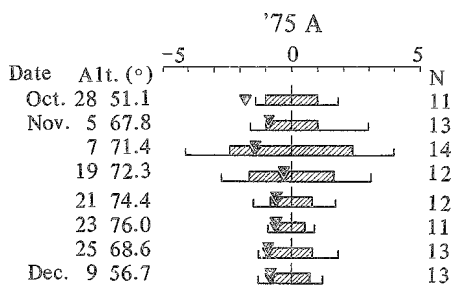
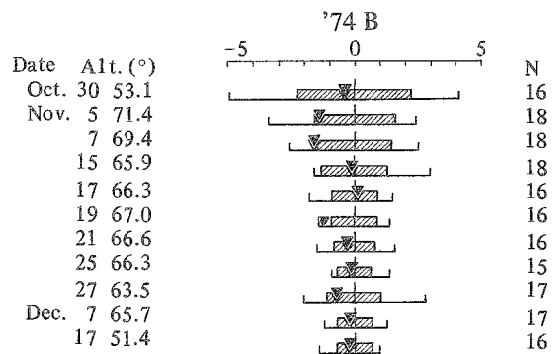
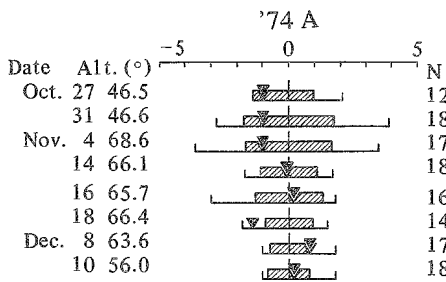
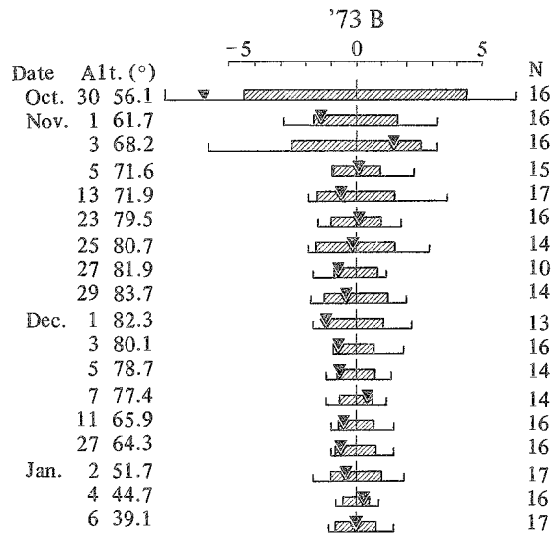
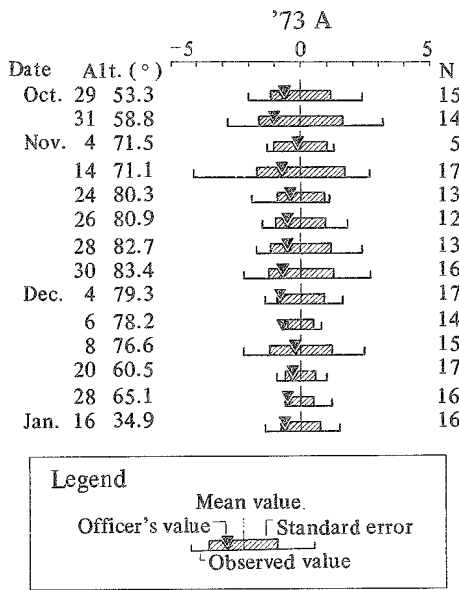


Fig. 2. Change in the relative distribution of meridian altitude observed



by the cadets in accordance with the passing of the training days.

小さくし、天測技量の上達程度を表わす標準誤差 (s) は減衰曲線を描く傾向がうかがわれる。そこで標準誤差 (s=y) の経回数変化をしらべるため、各航海・各群の資料について下記3式を選び、第1表に示した変換後回帰関係をしらべた。この場合資料を統一するため学生群が指導を必要とした1~2回目を除き、2~3回目以降の測定値から採用し結果を第1表および第3図に示した。

$$\begin{aligned}
 & y = ae^{-bx} \dots\dots\dots \text{I} \\
 & y = a + \frac{b}{x} \dots\dots\dots \text{II} \\
 & y = ae^{-b} \dots\dots\dots \text{III}
 \end{aligned}$$

そこで上記3式について係数の有意性をしらべるため、年度および群別にF分布検定を行った結果は次のとおりである。

Table 1. Estimated equations and their significance.

		I ( $y = a e^{-b x}$ )			II ( $y = a + \frac{b}{x}$ )			III ( $y = a x^{-b}$ )		
		$a$	$b$	$F$	$a$	$b$	$F$	$a$	$b$	$F$
1969	A	1.615	0.034	9.37**	1.054	0.682	2.40	1.867	0.246	7.02*
	B	1.880	0.037	7.35*	1.034	0.276	0.17	1.939	0.212	3.03
'72	A	2.534	0.058	36.25**	1.086	2.028	6.35*	3.463	0.457	22.58**
	B	2.071	0.042	21.74**	1.026	1.075	18.75**	2.700	0.351	17.40**
'73	A	1.079	0.075	14.92**	0.807	1.052	8.37*	1.950	0.387	12.10**
	B	1.720	0.061	20.55**	0.804	1.366	10.39**	2.150	0.392	21.80**
'74	A	2.036	0.150	32.71**	0.746	1.156	14.02**	1.966	0.464	24.96**
	B	1.956	0.106	30.17**	0.649	1.712	69.14**	2.244	0.494	62.74**
'75	A	2.934	0.240	13.67*	0.539	2.096	9.50*	2.852	0.764	14.82*
	B	3.062	0.198	68.92**	0.669	2.000	18.15**	3.076	0.701	24.95**

Note ; To estimate coefficients and their Snedeco's F values, respective equations are transformed into as follows :

$$\begin{aligned}
 \text{I} \quad \log y &= \log a - b x & \text{I}' & \\
 \text{II} \quad y &= a + b x' & \text{II}' & \text{ where } x' = \frac{1}{x} \\
 \text{III} \quad \log y &= \log a - b \log x & \text{III}' &
 \end{aligned}$$

- ほとんどの例にみられる天測技量の上達過程はいずれの式でも表現できるものと考えられる(式I'~式III'の回帰係数は  $\alpha = 0.05$  で有意とみなせる)。
  - しかし、1969 Aにみられる過程は式II'で、同年Bは式II'およびIII'で表現できない(これらの回帰係数は  $\alpha = 0.05$  で有意とみなせない)。
- 以上の結果から式Iが若干天測技量の上達過程の表現としては適しているようにみうけられるが、いずれか1式を最適の回帰式と断定することは危険が大きすぎると考えられるので、3式それぞれにより検討した。
- いずれの式でも第1表に示す係数は各年・各群ごとに大きく変動し、学生群の上達目標値とした標準誤差で1マイルに達する回数は第2表に示すように4回から23回までと大きく広がる。しかし  $y = 1$  の等回数線図(第4図)にみられるとおり、各例の上達過程を示す式(第1表)は次の3つのグループに分類される。

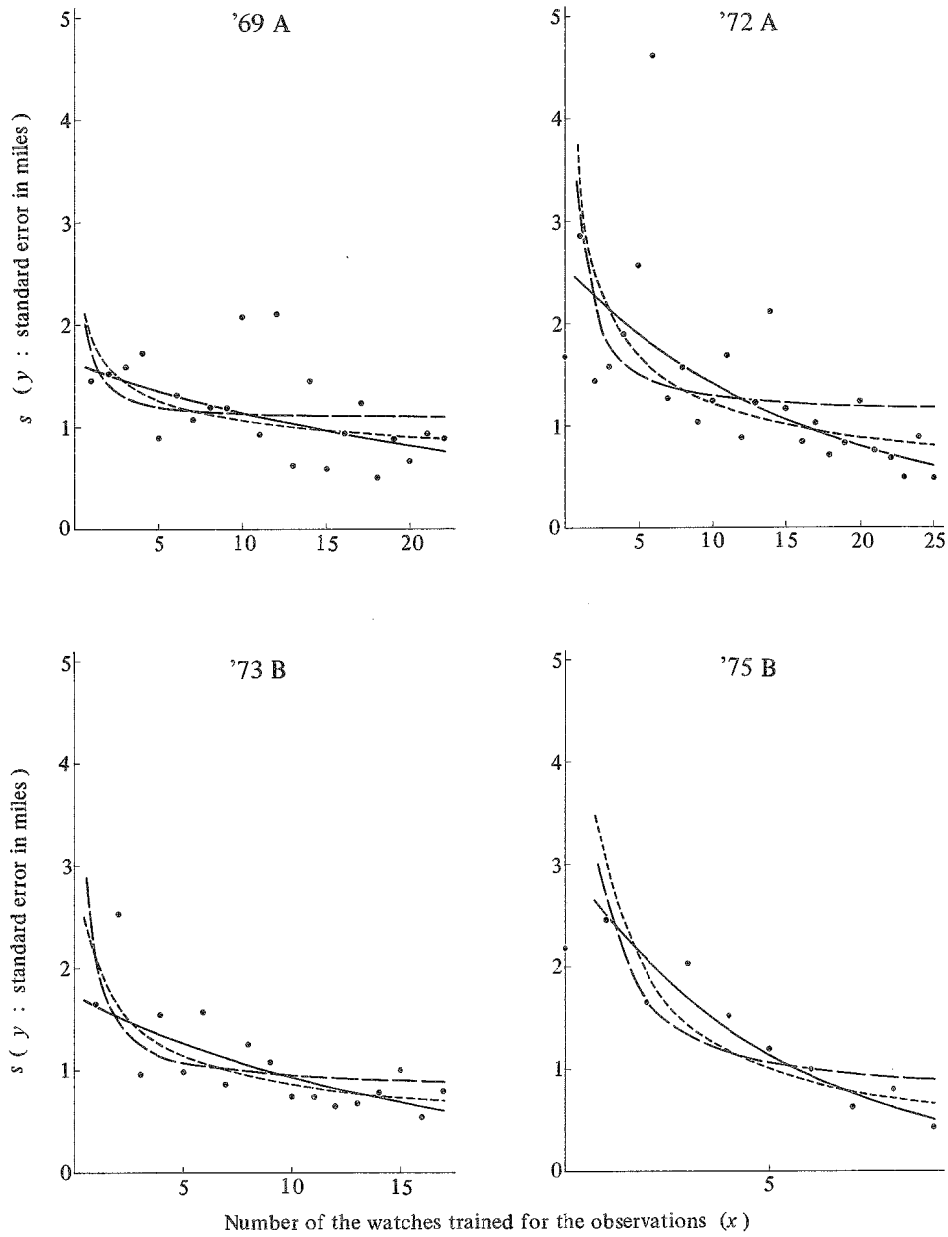


Fig. 3. Process of the cadets gaining in skill of position fixing.  
 Note ; Progress of training (  $x$  ) indicates the number of the training days for meridian altitude observation.

- ; Solid circle ( Standard error of the observed value )
- ; Equation I
- - - ; Equation II
- ⋯ ; Equation III

} see Table 1

Table 2. Comparison of training days of gaining skill in 1 mile (standard error) about estimated equations.

		'69	'72	'73	'74	'75
A	I	14.1	16.0	7.1	4.7	4.5
	II			5.5	4.6	4.5
	III	12.7	15.2	5.6	4.3	3.9
B	I	17.1	17.3	8.9	6.3	5.7
	II			7.0	4.9	6.0
	III	22.7	16.9	7.0	5.1	5.0

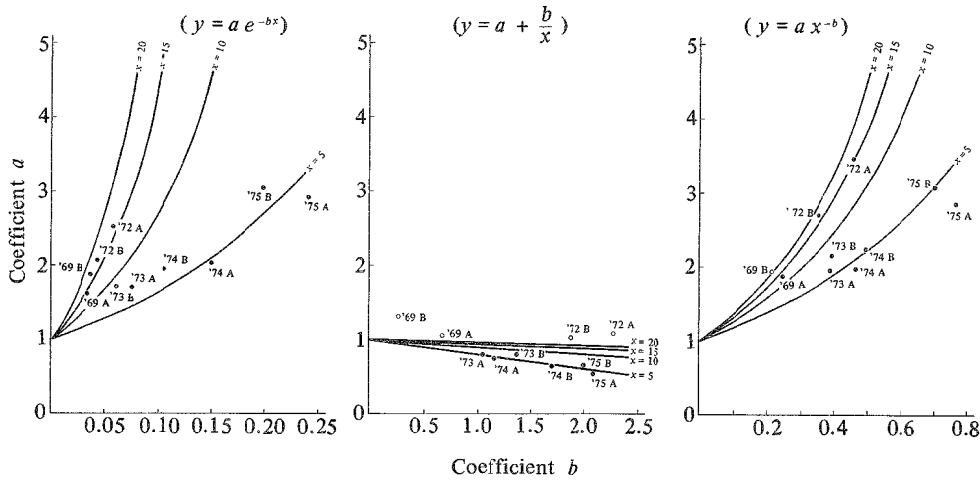


Fig. 4. Comparison of respective cruises in respect of the  $a-b$  relation of estimated equations showing the process of gaining skill in meridian altitude observation. Note ; Curve shows isopleth of attaining the standard error of 1 mile. Solid circle shows the coefficients of the estimated equation.

すなわち各式について回帰性が  $\alpha = 0.05$  で有意とみなさない群を除けば

1. 天体観測回数が4~7回で目標値とする1マイル以下になる例.....1974 A・B, '75 A・B
2. 6~9回で目標値以下となる例.....'73 A・B
3. 13~18回で目標値以下となる例.....'69 A, '72 A・B

これらの年度による達成回数の相違は航海海域により生じ、観測高度に大きな影響を受けているようである。



## 考 察

天測誤差について多くの報告がみられる。観測点が陸上の場合、鯨島ら<sup>3)</sup>は海上実歴2年を有する者と海上実歴0年の観測者を比較し、前者は偶然誤差が中央誤差( $r$ )で0.4424であり後者は0.8876であったとし、中根ら<sup>4)</sup>の実験では4年次生の遠洋航海を終了した者および専攻科の実習をも終了した者を対象とした場合0.355~0.900と報告している。観測点を錨泊船に移した場合、中根ら<sup>4)</sup>は誤差が0.266増加したとし、滝川の練習船実習生による結果<sup>2)</sup>では0.58となっている。航海中について、海軍大学航海学生10名の結果は、1.14となり熟練者による普通の太陽や薄明時の星測では0.5程度と言われている<sup>2)</sup>。

本報告では航海中の天体観測において学生群がどのような天測技量の上達過程をたどるものかを推定標準誤差を用いて検討して来た。また上達目標の精度を上記各報告から考慮し、100日前後の航海で中央誤差0.7以下すなわち標準誤差で1マイルと決め、何回ぐらいの練習回数でこれらの精度まで天測技量が上達するかを検討した。まず学生群の天測技量の上達過程を第2図および第3図についてみると、1969, '72の両年度は他の年度と比較して測定値の分布巾に変動が大きく、安定した測定値が得られるまでに長い回数が必要としていることがうかがえる。これは第1図に示したようにこれらの両年度は冬期に30°S以南までも航海しているため、5~6回目から20回前後までにわたり85°以上という高々度の天体観測をしいられているためと思われる。その他の年度も航海は冬期の同時期であるが第1図に示す海域からもわかるように、'73年度は83°以下、'74, '75の両年度は75°以下と観測高度に相違がみられる。しかし'69, '72の両年度群においても87°以上の天体観測を除いて考えると、他年度と大差なく順調に上達してゆく傾向がうかがえる(第3図参照)。すなわち上達過程に差異を生じた原因はまず観測高度によるものと考察される。

天測技量の上達過程を示す推定標準誤差の経回数変化は減衰曲線を描き誤差巾を次第に小さくして行くものと推察され、この傾向について定量的な考察を進めるため数式化をこころみ、式の適否について $F$ 検定を行なった。この検定では推定式と全実測点の差を扱うことになり、各式は $x$ の対数および分数を用いているため、 $x_i$ が大きくなるにしたがって $x_{i-1}$ と $x_i$ の間隔がせまくなる( $x_i$ は $\frac{1}{x_i}$ または $\log x_i$ )。この研究の目的は $y = 1$ になる $x$ を求めることであり、この $x$ は実測範囲の大きい方にあると考えられる。したがって等間隔にとった $x$ に対する高次回帰項に関する $F$ 検定よりもここで用いた方法の方が適している。次に、これら同じ例について3式で求めた値にみられる差異を検討すると、第2表に示すように式Iによる推定値が他の2式による推定値より大きくなる傾向にあり、後者のうちの大きい方より1以上大きくなるのは10組中6組であるにもかかわらず、小さくなることはない。式IIによる推定値が他2式による推定値のうち大きい方より1以上大きくなるのは10組中1組、小さい方より1以上小さくなるのは3組であった。さらに式IIIによる推定値は他2式によるその小さい方より1以上小さくなるのは10組中4組であるが、大きくなることはない。以上から式IIが最もよいようにみられるがさらに次の問題がのこる。すなわち、式IIの'69年度両群は回帰性が悪く、さらに'72年度両群は推定式が1マイル以下へのの上達を示さない。また式IIは'73年度両群についても漸近値が0.8となり(第1表参照)、熟練者と呼ばれる中央誤差で0.5( $y = 0.74$ )までの上達が今後其期待出来ない数式となっていることから、式IIを除外することとした。

さらに式I・IIIについて考察すると

1. 目標達成まで最も大きい値を示す傾向にある式Iは最も小さい値を示す式IIIより0~2回多くの観測を必要とすることになる。

しかし目標達成( $y = 1$ )後の上達傾向は式IIIより急速であり、熟練者と呼ばれる精度を得るまでに短期間で達成される傾向にある。

2. 式IIIは式Iより早い回数で目標を達成するが、その後の上達傾向はごくゆるやかであり、熟練者と呼ばれる精度を得るまでには長期間を必要とする傾向にある。

すなわち、目標達成までの回数は1~2回の差であり、式Iと式IIIの交点は0.9付近にあることからどち

らの式を使用しても差し支えないと思われる。しかしこの研究の目的から考えると少な目にあらわれるより多目にあらわれ、より精度を安定させることが望ましいので目標達成回数を表現するには式Ⅰが最もよいと考えられる。ただし精度をさらに高く要求し熟練者<sup>2)</sup> ( $r = 0.5$ ) と呼ばれるまでとした場合、上達はその後ごくゆるやかであると推察され式Ⅲの採用が望ましいと考える。後者について今回の実験では資料不足のため今後の課題としたい。そこで式Ⅰについて目標達成回数を算出し数式化の際の測定時期修正をすれば、目標精度に達する必要回数は観測高度に大きく影響され下記のとおりとなった。

1. 高度 75° 以下の太陽観測では 7 回
2. 高度 83° 以下の太陽観測では 10 回
3. 高度 87° 以下の太陽観測では 19 回

さらに上記観測回数後、標準誤差の平均は 0.78 (中央誤差で 0.52) となった。この数値は前述のように他の報告<sup>2)3)</sup>からみても熟練者に近い値を示している。しかし今回の実験では時期を太陽の正中時としているため、方位の変化は大きいが高度的変化が非常に少ない時期であり、鯨島ら<sup>3)</sup>、中根ら<sup>4)</sup>の結果と比較することは適当でないと考え、学生群の天測技量の上達は良好であったと考えられる。

資料の処理に関して終始御指導をいただいた本校前田弘教授に深甚の謝意を表す。

## 要 約

練習船の航海にあたり学生为天測実習について太陽の子午線正中時の高度観測を対象とし、当日の学生(初心者)群測定値の算術平均値を中央値とし、平均値よりのばらつきを偶然誤差と考え標準偏差であらわし上達過程を検討することとした。上達過程は減衰曲線を描き誤差巾を次第に小さくして行くものと推察され、その傾向について定量的な考察を進めるため、推定される3式でモデル化することにより天測技量の上達過程および目標達成までの訓練回数について検討を加えた結果2・3の知見を得たので報告する。なお測定値は観測時の諸条件により大きく変動するものであるが、それらの点については次報で検討することとした。

1. 学生群の天体測定値は最初10マイル以上と非常に大きな巾を有し、位置決定にはとてもおぼつかないものであるが、上達は回数を重ねるごとに顕著であり航海終了近くともなれば全員の決定位置の線は3マイル以内の巾におさまっている。
2. 偶然誤差を標準誤差であらわした場合、第2図にみられるように最初3.0マイル程度と大きなものであったが、航海終了近くともなれば0.7マイル程度、一般的に用いられている中央誤差で0.47マイルと、いい精度の上達のみられた。
3. 天測技量の上達過程を示す標準誤差の経回数変化について定量的な考察を進めるため数式化をこころみた結果、今回の実験では式Ⅰ ( $y = ae^{-bx}$ ) が最も適し、全体の変動傾向を最もよくあらわした。しかし熟練者と呼ばれる値までの安定した精度を得る回数を推定するには式Ⅲ ( $y = ax^{-b}$ ) が適しているようである。
4. 偶然誤差が標準誤差で1マイル(中央誤差で0.74)に達する必要回数は観測高度に大きく左右され下記のようなになった。
  - 1) 高度 75° 以下の太陽観測では 7 回
  - 2) 高度 83° 以下の太陽観測では 10 回
  - 3) 高度 87° 以上の太陽観測では 19 回
5. 本報告では測定時期を子午線正中時としているため、方位の変化は大きいが高度的変化は非常に少ない時期である。したがって中根ら、鯨島らの結果と比較することは適当でないと考え、標準誤差で1マイルの目標値に達した後の標準誤差値を集計し平均してみれば0.78となり、中央誤差で0.52とな

った。これは一般的に言われている熟練者の偶然誤差に近い値であり、学生群の天測技量の上達としては良好であると考えられる。

## 文 献

1. 岸根卓郎, 1970: 理論応用統計学, 養賢堂, 東京, 401~408.
2. 鮫島直人, 1954: 船位誤差論, 天然社, 東京, 26~27.
3. 鮫島直人・庄子和民・上坂太郎・川本文彦・鈴木 捷, 1949: 伊豆大島に於て行った天測誤差の実験とその結果について, 商船大学海務学院研究報告, **2**, 1~21.
4. 中根重勝・日高 昇, 1969: 天測の個人誤差について, 長崎大学水産学研究報告, **28**, 205~212.
5. 岩永道臣・樽美幸雄, 1963: 精説天文航法 (下), 成山堂, 東京, 154~159.