

# 天測計算における誤計算の 出現頻度について

高木 保昌・合田 政次・中根 重勝・久野 俊行・吉村 浩

On the Frequency of Miscalculation in Astro-Navigation

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

In the previous paper, we reported on the rate of miscalculation in various calculations of one junior class and one postgraduate class.

In the present paper, we investigate the frequency of errors of astro-calculation about 3 classes (A, B, C) during 3 years. Cadets of these were 103 man-days of navigator course in our Faculty of Fisheries. We obtained the data from their practice notes of astro-navigation during the training voyages from 1973 to 1977.

As a result, there was no significant difference among the classes (A, B, C) in the one's school year, but it was found that there were differences through their experiences among the school years. The percentage of miscalculation of each school year was as follows:

Junior classes (3), about 42%; Senior classes (4), about 30%; Postgraduate classes (5), about 28%.

The rate decreased rapidly from junior classes to senior classes. There was no difference in the standard deviation between junior and senior classes. Each figure showed  $\pm 15\sim 16\%$ . It showed a tendency to decrease about postgraduate classes. This was about  $\pm 12\%$ .

前報(1)では天測計算の誤りについて、本学部の3年次学生、専攻科学生、各1クラスの結果について報告したが、同一学年でも、年度が異なると各クラスの間で、誤計算の出現頻度に差のあることが考えられる。また、本学部練習船鶴洋丸の就航により、新たに4年次生の遠洋航海が加わり、同一クラスの学生について3年次生、4年次生、専攻科生と、3年間連続した資料を得る事が出来るようになり、各学年による差異も検討可能となった。

著者等は、1973年~1977年の5年間に、3クラスについて3年間連続した資料を収集し、再計算を行って種々検討した結果、2~3の知見が得られたが、それらのうち誤計算の出現頻度について報告する。

## 資料および整理方法

資料： 本学部練習船長崎丸(3年次生、専攻科生)および鶴洋丸(4年次生)の、1973年~1977年にわたる練習航海において、実習生の天測結果を用いた。以下1973年、74年、75年度の各年度における3年次生をA、B、Cとし、3年次生、4年次生、専攻科生の各学年を、3年、4年、5年であらわすことにする。各クラスの年次別人数と天体別の測定回数はTable 1の通りで、延103人、総計13,305回である。

整理方法： 前報(1)とほぼ同じ方法、すなわち、実習生が練習航海中に天測実習として、各個に測定し計算を行った際の計算要素(時刻、位置、赤緯、均時差)と結果を天測ノートより整理表に転記させた。これらの各要素は正しいものとして、

Table 1. Number of cadets of each class and time of calculation.

School year / Class	3			4			5			Total		
	Cadets	Sun	Star	Cadets	Sun	Star	Cadets	Sun	Star	Cadets	Sun	Star
A	11	494	529	9	514	625	6	362	396	26	1370	1550
B	15	1103	1145	11	730	614	11	725	850	37	2558	2609
C	15	879	938	15	1035	888	10	680	798	40	2594	2624
Total	41	2476	2612	35	2279	2127	27	1767	2044	103	6522	6783

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

米村表の高度計算の原式：

$$\text{hav}(90-a) = \text{hav}(1 \pm d) + \text{hav} h \cdot \cos l \cdot \cos d$$

方位角計算の原式：

$$\sin Z = \sin h \cdot \cos d \cdot \sec a$$

に従って電子計算機で再計算を行い、両者の時角、計算高度および方位角を比較して、その差を計算上の誤り値（以下誤計算値と言う）とした。

天測計算において、米村表を使用するために生ずる誤差は一般には中央誤差(r)で±0.2'程度であるが、高高度では±0.3程度と言われている(2)。高度計算における誤計算値の許容範囲を1σとすれば、σ=1.4826 rであるから、差が±0.5'以下の場合には計算は正しく行なわれているものとした。また、時角計算では天測計算表の第1表時間弧度換算表を使用することによ

り、0.1'~0.2'の誤差が生ずる事もあるので、±0.2'以下の場合には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、実用上の観点から一般に0.1°単位で算出されるので、米村表を使用することによる誤差はほとんど影響をおよぼさないが、まれに、四捨五入によって0.1'の誤差を生ずることもあるから±0.1°まで正しいものとした。

従って、時角計算では0.3'以上、高度計算では0.6'以上、および方位角計算では0.2'以上を誤計算値とし、いずれの計算段階でも誤計算値をこえないもののみ正しい計算が行なわれたものとした。測定回数が同一クラスでも個人によって異なるので、個人別に誤計算出現率を求めクラス別に集計した。

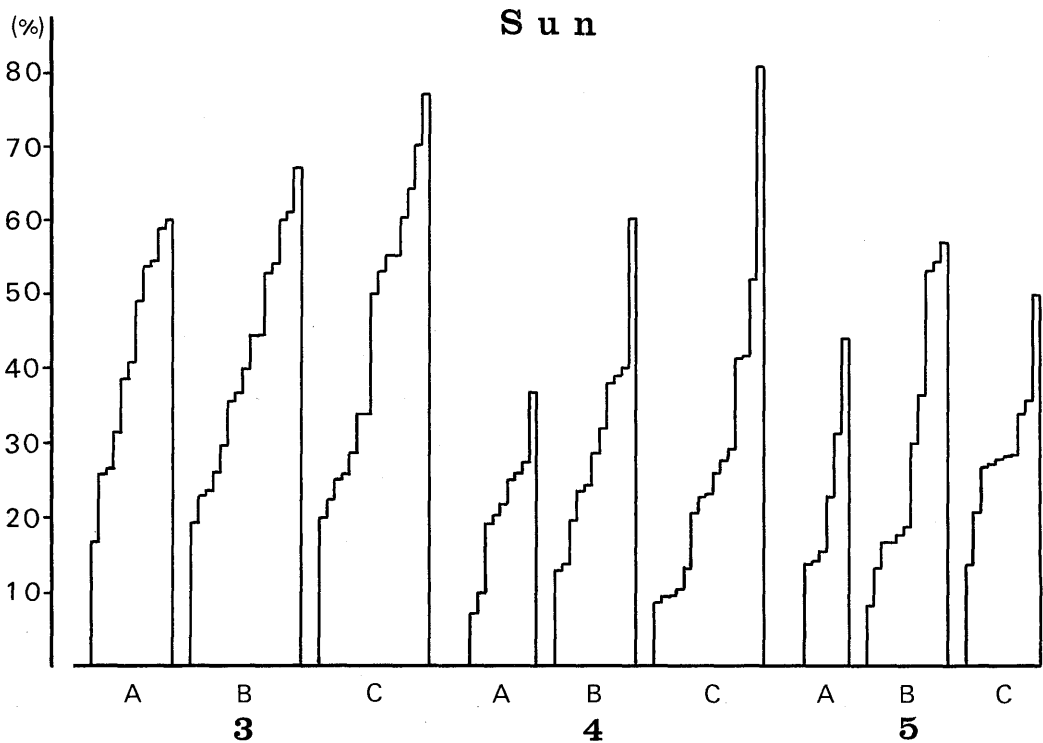


Fig. 1. The individual rate of miscalculation in the sun sight.

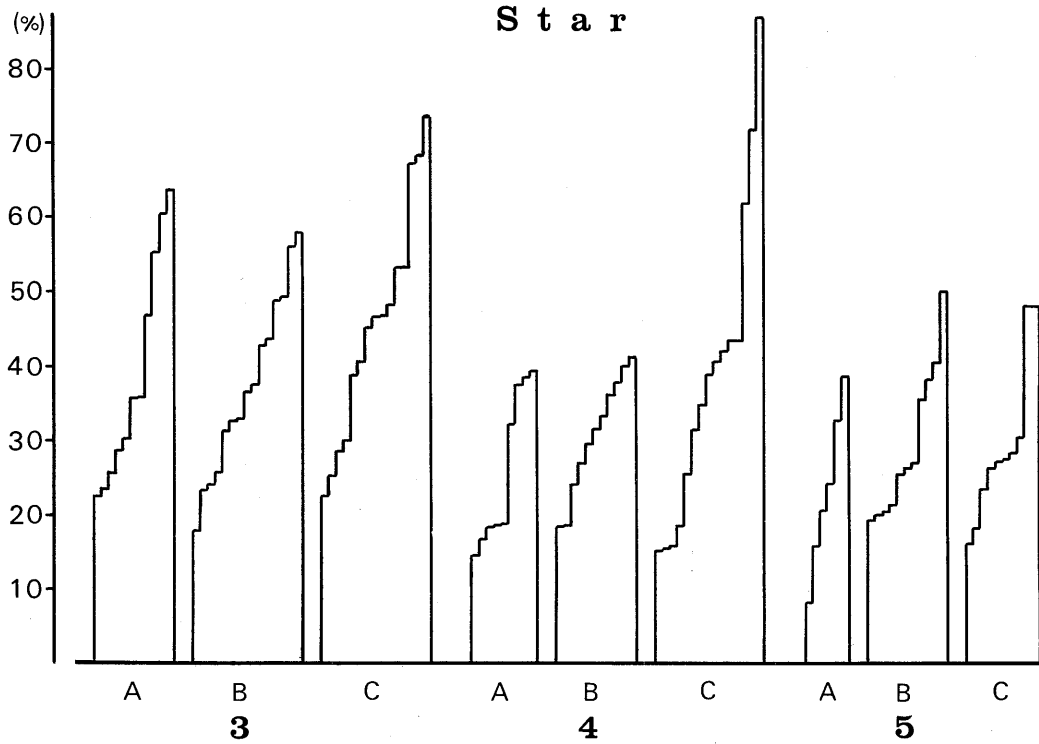


Fig. 2. The individual rate of miscalculation in the star sight.

結果と考察

各学年における、各クラスの個人別誤計算の出現率(以下誤計算率という)を、太陽測定と星の測定に分けて Fig. 1, Fig. 2に示した。これによると全般的には3年, 4年, 5年と学年が進むにつれて誤計算率は低下し向上の傾向を示している。しかし同一学年でも個人間で非常に大きな差がある。各クラスとも学年が進むに従って人数が減少しており3年, 4年では誤計算率の高かった者が, 5年に進学しなかった場合もあり、一概に学年が進むにつれて向上しているとは断定できない。また, 3年の中には5年以上の低い誤計算率を示しているものがある反面, 4年や5年でも高率の者があり, 個人差がかなり著しい。特に4年のCには非常に高率で, 計算上の粗雑さや不注意だけでなく, 計算方法そのものを理解が出来ていないであろうと考えられる者がいる。

1. クラス別比較

まず同一学年のクラス間について比較する。各学年のクラス別, および全体の誤計算率の平均値と標準偏差を太陽と星の別に示したものがTable 2とFig. 3である。

ここで各クラスおよび各学年の誤計算率として用い

た値は, 各個人の測定回数に差があり, 誤計算率の小さい者ほど測定回数が多い傾向があるので, 各個人の誤計算率を平均したものである。

3年では各クラスとも, 太陽の方が星の場合より多少高い傾向を示している。とくにCは最も高率であり, さらに標準偏差が大きく個人間の差も著しい。4年では太陽, 星ともにクラス間の差が大きく, 太陽の場合A, B間で約9%, 星の場合A, C間で約13%におよんでいる。また標準偏差でも同様な傾向があり, とくにB, C間では±13%の差があり, Cの個人差が著しく大きい。5年では太陽の場合にBの標準偏差がやや大きいものの誤計算率は, 太陽, 星ともに, ほとんど変わらず, クラス間の差は少ない。しかし最終学年であるにもかかわらず, B, Cでは依然として約30%に達している。

以上の様に学年によっては, クラス間に多少の差がみられる。すなわち3年および5年のクラス間の差は小さいが, 4年ではかなり大きい。そこで天体別, 学年別にクラス間の誤計算率の差について, 各クラスの正解と誤りとの間には何らの関係もない, すなわち誤計算率は等しいという仮説の検定を行なった。また学年間についても同様に検定を行い, それらの結果をTable 3-1, 2に示す。

Table 2. Rate of miscalculation and standard deviation by the class and by the school year.

School year	Class	Sun		Star		Sun & Star	
		T. M.	S. D.	T. M.	S. D.	T. M.	S. D.
3	A	41.4	14.2	38.9	14.4	40.2	14.4
	B	41.1	14.8	37.4	11.8	39.3	13.5
	C	45.0	18.2	45.9	15.2	45.5	16.8
	Mean	42.6	16.1	40.9	14.3	41.8	15.3
4	A	21.5	8.5	26.1	10.0	23.8	9.5
	B	30.2	13.2	30.7	7.7	30.4	10.8
	C	27.8	19.0	39.0	20.5	33.4	20.5
	Mean	26.9	15.5	33.1	15.9	30.0	16.0
5	A	23.7	11.0	23.4	10.1	23.5	10.6
	B	29.3	17.3	29.5	9.7	29.4	14.0
	C	29.4	9.0	29.4	10.2	29.4	9.7
	Mean	28.1	13.6	28.1	10.3	28.1	12.1

T. M. : Total miscalculation S. D. : Standard deviation

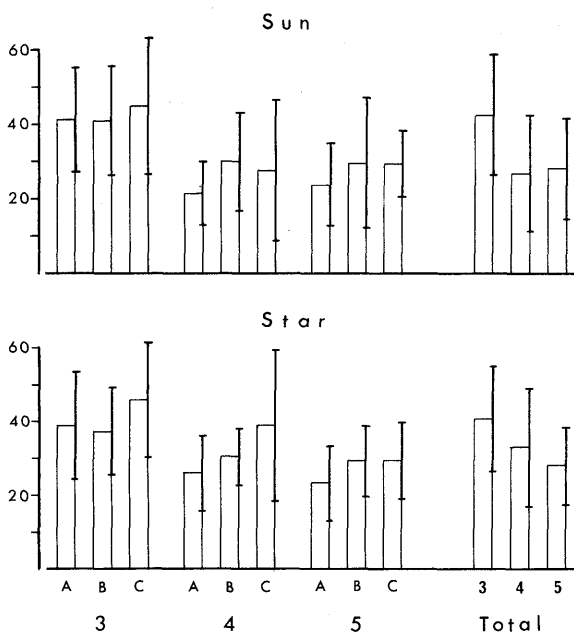


Fig. 3. Rate of miscalculation and standard deviation by the class and by the school year.

$\chi^2$ 分布で自由度1, 有意水準5%とすれば, 棄却域は3.84より大きい領域となる(3, 4)。各クラス間に有意な差はみられなかった。すなわち各学年のクラス間の差は偶然におこり得るものであった。しかしながら4年の星の場合にはA, C間で3.79と棄却域に近い値を示した。ここでは両クラス間の人数の差が大きく, またCの中には著しく高率な者が含まれていることも一因と考えられる。

次に同一クラスについて学年別の比較をおこなった。Table 2にみられるように, 各クラスとも4年になると誤計率はかなり減少している。そこで3年と4年および3年と5年に共通して資料の得られた者のみについて, 天体別に散布図を描いてみた。A, Cでは強い相関関係があると考えられるがBには, その様な傾向はみられなかった。各クラスの学年間における $\chi^2$ の検定結果はTable 3-1, 2のごとく, 太陽ではA, Cの3年と4年, 3年と5年, 星ではA, Cの3年と5年に有意な差がみられ, Bはいずれの場合にも有意な差はなかった。なお各クラスとも4年と5年では有意な差はなく, 太陽におけるAとCでは, 4年の誤計算率が

Table 3-1. The value( $\chi^2$ -distribution) of each school year.

School year	Sun			Star			Sun & Star		
	A : B	B : C	C : A	A : B	B : C	C : A	A : B	B : C	C : A
3	0.00	0.31	0.26	0.05	1.49	1.00	0.02	0.78	0.58
4	1.97	0.14	1.07	0.52	1.52	3.79	1.10	0.21	2.26
5	0.81	0.00	0.83	0.96	0.00	0.93	0.90	0.00	0.90
Total	0.36	0.00	0.40	0.10	0.83	1.51	0.21	0.22	0.86

Table 3-2. The value ( $\chi^2$ -distribution) of each class.

Class	Sun			Star			Sun & Star		
	3 : 4	4 : 5	5 : 3	3 : 4	4 : 5	5 : 3	3 : 4	4 : 5	5 : 3
A	9.17	0.14	7.23	3.74	0.20	5.61	6.18	0.00	6.43
B	2.59	0.02	3.06	1.01	0.03	1.41	1.75	0.02	2.18
C	6.38	0.06	5.22	0.97	2.04	5.80	3.07	0.37	5.53
Total	5.44	0.04	4.60	1.30	0.58	3.64	3.02	0.08	4.12

Table 4-1. Correlation coefficient and regression line of each class in the sun sight.

Class	Cadets	S u n			Cadets	3 : 5		
		r	a	b		r	a	b
A	7	0.903	0.665	-3.064	5	0.797	0.736	-2.165
B	11	0.443	0.388	14.632	11	0.461	0.722	2.752
C	14	0.754	0.545	0.199	10	0.905	0.466	7.760
Total	32	0.632	0.501	5.047	26	0.585	0.537	6.694

Regression line :  $Y=aX+b$  r : Correlation coefficient

Table 4-2. Correlation coefficient and regression line of each class in the star sight.

Class	Cadets	S t a r			Cadets	3 : 5		
		r	a	b		r	a	b
A	7	0.950	0.744	-3.211	5	0.974	0.857	-7.499
B	11	0.402	0.319	19.418	11	0.180	0.177	23.160
C	14	0.214	0.259	24.264	10	0.967	0.711	-3.288
Total	32	0.400	0.412	15.421	26	0.651	0.517	7.880

Regression line :  $Y=aX+b$  r : Correlation coefficient

もっとも低かった。一応全クラスの3年と4年, 3年と5年について相関係数および帰帰直線を求め, その結果をTable 4-1, 2に示した。すなわち強い相関関係があると言えるのは, 太陽ではA, Cの3年と4年, 3年と5年, 星ではAの3年と4年, A, Cの3年と5年である。A, Cの3年と5年のみについて天体別に図示したものがFig. 4, 5である。

2. 学年別比較

Table 2に示したように3年では誤計算率が40%を上回り, 標準偏差も約±15%と大きく, 天測計算の方法を理解し, 習熟するための十分な演習が不足していることが考えられる。4年では誤計算率は約30%に減少するものの, 標準偏差は3年よりも大きい場合もある。これは全般的には理解, 習熟の度合いが進んでいるものの, Fig. 1,2にみられるようにクラス間の差が著しく, 個人差も大きいことが主因と考えられる。5年ではクラス間の差や, 天体による差はほとんどなくなり, 標準偏差も減少し, 各個人が計算方法をほぼ完全

に理解したものと考えられる。しかし, 誤計算率は4年と比較してそれほど低くならず, まだ習熟度の不足していることを物語っている。5年になると士官と同様に位置決定までの計算を行うので, 計算時間短縮に気をとられ計算そのものがやや粗雑になる事も一因と考えられる。

各学年の誤計算値を時角計算, 高度計算および方位角計算の3段階に分け, 0.1単位ごとに, その占める割合を%で示したものが, Table 5である。時角計算, 高度計算については, 各学年の太陽, 星とも0.2'と0.5'では1~2%であり, 整理方法で述べた条件がほぼ満足されていると考えられる。方位角計算については0.1°も正しいものとしたが, その占める割合は10~20%におよんでいる。この中には米村表による誤差以外の誤計算や計算の粗雑さによるものがかなり含まれているものと考えられる。太陽の場合は, 各段階とも3年から4年になると著しく減少するものの, 5年ではむしろ増加する場合が多い。星の場合は全般的に学年が

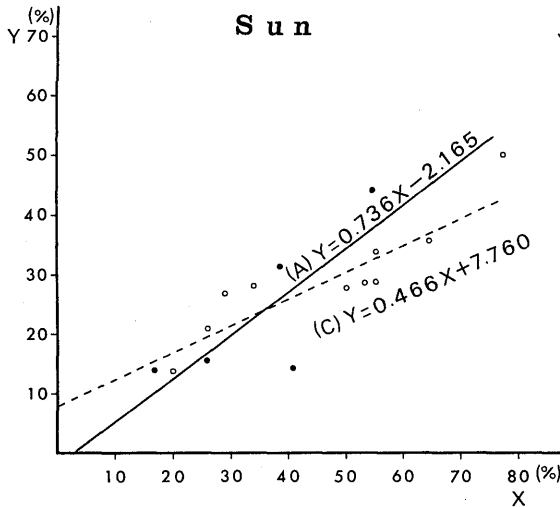


Fig. 4. Scatter diagram and regression line of class A and C in the relationship between postgraduate classes and junior classes in the sun sight.

X : Rate of miscalculation in the junior class. Y : Rate of miscalculation in the postgraduate class. ● : class A ○ : class C

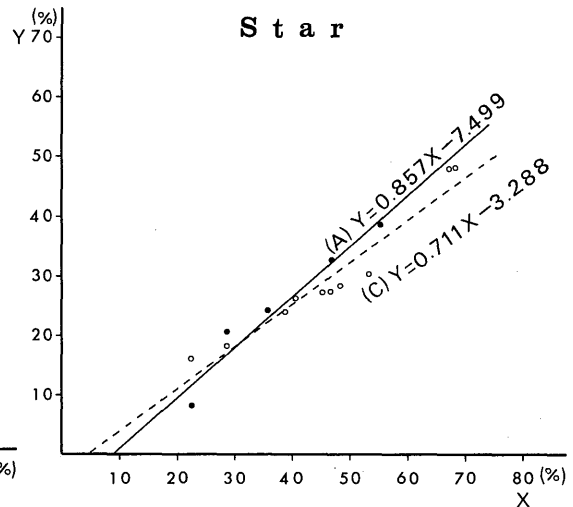


Fig. 5. Scatter diagram and regression line of class A and C in the relationship between postgraduate classes and junior classes in the star sight. X : Rate of miscalculation in the junior class. Y : Rate of miscalculation in the postgraduate class.

進むにつれ順次減少している。なお誤りの内容については別報で報告の予定である。

Table 3-1, 2に見られるように3年と4年の間には $\chi^2$ 値は3.02で有意な差があるとはいえないが、有意水

準を10%にとれば(3, 4), 棄却領域は2.71以上となり、有意な差が生じる事になる。

従って天測計算においては、3年から4年になるとある程度有意な差が生じるまでに熟練し、5年になれ

Table 5. Rate of occurrence of difference between calculated values by hand and by computer.

Calculation	Diff.	3		4		5	
		Sun	Star	Sun	Star	Sun	Star
Hour angle	0.0	57.9	57.3	55.1	54.8	55.3	58.3
	0.1	30.5	32.2	35.7	35.1	35.8	35.0
	0.2	1.3	1.2	1.7	1.1	1.9	0.4
	0.3~	10.3	9.3	7.5	9.0	7.0	6.3
Altitude	0.0	23.7	30.2	30.4	32.2	30.4	35.2
	0.1	32.5	28.1	36.8	35.6	36.2	35.5
	0.2	10.7	7.8	11.4	8.7	12.2	8.0
	0.3	4.0	3.5	4.0	3.4	4.7	3.6
	0.4	2.4	2.9	3.4	1.7	1.9	1.6
	0.5	1.9	1.5	1.2	0.5	1.3	0.6
	0.6~	24.8	26.0	12.8	17.9	13.3	15.5
Azimuth	0.0	46.8	58.2	60.9	66.1	58.8	70.2
	0.1	19.2	12.8	19.0	11.5	20.1	13.4
	0.2~	34.0	29.0	20.1	22.4	21.1	16.4

Diff. : Differences between calculated values by hand and by computer.

ば3年とは完全に有意な差が生じる程度まで上達するといえよう。しかし5年の最終の練習航海で、4年との間に有意な差がないばかりか、むしろ誤計算率の高い場合さえあり、より一層の計算演習を重ねて十分に習熟するとともに、常に精確さについて十分な注意力を集中することが肝要である。

#### ま と め

1. 各学年の誤計算率は、3年  $42\% \pm 15\%$ 、4年  $30\% \pm 16\%$ 、5年  $28\% \pm 12\%$ で明らかな経験の差が見られる。4年のクラス間にやや大きな差があるが、 $\chi^2$ 検定によれば各学年ともクラス間に有意の差はない。高率なクラスほど標準偏差も大きく、個人差が著しい。

2. 天体別の誤計算率は4年ではわずかながら差が認められるが、5年ではほぼ一致している。

3. 同一学年の各クラス間には有意な差は認められ

ないが、3年と5年の間に有意な差が認められた。

4. 3年では計算方法を十分に理解した上で、反覆練習する必要がある。5年でも誤計算率は高く、一層の慎重性と精確性が要求される。

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以下乗組員各位、および練習生諸君に深甚の謝意を表する。

#### 参 考 文 献

- 1) 高木保昌・中根重勝・合田政次 (1975). 本誌, 39, 25~30.
- 2) 岩永道臣・樽美幸雄 (1963). 精説天文航法(下). 成山堂, 東京, 158, 204.
- 3) P・G・ホーエル (1960). 初等統計学. (訳 浅井晃・村上正康). 培風館, 東京, 151~231.
- 4) 脇本和昌 (1973). 身近なデータによる統計解析入門. 森北出版, 東京, 91~114.