

# 操舵手により操舵中の船舶の ヨーイングについて— I. \*

高 島 末 夫

Yawing of Ships on the Steering by Quartermaster—I.

By

Sueo TAKASHIMA

In general, when a ship is going along a straight course it has scarcely any possibility of keeping her appointed course without steering. The ship is always inclined to yaw due to the external disturbances from such factors as wind, sea wave, *etc.* and the subsequent steering to it sometimes contributes also to her greater yawing, and so it is impossible to prevent her from yawing perfectly. Actually, in order to put her in course, the helmsman is obliged to regulate her course un-intermittently.

Sometimes, the steering may cause a yawing of large magnitude such as those beyond the natural one by waves. This brings her to meandering movement; therefore, its effect on the propulsion can not be overlooked.

The author investigates in this paper into the yawing, employing the records of an actual ship steered by some quartermasters, from navigators' point of view, especially about the magnitude of amplitude and its variance, and appendantly, the periodicity of magnitude of amplitude. And the following results are obtained:

1) The yaw-angle during the navigation varied complicatedly. But the author can find out any significant difference neither in the average nor the deviation of the magnitude of yaw-angle between both sides and among the quartermasters.

2) The periodicity in the magnitude of the yaw-angle is neither in common with the sides and the quartermasters nor its magnitude fell into simple decaying.

---

※ 水産講習所研究業績 第344号, 1961年10月25日 受理.  
Contribution from the Shimonoseki College of Fisheries, No. 344.  
Received Oct. 25, 1961.

## 緒 言

航行中の船舶は与えられた針路を航行するためにほとんどたえまなく操舵が行なわれ、保針のための舵角の大きさの変化は気象海象等の外的因子、船舶の保針性、舵角に対する追従性或いは操舵手の技能等の内的因子により予想より遙かに複雑な様相を示しており、その結果としてヨーイングの形態もかなり複雑なものと考えられるので、小數例をもってその全貌を完全に明らかにすることはできないが、一応代表的と思われるものについて解析した。

航行中の船舶のヨーイングは波圧によって生じるヨーイングと長周期（約70~200秒）で大角度のヨーイングが重なったのがみられる。元良（1954）<sup>1)</sup>によれば、前者はその振幅が大体理論的に予想される量と一致しており、周期も波の出合周期と一致しているのが認められ、このために著るしく推進性能が害されることはない。しかし後者の場合即ち、操舵によるものと思われる大角度のヨーイングについては、ほぼこれと同じ周期で大角度の操舵が行なわれているものと考えられ、操舵手による操舵では不必要な蛇航を生じさせているものと思われる。

波圧により生じたヨーイングが当然記録されるはずであるが、資料を採用した耕洋丸に使用しているコースレコーダーは、機構上感度が不十分で記録紙の中で大角度のヨーイングと識別できなかった。そこでこの報告では、大角度のヨーイングが主として操舵手の操舵により誘発されたものとして若干の考察を行なった結果についてのべる。

## 資料および方法

資料は耕洋丸が操舵手により保針航行中コースレコーダーが記録したうちから、8時間連続したものを採用し、その間の気象海象の状況および船の状況は下記のとおりで、全期間を通じて大体変化がなかった。

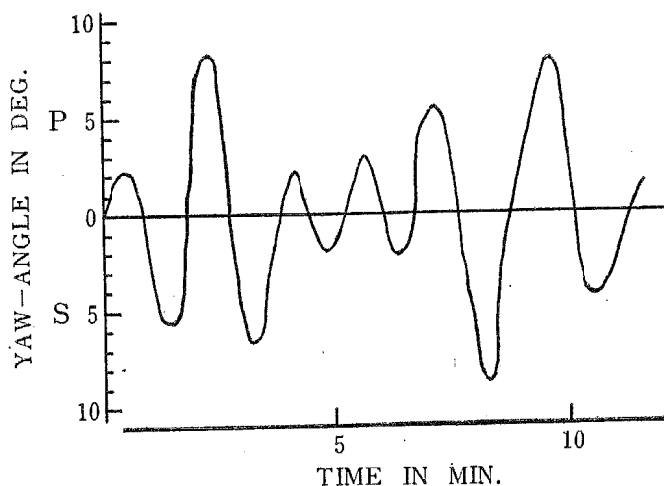


Fig. 1. An example of the actual yawing traced by course-recorder.

Abbreviations, S : Starbord P : Port

排水量 1,800 トン  
ト リ ム 2.0 m 艫え

舵面積比	$\frac{1}{39.8}$		
真針路	N30°E	速 力	13.0ノット
真風向	SE	風 力	5 (ビューフォート階級)
海 況	4		

コースレコーダーの記録紙の模写を第1図に示す。大角度のヨーイングが針路からのズレという悪影響を起すことを考えると、ヨーイングの大きさは片舷の偏角の大きさ即ち、第1図に示すように全振幅の半の値をとって考えるのが都合が良く、この報告では、偏角の大きさは片舷の偏角の大きさを示すものとする。

また一般に航行中の操舵当直は、1時間毎に操舵手が交代するから資料を8個の層A、B、C、……Hに区分し、各層は同一の操舵手が連続して操舵したものとした。

## 考 察

### 1. 振巾の大きさと分散

船舶が航行中大角度のヨーイングが連続すれば当然回頭遠心力の分力、舵の抵抗、斜航のための抵抗、走航距離の延長、操舵機の馬力損失等総合的に船舶の馬力損失となり、運航上極めて悪い結果をもたらすが、

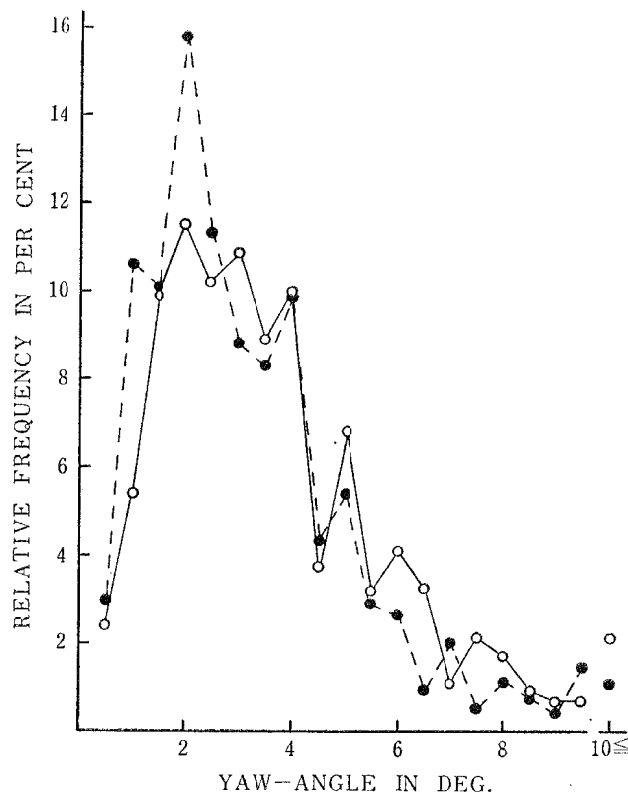


Fig. 2. Relative frequency in relation to yaw-angle.

Note. Filled circle indicates the relative frequency of starboard side, but open one does that of port side.

現実の問題として操舵手により保針航行中には或る程度のヨーイングは避けられない。その結果上記の馬力損失も或るいは不規則なヨーイングにより推定位置に誤差を誘発させるのも、その影響の程度に差異あるが防止することはできない。

この意味において操舵によるヨーイングは、その因果たる舵角および偏角ともに努めて小角度に押さえるべきであるが、航行中外力や操舵により発生しているヨーイングの大きさおよび分散の状況、或るいは発生したヨーイングの頻度を知り、それらが気象海象、時刻的或るいは操舵手相互の間でどのような相関があるかを知るのも、船舶運航者の立場から必要であると考査資料を分析した。

全資料のヨーイングについて偏角の大きさと、発生した相対頻度の関係を第2図に示す。偏角の大きさを前述の定義に従ったため相対頻度分布曲線のモードは小角度になり、両舷ともに指数型に近い型をなすものと考えられる。両舷ともに偏角2度の頻度が最大となり、当時の気象海象のもとではこの程度のヨーイングは避けられない。またこれらのヨーイングの中には波圧によって生じたものも含まれていると思われるが、この範囲のヨーイングは推進性能に大きい悪影響を与えない。

7度～9度の偏角を生じた頻度が両舷平均約1.5%みられ、発生頻度の点では問題とするほどではない。しかし、この相対頻度分布曲線に示されている10度以上のなかに偏角の大きさが15～16度から20度以上にいたるものが含まれていることは注意しなければならない。このような大きい偏角を生じた原因は複雑であるが、通常考えられる主な原因は、操舵手の過当操舵によると思われる。またこれらの大きい偏角を生じた場合には、当然原針路に復帰させるため相当大きい舵角が取られたことが予想され、結果的に船体運動は回頭角速度の大きい蛇航を誘発し、次に述べるように推進性能に極めて悪い影響を与える。従って発生頻度は少ないが、運航上の損失は大きく、努めてこれらの発生を防止させなくてはならない。

大角度のヨーイングが発生すれば、総合的に船舶の馬力損失になるが、いま耕洋丸について偏角の大きさと、それにより発生する蛇航遠心力による抵抗増加を求めてみる。蛇航の最大角速度を $\omega$ とすれば、遠心力の船体中心線方向の分力 $R$  (トン) は元良(1954)<sup>1)</sup>によれば、

$$R = (m + m_y) \ell \omega^2$$

但し  $m$  = 船の質量 (トン)

$m_y$  = 船の横方向の見掛質量 (トン)

$\ell$  = 転心より重心までの距離 (m)

これが周期的に作用するから、平均として

$$\bar{R} = \frac{2}{\pi} (m + m_y) \ell \omega^2 \dots \dots (1)$$

$$m_y \doteq m \quad m + m_y = \frac{2W}{g}$$

$W$  = 船の排水量 (トン)

$g$  = 重力加速度 (m/sec<sup>2</sup>)

偏角の大きさおよび周期を  $\theta$  (rad),  $\tau$  (sec) とし、 $\theta$  が時刻に対して正弦曲線の変化をするものと仮定すれば、

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau} \theta$$

にて示される。(1)式により $\tau$ および $\theta$ を変化して $\bar{R}$ を計算した結果を第3図に示す。この図に示されるようにヨーイングの周期が短かく、しかも大角度の偏角を生じた場合には、その抵抗増加量も無視できないものである。

7度以上の大きい偏角がほぼ両舷等しい頻度で発生しているが、資料を得た当時の気象海象等の外的因子にはこのようなヨーイングを発生させる強制外力は考えられない。この大きい偏角を生じた原因は、操舵手が船の予定針路からの偏角とその回頭角速度に比例した舵角を適切に与えていれば、偏角は少なくとも2度

前後に押さえることができるが、操舵手の人為的な何等かの原因で偏角に対して適切な舵角が与えられなかったためと考えられる。従って操舵手により保針航行中に現われる船舶のヨーイングは、操舵手の複雑な人為的因子の影響を受けて変化しているものとみられる。

この点から操舵手相互間および同一操舵手において、両舷の偏角の大きさおよび分散の状況を調べた。この種の調査では第2図の分布曲線を正規型に近づける必要がある<sup>2)</sup>。そこで、この資料の偏角の大きさ $\theta$ に

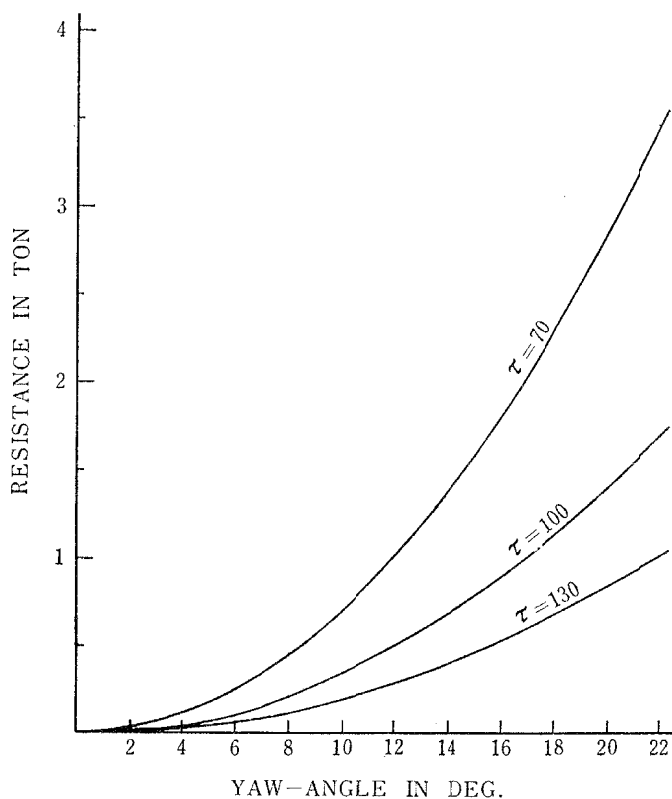


Fig. 3. Theoretical increase in resistance of ship with centrifugal force.

Abbreviation  $\tau$  = period of yawing in second

ついて $\sqrt{\theta}$ および $\log \theta$ の2種の変数変換を行なった結果、いずれも完全に正規型化されず、STUDENTの“ $t$ ”とこれらの関係は $\sqrt{\theta}$ の場合はごく微小だが、下に凹み、 $\log \theta$ の場合はその反対となった。その1例として $\sqrt{\theta}$ に変換したものを第4図に示す。しかしヨーイングでは通常 $\theta$ の範囲が狭いので、 $\sqrt{\theta}$ 変換で大体直線になったものと仮定して、妥当性を欠く現象が生じるまで正規化されたものとして考察をつづける。

各層の偏角の分散、平均値を計算し、F分布に従うものとして検定し次の結果を得た。

- (1) 操舵手8名のうち7名が両舷の偏角の分散に差異がない。
- (2) 同一操舵手が操舵した場合には両舷の偏角の平均値に差異がない。
- (3) 操舵手相互間の偏角の分散の差異は7組中全組が認められない。
- (4) 操舵手相互間(7組)には偏角の平均値の差異は認められない。

以上(1)~(4)がいずれも5%の危険率で有意である。

この結果から操舵手により保針航行中に現われる船舶のヨーイングは、発生するヨーイングの個々につい

ては操舵手の個人差（例えば舵角の大きさ、舵角角速度およびそれに対するヨーイングの周期、角速度）が現われてくるが、或る期間に発生したヨーイングを統計的にみれば、そこには個人差が比較的現われていないといえる。また両舷に現われたヨーイングの分散、平均値に差異が認められないのは、船首方位は予定針路をほぼ中心として航行しているが、船位は必ずしも予定針路を航行しているとは限らず注意しなければならない。なお操舵手8名のうち1名だけが両舷の偏角の分散に差異が認められたが、当時の人為的状況が不詳のためその原因は明らかでない。

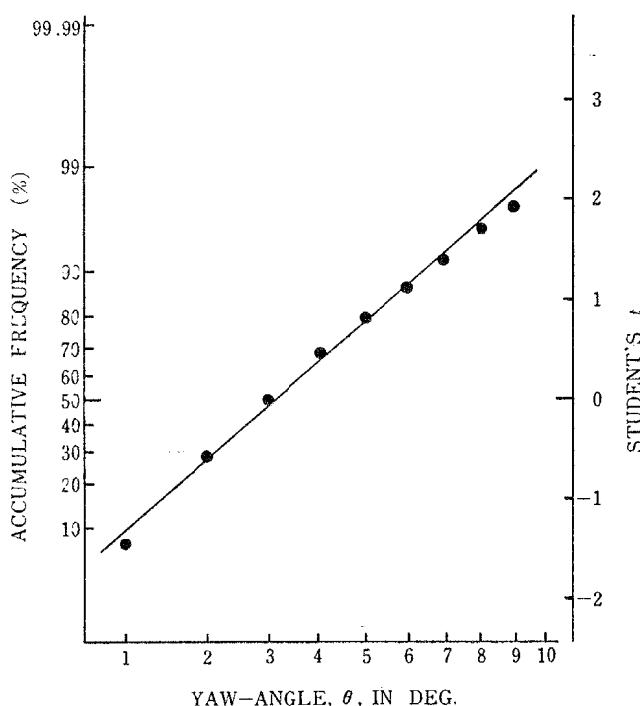


Fig. 4. Relative frequency in relation to  $\theta$  in square root scale, with reference to "STUDENT'S  $t$ "

## 2. ヨーイングの周期性

船舶に作用する強制外力の不規則性は船の運動に種々の影響をもたらすが、一般的にみて規則的な外力が船におよぼす影響よりも或る程度減少するものと考えられている。従って船のヨーイングの如く個有周期をもたないものに対しては周期の不規則性は大きく影響しないが、外力の大きさの不規則性が問題になる。一方大洋における波浪には4~6回目毎の周期で波高の特別大きい波浪がくる場合がある外、風力もその大きさにより10~20分の周期をもち一時的に強まる場合がある<sup>3)</sup>。

ヨーイングに影響をおよぼすと考えられる強制外力に以上のような周期性があることを考え、しかもこれらの外力が船に作用したとき、偶然に偏角を助長する方向に他の回頭モーメントが作用していれば、偏角は一時的に相当大きくなるものと考えられる。また操舵手により保針されているときは大きい偏角を生じたのちしばらくは操舵に注意するが、時間を経て再び大きい偏角が発生するという過程を繰り返しているものと思われる。

いまコースレコーダーにより得られたヨーイングの連続記録（第1図参照）をみると、これは時間とともに

に変動する定常時系列をなし、また偏角の大きさがヨーイングの発生順位とともに変動する定常時系列をなしているものと考えられる。ここでは後者の考えに従って時系列解析を行ない、各層毎に母集団としての確率過程を求め、これによってヨーイングの周期性を考察してみる<sup>4)</sup>。

各層毎に片舷ずつの連続記録から揺船系列の相関係数即ち、ヨーイングの発生順位毎に記録したN個の偏角  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$  の相関係数  $r_k$  は次式で求められる。

$$r_k = \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} (\theta_i - \bar{\theta}_1) (\theta_{i+k} - \bar{\theta}_2) / S_1 S_2 = \left( \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} \theta_i \theta_{i+k} - \bar{\theta}_1 \bar{\theta}_2 \right) / S_1 S_2 \dots (3)$$

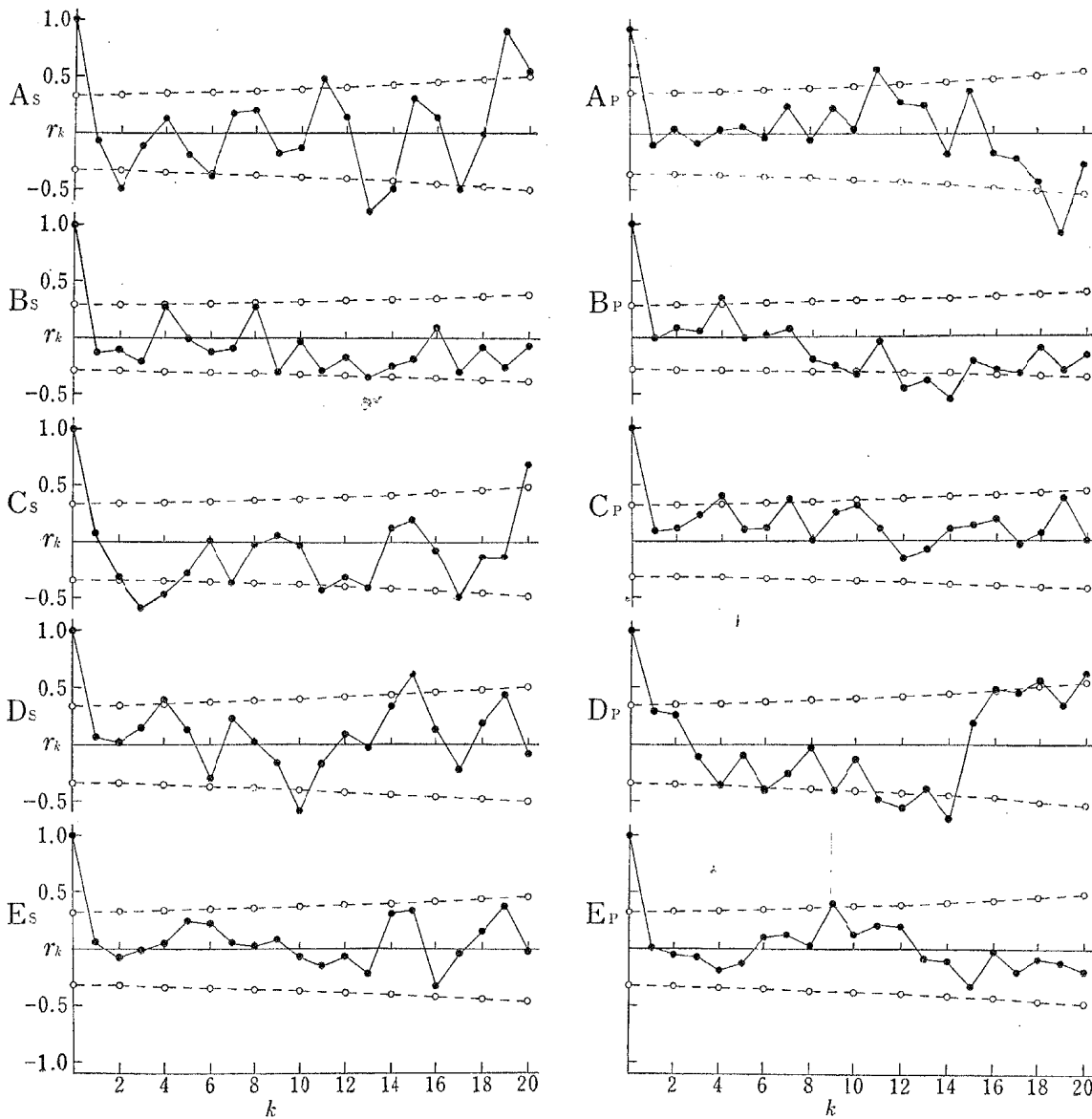


Fig. 5. Correlograms of yaw-angle.

Notes k : Counted in the occurrence order in yaw-angle

A ~ E : Symbols of quartermaster

Suffix S and P : starboard and port, respectively

Filled circle indicates the computed value from the observed series of yaw-angles, and open one does the lowest limit of  $r_k$ , the value higher than which can be regarded as significant at 0.05 level.

$$\text{但し } \bar{\theta}_1 = \sum_{i=1}^{N-k} \theta_i / (N-k) \quad \bar{\theta}_2 = \sum_{i=k+1}^N \theta_i / (N-k)$$

$$S_1^2 = \sum_{i=1}^{N-k} (\theta_i - \bar{\theta}_1)^2 / (N-k) \quad S_2^2 = \sum_{i=k+1}^N (\theta_i - \bar{\theta}_2)^2 / (N-k)$$

A, B, C, D, Eの各層両舷について(3)式により $r_k$ を計算して得たコレログラムを第5図に示す。この図の横軸は連続した偏角の第1番目( $k=1$ )～第20番目( $k=20$ )を意味し、曲線は自己相関係数の有意水準5%のものをもって示してある。

第5図から直観的にわかるのは船のヨーイングが決して単純な自己回帰過程をとるものでなく、また簡単な減衰過程をもつものでもないということである。これは船のヨーイングが横揺れ等の如く個有周期をもたず、しかも操舵手の操舵過程が極めて複雑なものであるためと考えられる。しかし各層の右舷或るいは左舷についてコレログラムを各個について考察すれば、その間に発生したヨーイングについて大体の様子が推定できる。例えば第5図Asでは連続的に発生しているヨーイングのうち第11回目毎および、第19回目毎に現われる偏角は相当大きい有意な周期が認められる。また同図ApではAsと同様に、第11回目毎に大きい偏角を生じる有意な周期があるが、第19回目毎には大きい偏角を生じないことが予想される。As, Apともに上記の周期以外は有意なもの認められないが、大体4回目を基底として4の整数倍の回数目毎にかなり大きい偏角を生じる性質がみられる。この原因はコレログラムの偶然性の外種々あるが、この資料だけでは明らかでない。

## 結 論

操舵手により操舵保針されている実船に現われたヨーイングについて、若干の仮定のもとに解析したところを総括すると次のようである。

(1) 航行中偏角は極めて複雑な変化をしているが、その大きさについて分析してみると、各舷並びに操舵手相互間に平均値、分散の差異はほとんど認められない。

(2) 偏角の大きさについての周期性は、各舷ならびに各操舵手間に共通した周期性はなく、また単純な減衰過程をとるものでもない。

終りに臨み、この研究に対して終始ご指導を賜った本所杉原喜義教授、同前田弘博士の両氏に厚く御礼申し上げるとともに、資料を提供された元耕洋丸一等航海士隅川芳雄氏に感謝の意を表する。

## 文 献

- 1) 元良誠三, 1954: 荒天中の自動操舵と Yawing について. 造船協会会報, 94.
- 2) 日本応用力学会, 1949: 応用統計学. 克誠堂.
- 3) 安田錠司, 1940: 帆走の科学. 日本機動艇協会.
- 4) 白内保文, 1956: 船の動揺の時系列論的解析について. 造船協会会報, 99.