

練習船耕洋丸(1,215トン型)の 自動操舵について—I*

自動操舵の舵角・天候調整値の
変化による舵角・偏角の統計解析

高島 末夫・浜口 正人
本村 紘治郎・実藤 了

On the Auto-Piloting of Training Ship, the "Koyo-Maru"
(1,215 GT Type) — I.

Statistical Analysis of Rudder Angle and Deviated
Angle due to Changes in Rudder and Weather Adjust Mechanisms

By

Sueo TAKASHIMA, Masato HAMAGUCHI, Kojiro MOTOMURA
and Satoru SANETO

Recently, most of the served ships are helmed by an auto-piloting equipment. The sensitivity of steering by auto-pilot is adjusted by rudder, rate and weather adjust mechanisms in due consideration of the type of ship, speed, cargo condition, sea condition and weather condition. The control of auto-pilot is done by choosing a suitable combination of the notch of the rudder adjustment and of the weather one, for the rate adjustment is usually fixed preliminarily. To find out the optimum combinations according to various conditions, a series of experiment were carried out by the "Koyo-Maru," right-hand single screwed training ship of side trawler type. And the following results were obtained.

- 1) The "Koyo-Maru" was inclined to turn right when the rudder was kept midship.
- 2) The difference of relative wind direction had little influence on the mean value of rudder angle when sea condition was the grade 3 or less.
- 3) The different combinations from 0 to 3 notch of rudder adjustment and of weather one had very little influence on the mean value of rudder angle and of deviated angle from the assigned course.

* 水産大学校研究業績 第852号, 1979年9月25日受理.

Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No. 852. Received Sept. 25, 1979.

- 4) When the notches of both weather and rudder adjustments were between 0 and 3, the notch of weather adjustment had a great influence on the fluctuation of both deviated and rudder angles. And the notch of rudder adjustment had no relation to fluctuation of deviated angle but had a great influence on the fluctuation of rudder angle, when they were within the above-mentioned ranges.
- 5) When sailing in the sea condition below the grade 3, the auto-pilot adjusted to any of the combinations of 0 or 1 notch of rudder and weather adjustments could maneuver the ship with very small yawing and steering.

1. 緒 言

現在運航しているほとんどすべての航洋船には、オート・パイロットが装備され、与えられた一定針路を自動的に保持して航海するという面では、極めて重要な役目を果たしている。このオート・パイロット開発にかかわる歴史は古く、単に一定針路を保持するという目的だけでなく、与えられた針路を更に合理的経済的に航海するため各種の調整装置も付けられている。また船体の操縦運動特性の解明と並行してオート・パイロット使用中の自動制御の質の向上という点からも数多くの研究成果がみられる¹⁻⁶⁾。

現在多く用いられているオート・パイロットの船内における調整の種類には舵角調整、当舵調整、天候調整の3種がある。船の操縦特性は船型、排水量によって異なり、また風向、風力および海況の状況によってこれら外力が船の操縦特性に与える影響も異なる。船舶が航行中には、針路を保持するための操舵に基づく抵抗増加とヨーイングに基づく抵抗増加の両者の合計された抵抗増加が船体に作用する。この合計された抵抗を最小にするような操舵方法が上記3種の調整値の組み合わせによって得られるものとする、調整値の決定は極めて重要な意味を持つ。これら調整値の選定は、基本的には船の操縦運動特性と外力の性質によって自動制御の安定性、質の問題として考察されるものであるが、現実には航海士の判断で決定されている。

筆者等は、この判断資料を得るために、本校練習船耕洋丸(1,215トン型)の自動操舵航行中における舵角・天候調整の最適調整値を見出すため実験を行ない、2、3の知見を得たので報告する。

2. 供試船および実験方法

供試船は本校練習船耕洋丸(1,215トン型)で主要寸法を第1表に、線図を第1図にそれぞれ示す。使用した自動操舵装置は東京計器製造所製デュプレックス・ジャイロ・パイロットで、その作動は次式を満足するように舵がとられる。

$$\mu = N\theta + R \frac{d\theta}{dt}$$

ここで N は舵角調整によって加減される舵角比を表わし、 θ は設定針路からの偏角で、 $N\theta$ は偏角に比例する戻し舵角である。また R は当舵調整によって加減される角速度に対する比例定数で、 $\frac{d\theta}{dt}$ は旋回角速度であるので、 $R \frac{d\theta}{dt}$ は操舵される当舵の量を表わしており、 μ は合成された舵角を表わしている。従って与えられた一定針路を航行中のオート・パイロットがとる舵角は、舵角調整 N によって決まる $N\theta$ と当舵調整 R によって決まる $R \frac{d\theta}{dt}$ の和およびバックラッシュ量を決める天候調整によってその値が変化している。一般に当舵調整は航行中一定とするので、今回の実験においても全実験を通して一定とした。そして他の二要素すなわち舵角調整と天候調整の調整値のみを種々組み合わせて実験を行なった。この実験に用いたオート・パイロットの上記調整値は、それぞれ0～6の7段階で、今回の実験では主に0～3の4段階を行なった。自

Table 1. Principal dimensions

Loa(m)	72.206	Gross tonnage (ton)	1,215.33
Lpp(m)	64.900	Displacement tonnage (ton)	1,968.15
B(m)	11.200	Normal trim (m)	1.00 aft.
D(m)	5.600	BHP (ps)	1,800

動操舵航行中、同一気象海象のもとで舵角・天候調整値を種々組み合わせ、船体のヨーイングに対する舵の追従特性を調べるため船首方位および舵角を同時に計測した。船首方位はジャイロ・コンパスにより、舵角は実舵角と指示舵角との誤差検出後

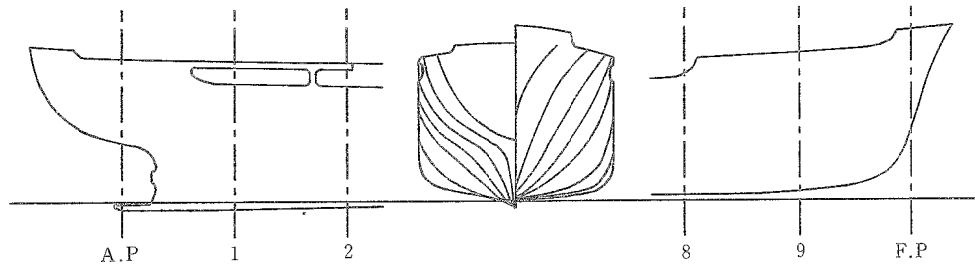


Fig. 1 Body plan and contours of stem and stern of the ship.

舵角指示器によって得られたものである。1組の調整値における計測を10分間行ない、その間10秒ごとに船首方位角と舵角を読み取り記録した。速力については1回の実験中のサルログの指示速力を平均し、気象海象については航海日誌記載要領に基づいて観測、記録したものである。今回の実験総数は182回であり、また航海中遭遇した最大海況は6であったが、計測、解析に用いることができたのは海況3以下のものである。なお実験時の排水量は約1,675トンであった。実験中の気象海象、主機関回転数および燃料消費量(容量)の頻度を第2図に示す。

3. 結果および考察

船舶が風浪等の外力を受けながら与えられた針路をオート・パイロットで航海する場合、最も理想的なことは操舵運動は極力緩慢で小さく、そして針路からの偏差(偏角)、ヨーイングは共に小さく緩慢でかつ航跡の蛇行、航程の延長の極めて少ないことであろう。したがって、オート・パイロットの調整後その成果をみるには、舵角および偏角の絶対値の大小だけではなく、それらの変化の様相すなわちパワースペクトラムの周波数とそのエネルギーにも着目する必要がある。ここでは2つの調整値の組み合わせの効果とその特徴をみる第1段階として、舵角と偏角の絶対値について統計的解析を試みた。すなわち前述した方法で得られた舵角、偏角について、それぞれの組み合わせごとに平均、分散、分散の比(本報告では舵角の分散と偏角の分散の比を分散の比と呼ぶことにする)、標準偏差を計算し、2つの調整値の変化が舵角、偏角におよぼす影響を検討した。平均、分散の比、標準偏差の計算結果のうちそれぞれ6例を第3-1図～第5-2図に示す。各図の上欄には海況、風浪、ウネリの方向および相対風向を示した。

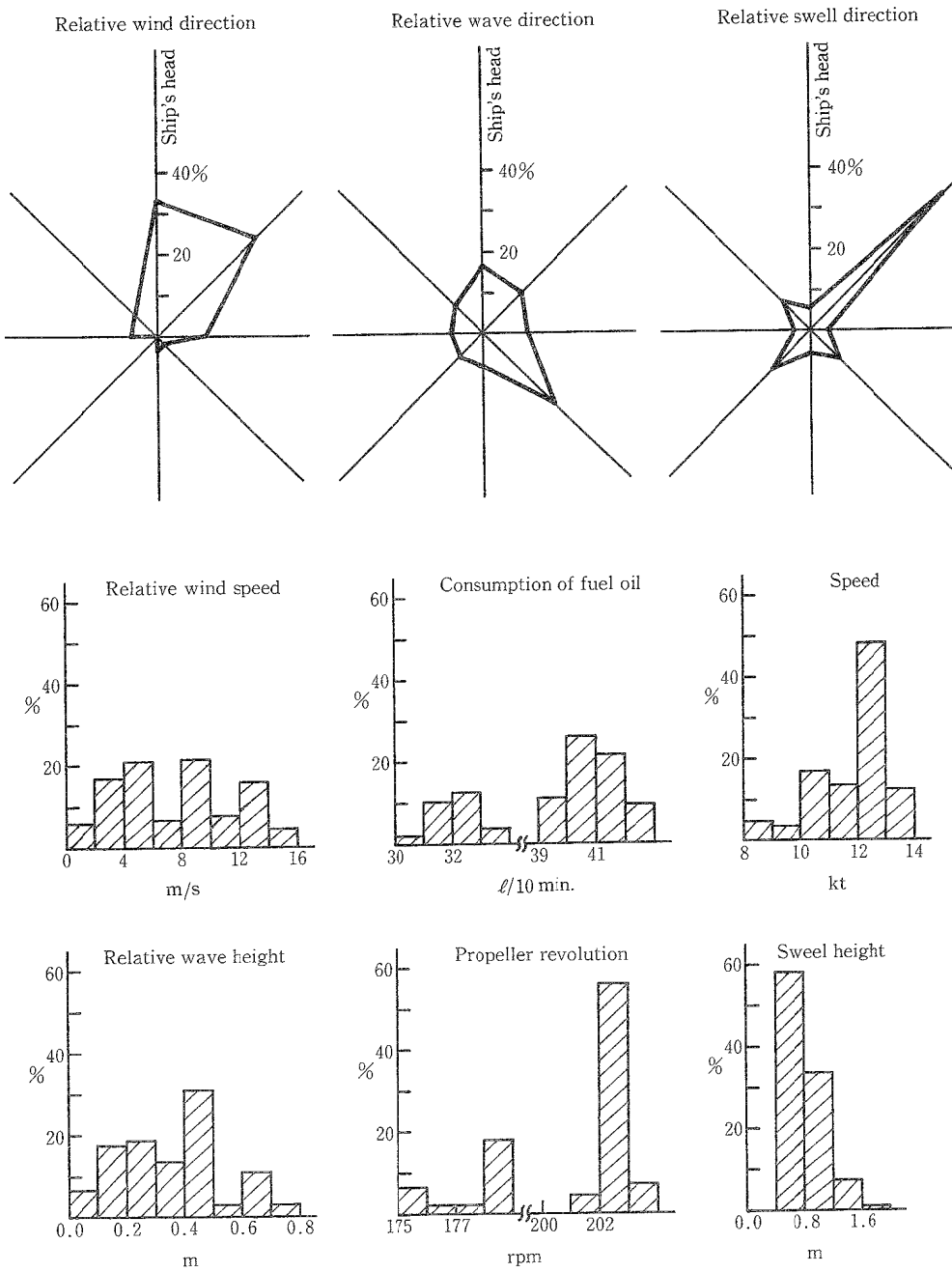


Fig. 2 Frequency distribution of the sailing conditions during the experiment.

3.1 平均値の解析

ほぼ同じ外力を受けて設定針路を航行中、舵角・天候調整値を変化させた場合の舵角、偏角の平均値の変化について第3-1図および第3-2図に示す。第3-1図は舵角調整値を一定にして天候調整値を変えた場合の平均値の変化を示し、第3-2図はこの逆の場合を示す。

これら両図の間に顕著な相違はみられない。このことは2つの調整値のうちいずれかを一定にして他を変えた場合、またはその逆の場合でも平均値に大きな変動はみられないことを表わしている。一般に単一軸船では、仮に風浪等外力の影響がない海面を航行する場合でも実舵角零で与えられた針路を直進することは稀である。供試船の場合も同様で、著者の1人により報告された操縦性試験の結果から、 $3^{\circ}\sim 4^{\circ}$ の左げん当で舵が必要であることがうかがえる^{7,8)}。今回の実験でも直進中の平均値という点から舵角をみると、ほぼ $\pm 1^{\circ}$ 以内でしかも182例中125例が左げん当で舵となっており、供試船では舵中央で前進中右回頭の傾向があることを表わしている。また、舵角平均値は、風を左げんに受ける場合と右げんに受ける場合とでは平均値の正負の符号が逆になるという報告⁹⁾があるが、今回の実験ではその傾向は見られなかった。これは両実験時の風速の大小と船型の相異によるものと思われる。すなわち前記報告の実験時の相対風速は約20mであるが、今回の実験時の相対風速は第2図に示すとおりであり、実験回数の80%が12m以下であった。このことから海況が3までの風速では舵角は左右のげんいづれにも顕著には現われないものと考えられる。

舵角・天候調整値を大きくすれば、平均値の絶対値が大きくなる場合も2、3みられたが、外力の大きさ、方向が本実験中に受けた程度ならば、全般的にみてこれら2つの調整値の変化が舵角、偏角の平均値に与える影響は極めて小さいと考えて良いであろう。

3.2 舵角比の解析

オート・パイロットの舵角調整の値は、同時刻における舵角と偏角の比すなわち舵角比に対応するものである。この舵角比の値によって舵角および偏角の変動が生じている。しかし偏角が0の場合、この比を求めることができなないのでここでは舵角比と関連して舵角、偏角の変化を検討するために、この2つの変量のそれぞれの分散を求め、舵角の分散対偏角の分散の比をもとに考察した。この分散の比を第4-1図および第4-2図に示す。

第4-1図は舵角調整値を一定にして、天候調整値を変化させた場合の分散の比の変化を示す。この図から舵角調整値を一定にして天候調整値を大きくしても分散の比の値はほとんど変化しない。これは天候調整の効果が位相の変化に現われ、ゲインの変化に現われないためと思われる。一方第4-2図は天候調整値を一定にして舵角調整値を変化させた場合の分散の比の変化を示す。この図から天候調整値を一定にして舵角調整値を大きくすると、例外は見られるが、分散の比は明らかに大きくなる。この原因は、舵角調整の効果がきいて個々の偏角に対する操舵舵角が大きくなり、それに対して偏角は小さくなるからで、この模様を分散比で表わすと舵角の分散が大きくなりそれに対応して偏角の分散が小さくなったものと思われる。

一般に舵角比を大きくすると船体および舵の正弦状運動の周期は小さくなり、小さくすると周期が大きくなるので、舵の作動の増加による馬力損失を考慮すると舵角比はなるべく小さくした方が良い²⁾といわれている。今回の解析結果をみても、天候調整値を一定にして舵角調整値を大きくすると、舵の動きはかなり激しくなり、操舵による抵抗増を誘引しているものと思われる。これらのことを考慮すると今回の実験中の外力すなわち海況3までの範囲では、舵角調整値を大きくすることは好ましくなく0～1の間で調整すれば良いように思われる。

3.3 標準偏差の解析

実船実験で得られた資料には、外力の影響等多種の要因のため、同じような条件のもとでも測定値が異なることがあり、その散布度を量的に表現する指標として標準偏差がある。ここでも変量の統計代表値として標準偏差を用い、各実験ごとの舵角・天候調整値の変化と舵角および偏角の標準偏差との関係を求め、第5-1

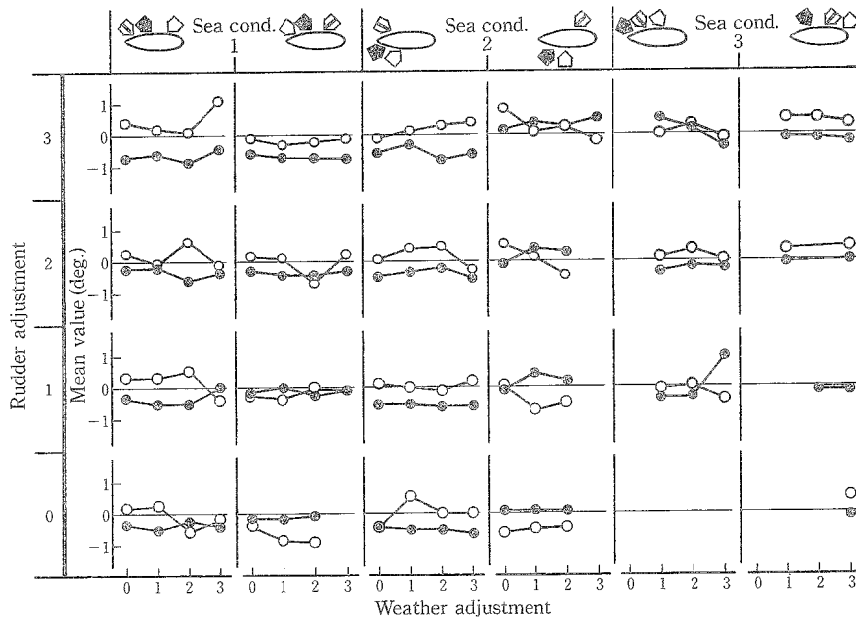


Fig. 3-1 Mean value of rudder and deviated angles from the course in relation to weather adjustment.

Notes ● : Rudder angle ○ : Deviated angle from the course
 ▲ : Relative wind direction ▲ : Swell direction
 △ : Wave direction

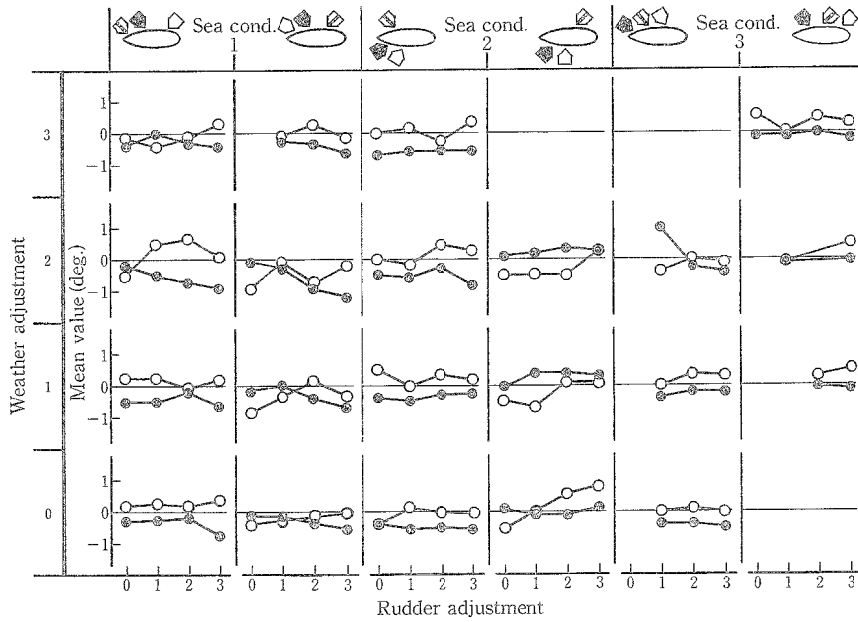


Fig. 3-2 Mean value of rudder and deviated angles from the course in relation to rudder adjustment.

Note Symbols are shown in Fig. 3-1.

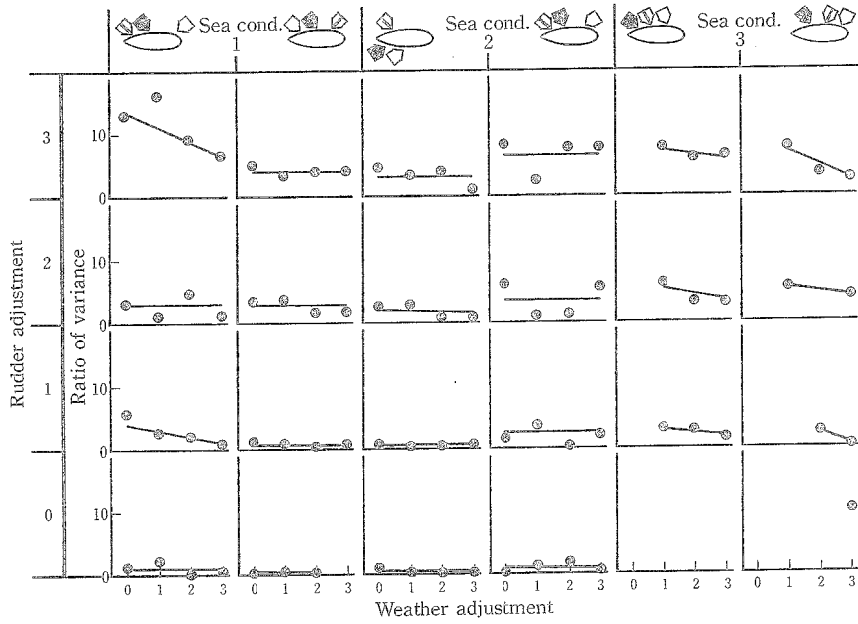


Fig. 4-1 Ratio of variance of rudder angle to variance of deviated angle from the course in relation to weather adjustment.

Notes ○: Ratio of variance Other symbols are shown in Fig. 3-1.

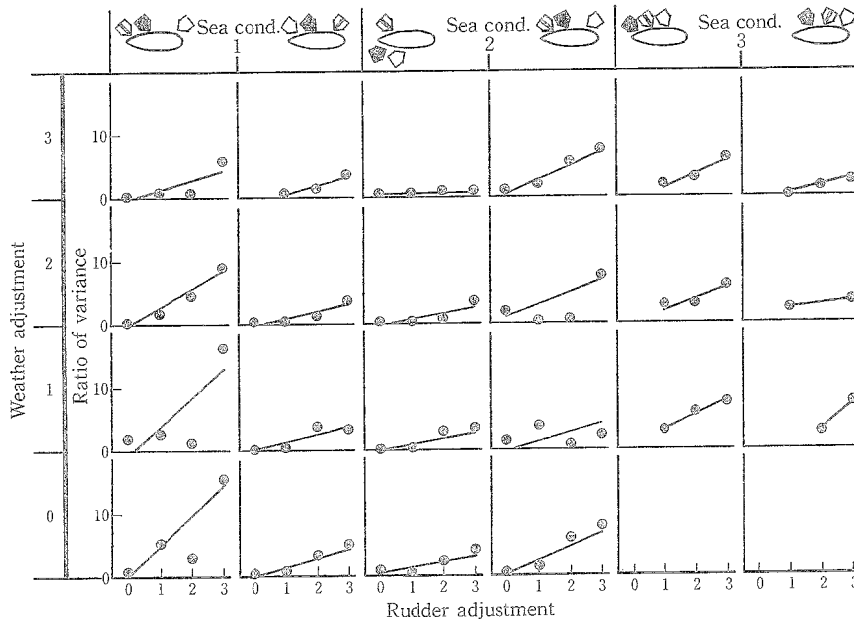


Fig. 4-2 Ratio of variance of rudder angle to variance of deviated angle from the course in relation to rudder adjustment.

Notes ○: Ratio of variance Other symbols are shown in Fig. 3-1.

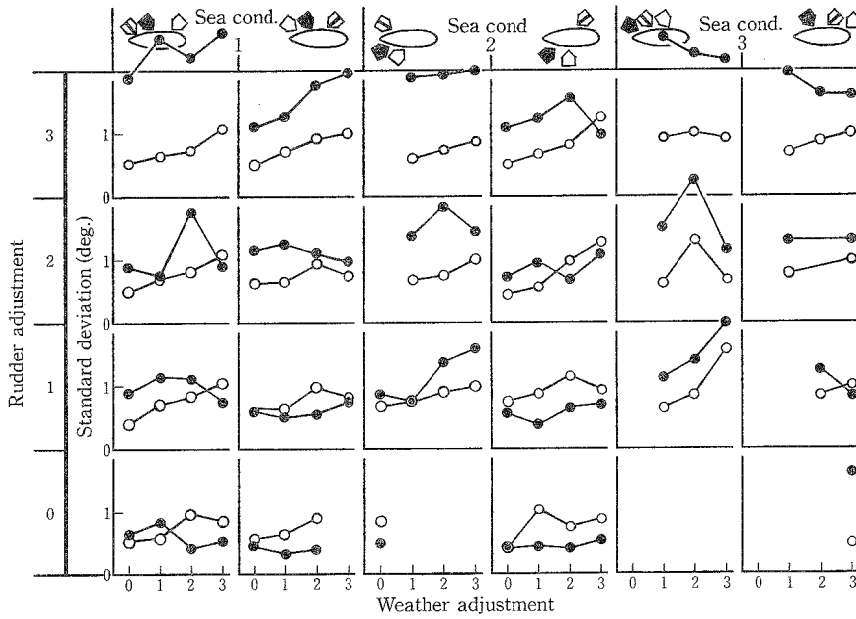


Fig. 5-1 Standard deviation of rudder angle and deviated angle from the course in relation to weather adjustment.

Note Symbols are shown in Fig. 3-1.

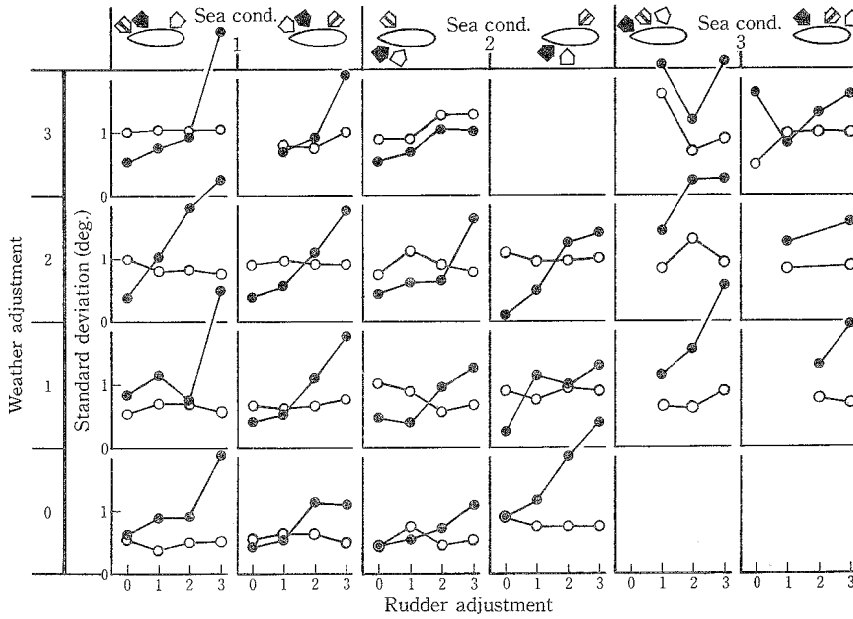


Fig. 5-2 Standard deviation of rudder angle and deviated angle from the course in relation to rudder adjustment.

Note Symbols are shown in Fig. 3-1.

図および第5-2図に示した。第5-1図は舵角調整値を一定にして天候調整値を変化させたときの標準偏差の変化の状況を示し、第5-2図はその逆の場合を示す。

これらの図から舵角調整値を一定にして天候調整値を大きくすると、舵角および偏角の標準偏差は共に大きくなる傾向が認められる。これに対し、天候調整値を一定にして舵角調整値を大きくすると、偏角の標準偏差はあまり変化しないが舵角の標準偏差は著しく大きくなる。このことは3.2で述べた分散の比の場合と同様の傾向を示すもので、天候調整値を大きくするとオート・パイロットが偏角を検出して操舵に到るまでの間で舵角に対する伝達に遅れを生じ、船体のヨーイングに対する舵の追従が遅れ船は設定された針路から外されようとする。また天候調整値が大きい場合舵角調整値が一定であるにもかかわらず設定針路に船をもどすため角度の大きい操舵を誘起する。第5-1図および第5-2図はこのことを示すものと思われる。このことからいたずらに天候調整値を大きくすると蛇行運動が大きくなり、その結果として船舶の航行距離を延長せしめると共に燃料消費量にも大きく影響する。更に大角度の操舵運動による舵抵抗も増すため馬力損失を招きやすい。基本的には舵角および偏角の分散の比、標準偏差が共に小さくなるような舵角・天候調整値を航行海域の気象海象に応じて選定すると良いことになる。本実験中に受けた外力すなわち海況3までの範囲では、舵角・天候調整値は共に0～1の間にあれば一応その目的を達するものと考えられる。またこれら2つの調整値がこの範囲内にある場合、2つの調整値の変化が舵角、偏角におよぼす影響すなわち船体のヨーイング、操舵運動におよぼす影響も少ないようである。なおトリムの変化が船の針路安定性におよぼす影響は大きいですが、供試船は練習船であるため貨物船や漁船等と異なり、トリムの変化が小さいために今回の実験ではこの影響を考慮しなかった。また本実験は舵角・天候調整値の微細な値を得るためのものではなく、これまで経験に頼っていた調整装置の操作に、定量的な値が見い出せれば一応その目的を達するものとする。

4. 要 約

練習船耕洋丸（1,215トン型）の自動操舵航行中における舵角・天候調整値を同一気象海象条件のもとで種々変化させた実験資料をもとに統計解析し検討を試みた。その結果を要約すると次のようである。

1. 供試船は舵中央で前進航行する場合右回頭する傾向がある。
2. 海況3以下の海域を自動操舵で航行する場合相対風向が操舵舵角の平均値に与える影響は見られない。
3. 舵角・天候調整値の変化が舵角、偏角の平均値に与える影響は極めて小さい。
4. 舵角・天候調整値が3以下の場合、天候調整値の変化が舵角および偏角におよぼす影響は大きかった。またこの場合、舵角調整値の変化が偏角におよぼす影響は小さかったが舵角には著しい影響があった。
5. 海況3以下の海域を自動操舵で航行する場合舵角・天候調整値は共に1以下で良いようである。またこれら2つの調整値がこの範囲内にある場合、2つの調整値の変化が船体のヨーイング、操舵運動に大きく影響しないようである。

今回の計測は船の航海計画に従って一定針路を航行中に行なったものであり、計測のために針路を変更させてはいない。その結果計測と外力、特に相対的な風向、波向、ウネリ等との関連を解析するには資料不足であった。この点については今後の実験計画に検討を必要とする。また今回の実験が海況3以下の限られた気象海象のもとで行なわれたものであることも考えると、今後数多くの実船実験を重ねる必要がある。

終わりにこの実験に対しご高配を賜った耕洋丸船長片岡昭吉教授、首席一等航海士乾栄一講師および実験に協力していただいた機関士ほか乗組員の方々に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 野本謙作, 1958: 自動操舵の安定性について。造船協会論文集, 104, 53~61.
- 2) 野本謙作・元山登雄, 1966: 船首揺にもとづく推進馬力の損失について。造船協会論文集, 120, 71~80.
- 3) 小山健夫, 1967: 外洋航行中の船の最適自動操舵系に関する研究。造船協会論文集, 122, 18~35.
- 4) 田中厚成・田古里哲夫, 1971: 回流水槽における操縦性試験および設定航路自動航法実験(第3報)。造船協会論文集, 130, 95~107.
- 5) 大津皓平・北川源四郎・堀籠教夫, 1976: 保針運動の統計的同定と最適操舵。造船協会論文集, 139, 31~43.
- 6) 大津皓平・堀籠教夫・北川源四郎・原誠, 1978: 保針運動の統計的同定と最適操舵(続)。造船協会論文集, 143, 216~224.
- 7) 高島末夫・大村千之, 1969: 練習船耕洋丸の操縦性試験について。本報告, 17, 114.
- 8) 高島末夫, 1971: 船の操縦性に関する実験的研究-I。本報告, 20, 112~115.
- 9) 元良誠三, 1953: 荒天中の自動操舵と Yawing について。造船協会論文集, 94, 62~63.