曳網中のヨーイングについて

高 島 末 夫*

俵 悟*

乾 栄 一*

Yawing of Ship, with Special Reference to That during Trawling

S. Takashima, S. Tawara and E. Inui

Abstract

The authors wish to show, in this report, the relation between the yaw-angle and the rudder angle during towing the net, which is thought to be one of the problems of basic importance specific to the fishing-boat, through the comparison of the records collected during towing with those during the ordinal navigation free from towing any net, although we know the occurrence of the phenomena probably with somewhat similar nature observable in the ships other than fishing-boat, for example, tug boat, etc.

The details of towing the net vary with the fishing methods; but, here, the authors take up the case of trawling, because the net is towed along straight line, consequently trawling is thought to be the simplest case and is easiest to analyze. While special attention should be paid to the fact that trawl-net is supported by "the towing block" on her stern at star-board side.

So far as the present study has concerned, the following tendencies are found out:

- 1) In order to keep the ship with less stability of her head on her appointed course, towing makes the ship require the rudder angle larger than in the case towing no net.
- 2) The rudder angle during towing changes nearly in proportional to the yaw-angle with less deviation than in the case towing no net.
- 3) Undamped oscillation can be found during towing in either yaw-angle or rudder angle.

1. 前 書

船舶が航行中には、操舵手の保針操舵あるいはオートパイロット操舵にかかわらず、常にある程度のヨーイングが発生している。しかもその発生の状況は、操舵手、海況、気象等により異り、

* 水産大学校

その運航上への影響も無視出来ない^{1) 2) 3)}。

ここではトロール網を曳網中に現われたヨーイングについて若干の解析を行った結果を報告する。現在トロール網漁業は漁場の遠洋化にともない、漁具も次第に大きくなり、漁船も500～3,500トンくらいに大型化し、漁法ならびに操船の技術は向上している。船尾両舷から曳網する方式と船尾右舷側で曳網する方式があるが、ここでは後者の方法で曳網している場合について資料を得た。

2. 資 料

この解析に用いた資料は、水産大学校練習船耕洋丸(1,215トン)が1962年度北洋航海の際、トロール網漁業中(1962. 6. 27～7. 4, 北緯59°, 西経173°, 水深90～110m)に得たものである。解析に用いた資料の収集当時における海況、気象はともに平穏で操船上への影響は無視出来るものである。

トロール網操業に関する船型的特徴は図1に示した。曳網中の対水速度は約3.5ノットで、トウイングブロック(Towing Block)を通じて各ワープ(Warp)にかかる張力は1.3～2.1トン、最大4.7トンであった。なおワープは350～400m延ばして操業していた。

Fig. 1 Schema of trawl boat showing the specificity in dynamics.

Note The abbreviation, TB, shows the position of towing block.

操舵手が保針操舵し、曳網中の基準針路からの偏差即ち偏角とその時の舵角を、5分間にわたり5秒間隔に同時測定した。測定舵角については、舵のmidship修正をしたのち解析したが、偏角についてはジャイロコンパス使用中であったのでそのまま使用した。投網から揚網までの曳網時間は約3時間であったが、各資料の測定時機は曳網モーメントが各資料についてほぼ等しいとみられる曳網開始初期に行った。

測定された資料のうち、代表的一例を図2に示す。

Fig. 2 An example of changes in the yaw-angle (open circle) and the rudder angle (filled circle) with passing the time in seconds.

A) Towing no net

Note P : Port angle

B) Towing trawl net

S : Starboard angle

3. 解析および考察

3.1 曳網中における舵角、偏角の発生状況

トロール網を曳網中の舵角、偏角の分布型と、これとほぼ同速度で通常航行中の分布型とはかなり異っている。解析の結果の一例を図3に示す。図3-Aは通常航行中の場合、同Bは曳網中の分布型である。

通常航行中の場合の舵角、偏角の分布は、平穏な海況のもとでは狭くほぼ $2^{\circ} \sim 4^{\circ}$ の範囲に含

まれている。

Fig. 3 Relative frequency of yaw-angle (filled circle) and rudder angle (open circle).

Note The abbreviation, RF, is relative frequency in per cent, and other abbreviations are the same as those in Fig. 2.

一方曳網中の場合は同じ海況、気象のもとにかかわらず、偏角を $2^{\circ} \sim 4^{\circ}$ の分布範囲におさえるためには発生頻度は少いが広い範囲の舵角をあて舵とする必要がある。また舵角分布のモードは左 $5^{\circ} \sim 8^{\circ}$ の舵角である。

舷側曳網方式では、船尾右舷側に曳網張力を受け右回頭モーメントが常に作用しているので、曳網針路保持のためには左舵角が必要になってくる。したがってこのあて舵は、舷側曳網の特徴であり、また大きい欠点である。

一般に曳網中における保針は、曳網しない場合に比べて容易であることが経験的に認められている。しかるにここで解析の結果は、曳網中には広い範囲にわたり保針のためにあて舵を必要とすることが判った。この原因は操舵手の技術上の問題と舵効であろうと考えられる。

即ち、トロール網を投網後曳網を開始し、予定の針路に船首を合わせても、初期の曳網モーメントとそれに対する舵角が正しく適応していない場合と考えられる。舵効の点については、船尾方向に長大なワープと曳網張力を受けるために、曳網中は船の重心のまわりの見掛慣性率が増大しているとみられ、一定の舵角に対しては非曳網中より舵効が減少していると考えられることが出来る。

3.2 曳網中の舵角と偏角の関係

船舶が航行中、保針のためにとる舵角と針路安定性については、いろいろな研究が発表され操舵手のとる舵角については非常に複雑とみられている⁴⁾。現在操舵手のとる舵角の大きさおよび速さの決定要因としては、(1)定常外力に対する修正、(2)偏角の大きさ、(3)偏角の速度および加速度、(4)偏角の積分値等の他、操舵手の技術、心理的影響等が考えられるが定量的には明らかでない。

そこで通常航行中の場合と曳網中の場合の操舵手の操舵形態を知るために、同時測定された資料から舵角ならびに偏角の関係について解析を試みた。その結果の代表的とみられるものを図4に示す。

通常航行中の場合は、図4-Aに示すように偏角に比例して舵角がとられている傾向はみられるが、その偏差は相当大きい。これは操舵手のとる舵角が偏角に一次比例の傾向をもつ以外に他

の要因が大きく影響しているものと考えられる。

Fig. 4 Relation between ship's yaw-angle and rudder angle.

A) Towing no net B) Towing trawl net

Note Yaw-angle of port side and starboard side are abbreviated to PY and SY, respectively; while rudder angle are to PR and SR.

一方図4—Bは非曳網中とほぼ同速度で曳網中の舵角、偏角の関係を示す。曳網中の場合は操舵手の操舵方式の主流と考えられる $\delta = -K\theta$ (但し δ = 舵角, θ = 偏角, K = 常数) の型が明らかに認められる。しかもこの比例関係からの偏差は比較的小さい。

このことは、船舶が曳網中には通常航行中より保針のために大きい舵角をとらねばならないが、舵角と偏角の関係は簡単でほとんど1次比例の on off 操作で十分保針出来ることを示している。したがっているような操舵要因を含む通常航行中の操舵方式より、曳網中の操舵方式が簡単である。

ヨーイングの速度と操舵々角の関係については、非常に複雑で資料の範囲では明らかな関係は見出されなかった。5秒間におけるヨーイングの平均速度とその時の舵角の関係を図5に示す。

Fig. 5 Changes in rudder angle (filled circle) in relation to angular velocity (open circle) with passing the time in seconds.

Note Yaw-angle is taken in clockwise. Rudder angle is plotted against left ordinate, while angular velocity of yawing in degrees per second does against right one, and other abbreviations are the same as those in Fig. 2.

3.3 舵角および偏角の周期的関係

船舶が航行中には、波浪等によつて偏角が現われ、時には操舵手の操舵そのものが船に不必要なヨーイングを誘発していると考えられる場合があり、ヨーイングを完全に無くすることは難しい。

一般に操舵手は支えられた針路と船の動きをみてあて舵の大きさと方向を決定し、それに対応して再び船が運動する……と云う一巡する保針方式をとっている。したがって船の動きと舵角の間には、大きさ方向だけでなく周期的にもある関係が存在すると考えられる。

図2に示すように、実測されたヨーイングおよび舵角をみると、これは時間とともに変動する一つの定常時系列をなすものと考えて時系列解析を行い、母集団としての確率過程を求め、曳網中および非曳網中のヨーイングと舵角変動の周期特性を解析してみる。

曳網中と非曳網中に得た各資料のヨーイングと舵角の連続記録から、例えばヨーイング系列の相関係数即ち5秒毎に読みとつた連続する 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。

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

但し

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

舵角 δ についても同様に計算される。

曳網中と非曳網中に得た各資料について、(1)式により舵角、偏角それぞれ $k=40$ まで計算しそれらの一例を図6に示す。図6の曳網中と非曳網中は同一の操舵手が操舵したもので、当時の海況等は波高(0.3~0.5m)、相対波向(船首より右15°)、相対風力(ビュフォート階級0)、速度(対水3.3ノット)であつた。

この解析の結果、曳網せず通常航行中では舵角、偏角ともにその変動に明らかな周期性は認められない。一方曳網している場合にはほぼ規則的な、しかも減衰のない振動が認められる。

通常航行中に舵角と偏角にそれぞれの周期性が認められない理由は、もともと船首方位の変化に対して船体が復原力をもたず、したがって固有周期をもたないためである。また船首揺れの性質も特別な場合を除いて(例えば顕著な船型の左右非対称)、左右どちらかの片寄り傾向をもたない。また仮りに一舷に偏角を生じ始めても、それに対応する舵角が操舵手によりいろいろな要因を考慮して複雑にとられるために明らかな周期性がみられないものと考えられる。

曳網中には舵角と偏角の間にほぼ規則正しい周期的関係が認められるが、これらについては次のような原因が考えられる。即ち

(1) 一定方向への船首偏向性がある。

理想的な状態では曳網による回頭モーメントと舵角モーメントが釣合つて航行しているのであるが、普通はそれぞれのモーメントが若干変動しながら航行している。操舵手は曳網中の船首右偏向性に対してあて舵をとり、しかも船の動きをみて操舵する。もし船の動きに対して操舵が追従していない場合には、船は次第に右に偏向する。そしてある偏角になって初めてあて舵の舵角

を調整する。その後偏角が0になり、しばらくすると再び右偏向が現われる。このようにある大きさの偏角（約 2° ～ 3° ）が現われる時機と、その時になつてあて舵をとることが周期的に偶然一致したものと考えられる。但しこの周期的変動とこれが船体、漁具に与える影響については現在研究中である。

(2) 曳網張力の周期的変動

트롤網が海底をすりながら動くために水中にあるワイヤーの曲線が変化し、それにもない張力が変動する。また中層曳以外の트롤網に用いるオッターボードは、普通海底を滑りながら移動している。その際海底が砂泥であるような場合には、オッターボードが網の進行方向に対して、ステップ状に運動方向が変わるためにワープにかかる張力も周期的に変化するものと考えられる。測定された張力の変動にも、80～100秒の大きい周期と6～10秒の小さい周期が交互に生じているものと考えられている⁵⁾。したがってこれらの周期的な力が、単独に或いは集合されて船の回頭モーメントとして作用し、それに対する操舵が周期的に一致したものと考えられる。

解析の結果、舵角と偏角にはそれぞれ75～85秒の周期がみられたが、これは波浪あるいは突風のためとは考えられない。したがって曳網中にみられる非減衰性の振動は以上2点が主な原因であろうと思われる。

なお舵角と偏角の位相については、図2に示すように明らかな差はみられない。しかし曳網中の大きい偏角（例えば 2° 以上）の場合は、舵角は偏角に対してほぼ 180° のずれがある。

4. 結 言

船舶の航行中にみられるヨーイングについては若干解析されているが、漁船運用の面からヨーイングを解析する場合には、船体と漁具とを結合して考察する必要があるが、その結果は今のところみられない。

船が網、縄その他の漁具あるいは他船を曳いて直進または旋回する場合、その運動は複雑なものとみられる。そこで最も簡単な状態と考えられる트롤網を曳網している場合に現われたヨーイングと舵角について、実測された一例を解析したが、それを要約すると次のようである。

- (1) 曳網中船首が針路上に安定しない場合には、通常航行中に比べて保針のために大きい舵角を必要とする。
- (2) 曳網中にとる舵角は偏角にほぼ比例し、この関係は通常航行中より規則正しい。
- (3) 曳網中船首が針路上に安定しない場合には偏角と舵角は、減衰しないで75～85秒の周期をもつ振動が認められる。

終りに終始御指導を賜った本学杉原喜義教授、前田弘博士に深く感謝し、資料収集に御協力して戴いた耕洋丸士官各位に御礼申上げる。

Fig. 6 Correlograms, in an attempt to show the regularity in the periodicity of either yaw-angle (open circle) or rudder angle (filled circle) during towing no net (A) by the comparison with that during towing the net (B),

Note Unit of k is 5 seconds.

参 考 文 献

- 1) 高島末夫：操舵手により操舵中の船舶のヨーイングについて—1, 水産講習所研究報告, No. 11~2 (1961) P.297.
- 2) 高島末夫：手動操舵中のヨーイングの性質, 日本航海学会誌, No. 28 (1962) P.69.
- 3) 元良誠三：荒天中の自動操舵とヨーイングについて, 造船協会会報, No. 94 (1954).
- 4) 谷 初蔵：船の保針性と操舵の効果に就いて, 造船協会会報, No. 91 (1956).
- 5) 葉室親正：漁具測定論, P.212, 槇書店