超大型船の避航動作分析 船舶交通の統計的特性—II.

原 潔*

Analysis of Avoiding Act of Large Tanker
The Statistic Characters of Ship Traffic—II.

K. Hara

Abstract

In order to recognize some statistical characters of avoiding act, author analyzed the record of "Coarse Recorder" of DW 120,000 ton tanker, which was putting on the line between Japan and Persian Gulf.

There were considered avoiding acts of 338 cases which had ever been practised in Ocean, Malaca Strait and Persian Gulf during 140 days, that is, her voyages of four times.

And author quantitatively got a few statistical results regard to following items about avoiding act

- (1) The Number of avoiding act practised in a watch
- (2) The Direction, Grade and Pattern of an avoiding act
- (3) The Transverse shifting distance & proceeding in the acts

1. 緒 論

既報で水路上に分布する船の隻数はポアソン分布で説明され、その間隔は指数分布になることがわかった[1]。このような統計的な特性をもつ“操船の場”で行なわれる操縦動作は(1)直進(2)回頭という相反する性質の動作が行なわれ、しかも回頭動作は出発港と仕向港が決れば必然的に決る変針動作と他船の存在によつて非定常に発生する避航動作とに分けられる。今回は避航動作のもつ統計的な特性を知るために超大型船のコースレコーダーの記録にあらわれた操縦履歴を量的な面、質的な面から解析した。その結果、今迄経験的に表現されていた避航動作の特性の一部を一応定量的に表現できたので報告する。

2. 解析の方法

2.1 資料の選定

採用した資料は日本—ペルシヤ湾間に就航しているDW12万トン型のいわゆる超大型タンカー(L×B×d=256×40×15.8m)の処女航海から第四次航海までの約140日間のコースレコーダーの記録である。ここで云う避航動作とは回頭角が2°以上で避航時間が1分以上のものをいい、

*神戸商船大学(神戸市東灘区本庄町深江)

第1図に示すように種々な形であらわれる。

日本—ペルシヤ湾間の航海を(1)大洋(2)マラツカ海峡、ペルシヤ湾(3)日本内地、シンガポール水道の三つに大別し、まず船舶の輻輳や地形の影響を受けずに一船対一船の避航動作が多いと考えられる大洋航行中 (Set. Co. の水域とする)

の避航動作を選び出した。大洋航行中の操船者は比較的余裕をもつて避航動作を行なうことができ避航動作の基本型と考えることができる。一方この避航動作の基本型が主として、船舶の輻輳によつてどの程度の影響を受けるかをみるために、マラツカ海峡およびペルシヤ湾内航行中 (Var. Co. の水域) の避航動作を選び出し対比した。これら二つの水域での資料数は第1表のごとく総計 338 例であり、いずれの水域でも航海ごとの避航動作回数の変動係数がほぼ等しいことが注目される。なお内地およびシンガポール水道という超大型タンカーにとつて最も操縦上の問題の多い水域での操縦動作を分析する必要があるが、これらの水域では、変針動作と回頭動作を正確に分離することが困難なので別の機会に残した。

第1図 コースレコーダー上の避航動作例

第1表 航行水域別資料数

航行水域	Ocean	Malacca Strait	Persian Bay
資料数	191	75	72
片道平均	28.9	10.7	9.0
標準偏差	6.99	2.60	2.67
変動係数	0.24	0.24	0.29

2.2 避航する時の船の軌跡

避航動作は舵の操作によつて行なわれるのが大部分であり、その型は避航時の操舵にともなう船の軌跡によつて決まる。船の軌跡は進行方向を y 、船の左右方向を x とすると、 $t=0$ で原点にいた船の任意の時刻 t 後の船位 (x, y) はほぼ(1)式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} x &= \int_0^t V(t) \sin \theta(t) dt \\ y &= \int_0^t V(t) \cos \theta(t) dt \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに $V(t)$: 速力, $\theta(t)$: 回頭角

大部分の避航動作は回頭角速度のある時間よりも変針後直進している時間の方がはるかに長い。つまり第1図のように $\theta(t)$ の記録はパルス状になる場合が多く、パルスがいくつか連続することもある。このパルスの高さ $\Delta\theta$ を避航角とし、それが一つするとき避航段数一段と呼ぶことにする。避航段数 n 段のときは n ケの $\Delta\theta$ であらわし、それぞれの $\Delta\theta$ について第2図の点線のごとく、避航時間 Δt を求める。一方速力 $V(t)$ は操舵にともなつて角速度のある部分およびその付近では変動するけれどもそれ以外のところでは一定とみられる。したがつて(1)式は次のように書ける。

$$\left. \begin{aligned} x &= V \sum_{i=1}^n \Delta t_i \sin \Delta\theta_i \\ y &= V \sum_{i=1}^n \Delta t_i \cos \Delta\theta_i + l_1 + l_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ここに n : 避航段数 ($n=1, 2, 3, \dots$)

$\Delta\theta$: 避航角 Δt : 避航時間

l_1, l_2 : 新針路距離

(2)式を使つて避航段数1段の避航動作を画くと第3図のごとくなり x は避航動作にともなう横偏位量とみてよく、これを避航量とする。一方、避航動作中の前進距離を求めるには、 l_1, l_2 を求めねばならない。しかしながら、 $\Delta\theta=15^\circ$ 、舵角 15° 、速力16ノットで l_1+l_2 は概略650m程度であり、しかも避航角 $\Delta\theta$ が 10° 以下である場合が全避航動作の80%を占めることから y 方向の移動距離の方が x 方向にくらべてはるかに大きく、オーダーが一つ違うことが予測される。そこで今回の解析では

$$\left. \begin{aligned} l_1+l_2 &\doteq 0 \\ \cos\Delta\theta &\doteq 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

とみた。これらの近似の誤差は互いに打消し合う向きになり、かつ計算が簡単になる。

従つて避航時の船の軌跡を求める式は(3)を(2)に代入して、

$$\left. \begin{aligned} \text{避航量} &= V \sum_{i=1}^n \Delta t_i \sin \Delta \theta_i \\ \text{避航中の前進距離} &= V \sum_{i=1}^n \Delta t_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

とした。

コースレコーダーの記録から避航動作の行なわれた当直時刻、同一当直中の避航回数、避航段数、避航角および避航時間を読みとり、それらを航行水域別に集計すると共に、航海日誌に記載された24時間の平均の対地速力

第2図 避航角、避航時間の近似

(m/分)を使い(4)式から避航量および避航動作中の前進距離を全避航動作338例について計算した。この計算には読取り上の誤差と軌跡の近似上の誤差が含まれるが、そのオーダーは $\pm 10\% \sim 20\%$ 程度とみられる。

3. 解析結果

3.1 当直中の避航動作回数

当直中に行なわれた避航動作の回数を航行水域別に集計したのが第4図である。この図は左から日本沿岸⇄シンガポール水道出入口、マラッカ海峡出入口⇄ペルシヤ湾およびマラッカ海峡内とペルシヤ湾の三つの水域を航行中に分けて示している。拙論[1]から自船の前方に存在する船の隻数はポアソン分布になることがわかつたので、その水域で行なわれる避航回数も又ポアソン分布になることが予測される。そこで期待度数を計算すると図中の折線のごとくなり、観測度数と期待度数との間で χ^2 -検定を行なうと、マラッカ海峡—ペルシヤ湾間を除いて、いずれもポアソン分布であることが予測される。従つて船舶交通量がポアソン分布で説明される定常な水域では避航を必要とする船も又ポアソン到着することがわかる。

第3図
船の軌跡の近似

第4図 航行水域と避航回数

3.2 避航動作の形状

3.2.1 避航動作の段数

全避航動作を避航段数に応じて、航行水域別に分類して示すと第5図のごとく、一段というのが圧倒的に多く75%~80%を占める。同じ2段以上の避航動作でも第1図に示したように $\Delta\theta$ の減少する場合と $\Delta\theta$ が増加する場合に分けられ、 $\Delta\theta$ の減少する場合は操船者が余裕をもって操船したことを示し、 $\Delta\theta$ が増加する場合は操船者が最初に行なつた判断が誤りであつたか、もしくは修正する事態（たとえば他船の変針等）が生じたためとみられ、 $\Delta\theta$ が減少する場合に比べて、危険性が高いと考えられる。

避航角が増加する避航動作の割合はいずれの水域でも約12%となり、操船者は10回に1回くらいの割合で避航中に判断を変えることを示している。

3.2.2 避航方向、避航角

避航段数に関係なく、1分以上保持する避航角を集計すると第6図、第7図になる。第6図から大洋およびペルシャ湾航行中は右へ避航する回数も左へ避航する回数もほぼ同じ割合であるのに、マラツカ海峡航行中は7:3の割合で右への避航が多いことがわかる。これは左舷に他船をみて左舷対左舷の避航をする場合が多いことを示しており、右側航行が原則的には守られているが、3割近くはこれを守っていない可能性がある。

(航行水域)

大 洋	75.4 %	24.6 %
ペルシャ湾	76.3 %	23.7 %
マラツカ海峡	82.6 %	17.4 %

□ 一段 ▨ 二段以上

(航行水域)

大 洋	88.0 %	12.0 %
ペルシャ湾	88.9 %	11.1 %
マラツカ海峡	88.0 %	12.0 %

□ 一段および 避航角が減少 ▨ 避航角が増加

第5図 航行水域と避航段数

第7図は避航角を百分率度数曲線および累加百分率で示したもので、 5° 、 10° ……と 5° の倍数ごとにピークがあり、避航角の増大にともなう使用頻度が少なくなっている。つまり累加百分率が指数函数的になっていることは前述の避航回数がポアソン分布になること共に注目される。

3.3 避航量に影響する諸要素

3.3.1 航行水域、避航方向の影響

航行水域および避航方向別に条件の異なる四つの場合の避航量の頻度分布を示すと第8図のごとくなり、大洋航行中は実線で、マラツカ海峡・ペルシヤ湾航行中は点線で示されている。これらの頻度分布曲線の傾向が航行水域および避航方向に本質的に影響されたものか、あるいはそれらの影響を受けずに同一の母集団つまり同じ生起確率をもつ集団とみることができるかどうかを χ^2 -検定で検討した結果が第2表である。これからマラツカ海峡・ペルシヤ湾航行中の左への避航が関係する場合は有意水準が低いことからこの場合は他の三つの場合にくらべてやや異なる生起確率をもつ可能性がある。他の三つの場合の相互間には大きな差はなく、その最頻度値は200m～400m（約 $0.8L_{pp}$ ～約 $1.5L_{pp}$ ）にあることがわかる。これは報告[2]で固定障害物に対して自船が任意の横距離に到着した時の避航処置を解析してえられた離隔距離 $0.6L_{pp}$ ～ $2.0L_{pp}$ とほぼおなじ値となることが注目される。

3.3.2 当直時刻の影響

避航動作の行なわれた時刻帯つまり当直別に避航量を集計し、その算術平均と資料数を示したのが第9図である。これには昼間、夜間の影響と当直者個人による違いの両方が混入しているので、同じ当直者が行なう避航量の夜間と昼間の値をとって昼夜の影響をみると、二等航海士の当直（0h～4h、12h～16h）でその比が1.40、三等航海士の当直（8h～12h、20h～24h）で1.38。

(航行水域)

第6図 航行水域と避航方向

第7図 避航角の頻度分布

第8図 航行水域、避航方向と避航量

第2表 避航量におよぼす航行水域、避航方向の影響

F_1		F_2		有意水準*
航行水域	避航方向	航行水域	避航方向	
Set Co.	右	Var. Co.	右	.95～.98
"	左	"	左	.02～.05
"	右	Set Co.	左	.30～.50
Var. Co.	右	Var. Co.	左	.05～.10

* F_1 , F_2 が同じ母集団に属するとみられる有意水準

となり、いずれの場合も夜間は昼間に比べて、約40%避航量が大きくなっている。一等航海士の当直(4h~8h, 12h~20h)では昼間と夜間が相なばずと考えられる通り、二回の当直の比は1.02となりほとんど1に等しい。これは明暗の差が操船者におよぼす影響の一つとみられる。

3. 4 避航中の前進距離

避航動作中の前進距離を航行水域別に集計したものが第10図である。避航量と同じように航行水域によって影響されているかどうかを χ^2 -検定してみると同じ生起確率をもつ母集団に属するとみられる有意水準が0.70~0.80となり、航行水域によって変わらないことがわかる。二つの水域の平均を示したのが図中の太実線であり、その最頻度値は4.0~6.0 km(約2.0~3.0 浬)にある。避航中の前進距離は主として前進方向の他船との相対速力に反比例して決まると考えられるから行逢い関係のとき、前進距離は短く、追越し関係のときは長くなる。このことは第10図がよく示している。最頻度値が通常の航海で最も起りやすい行逢い関係を示していると考え、相手船が自船とほぼ同じ速力であつた場合少なくとも4.0~6.0 浬前方に他船をみて避航動作を開始していることになる。したがって避航動作を決める重大な要素となる航海灯は海上衝突予防法で定められた灯火の最低光達距離つまりマストライト5 浬、舷灯2 浬というのが書きかえられるべきことをこのデータは示している。

4. 結 論

以上のように避航動作の形状、避航量、前進距離等、別々に集計してその傾向をみてきたが、これらを集大成した形で表現することも可能であり、第11図は一例として大洋航行中に避航する時、使用する海面の頻度を右への避

第9図 当直時刻と避航量

第10図 避航動作中の前進距離

第11図 避航に使用する海面の使用頻度

航について示したもので、丁度人間の足元のような形状をしていることがわかる。

今回の解析によつてコースレコーダーの記録は船の避航動作の解明にきわめて有効であることを示すと共に次のような結論を得た。

(1) 1当直中に必要な避航回数はポアソン分布をし、大洋では平均0.25~0.30回程度、マラツカ海峡、ペルシヤ湾航行中は平均1.6回程度である。

(2) 避航角は 5° の倍数が常用され、避航角が大きくなるにつれてその使用頻度は指数函数的に減少する。

(3) 避航動作中、判断を変更する事態が10回に1回くらいの割合で起る。

(4) 避航量はマラツカ海峡、ペルシヤ湾航行中の左への避航の場合を除いて、航行水域、避航方向によつて大差なく、夜間は昼間の4割増しになる。

(5) 避航中の前進距離は2.0~3.0 浬に最頻度値があり、少なくとも4.0~6.0 浬前方に他船をみて開始しているから、舷灯などの光達距離を改正する必要がある。

なお、本研究には本学の山口教授、本田、松木両助教授に種々御教示をいただき、又日本郵船株式会社には資料の提供を受けたことを記しここに感謝します。

参 考 文 献

- [1] 原：船舶交通の統計的特性—I（水路上に分布する船の隻数およびその間隔）

日本航海学会誌 第35号

- [2] 山口、松本、市瀬、浜畑：危険物等の離隔距離について

日本航海学会誌 第34号