

海上交通流における航跡の多様性指数について *

On the Index which Indicated the Variety of Ship Tracks

辻 啓 介**
By Keisuke TSUJI

One of the purpose of the marine traffic passage on the narrow cahnnel make improvement on the disorder of the marin traffic flow for the safety of ships by passing on same course.

This papaer proposed on index which indicated the variety of ship tracks, using the entropy method. And it was shouwn by this index that the temporary light buoy, taking safety measures for the construction of a bridge, was effective for the safety.

1. まえがき

船舶航行は海上自由航行が原則であり、個々の船舶がそれぞれの目的に応じて自由に航行している。しかし、狭水道など可航幅が限られた海域では、船舶が集中し、非常に危険な状況となることは言うまでもない。これらの船舶交通の輻輳する海域における危険防止策として、航路の設定などの交通規制が行われ船舶交通の安全を図られている。

航路を設定する目的は、多様な船舶の流れを整流し、ほぼ一定方向に流れる交通流を形成して、安全性を高める事である。しかし、航路を設定しても、陸上とは異なり、海上に視認できる航路線

を引くことは不可能である。現在、航路を示すためには、航路の要所に灯浮標を設置するのみである。灯浮標の設置についても最低限の個数に限られ、種々の条件の下では、航路全体を示すことが難しいことから、航路端を示す浮標の無い航路が多い。このような航路では、航路の側端付近を航行中の船舶において操船者の航路内か否かの判断が推測に頼らざるを得ない。

さらに、航路航行義務を負わない船舶（海上交通安全法による航路の場合は50m未満の船舶）があり、非義務船の航路途中からの合流や、合流に伴う航行位置の推移（シフト現象）が発生する。また、航路内での整流により安全性の向上が見られても、航路入口付近での船舶の集中による混雑は依然として残ってしまう。このように、せっかくの航路設定が、十分にその機能を発揮していない事がある。

本研究は、航路を計画する段階において航路幅や航路長を設定する際の、また、現状の航路の有

*キ-ワード：多様性指数、海上交通流

**正会員 商船修 大島商船高等専門学校商船学科
(〒742-21 山口県大島郡大島町小松1901-1)

効性を評価する際の一つの指標として、航跡の多様性指数を提案するとともに、多様性指数についての若干の検討を行なったものである。

2. 利用した航跡データの概要

本研究の対象海域及び範囲は、図1及び図2に示す浦賀水道航路北部の直線部分（浦賀水道航路中央第2号灯浮標から中の瀬航路の接続部分の同じく5号灯浮標付近まで約6000m）及び明石海峡航路東部の直線部分（明石海峡航路中央第2号灯浮標から東へ約6000m）とした。なお、両航路とも、海上交通安全法による航路であって1方向の航路幅は750mである。

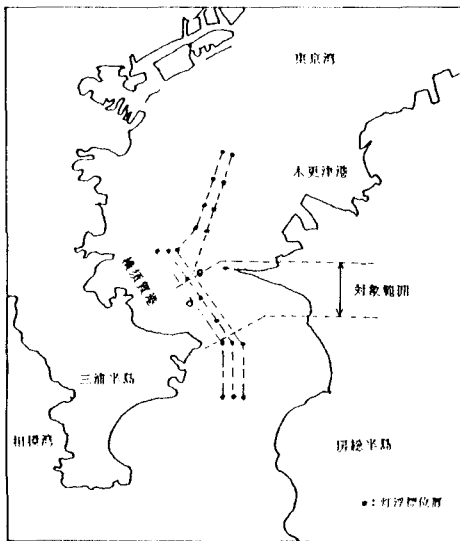


図1 対象海域概要図（浦賀海峡航路）

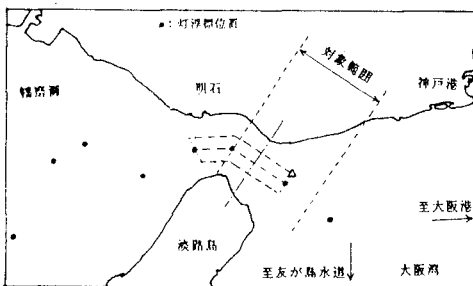


図2 対象海域概要図（明石海峡航路）

浦賀水道航路では、航路端を示す灯浮標並びに第2海堡・第3海堡によって、航路幅示されている。また、対象範囲が航路途中の一部であり、範囲に連続して航路が続いている。そのために、合流現象や入航のための船舶集中の影響を受けることは少ないと考えられ、かなり整流された交通流であると言ってよい。

明石海峡航路は、通常、航路中央灯浮標のみで航路端を示す標識がなく、操船者は航路端を認識出来ない。そのために、航路途中において合流現象が発生する。また、海峡の東方向にあたる大阪湾には、神戸港・大阪港などの港湾が連続し、南には友が島水道があって瀬戸内海と外洋とを結ぶ重要な航路である。従って、航路入口付近では、各地からの船舶が集中する事になる。対象範囲内に、船舶の集中による影響が現れるている。

さらに、明石海峡大橋の建設工事の進行に伴って、工事区域の設定および臨時灯浮標の設置などがあって、航路条件に変化があった。3回の観測



図3 航跡図（浦賀海峡航路北航 UN）

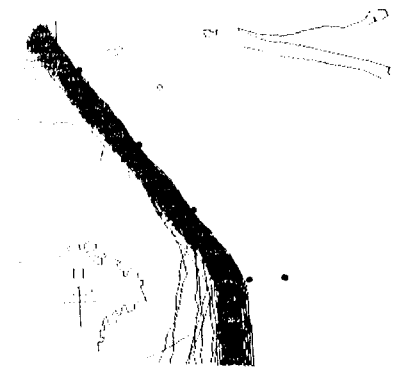


図4 航跡図（浦賀海峡航路南航 US）

のデータについて解析することで、交通流の変化の影響を調べることができる。

過去にこれらの海域において行われた船舶交通調査から、航跡データを頂いて研究をすすめた。本研究において使用した航跡データを得た調査の概要を次に示す。



図5 航跡図(明石海峡航路西航 A1段階)



図6 航跡図(明石海峡航路西航 A2段階)

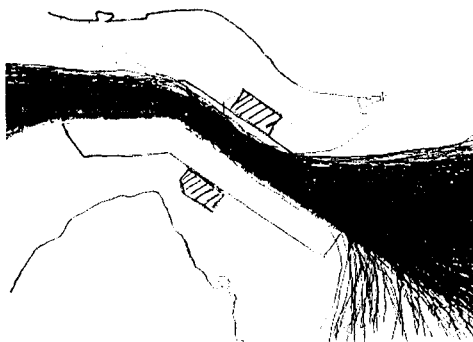


図7 航跡図(明石海峡航路西航 A3段階)

(1)浦賀水道航路⁽¹⁾

東京商船大学の東京湾口船舶航行調査研究会が平成3年9月3日正午から4日正午までの連続24時間、東京商船大学練習船汐路丸を浦賀水道航路の東側(第3海堡より80°、3350m)に錨泊させて行ったものである。当日は、船舶航行に支障のある天候でなかった。汐路丸と観音埼灯台を見透線とする断面を24時間で北航580隻、南航630隻が通過した。

この観測で得られた航跡データのうち、見透線上において航路航行船舶と判断されたもので、総トン数20トン以上の船舶を対象船舶とした。その全航跡を図3(北航)と図4(南航)に示す。対象船舶数は、北航287隻、南航324隻である。(以後、北航データをUN、南航データをUSとする。)

(2)明石海峡航路⁽²⁾

明石海峡大橋建設工事に伴って、本四連絡橋公団が神戸海難防止研究会とともに昭和60年から年1回行ってきた船舶交通実態調査時の航跡データを利用した。このうち、本研究の対象とした調査は、昭和60年度(以後、A1とする。)、昭和62年度(A2)、昭和63年度(A3)とした。3回とも、航跡調査は連続48時間である。この3回を選んだ理由は、工事の進行に伴って、航路条件に大きな変化があったからである。各段階の航路条件の変化は、次のとおりである。

A1段階－ 工事区域が、航路南側にのみ存在し、航路を航行する西航船には影響を与えていないと言える。

A2段階－ 長さ700m、幅400mの工事区域が航路の両端に設定されていた。そのために、工事区域近くでは、航路内を航行せざるを得なくなっていた。

A3段階－ 工事区域も拡大されているが、航路入口の航路端に本四公団によって臨時の灯浮標が設置された。(図2の△印の位置)

この3段階の調査で得られた航跡のうち、観測時に航路航行船と判断された西航船で、総トン数100トン以上の船舶を対象船舶した。その全航跡を図5(A1)、図6(A2)、図7(A3)に示す。

各図中の斜線部分が各段階での工事区域である。対象となる船舶数はそれぞれ、A1が774隻、A2が674隻、A3が789隻である。

3. 航跡の多様性指数

まず、航路に垂直に何本かのゲートラインを設ける。図8は、浦賀水道航路の北航船航路において、対象範囲に100m間隔の61本のゲートラインを設定したものを示している。ゲートラインには、船舶の進行方向に0から60番まで番号をつける。

各ゲート上において、航路幅を800mと考え、航路幅を100m間隔に区切り8分割した。各区分には航路中央線方向（進行方向に向かって左）から順に1から8までの番号を付ける。各船舶がそれぞれのゲートにおいてどの区分を通過したかを求めた。ただし、航路を左にはみ出して反航船の航路内を通過した場合を0番区分の通過、逆に右にはみ出して通過した場合を9番区分の通過とした。

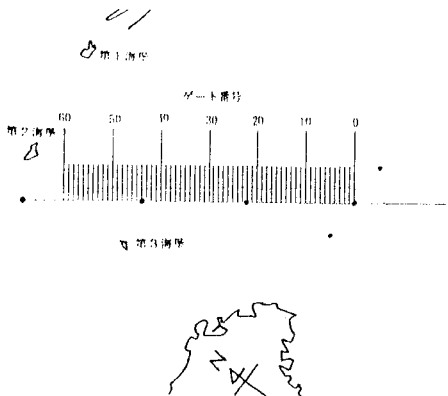


図8 ゲートラインの設定の状況の一例
(浦賀水道航路北航 UN)

		60番ゲート									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0番ゲート	0										
	1										
	2										
	3			3	5	6	4	5	4		
	4			4	8	15	16	19	12	4	1
	5			1	2	14	13	11	23	10	4
	6					4	7	15	22	16	
	7							6	15	16	3
	8						1	1	8	8	2
	9									4	1

図9 2ゲート間のシフト状況
(浦賀水道航路北航 UN)

各ゲート間における通過区分の推移（シフト）の頻度をまとめた一例が図9である。図9はUSの場合の第0番ゲートに対する第60番ゲートのゲート間シフトの状況を示している。この表から2つのゲート通過における各区分間のシフト率が求められる他、航路を基準として内から内、内から外、外から内、外から外の4種類の航行パターンの頻度も求められる。

図9を数値化するために、シフトの状態量として、エントロピー状態量を応用する。資料数Nとし、各頻度をFijとして、シフト状態量を次の様に定義する。

$$H = - (\sum F_{ij} / N) \times \log (F_{ij} / N) \quad \text{①}$$

シフト状態量Hは、航跡のシフト率が1点に集中する場合にはH=0である。この場合、全航跡が2ゲートとも同じ区分を通過したことになり、航跡の多様性はないことになる。また、Fijが全て等しい場合には、全区分へのシフト率が等しいことになり、航跡に非常に多様性があることになる。この場合には明らかにHは最大となる。すなわち、シフト状態量Hは、航跡の多様性を示しており、多様性指数と言える。

4. 多様性指数の実航跡への適用

前に示した5つの場合の航跡データについて、多様性指数を求めた。全章の説明と同様にゲートライン間隔を100m、各ゲートライン上の区分幅を100mとした。また、明石海峡の場合の合流状況を把握するために、ゲートライン区分数は、左右の航路外に10区分づつ拡張し、30区分としている。なお、浦賀水道のデータについては大部分の航跡が航路内にあるために、区分数を拡大しても、多様性指数はほぼ変わらない数値である。

図10は、各ゲートに対する第60番ゲートの多様性指数を図示したものである。浦賀水道の2つの場合については、第50番ゲートあたりまで一定値を示している。これは、幅が800m程度の航路における通常が多様性指数を示していると言える。

明石海峡の3つの場合については、異なる結果となった。その理由は、航路条件が異なる事によると考える。A1の場合は、航路幅を示す灯浮標が存在しないために航行幅が航路幅を超えている事

による。A2とA3の場合には、工事区域の存在により、航行幅が徐々に絞られて行き、工事区域付近では、浦賀水道の値とほぼ等しくなり、通常の値になっている。

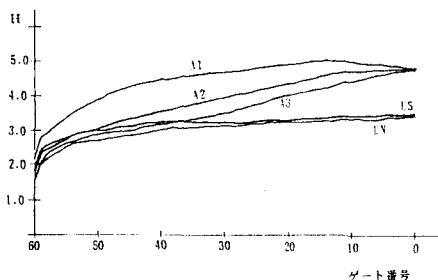
A2の場合とA3の場合との違いは、通常の値になるのが1500mほど異なっている点である。これは、臨時に設置された灯浮標（第16番ゲート付近にある。）の効果として、多様性の通常の値に1500m程度早くなった。

さらに、A2の場合に工事区域前面（第43番ゲート付近）を過ぎても合流による交通流の乱れが幾分か残っていることが示された。これは、工事区域のために航行幅の狭くなった所においても、合流による交通流の乱れが残り、より危険な状況であった事を示している。

それに対して、A3は工事区域前面500m手前付近において通常の交通流になり、合流による乱れが最狭部分では解消されている事を示している。また、海上交通流の整流のための浮標は、3000m程度手前に設置する必要があることが分かる。

5. あとがき

本研究は、海上交通流の乱れの状況をエントロピー状態量を応用した多様性指数で数値化する事を試みた。また、浦賀水道航路および明石海峡航路において多様性指数を求めることで、明石海峡航路入口に昭和63年に臨時設置された灯浮標は、架橋工事に伴う工事区域付近における交通流の整流に効果があったことを示した。



第10図 多様性指数変化の比較

今後の問題点としては、浦賀水道航路を基準として求めた通常が多様性指数が妥当なものであるかどうか。操船する立場に立てば、浦賀水道航路は非常に混雑している航路であると言われ、このような操船感覚の航路における値を通常値と考えてよいのであろうか。他の航路との比較検討が必要である。

第2点目は、ゲートラインの区分幅を100mとした点と区分数との関係の検討が必要である。大小様々な船型の船舶が混在する海上交通において、道路の車線幅に当たる区分幅を100mとしたのは、海上交通における標準船（長さ70m）が必要とする占有領域幅が200mと言われその1/2としたためである。区分幅が決まれば、車線数に相当する航路内の区分数は航路幅から決まる。区分幅を小さくして区分数を増やせば、多様性指数の最大値も大きくなる。適当な多様性指数を求めるために、今後の検討が必要である。

今後、これらの問題点を検討するとともに、追い越し、航跡の交差現象など海上交通流の中での様々な現象が多様性指数に与える影響などの検討を図りたい。

なお、本研究の多様性指数について御指導、御助言を頂いた神戸商船大学原潔教授、並びに研究の過程において、いろいろと有益な討論をしていただいた鳥取大学工学部喜多秀行助教授に感謝申し上げます。また、航跡データを提供していただいた神戸海難防止研究会及び東京商船大学東京湾口船舶航行調査研究会の関係者の皆様に感謝致します。

参考文献

- (1) 東京湾口船舶航行調査研究会、「東京湾船舶航行調査報告書」、平成3年度（1992年3月刊行）。
- (2) 神戸海難防止研究会、「明石海峡船舶交通実態調査報告書」、昭和60年度（1986年6月）、昭和62年度（1988年3月）、昭和63年度（1989年3月）。