レーダを用いた船舶交通の実態解明に関する研究 —備讃瀬戸航路を事例として—

畑地 紀幸*・水井真治**・岩崎寛希***

A study to Identity the Realities of the Ship Traffic Using Radar - The Bisan Seto Traffic Route as an Example-

Noriyuki HATACHI, Shinji MIZUI and Hiroki IWASAKI

Abstract

In this research, we firstly develop a simple unit for the ship traffic observation system using radar. Secondly, we survey and analyze the speed restrictions implemented at the Bisan Seto Traffic Route as an example. The research also includes the survey of overtaking cases around the adjacent area to the Bisan Seto Traffic Route. The ship traffic at the route is observed by using radar, and the analysis lead the following findings:

- (1) Comparing the speed by ship's type, cargo vessels tend to reduce speed observing the speed restrictions, however, it is not always true to all the cargo vessels.
- (2) Comparing the speed by ship's size, vessels of 500 GT or more sail faster than those less than 500 GT. It is revealed that 73.9% of ferry boats do not follow the speed restrictions.
- (3) The reality of overtaking cases at the Bisan Seto East Traffic Route shows that a lot of dangerous overtaking cases happen at this area. It is also found that the west-bound overtaking vessels sail faster than those east-bound, particularly ferry boats overtake at a speed of 20 knots, which could be very dangerous when the traffic is heavy and many fishing boats are around.

Keywords : *Bisan Seto Traffic Route ,Radar image analysis ,Dangerous overtaking ,Speed restrictions*

キーワード: 備讃瀬戸航路, レーダ画像解析, 危険な追い越し, 速力制限

1. はじめに

備讃瀬戸航路は瀬戸内海東部に位置し、東航路、西航専用の北航路、東航専用の南航路から構成される。備讃瀬戸航路は、香川県と岡山県の間の島々を縫う様に設定されており、同航路を外れると浅瀬が多く存在する。その周辺には水島コンビナート等の臨海工業地帯を後背地とした生産活動に伴い、1 日約 1000 隻にのぼる様々な船舶が通航している。さらには古くから漁場としても利用され、近年ではマリンレジャーも活発化し、船舶交通が極めて輻輳する海域となっている。このような背景を持つ備讃瀬戸航路では海難事故を防ぐために例えば、昭和 48 年に海上交通安全法第五条「速力の制限」^{(1), (2)} が規定され、現在に至っていることはよく知られている。

この海上交通安全法が制定されてから 30 年以上が経過しているが、制定当時の船舶と現在の船舶を比較すると、航海速力の向上⁽³⁾、操縦性能の向上、航海計器類の発達及び機関の性能の向上等、制定当時とは大きく変化している。また、備讃瀬戸航路に関連した交通環境を取り上げた論文^{(4), (5)}は数少ない。

そこで、本研究においては備讃瀬戸航路における交通実態解明の観点から以下について検討した。第一は船用レーダを用いた船舶交通に関する研究用途に^{(6), (7), (8)}機動性のある観測装置を開発すること、第二は、当該航路における海上交通安全法に定められている速力制限についての実態調査及び分析を行うこと、さらに当該航路出入口付近における追い越し状況の交通実態の解明と分析を行うことである。

* 学生会員 広島商船高等専門学校・海事システム工学専攻 (〒725-0231 広島県豊田郡大崎上島町東野 4272-1)

** 正会員 広島商船高等専門学校・商船学科 (〒725-0231 広島県豊田郡大崎上島町東野 4272-1)

*** 正会員 大島商船高等専門学校・商船学科 (〒742-2193 山口県大島郡大島町小松 1091-1)

2. 開発した実験装置

Fig. 1 に実験で使用したシステムの測定系統図を示す。同システムは、レーダ画像を一定時間ごとに PC に取り込み解析する方式とした。そのためレーダ画像を直接取り込める画像変換装置及び専用のソフトを開発した。このシステムは、レーダの CRT 表示画面データの映像信号から分岐入力することで画像を 1 画面キャプチャーし、USB 経由でパソコンに伝送し、ハードディスクに取り込むことができる。

対応するレーダは MD-3210、画像入力部はレーダと同じ水平 1126dot、垂直 1012dot、dot clock は 39MHz でインタレース表示方式である。入力データは、グレイスケール 8bit の 256 階調である。画像メモリーは、レーダ 1 画像当り最大約 2Mbyte である。本実験では 1 画像当り約 130Kbyte の容量であった。

Fig. 2 に USB 画像キャプチャユニット回路の概要を示す。垂直同期信号 (VSYNC)、水平同期信号 (HSYNC)、ビデオ信号 (VD)、等を 8bit256 階調にデジタル変換された AD 変換値を画像メモリーに 1 画面ごとに分格納する。このデータを CPU を経て USB コントローラによって USB を通じてパソコンにデータを収録できる回路である。

Fig. 1 Measurement system

Fig. 2 USB capture unit circuit

開発した装置の特徴は、画像入力部をレーダと同じ水平 1126dot 垂直 1012dot とし、任意の船舶位置の dot 値をマウス操作により手動表示できるようにした点にある。さらに、船舶の航跡表示をデジタイザー等による解析を行わず、画像の重ね合わせ機能を用いて収録しながら通航船舶の動きを確認できる機能を持たせた点にある。

3. 実験方法

Table 1 は実験の概要を示す。実験方法は、観測地にレーダを設置し、基準物標に向け Course up で起動させ、30 秒間隔でレーダ画像をパソコンに伝送・保存した。基準目標をレーダ測定座標の基準線としたデータ収録を行い、この基準目標を目視目標として、通航船舶の状況を目視観測にて記録した。表中の速力制限区間内及び区間外の実験は、日時、場所、目視物標が異なるだけで実験方法は同様である。

さらに、倍率の高い双眼鏡を用いて船名及び通航状況の記録のため 24 時間体制の目視観測を実施した。

Table 1 Outline of experiment

	Within speed restriction area	Out of speed restriction area
Date	May 29~30, 2005	November 7~8, 2005
Observation hours	15 : 00~15 : 00	14 : 00~14 : 00
Observation venue	Cape No Misaki Sakaide-shi, Kagawa Pref.	Shiraishi, Aji-cho, Kagawa Pref.
Way mark	Peak of Mt.Ozuchi	No.6 Buoy

実験により得られたレーダ画像は、1126×1012 dot の xy 座標に変換して表示される。この dot 座標値を読み取り、実際の距離 (m) に換算することにより、通航船舶の航跡等を求めることができる。

レーダ設置位置を点 A、ある通航船舶を点 B とし、それぞれの dot 座標値を (x_a, y_a) 、 (x_b, y_b) とする。両地点間の距離を d は次式で求めることができる。

$$d(\text{dot}) = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2} \quad (1)$$

また、通過速力を求めるには、レーダ画面の基準線を通過する際の前後位置の dot 座標値を読み取り、式 (1) にて dot 距離を求めた。その後 1dot あたりの実距離換算、所要時間より対地速力を求めることができる。

4. 実験装置の精度

4.1 精度実験の概要

広島商船高等専門学校所有の練習船「広島丸」(以下、広島丸と略する。)を用い、実験装置の精度実験を行った。広島丸の主要目を Table 2 に示す。

Table 2 Specification of the T/S Hiroshima Maru

Length	57.0m	Tonnage	234t
Breadth	48.5m	Speed	14.44knot
Depth	10.2m	Draft	3.325m

精度検証実験は、大崎上島町大串海岸沖において広島丸の旋回試験、変針試験及び増速試験の実験シナリオを各 3 回、大崎上島町大串に設置したレーダ及び広島丸のデータ処理装置の両方による実験を行った。レーダ画像データは、30 秒間隔でパソコンに伝送・保存し実験を行った。なおこのデータ取得間隔は、開発したソフトにより任意時間に設定可能である。

4.2 精度の解析及び考察

精度検証は、距離誤差と速力誤差について検討した。解析方法は、広島丸のデータ収集装置による広島丸運動データと陸上観測にて収集したレーダ画像から得られる両データの比較を行い、開発した実験装置のデータの精度を検証した。なお、実験に用いた広島丸のデータ収集装置の距離データは GPS (古野電気社製, GP-500H) であり絶対誤差は数 10m、速力データはドップラーソナー(古野電気社製, DS-30)であり絶対誤差は±0.1knot である。そこで、この精度検証は広島丸のデータ収集装置で得られるデータを正とし、開発したレーダ画像から得られる距離データ及び速力データを比較し検証した。

実験で得られた距離誤差及び速力誤差の出現確率を $f(x)$ 、対象データ数を N 、平均値を μ 、標準偏差を σ とすれば、これらの誤差は、式 (2) に示す正規分布による推定ができる。

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2} \quad (2)$$

Fig. 3 は距離絶対誤差の正規分布による推定を検討した。対象としたデータ数 (N) = 152、標本平均値 (μ) = -9.21m、標準偏差 (σ) = 33.22 である。正規分布のあてはめの 80% 区間推定を行い $-51.91\text{m} < \mu < 33.49\text{m}$ の範囲であった。正解データとして用い

Fig. 3 Distribution of distance error

た GPS の絶対誤差は数 10m であるので、これより距離誤差が推定できる。

同様に速力絶対誤差の正規分布による推定も検討した。対象としたデータ数 (N) = 135、標本平均値

(μ) = 0.11knot、標準偏差 (σ) = 0.37 であった。

正規分布のあてはめの 80% 区間推定を行い $-0.37\text{knot} < \mu < 0.59\text{knot}$ の範囲であった。正解データとして用いたドップラーソナーの絶対誤差は ±0.1knot であるので、これより速力誤差を推定できる。

5. 観測データの特徴

5.1 通航船舶の種類及び隻数

観測実験にて行った目視観測のデータとして、5 月 (速力制限区間内) の観測数は 348 隻、11 月 (速力制限区間外) は 500 隻であった。収集したレーダ画像から観測された隻数は 5 月 387 隻、11 月 552 隻であった。夜間における目視観測も行ったため、複数の船舶が同時に通過する場合など視認が困難な場合もあったため、目視観測隻数とレーダ画像観測隻数には若干の差異が生じている。目視観測データは、レーダ画像データ解析の際の補助データとして用いることとした。過去の観測データ数⁽⁷⁾と比較して通航する船舶の船種別及び船型別の交通量割合は極めて類似している観測データの中で最も多かったのが、500GT 未満の貨物船で全体の約 28%、次いで 500GT 未満のタンカーで約 18%であった。大型船 (10,000GT 以上) は全体の約 4%と極めて少ない。また、備讃瀬戸航路の交通環境に大きな影響を与える漁船は、全体の約 11%であった。

5.2 時間帯別による交通量比較

Fig. 4 は時間帯別の通航隻数を示したものである。速力制限区間内・区間外で共に 22 時から 23 時までの間が 64 隻と一番多い。これは、通航船の大部分を占める内航船舶が、主に昼間に荷役を終え夜間に運航するためではないかと考えられる。得られた船舶交通量データは、過去の備讃瀬戸航路周辺調査データ⁽⁹⁾と比較して時間帯別の交通量等が類似しており同航路の一般的な交通データと考えられる。

Fig. 4 Number of sailing vessels of every hours

6. レーダ映像からの速力推定

6.1 速力制限区間内と速力制限区間外の比較

Fig. 5 及び Fig. 6 は、速力制限区間内・区間外のトン数別の対地速力を比較した例である。縦軸は対応する隻数から換算した百分率、横軸は対地速力を表している。なお、レーダ画像から得られる対地速力から対水速力への換算は観測実験時間の 1 時間毎の任意流速を求め対水速力の検討も行った。ここではあえて数値の変換をしない対地速力の表示とする。Fig. 5 より、速力制限区間において通航船の一部船舶は制限速力を遵守していないことが分かる。具体的には、速力制限区間内通航船舶の 86.5%が速力制限規定を遵守しており、13.5%以上の船舶が速力制限規定を遵守していないことが明らかになった。

5,000GT 以上の船舶の速力制限区間外での通航速力は平均速力 18.9knot、速力制限区間内では平均速力 17.6knot であった。速力制限区間内における 5,000GT 以上の船舶で、速力制限規定を遵守していない船舶は、19 隻で全体の 43.1%以上の船舶が速力制限規定を遵守していないことが明らかとなった。

速力制限区間外においては、速力制限の法規定は適用されない。その結果、Fig. 6 には高速力船舶が観測されている。速力制限区間内と区間外の両図の大きな相違点として、速力制限区間外においては、この高速力船舶と漁船などの小型停留船が見られることである。

Fig. 5 Distribution of ground speed by tonnage in the speed restriction area

Fig. 6 Distribution of ground speed by tonnage outside the speed restriction area

6.2 船種別による速力の比較

ここでは通航船舶を貨物船、タンカー、フェリー、漁船、その他に分類して比較検討した。比較した中で顕著な違いがあった貨物船とフェリーについて検討を加える。

Fig. 7 は速力制限区間内における 500GT 未満の貨物船、Fig. 8 は速力制限区間内におけるフェリーの速力毎の隻数を表したものである。両図とも、横軸に對地速力、左側縦軸に通航隻数、右側縦軸に累積百分率をとっている。貨物船が 133 隻、フェリーが 23 隻であった。

5.1 のとおり観測実験日の最強流速は 2knot であるから速力制限区間内は 14knot 以下でなければならない。両図中の 14knot 以上の隻数は、500GT 未満の貨物船では 20 隻で全体の 15%、フェリーについては 17 隻で全体の 73.9%以上の船舶が速力を遵守していない。また平均速力は、500GT 未満の貨物船 11.6knot に対し、フェリーは 15.6knot であった。

Fig. 9 は速力制限区間外における 500GT 未満の貨物船、Fig. 10 は速力制限区間外におけるフェリーの速力毎に隻数を表したものである。貨物船が 118

Fig. 7 OG Speed distribution of cargo vessels less than 500GT in the speed restriction area

Fig. 8 OG Speed distribution of ferry boats in the speed restriction area

隻、フェリーが74隻であった。速力制限区間外のフェリーの通航隻数が多いのは、高松港に入出港する定期フェリーが運航されているためである。平均速力は、500GT未満の貨物船12.1knotに対し、フェリーは19.4knotであった。

Fig. 7及びFig. 9より、速力制限区間内と速力制限区間で500GT未満の貨物船を比較すると、類似の集計であり、航海速力が12knot前後である。平均速力の点から考えると速力を僅かに減速しており、航海速力が12knotを超えて通航している船舶が、速力制限規定を意識していると考えられる。

Fig. 9 Speed distribution of cargo vessels less than 500GT outside the speed restriction area

Fig. 10 OG Speed distribution of ferry boats outside the speed restriction area

Fig. 8及びFig. 10より、速力制限区間内と速力制限区間外のフェリーを比較すると、航海速力の速いフェリーは速力制限区間のために大きく減速している。フェリーは速力制限区間のために減速はするものの速力制限規定を遵守していない実態が明らかになった。

7. 通航船舶の追い越し状況分析

速力制限区間外における実験のデータを用いて、追い越し状況について解析を行った。

追い越し関係と判断できるデータは24時間観測で37件あり、通航方向、フェリーの関係するケース、漁船の関係するケース、追い越し関係隻数ごとに分類して解析した。

東航船、西航船の速力を比較すると、西航追い越し船の方が東航追い越し船に比べ平均速力で0.5knot速力が大きく、被追い越し船では西航船の方が0.2knot大きいことが分かった。

以下に検討した追い越し解析データの代表例を示す。

ここでFig. 11、Fig. 12及びFig. 13の航跡図におけるメートル座標値(x_m, y_m)の基準は、得られた

レーダ画像データのdot座標値(x_0, y_0)を基準とし、

図中に表示する航路は備讃瀬戸東航路東側出入口(東航針路114.5° 西航針路294.5°)を示す。観測時の基準物標である第六灯浮標を各図中に*印に示した。

Fig. 11は単純な例(case 1)であり、東航追い越し関係を示す。同図の例は、追い越し船であるフェリーが航路縁端に沿って航行し、被追い越し船である貨物船を追い越す例である。さらに被追い越し船である貨物船は、追い越される際に安全を考慮し、協力動作を取っていることが分る。

Fig. 11 Example of simple overtaking case 1

Fig. 12 Example of dangerous overtaking case 2

Fig. 12 は危険な西航追い越し関係の一例 (case 2) を示している。追い越し船であるフェリーが航路外へはみ出し、航路外で操業している漁船を迂回し、

航路に戻る追い越しを行っている。漁船を迂回して避ける事により、追い越し船であるフェリーは大きく航路から逸脱し、極めて危険なケースと考えられる。

Fig. 13 は危険な東航追い越し関係の一例 (case 3) を示している。追い越し船であるタグボート及び巨大船は増速しながら 2 隻の砂利運搬船を追い越すものである。タグボート及び巨大船は航路屈曲地点にて航路を南側に外れ、航路に復帰しながら追い越しを行っている。一方、砂利運搬船 A は、タグボート及び巨大船の追い越しに際して協力動作を取りつつ、自船より遅い砂利運搬船 B を航路内側より追い越しているが、航路中央を越えて西航専用レーンに入っている。追い越し船であるタグボート及び巨大船の航路屈曲点におけるはみ出し、いわゆるショートカット通航、さらには追い越し船 2 隻により追い越し方向を航路内側に限定された砂利運搬船 B の西航専用レーン進入は非常に危険であると判断できる。

Fig. 13 Example of dangerous overtaking case 3

こうした追い越し状況を Table 3 に整理した。

Table 3 より、追い越し解析例合計 37 ケース中 2 隻のみの単純な追い越し合計は 13 ケースであった。37 ケース中残り 24 ケースは多重追い越しであり、その割合が高いことが分かる。一方、東航、西航ともに同程度の件数であることがわかる。また、通航

船舶の航路外通航例が東航及び西航の合計 26 ケースある。さらに、その 26 ケース中多重追い越しが東航と西航合計 21 ケースで、極めて危険なケースが多いことが分かる。

特にフェリーの関係する場合は速力が過大で、航路を大きく逸脱しての追い越し、迂回追い越しなど非常に危険である場合が多いことが明らかとなった。また、大型船(10,000GT 以上)の関係する追い越しは東航、西航で計 1 件しか見られなかったことから、日々行われている追い越しは大型船以外の船舶、つまり一般船舶の多重追い越しなど危険な運航が大部分を占めていることが明らかになった。

Table 3 Category of overtaking case

Number of case by number of overtaking vessels			
Number of vessels	Eastbound	Westbound	Total
Two vessels	7	6	13
Three vessels	4	7	11
Four vessels or more	6	6	12
Case including mega-ships	1	0	1
Total	18	19	37
Number of overtaking vessel sailing outside the channel			
Eastbound		Westbound	
9		17	
Number of vessel in dangerous overtaking case			
Eastbound		Westbound	
8		13	

8. まとめ

本研究は備讃瀬戸東航路を事例として、同航路の速力制限区間内外においてレーダ実験を行った。その結果、同航路周辺の速力の実態、追い越し状況について考察を加え、次の知見が得られた。

(1) レーダを用いた船舶交通観測用に新たに装置を開発した。装置の特徴は画像の重ね合わせ機能を用いて確認しながら収録できる特徴がある。

(2) 開発したレーダ画像の変換ボード及びソフトウェアについて、現地での精度検証を確認できた。

(3) 速力制限区間内で観測された 348 隻の船舶のうち 53 隻、全体の 13.5%以上の船舶が速力制限規定を遵守していないことが確認できた。

(4) 船種別の速力の比較では、500GT 未満の船舶においては航海速力が 12knot 前後であるため速力

制限に関係なく航行していることがわかったが、一部速力制限規定を遵守していない船舶も見られた。さらに、大型船ほど通航速力が大きく、フェリーは全体の 73.9%以上の船舶が速力制限規定を遵守していない実態が明らかになった。

(5) 備讃瀬戸東航路における追い越し関係の現状として、危険な追い越しが多数行われていることが明らかになった。また、東航追い越し船に比べ西航追い越し船の速力が大きいこと、特にフェリーの速力は 20knot 前後と大きい上、追い越し関係船舶が複数の場合や漁船の関係する場合に、非常に危険な追い越し関係となる実態が明らかになった。

得られた備讃瀬戸航路の追い越しデータを基に通航制限状態の航路における船舶の追い越しに関する安全性評価を行うことが今後の課題である。

謝辞

本研究の備讃瀬戸東航路における実験にご協力いただいた株式会社海洋総合技研の久保雅海氏並びに瀬戸孝和氏、大島商船高等専門学校の丁田慎一郎学生に深く感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 備讃瀬戸海上交通センター：トップページ
<http://www6.kaiho.mlit.go.jp/bisan/index.htm>
- (2) 第 68 回国会衆議院、交通安全対策特別委員会会議録、第 6 号～第 10 号、1972
- (3) 水井真治・岩崎寛希・辻啓介・笹健児：備讃瀬戸航路における速力制限に関する基礎的研究、日本航海学会論文集、No. 112, pp. 49-55, 2005
- (4) 日本海難防止協会：海の安全、No. 510, pp. 18-25, 2001
- (5) 酒出昌寿・井上欣三・世良亘・木村鉦治郎：備讃瀬戸航路における海難実態の基礎的分析、日本航海学会論文集、No. 116, pp. 83-90, 2006
- (6) 佐藤尚登・田中稔・原潔：海上交通調査におけるレーダ炉用方法の改善について、日本航海学会論文集、No. 77, pp. 115-123, 1987
- (7) 庄司りり・萩原秀樹・大津皓平・林尚吾・浪江宏宗：東京湾におけるレーダネットワークシステムの研究、日本航海学会論文集、No. 109, pp. 69-78, 2003
- (8) 畑地紀幸・水井真治：備讃瀬戸航路における船舶の速力制限に関する基礎的研究、日本航海学会第 1 回学生講演会論文集、pp. 45-50, 2006
- (9) 水島 LNG 基地計画 航行安全対策調査研究報告書（備讃瀬戸西部海域海上交通実態調査）、瀬戸内海航行安全協会編、pp. II 10-II 54, 2002

質疑応答

世良亘（神戸大学）：

速力制限を越えたかどうかの判断を対地速力で行っていますが、対水速力に直さなくても良いのでしょうか？

畑地紀幸（広島商船高等専門学校専攻科）：

発表の時間（論文紙面の制約）及び検討内容を分かり易くする観点からあえて対地速力の表示としました。制限速力を超えているかどうかは観測日時の進路方向最大流速約 2knot に加えて 12 knot を加え 14kno を速力制限の閾値として割合を算出しています。なお、対地速力から対水速力の変換は可能です。