平成27年度報告書

船舶加速度・衝撃値データの統計処理等の理論化 及びその活用に関する研究

大島商船高等専門学校

商船学科 久保田 崇

神戸大学大学院

海事科学研究科 河口 信義

1. 研究目的

国内における貨物輸送事故は、少なからず発生している。平成26年度から過去5 年間の貨物事故の統計によると、貨物船の事故隻数は1465件とのことであり⁽¹⁾、年間 約300件近くの事故が発生している。この件数の内、人的要因(操船不適切、見張り 不十分など)が81%を占めるとの事である。近年では団塊の世代の船員が退職し、世 代交代が進んでおり、特に内航船会社においては、20代の若手船員が多く存在する が、30代40代の船員がおらず、アンバランスな乗組員構成となっているのが現状で ある。つまりは円滑なコミュニケーションや海技伝達が難しくなっている状況である と考えられる。本実験対象となるのは、曳航船であるが、最新の曳航船の海難事故に よると、平成27年12月5日午後10時頃福岡県北九州市岩屋沖、タンカー(5名乗組 み)が曳航されていた被曳船と衝突した事件がある。このときに事故を起こしたのは未熟 な三航士であったとの事である。

このように、通常航海においては、未熟な航海士でも、安全航行が熟せる可能性が高い いが、夜間や気象条件の悪化、はたまた状況の異なる場面での操船になると安全運航がで きなくなる。何故なら、彼らが1年の乗船経験の中で、特殊な環境で自ら操船出来る経験 は非常に少ないからである。今までの航海士としての成長の過程では、ベテランの航海士 から技術を学び、経験を積むことで応用力を働かせながら、いかなる場面においても正し い判断ができるようになって、一人前となった。しかし、乗組員構成の空洞化等が、その 昔からの伝承方法を妨げており、若い航海士はある程度の経験と自らのセンスで安全航海 についての知識を獲得しなければならない。そのため、どのような環境下において、船舶 加速度・衝撃がどれくらい生じるかという本データは有効であると考える。

本報告書では、貨物輸送を行う際に不特定多数の者が、安全運航に有意な資料とし て活用できるようにするための研究を行うことを目的とする。特に今回は曳航船・被 曳船の姿勢の変化そしてその変化からみられる各データの特性や解析結果を纏め、そ の結果から活用法について考察する。

2. 実験

平成27年8月5日から8月8日にかけて津久見~名古屋向けの曳航船と被曳船の 船体動揺計測を行った。また平成27年9月30日から10月4日にかけて大分~神戸 向け曳航船と被曳船の船体動揺計測をおこなった。

なお先に実施された津久見~名古屋向けの動揺計測実験を実験①、そして後に実施 された大分~神戸向けの計測実験を実験②とする。以下に使用した実験装置および実 験海域について述べる。

2.1 実験装置

(1) NKKK 実験装置

船舶の同様計測に使用した実験装置は米国ラスモンド社製 SAVER3D15 である。本 機をメタルボックスで梱包し、保護した。そして曳航船の計3か所に固縛し設置し た。図1に本機及び梱包について示す。





図 1:実験装置(SAVER 3 D15)

平成25年度報告書で本機の計測性能実験が行われ、入港時などの船体動揺の際における加速度(3軸)及び周波数特性を観測することができた。

(2) 神戸大学実験装置

また実験②の航海では、NKKK の計測装置に加えて、神戸大学河口研究室が所有する古野電機製のサテライトコンパス S-30 を 2 台設置した。図 2 に神戸大学の実験装置について示す。



図 2:実験装置(SC-30)

平成27年3月に定点観測をした結果、良好であり、次のようなデータを計測できる ことが確認できた。

真針路、測位時刻(UTC)、緯度経度、対地速度(ノット)、進行方向(真北)、日 付(UTC)、地磁気の偏角(度)、変位の向き(EW)船首方位、ピッチ、ロール、ヒ ーブなど 2.2 実験船舶および設置場所

(1) 実験①

台風接近の最中、平成27年8月5日11時15分、当初の出港予定を約1日早めて、曳航船、被曳船による船体動揺計測実験を開始した。

1. 実験船舶

実験船舶は、曳航船常豊丸、船舶番号 136365 大分、全長 39.3m、総トン数 462 トン、航行区域は近海区域、最大乗員数 6 名、船籍港は佐伯市、船舶所有者は豊海運株式会社である。また被曳船は長さ 76m、幅 26m、深さ 4.5m、船体重量は 1120 トンである。図 3 に実験船舶の概観を示す。



図3:実験船舶(曳航船·被曳船)

また曳航船と被曳船の配置について図4に示す。被曳船は船首側、両端に個所にワイ ヤーロープで固定されており、曳航船の船尾側の一本の鋼製の曳航索と連結されてい る。船尾側の曳航索は状況に応じて伸縮させる。



実験装置は曳航船に1機(No.2,3)・被曳船1機(No.1)に計3機を設置した。

2. 実験海域

航路の概要について図5に示す。



図 5: 航路の概要

月日	時刻	航行海域	船速(kn)	風向	風速(m/s)	波高(m)	備考
8月5日	1115	大分津久見港	6.8	NNE	5	0.3	出港
	1415	佐田岬南西 0.9 海里	6.8	E	3	0.5	
	2205	釣島 Aブイ	7.3	NE	2	0.1	
8月6日	0020	大下瀬戸	3.2	SE	2	0.1	
	0400	布刈瀬戸	5.3	North	4	0.1	
	0900	備讃瀬戸南航路 IN	4.4	East	2	0.1	
	1145	備讃瀬戸大橋	5.9	ENE	5	0.2	
	1555	備讃瀬戸東 OUT	5.6	East	5	0.2	
	2310	明石海峡航路 IN	6.8	SW	5	0.5	
8月7日	0015	明石海峡 OUT	4.7	South	2	0.3	
	0600	友ヶ島水道	4.3	South	4	0.7	
	1055	日ノ御碕灯台南西 1.1 海里	4.8	SSE	3	0.5	
	1840	潮岬灯台南東 0.8 海里	6.6	South	5	1.2	
8月8日	0740	大王埼灯台東南東 1.5 海里	6.9	NE	7	1.5	
	1050	伊良湖水道航路 IN	5.6	NNE	4	1.0	
	1120	伊良湖水道航路 OUT	5.6	NNE	4	1.0	
	1810	名古屋港西航路 IN	6.3	ESE	7	0.4	
	1850	名古屋港豊田 S センター	Var	_	-	-	入港

表1:航過表

図5より、避泊港が記載されていたが、表1の実際の航過表によると避泊することな く航行し続けている。また平成27年で最大級の台風13号の接近が危ぶまれたが、図 6のように台湾に上陸し、大きな被害をもたらしたが日本への影響はほとんどなく、 表1の曳航船の受けた風速や波高を見てわかるとおり、終始穏やかな航海となった。



図 6:台風 13 号の進路

(2) 実験②

平成 27 年 9 月 30 日、実験装置設置のため、大分市三井造船内にて実験装置の設置を 実施した。なお当日は台風 21 号接近の折であり、設置が危ぶまれたが、無事設置する ことができた。

また設置までの待機時間の際に、曳航船船長山内俊次氏に話を伺うことができた。

質問1:出港する・しないの判断は誰が行うのか。

回答1:船長の主観で判断する。

質問2:危険な場面や事故にあったことはあるか。

回答2:事故はない。またクレーンを曳航して倒れたりしたことはない。

質問3:操船についての問題点は何か。

回答3:うねりや潮の流れである。風が強いときは島影に逃げる。

質問4:バージについての問題点は何か。

回答 4:波が無いときは曳航索を伸ばすが、瀬戸内海では短くする。なぜなら波や潮 でバージが中央からずれたときに立て直すのが一苦労であるからである。

船長からの回答により、曳航船における安全航行で問題となるのは風潮流とその姿勢 であるということが分かった。

1. 実験船舶

実験船舶は、曳航船第五十俊栄丸、船舶番号 260-43309 香川、全長 30.4m、総トン

数19トン、最大乗員数6名、航行区域は沿岸区域、船籍港は坂出市、船舶所有者は 株式会社山内船舶である。また被曳船は長さ60m、幅22m、深さ3.5m、船体重量は 535トンである。図7に実験船舶の概観を示す。



図7:実験船舶(曳航船·被曳船)

また曳航船と被曳船の配置について図8に示す。被曳船は船首側、両端に個所にワイ ヤーロープで固定されている。先述の船長の話によると風潮流の影響がある場合は曳 航船の曳航索を短くするようである。



図8: 曳航船・被曳船の配置

2. 設置場所

次に実験装置の設置場所について図9に示す。実験装置は曳航船側に3機、被曳船側 に2機設置した。具体的な設置場所は、NKKKの加速度計No.1は被曳船船首側、 No.2は曳航船の機関室内、そしてNo.3は機関室真上のデッキ上に設置した。そして 神戸大のサテライトコンパス①は、被曳船の船尾側中央付近、そしてサテライトコン パス②は曳航船の船橋後方に設置した。また各実験装置は船体動揺等で位置が移動す る事のないようにロープまたはテープでしっかりと固定した。









図9:実験装置の設置場所

3. 実験海域

台風が日本付近を通過し、影響が弱まった10月2日1900に本船は大分の三井造船 を出港した。図10に航路の概要を、表2に航過表を示す。



月日	時刻	航行海域	船速(ノ ット)	風向	風力階級	波 高(m)
10月2日	19:00	大分三井造船	6.5	NW	4	0.5
	22:00	祝島 南 15 海里	7	NNW	5	1
	03:00	山口沖家室 東2海里	6.7	NNW	2	0.5
10月3日	07:00	大崎下島沖	6.2	NW	2	0.5
	11:00	愛媛百貫島 北東 0.7 海里	7.6	SW	1	0.5
	14:00	香川三崎 北1海里	6.2	SW	1	0.5
	17:00	香川高見島 南 0.5 海里	6.8	SW	1	0.5
	20:00	香川高松ワミカノ鼻 南東1海里	6.9	SW	1	0.5
	00:00	播磨灘航路 No.4 ブイ 南西 1 海里	5	NW	3	0.5
	02:00	播磨灘航路 No.9 ブイ 南 2 海里	5.3	NW	2	0.5
10月4日	04:00	播磨灘航路 No.10 ブイ 南 0.7 海里	6	North	1	0.5
	05:30	明石大橋	9.8	North	1	0.5
	09:00	ポートアイランド PC-15	_	North	1	0.5

表 2:航過表

表2より、大分の三井造船を出港し大分県西部祝島を抜けるまで風は非常に強かった が、山口県周防大島を抜けるころには風は収束した。広島県大崎下島を航過する頃に は一定の方向から穏やかな風浪を受ける航海が続き、そのまま播磨灘を抜けて神戸へ 入港した。

3. 解析

3.1 解析海域の選定

(1) 実験①

本船の全航海時間は78時間35分である。表1の航過表より、全航海を通じて風も ほとんどなく、穏やかな環境下であった。そこで、波高が高くなった外海と一遍無風 状態であった内海の一部について解析を行う。図11、12に解析対象海域を示す。



図 11: 内海

図 12:外海

図 11 より、内海については、波高が 0.1m であった布刈瀬戸から備讃瀬戸の手前を対象とした。また図 12 より、外海については、大王埼付近で最大波高 1.5m であったので、この付近を対象とした。

(2) 実験②

実験②も実験①同様に本船の全航海時間は 38 時間あり、比較的穏やかな航海であった為、台風の影響を多く受けていた海域、来島海峡通過時に的を絞り解析を行う。

1. 荒天域の選定

台風の影響を多く受けていた海域は前章の表2によると山口県祝島付近である。気 象庁データ⁽²⁾によると2200 祝島航過後、付近の風は急速に弱まっているため、祝島南 15 海里の地点到達以前の10月2日21時00分から22時00分の間のデータを解析対 象とする。図13に解析海域を示す。なおこの海域は豊後水道と周防灘の潮流の合流地 点であるが、当時の周防灘は北西流0.2ノット、豊後水道は転流時に近く⁽³⁾、潮の影 響はほとんどなかった。

2. 狭水域の選定

今航行で一番の狭水域となる尾道水道付近を解析対象水域とした。図14に狭水域の 地図を示す。図14より、本船は大崎下島、大崎上島を右舷に見て航過し、大三島を通 過後、最も狭い水域となる高根島に至る。解析対象水域はこの高根島から尾道水道を 抜けるまでの海域とする。



図 13: 荒天域

- なお、狭水域を抜け、穏やかな風を SW 方向から受け、コースも 1 コースとなる海域 (愛媛百貫島以後の海域 10 月 3 日 11 時 30 分から 12 時 30 分の間)を比較対象とする。
- 3.2 解析
- (1) 曳航船・被曳船の向きについて曳航船と被曳船の向きについて図 15 に示す。



図 15: 曳航船・被曳船の向き

図 15 より、上図のように曳航船が外力の影響なく被曳船を引く場合は、曳航船、被曳船ともに同じ針路で一定の速力を保ちながら進む。しかしながら下図のように、外力

(風潮流だけではなく、曳航船の増減速や変針も考えられる。)が作用する場合、被曳船の向き・速力に変化が生じ、ワイヤーが弛む、若しくはあらぬ方向に引っ張られる ことになり、曳航船、被曳船ともに衝撃を受けると考えられる。

図 14:狭水域

(2) 実験①の解析

実験①では、先に述べた内海、外海の航行海域における加速度計 SAVER3D15 の計 測結果について述べる。データ解析に使用したソフトウェアはラスモンド社の SAVER X ware である。図 16 に解析に使用したフィルター条件を示す。

AutoZero	Vibration
Off ~	🗹 Mean Removal
Soft Filter Type	SRS
Single Pole RC 🗸	Composite ~
Soft Filter Freq	Damping
50 🗢 Hz	0.09 🗢
○ None	
) 50 Hz	
○ 100 Hz ○ 200 Hz	
0 250 Hz	
O 500 Hz	Cancel OK

図 16:解析フィルター

図 16 より、解析に使用したソフトフィルターは 50Hz であり、実験②の解析にも同じ 条件でフィルターをかけた。この条件にて解析を行った。そしてはじめに全体の衝撃 値の計測結果について解説する。解析にかけることにより、加速度計で計測した衝撃 (Shock)、振動(Vibration)、落下(Drop)のイベントが発生した毎に計測される。 図 17(a)に加速度計 No.1の計測結果、図 17(b)に加速度計 No.2の計測結果、そして図 17(c)に加速度計 No.3の計測結果を示す。



図 17(a): 衝撃 (Shock) の計測結果 (No.1 加速度計)



図 17(b): 衝撃 (Shock) の計測結果 (No.2 加速度計)



図 17(a)、図 17(b)、図 17(c)より、どの計測機においても計測を開始した直後と計測を 終了した直後に衝撃を観測しているが、ログブック等には貨物の移動や船体の移動の 事実はなかったため、船体に受けた衝撃ではなく、電源をオンオフした際の観測値で あると考える。次に全体の振動の実効値(RMS: root mean square)の計測結果につ いて解説する⁽⁴⁾。図 18(a)に加速度計 No.1の計測結果、図 18(b)に加速度計 No.2の計 測結果、そして図 18(c)に加速度計 No.3の計測結果を示す。



図 18(a): 振動(Vibration)の計測結果(No.1 加速度計)



図 18(b): 振動(Vibration)の計測結果(No.2 加速度計)



図 18(c): 振動(Vibration)の計測結果(No.3 加速度計)

図 18(a)、図 18(b)、図 18(c)より、振動の計測結果について、大きな特徴は外海に差し 掛かった和歌山県潮岬付近から伊勢湾に入る直前の大王埼付近まで各計測機で比較的 大きな振動を継続して観測していることである。

次に内海における3軸の振動時間波形を示す。なおグラフの赤色波形は前後方向 (X軸方向)、緑色は左右方向(Y軸方向)、黄色は上下方向(Z軸方向)の加速度の 変化を示す。時間のスケールは30分である。図19(a)に内海におけるNo.1加速度計 の振動の計測結果を、図19(b)にNo.2、図19(c)にNo.3の計測結果をそれぞれ示す。



図 19(a): 内海における振動(No.1 加速度計)



図 19(b): 内海における振動(No.2 加速度計)



図 19(c): 内海における振動(No.3 加速度計)

図 19(a)、図 19(b)、図 19(c)より、内海における加速度の変動はほとんど観測できなかった。理由としては、低速且つ無風状態に加え備讃瀬戸航路 IN 付近では転流時の 0839 に近い時間で、ほとんど潮がなかったことも影響していると考えられる。

次に図 20(a)に外海における No.1 加速度計の振動の計測結果を、図 20(b)に No.2、 図 20(c)に No.3 の計測結果をそれぞれ示す。



図 20(a):外海における振動(No.1 加速度計)



図 20(b):外海における振動(No.2 加速度計)





図 20(a)、図 20(b)、図 20(c)より、外海における加速度については、3 軸とも波浪の影響により、振動を受けていることが分かる。特に上下方向と左右方向に強い振動があった。また被曳船側の左右方向の揺れは若干小さくなっている。これは被曳船の形状が平らで喫水が深いことが挙げられる。

次に図 21(a)に内海における No.1 加速度計の振動の加速度スペクトラム密度の計測 結果を、図 21(b)に No.2、図 21(c)に No.3 の計測結果をそれぞれ示す。図の縦軸は PSD (Power Spectrum Density) を表す。PSD とは横軸の周波数 hz (時間) 当たり がもつエネルギーのことであり、図はその分布となる。





図 21(a): 内海における加速度スペクトラム密度(No.1 加速度計)

図 21(b): 内海における加速度スペクトラム密度(No.2 加速度計)



図 21(c): 内海における加速度スペクトラム密度(No.3 加速度計)

図 21(a)、図 21(b)、図 21(c)より、加速度スペクトラム範囲は 10⁻⁴から 10⁻⁸G²/hz と低 く、各軸には大きな加速度が付与されていない。つまり外力の影響がほとんどないこ とが見て取れる。

次に図 22(a)に外海における No.1 加速度計の振動の加速度スペクトラム密度の計測 結果を、図 22(b)に No.2、図 22(c)に No.3 の計測結果をそれぞれ示す。



図 22(a):外海における加速度スペクトラム密度(No.1 加速度計)



図 22(b):外海における加速度スペクトラム密度(No.2 加速度計)



図 22(c):外海における加速度スペクトラム密度(No.3 加速度計)

図 22(a)、図 22(b)、図 22(c)より、加速度スペクトラム範囲は 10⁻² あたりから 10⁻⁸G²/hz までと大きくなっている。これは外海に出たことによるうねりの影響であると 考える。そして図 22(a)の上下揺れのみ、10⁻³ G²/hz 以下となっている。これは前項で も述べた通り被曳船の船型によるものであると考える。 (3) 実験②の解析

実験②では、先に説明した通常航海時、荒天時、通狭時の航行海域における曳航 船・被曳船の向きと速力を比較する。

1. 曳航船・被曳船の針路・速力の変化について

まず初めに、図 23(a)、図 23(b)に通常航海時における曳航船・被曳船の針路・速力の変化を示す。



図 23(a):通常航海時における曳航船と被曳船の針路変化



図 23(b): 通常航海時における曳航船と被曳船の速力変化

図 23 より横軸を時間(秒)、縦軸を(a)は度(degree)、(b)は速力(knot)としている。 なお両図は曳航船と被曳船のサテライトコンパスから得られた針路と速力の差(Tug Co-Berge Co、Tug Speed-Berge Speed)の絶対値を表している。サンプル数は 3600 (1時間分)である。同図よりエラーとみられる箇所が点在している。いずれのエラー 箇所も、曳航船には見られず、被曳船のみに1秒だけ突出した「ずれ」が見られた。瞬間的な被曳船への衝撃も可能性が無いわけではないが、この海域では変針が一切なく、 同時刻前後の曳航船の針路、速力に大きな変化がなかったため、被曳船側のエラーと見なす。

次にエラーの無い通常航海時サンプルの前半を荒天時、通狭時との比較対象とする。 図 24 の(a)、(b)に通常航海時における針路・速力の変化について示す。



図 24 より、軸の系統は図 22 と同じであるが、サンプル数は 300(10 月 3 日の 11 時 30 分からの 5 分間)とした。また曳航船・被曳船の針路のずれは非常に少なく、曳航 船と被曳船の針路がずれている時間も非常に少ない。これは、曳航船が被曳船を外力の 影響なく真っすぐに引っ張ることが出来ているからであると考える。その根拠となる結 果を図 25 に示す。同図は曳航船と被曳船の針路の平均と標準偏差である。



図 25: 曳航船と被曳船の針路の平均と標準偏差(通常航海時)

図 25 より、曳航船と被曳船の針路の平均は、曳航船が 107.1 度、被曳船が 107.2 度と ほぼ同じなった。またそれぞれの標準偏差も曳航船が 0.9 度、被曳船が 0.4 度となり、 原針路に対して、1 度以内の針路のずれで順調に航行していることが分かった。

次に図 26 の(a)、(b) に荒天時における曳航船と被曳船の針路・速力の変化について 示す。



図 26 より、サンプル数は 300(10 月 2 日の 21 時 55 分からの 5 分間)である。荒天 時の曳航船と被曳船の針路のずれは通常航海時に比べて、大きく増加する。また針路が ずれる時間が大半となる。また同じく荒天時の曳航船と被曳船の速力のずれは少ないが、 多くの時間で速力のずれが生じていることが分かった。

次に図 27 に荒天時における曳航船と被曳船の針路の平均と標準偏差について示す。



図 27: 曳航船と被曳船の針路の平均と標準偏差(荒天時)

図 27 より、通常航海時と比較した場合、曳航船の標準偏差が 3.9 度となり、大きくなっていることが分かる。計測地点は変針の無い海域であるため、針路を保つことが困難であったことが伺える。しかし、それに対して被曳船の標準偏差は 0.8 度と非常に小さい。被曳船は重量、幅もあり安定していることが分かる。また曳航船と被曳船の針路の平均は、曳航船が 66.9 度、被曳船が 67.2 度と非常に近い値であり、外力を受けた場合でも、非常に安定して曳航できることが分かった。次に図 28 の(a)、(b)に通狭時における曳航船と被曳船の針路・速力の変化について示す。



図 28 より、サンプル数は 300(10 月 2 日の 10 時 55 分からの 5 分間)である。通狭時における曳航船と被曳船の針路については、通常航海や荒天時とは異なり、針路および速力が大幅にずれる部分が存在した。図 10 のエラーと断定した部分とは異なり、数秒に渡り連続的に変化していることから、計測エラーとは考えにくく、何かしらの外力の衝撃を受けた可能性が高い。なおこのずれが起きた時、曳航船は変針してはいなかった。また図 29 に通狭時における曳航船と被曳船の針路の平均と標準偏差について示す。



図 29: 曳航船と被曳船の針路の平均と標準偏差(通狭時)

図 29 より、曳航船の曳航船と被曳船の針路の平均は、曳航船が 115.3 度、被曳船が 117.8 度となり、針路に大きな差異が生じた。また標準偏差を見ると、曳航船が 3.6 度 と荒天時よりも低くなったが、被曳船の標準偏差は通常航海時、荒天時とは大きく異な り 6.1 度と曳航船の標準偏差を上回った。このような結果となった理由について次項に 述べる。

図 30(a)に通常航海時の曳航船と被曳船の実際の針路の変化、そして図 30(b)に実際の速力の変化を示す。



図 30(a)より、通常航海時の曳航船の針路は左右にゆっくりと振れているがその幅は小 さく非常に安定していることが分かる。また被曳船の針路は殆ど一直線に進んでいるこ とが分かる。そして図 30(b)より曳航船、被曳船共に速力のずれが殆どなく、一定の速 力に乗り安定して曳航していることが分かる。また図 31(a)に荒天時の曳航船と被曳船 の実際の針路の変化、そして図 31(b)に実際の速力の変化を示す。



図 31(a)より、荒天時の曳航船の針路は小刻みに左右に振られている。これは曳航船の 船首が波に取られていることや針路を安定させるために舵を多用していることが考え られる。また図 31(b)より、通常航海時に比べ、曳航船の速力は、多少変化しているが、 被曳船については、速力が安定している。これは操船者が曳航船と被曳船との距離を保 ちながらワイヤーロープが一定のテンションとなるように調整していることが読み取 れる。最後に、図 32(a)に通狭時の曳航船と被曳船の実際の針路の変化、そして図 32(b) に実際の速力の変化を示す。



図 32(a)より、サンプルのどのエリアでも曳航船の針路の変化が激しいため、針路が 114度~110付近であった部分を表している。また 200sec付近で尾道水道を抜けて、 270sec以降は緩やかに変針している。図 32(b)より、通狭時には曳航船と被曳船との 速力のずれが常に生じ、通狭後、増速しその後は同じ速力となっている。先述した船 長の話によると、狭いところではワイヤーを短くして航行する。そして4ノット前後 に減速していることから、曳航船は被曳船と近づき過ぎないように距離を保ちながら 引っ張っていることが分かる。また狭い水道では航路幅も限定されるため、被曳船が 陸岸と一定の距離を保つように、曳航船の針路を調整しているように思われる。

図 33 に各状況下の針路の平均と標準偏差、図 34 に速力の平均と標準偏差を示す。



図 33: 針路の平均と標準偏差



図 34: 速力の平均と標準偏差

図 33 より、通常航海時においては曳航船と被曳船の針路のずれがほぼ無いが、荒天時、通狭時には、ずれが増大する。また図 34 より、通常航海時の曳航船と被曳船の速力のずれは殆どなく、荒天時には多少のずれが生じる。また通狭時には速力のずれが増大することが明らかとなった。

2. 荒天航行時、通狭時における姿勢について

図 35 に曳航船の姿勢、図 36 に被曳船の姿勢について、それぞれ示す。



図 35: 曳航船の姿勢



図 36: 被曳船の姿勢

図 35、図 36 より、曳航船、被曳船はそれぞれ外力の影響を受けながら、ロール(横 揺)ピッチ(縦揺)、ヒーブ(上下揺)している⁽⁶⁾。前項で述べた、通常航海時、荒天 時、通狭時におけるロール角、ヒーブ角、ピッチ角の計測結果を以下に示す。

図 37(a)に通常航海時における曳航船と被曳船のロール角、図 37(b)に荒天時におけ る曳航船と被曳船ロール角、そして図 37(c)に通狭時における曳航船と被曳船ロール角 をそれぞれ示す。



図 37(a): 曳航船と被曳船のロール角(通常航海時)



図 37(c): 曳航船と被曳船のロール角(通狭時)

図 37 の縦軸は角度を示し、横軸は秒を示しているが、実際は 0.2 秒毎の値である。従って 240 秒間のデータである。前項のすべてのグラフと計測開始時刻は同じである。 図 37(a)より、通常航海時では、曳航船は規則正しく横揺れし、その角度は 1 度以内で ある。そして被曳船の横揺れはほぼ無い。図 36(b)より、荒天時には 2 度から 3 度の 横揺れがあり、その周期から少しずれて被曳船が小刻みに横揺れしているが、その角 度は 0.3 度以内に留まっている。そして図 36(c)より、通狭時には曳航船は通常航海時 と同じ程度横揺れしているが、被曳船は 300sec 辺りで左に、その反動のためか 800sec 辺りで右に傾いている。偏りがある揺れではなく、波形がサインカーブを描い ているため、横切り船や行会い船の横波等を受けた可能性もある。

次に図 38(a)に通常航海時における曳航船と被曳船のヒーブ角、図 38(b)に荒天時に おける曳航船と被曳船のヒーブ角、そして図 38(c)に通狭時における曳航船と被曳船ヒ ーブ角をそれぞれ示す。



図 38(c): 曳航船と被曳船のヒーブ角(通狭時)

図 38(a)より、通常航海時では、曳航船の上下揺れもほとんどなく、被曳船の上下揺れ は無い。図 38(b)より、荒天時には1度以内の上下揺れがあるが、通常航海時と同じく 被曳船の上下揺れは無い。図 38(c)より、通狭時には、曳航船では上下揺れは少なく、 被曳船では 300sec 付近から、1.5 度の上方への揺れがあり、その後不安定となった。 300sec 付近はロール角にも変化があった時点である。従って計測エラーとも考え難 く、外力の影響であると考える。

次に図 39(a)に通常航海時における曳航船と被曳船のピッチ角、図 39(b)に荒天時に おける曳航船と被曳船のピッチ角、そして図 39(c)に通狭時における曳航船と被曳船の ピッチ角をそれぞれ示す。



図 39(c): 曳航船と被曳船のピッチ角(通狭時)

図 39(a)より、通常航海時では、曳航船のピッチ角の変化はほとんど無く、被曳船については、変化は無かった。図 39(b)より、荒天時には曳航船のピッチ角の変化は増加するが、被曳船については、同じく変化は無かった。しかし図 39(c)より、曳航船のピッチ角の変化はほとんど無かったが、被曳船についてはロール、ヒーブと同じように300sec 付近で、大きく前方に傾きその反動で後方に傾いた。

3. 加速度と衝撃について

次に加速度計 SAVER3D15 の計測結果について述べる。まず全体の衝撃値の計測結 果について解説する。図 40(a)に加速度計 No.1 の計測結果、図 40(b)に加速度計 No.2 の計測結果、そして図 40(c)に加速度計 No.3 の計測結果を示す。図より、縦軸は加速 度、横軸は全計測時間である。No.1 加速度計については設置直後から計測開始してい たが、曳航船側に積まれていた No.2、No.3 加速度計は出港直前に計測を開始した。



図 40(a): 衝撃(Shock)の計測結果(No.1 加速度計)



図 40(b): 衝撃(Shock)の計測結果(No.2 加速度計)



図 40(a)、図 40(b)、図 40(c)より、衝撃値を計測した時間はいずれも出港直前の 1500 頃のみであった。次に全体の振動の計測結果について解説する。図 41(a)に加速度計 No.1 の計測結果、図 41(b)に加速度計 No.2 の計測結果、そして図 41(c)に加速度計 No.3 の計測結果を示す。



図 41(a): 振動(Vibration)の計測結果(No.1 加速度計)



図 41(b): 振動(Vibration)の計測結果(No.2 加速度計)



図 41(c): 振動(Vibration)の計測結果(No.3 加速度計)

図 41(a)、図 41(b)、図 41(c)より、図 40 の結果と同様、出港直前の 1500 前後から振動は計測されている。図 41(a)より、被曳船の出港から入港までの振動はほぼ一定であった。図 41(b)より、出港から 5 時間の範囲に通常の倍の振動を受けている。この時間帯は台風の影響があった荒天時が含まれている。また図 41(c)も(b)と同様の時間帯に

強い振動を観測している。

次に通常航海時、荒天時、通狭時における3軸の振動時間波形を示す。なお実験① 同様、グラフの赤色波形は前後方向(X軸方向)、緑色は左右方向(Y軸方向)、黄色 は上下方向(Z軸方向)の加速度の変化を示す。時間のスケールは30分で、計測開始 時間は前項と同じである。図42(a)に通常航海時における No.1 加速度計の振動の計測 結果を、図42(b)に No.2、図42(c)に No.3 の計測結果をそれぞれ示す。



図 42(a): 通常航海時における振動(No.1 加速度計)



図 42(b): 通常航海時における振動(No.2 加速度計)



図 42(a)、図 42(b)、図 42(c)より、各方向の振動の変化は殆ど無い。次に、図 43(a)に No.1 で荒天時における No.1 加速度計の振動の計測結果を、図 43(b)に No.2、図 43(c) に No.3 の計測結果をそれぞれ示す。



図 43(a): 荒天時における振動(No.1 加速度計)



図 43(b): 荒天時における振動(No.2 加速度計)



図 43(c): 荒天時における振動(No.3 加速度計)

図 43(a)より、被曳船の振動は変わらないが、図 43(b)、図 43(c)より、曳航船の左右方向の振動が大きくなっていることが分かる。これは波浪による横揺れが大きくなったことが考えられる。

最後に、図 44(a)に No.1 で通狭時における No.1 加速度計の振動の計測結果を、図 44(b)に No.2、図 44(c)に No.3 の計測結果をそれぞれ示す。



図 44(a): 通狭時における振動(No.1 加速度計)



図 44(b): 通狭時における振動(No.2 加速度計)



図 44(c): 通狭時における振動(No.3 加速度計)

図 44(a)、図 44(b)、図 44(c)において、激しい振動の変化は見られなかった。

次に図 45(a)に通常航海時における No.1 加速度計の振動の加速度スペクトラム密度の 計測結果を、図 45(b)に No.2、図 45(c)に No.3 の計測結果をそれぞれ示す。



図 45(a):通常航海時における加速度スペクトラム密度(No.1 加速度計)







図 45(c):通常航海時における加速度スペクトラム密度(No.3 加速度計)

図 45(a)、図 45(b)、図 45(c)より、加速度スペクトラム範囲は、全報告書の貨物船と比較すると 10⁻⁴から 10⁻⁸G²/hz と低く⁽⁵⁾、やはり各軸には大きな加速度が付与されていない。実験①同様、気象条件が良いためであると考える。



次に図 46(a)に通常航海時における No.1 加速度計の振動の加速度スペクトラム密度の計測結果を、図 46(b)に No.2、図 46(c)に No.3 の計測結果をそれぞれ示す。

図 46(a): 荒天時における加速度スペクトラム密度(No.1 加速度計)



図 46(b): 荒天時における加速度スペクトラム密度(No.2 加速度計)



図 46(c): 荒天時における加速度スペクトラム密度(No.3 加速度計)

図 46(a)より加速度スペクトラム範囲は 10⁻⁴から 10⁻⁸G²/hz と低かったが、図 46(b)、 図 46(c)を見てわかる通り、各加速度スペクトラム範囲は 10⁻³から 10⁻⁸G²/hz までに拡 大している。また左右方向に関しては 10⁻²付近に達している。外海において、曳航船 は激しく横揺れしていることが分かる。

最後に図 47(a)に通狭時における No.1 加速度計の振動の加速度スペクトラム密度の 計測結果を、図 47(b)に No.2、図 47(c)に No.3 の計測結果をそれぞれ示す。



図 47(a): 通狭時における加速度スペクトラム密度(No.1 加速度計)



図 47(b): 通狭時における加速度スペクトラム密度(No.2 加速度計)



図 47(c): 通狭時における加速度スペクトラム密度(No.3 加速度計)

図 47(a)、図 47(b)、図 47(c)より、通狭時においても加速度スペクトラム範囲は 10⁻⁴ から 10⁻⁸G²/hz と低く、通常航海時と変わらない。これは前項で述べたように、狭い 水道において操船者が曳航索を緩ませないように上手に操船していたことが分かる。

4. まとめ

本報告書では、大分から神戸を航行する曳航船及び被曳船に加速度計及びサテライトコンパスを設置し、計測を行った。

計測結果より、通常航海時、荒天時、通狭時における曳航船と被曳船の姿勢につい て以下の特徴を得られた。

1. 通常航海時における曳航船と被曳船の姿勢は非常に安定している。

2. 荒天時における曳航船の姿勢は波浪の影響を受けるため安定しないが、被曳船に ついては通常航海時と比べて殆ど変化がなかった。

3. 通狭時における曳航船の姿勢は安定していたが、被曳船は外力が原因と思われる 動揺があった。

上記の範囲以外の変針時においても、姿勢のずれは殆ど見られなかったため、操船技術の高さが伺えた。結論として、船長判断で安定航海できる海面状態を確認してから 出港したため、荒天時については通常航海時と変わらない操船を行っていると考え る。しかし通狭時にはベテランの操船者が、減速し、曳航索を短くし、十分に注意し ながら航行しているにもかかわらず、通常航海時、荒天時に見られなかった姿勢のず れが観測された点から、通狭時の曳航船の操船は相当の操船技術が必要となることが 分かった。

また加速度計の計測結果より、航海時における著しい衝撃や振動を観測することは 出来なかった。理由としては、曳航船と被曳船の姿勢が、一般的な貨物船と比べ、安 定していたためであると考える。逆に言えば、曳航において一般貨物船で観測された 衝撃や振動を受けると曳航物や固縛物の破損などに繋がるので、より衝撃の少ない安 定操船を実施しているのではと推測する。

本報告の解析結果の活用法及び今後の予定であるが、操船者に解析結果を見せ、ヒ アリングを行うことが有効であると考える。姿勢の不安定を数値で確認できたが、原 因は予測の域を抜けないため、本結果を踏まえ、尾道水道付近でどのような操船環境 であったか確かめる事が必要であると考える。また本報告で取り上げた解析部分は航 海時間 38 時間の内の 3 時間であるため、残りの部分で特徴的な変化は見られないか を確認するため、解析を継続する。

参考文献

- (1) 海上保安庁,平成26年における海難の現状と対策について, http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/h27/k20150318/k150318 2.pdf#search='%E6%B5%B7%E9%9B%A3%E4%BA%8B%E6%95%85+%E4%B
 B%B6%E6%95%B0', 03.2015
- (2) 気象庁(柳井市の気象)
 http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/10min_a1.php?prec_no=81&bloc
 k_no=0942&year=2015&month=10&day=2&view=, 10.2015
- (3) 海上保安庁,尾道水道・周防灘東部の潮流,平成27年度潮汐表第一巻,p301-336,2015
- (4) Micro Stone HP「信号波形の強度を調べる」 http://www.microstone.co.jp/case/technical-13.html
- (5) H25年度報告書, P27, 2014.
- (6) 橋本進他, 操船の基礎【二訂版】, 海文堂, P124-126, 2012