関門海峡における乗揚海難と気象との関係

神 鳥 昭*

The Influence of the Meteorological Conditions on the Strandings in the Kanmon Strait

Akira KANDORI

Abstract

The influence of the meteorological conditions on the strandings in the Kanmon strait was analysed statistically in the present report. The data sources for the present study were the original registers of meteorological observation by Simonoseki Meteorological Observatory, the casualty questionnaires for 1962—1969 inquired by the 7th Regional Maritime Safety Headquarters, and the official reports of marine traffic survey in the Kanmon Strait by the maritime authorities concerned. And the results were summarized as follows :

1. About 90% of the strandings occurred under the weak wind ($<5.5\text{m/s}$). And the stranding rate, the number of strandings per ships passed, changed in accordance with the wind velocity keeping the following relation :

$$\sin^{-1}\sqrt{P'} = 2.58 - 1.55(\sqrt{V_w + 1}) + 0.26(\sqrt{V_w + 1})^2$$

where P' is the stranding rate and V_w is wind velocity in m/s.

2. About the three quarters of the strandings occurred in the good visibility ($>2\text{km}$). This was because of far more frequent occurrence of the good visibility than the poor one. And the stranding rate decreased with the visibility keeping the following relation :

$$\sin^{-1}\sqrt{P'} = 1.33D_v^{-0.44}$$

where P' is the stranding rate and D_v is visible distance in km.

3. In respect of the influence on the stranding rate, the visibility of 2 km was estimated to be corresponding to the wind of 20 m/s and 1 km to 24 m/s.
4. In the Eastern area and Hayatomo seto (both defined in Fig. 1) were seriously suffered from the fall visibility, and the stranding rate in these areas under the dense fog ($<0.2\text{ km}$ in visibility) were remarkably increased in to more than 100 times as high as that in respective areas estimated through all visibility conditions.
5. About 90% of the strandings under the poor visibility ($<2\text{ km}$) was responsible for the ship of less than 1,000 gross tons. This was because of more frequent passing of small ships than large ones. And stranding rate increased in accordance with the ship size keeping the following relation :

$$P'_{PV} = 2.09x^{0.35} \times 10^{-4}$$

where P'_{PV} is the stranding rate in the poor visibility and x is the size of ship in gross tonnage.

1. は じ め に

乗揚海難については、これまで多くの研究がなされており、個々の海難事例についての実証的研究⁽¹⁾をはじめ、統計的研究⁽²⁾および理論的研究⁽³⁾が報告されている。

* 正会員，水産大学校（下関市吉見永田本町1944）

乗揚海難が気象状況に影響されることはよく知られており、乗揚海難と気象との関係を定量的に分析して乗揚危険度に関連した研究もみられるが、相対的な乗揚危険度に関するものが大部分である。相対危険度によって乗揚危険の程度を比較することができるが、さらに通航船の実体危険度、すなわち1トリップ当りの乗揚確率を推定できれば、乗揚危険に対する認識をより深めることができるであろう。一方、通航船の乗揚確率の把握にはかなり困難な面があり、解析の基礎資料——対象水域をカバーする長期にわたる連続的な気象観測、これと並行した船舶交通量調査および海難調査の各資料——が得られ難いのがその主因である。しかし、なんらかの方法で主要な気象環境下における通航船の乗揚確率と、その変化傾向を推計できれば、海上交通の安全対策を考える場合の一つの判断基準として役立つものと思われる。

この研究は、これまで関係各機関がそれぞれ独自の目的のために行なった観測・調査の資料を糾合して、総合的な検討と統計解析の結果から、関門海峡の主要な気象環境下における通航船の乗揚確率（以下乗揚事故率という）の推定を試み、気象要素が乗揚海難に及ぼす影響を巨視的観点から考察したものである。

2. 対象水域・資料および解析の方法

対象とした関門海峡の区域およびこの区域内を細分した5水域は図1のとおりである（ただし、下関漁港を除く）。

解析には1962年から1969年までの8年間の海難調査票（不要救助海難を含む）、1962、'66、'69年の下関地方気象台の地上気象観測日原簿（毎日3時間ごとの観測記録）および1963、'66、'67、'68年に延18日間にわたって実施した通航船舶実態調査⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾の各資料を用いた。なお、1968、'69年の門司中央信号所信号日誌（300 G. T. 以上の通航船記録）を参考にした。

解析の方法は①海難調査票から対象区域内で発生した乗揚海難（214件）を抽出し、条件別に分類した。

②地上気象観測日原簿から、風向、風力、視程の観測結果（資料数は各8760）を調査し、条件別に分類した。

③条件別に乗揚海難件数と気象出現回数を対応させ、必要に応じて乗揚発生率および気象出現率を求めた。ただし、乗揚発生率および気象出現率は、対象とした有限母集団に対するそれぞれの比率である。④18日間の通航船舶実態調査の結果から1日平均交通量（892.8隻）を求め、必要に応じて船型別に分類した。⑤条件別気象環境下の船舶交通量の総計はそれぞれの気象出現時間に比例するものとし、1日平均交通量に基づいて推計した。⑥条件別気象環境下の船舶交通量の総計に対する乗揚事故船隻数の比率を乗揚事故率とした。⑦適宜F検定またはt検定（ともに自由度はnで示す）によって解析結果を検討した。

3. 解析結果とその考察

3.1 風と乗揚海難との関係

関門海峡の風向・風力の出現傾向を下関地方気象台の観測データで代表させ、風と乗揚海難との関係について検討した。

3.1.1 風向と乗揚海難

風向を9クラスに分類して、風向別の乗揚発生率と風の出現率を対照すると図2のとおりである。また、風

Fig. 1. Chart of the Kanmon strait with definition of its boundaries used in this report.

Note; Strandings occurred in the area enclosed by the chain lines and shore lines were chosen as the subject of this study. The definition of the divided areas used are as follows: Eastern area is in the east of line A, Hayatomo-seto area is between lines A and B, Central area between lines B and C, Ō-seto area between lines C and D, and Western area is in the west of the line D. Each of lines is a straight one joining the following two points; line A: Chausu-yama peak and the west end of Tanoura quay, line B: Shimonoseki leading light (rear light) and the breakwater light of Moji No. 2 camber, line C: Desimatu-hana and the breakwater light of Moji No. 4 camber, line D: Ō-yama-no-hana light and the breakwater light of Sunatu.

Table 1. Result of significance test on the difference of stranding rate between the finite population and the sample classified by wind direction.

Wind direction	N NNE	NE ENE	E ESE	SE SSE	S SSW	SW WSW	W WNW	NW NNW	Calm
F_0	1.18	1.97**	1.03	5.14**	1.09	1.16	1.83**	1.49*	7.91**
n_1	402	60	94	394	420	26	52	336	394
n_2	28	370	336	36	10	404	378	94	36

* significant at 0.05 level ** significant at 0.01 level

向による乗揚特性をみるため、この有限母集団の乗揚事故率と母集団を構成する風向クラス別（標本）の乗揚事故率との有意差について検定⁽⁸⁾した結果を表1に示す。乗揚発生率はE・ESEおよびNW・NNWの風向時に著しく高く、この2クラスで全体の43.5%を占めている。一方、表1から風向SE・SSE、NW・NNWおよびCalmのときの乗揚事故率は異常に高いことが認められる。また、風の出現頻度の比較的高いNE・ENEおよびW・WNWの風向時の乗揚事故率は異常に低いといえる。これらの東および西寄りの風は関門海峡における天気良好時の卓越風である。乗揚事故率が異常に高い風向時に発生した乗揚海難について海難調査票から吟味すると、風向が直接乗揚海難にむすびついたと思われる事故はほとんどみられず、むしろ、風向が南東のときにみられがちな天候の悪化、北西の風のときに多い強風・突風および無風状態のときに起りがちな視界不良現象が、事故の誘因として大きく作用しているものと推察される。

3.1.2 風力と乗揚海難

(1) 風力と乗揚事故率との相関

風力を5クラス*に分類して、風力クラス別の乗揚事故率を求め、これを各クラスの風速中央値に対応させて、プロットすると図3のとおりで、乗揚事故率(P')と風速(V_w)との相関関係は、次の回帰式で表わされる。

$$\sin^{-1}\sqrt{P'} = 2.58 - 1.55(\sqrt{V_w + 1}) + 0.26(\sqrt{V_w + 1})^2 \quad \dots\dots(1)$$

また式(1)の回帰係数の有意性について検定⁽⁹⁾すると $F_{01}=587.89$, $F_{02}=635.11$ (ただし, $n_1=1$, $n_2=2$) となり、乗揚事故率と風力には有意の相関があると判断できる。式(1)から風速による乗揚事故率の変化傾向を考察すると、乗揚事故率が最も低いのは風速8 m/sのときで、これより風速が大きくなっても、小さくなっても乗揚事故率は高くなることがわかる。また、風速が8 m/s および 20 m/s のときの乗揚事故率は、それぞれ 2.22×10^{-5} および $2.67 \times 2.67 \times 10^{-4}$ と推算される。このように強風時に乗揚事故率が高くなるのは、風圧による船舶操縦性の変化と、圧流による偏位に起因するものと思われる。一方、弱風時は視界不良現象の出現傾向が強く、視界不良の影響によって乗揚の事故率が高まるものと推察される。

(2) 季節・水域および船型別にみた風力と乗揚特性

Fig. 2. Occurrence distribution of the winds and the strandings by wind direction.

Fig. 3. Correlation between wind force and stranding rate.

* 風力クラス 1: 風速<1.6m/s, 2: 1.6—5.5m/s, 3: 5.5—10.8m/s, 4: 10.8—17.2m/s, 5: 17.2m/s<

Fig. 4. Occurrence distribution of the winds (hatched) and the strandings (solid) by wind force.

Note; Class of wind force 1: Under 1.6m/s, 2: 1.6—5.5m/s, 3: 5.5—10.8m/s, 4: 10.8—17.2m/s, 5: Over 17.2m/s

関門海峡における風力と乗揚危険との関係は式(1)からその傾向を把握できるが、さらに季節別・水域別・船型別にみた乗揚特性と風力との関係について検討した。全般および季節・水域・船型の各条件別に、風力クラス別の乗揚発生率と風の出現率を比較すると図4のとおりである。また、風力クラス別の乗揚事故率の異常性を判断するため、条件別有限母集団の乗揚事故率とその母集団を構成する風力クラス別の乗揚事故率との有意差について検定した結果を表2に示す。全般的にみて(図4-a)乗揚海難の87%は、風力クラス1および2の弱風時に発生している。一方、乗揚の事故率が異常に高いと判断されるのは、風力クラス1の場合だけである。そしてこの風力クラスの場合に発生した乗揚海難の約30%は視程2km未満の視界不良時の事故である。したがって、弱風時の乗揚事故率を高める要因として視界不良の影響がかなり大きいと推察される。一方、風力クラス3の場合、通航船の乗揚事故率は異常に低いと判断される。

春季(3・4・5月)、夏季(6・7・8月)、秋季(9・10・11月)、冬季(12・1・2月)の季節別および水域別にみた通航船の乗揚事故率は、風力クラス1の場合に異常に高く、風力クラス3の場合に異常に低いことは全般的な傾向と同様であるが、さらに冬季の風力クラス5および西部水域における風力クラス4の場合にも乗揚事故率は異常に高いといえる。冬季の風力クラス5の環境下で発生した乗揚海難のすべてが西部水域で発生していることを考慮すれば、季節風の強吹する冬季の西部水域では異常に高い乗揚の危険性が潜在すると考えられる。船型別にみると1,000 G. T. 未満の小型船では、風力クラス1の場合に乗揚の事故率は異常に高く、風力クラス3の場合には事故率が異常に低い。また、100—1,000 G. T. クラスでは風力クラス2の場合にも乗揚事故率は異常に低い。一方、1,000 G. T. 以上の大型船では小型船にみられるような風力による乗揚特性は認められない。

3.2 天気および視程と乗揚海難との関係

Table 2. Result of significance test on the difference of stranding rate between the finite population and the sample classified by wind force.

Class of wind force		1			2			3			4			5		
		F ₀	n ₁	n ₂	F ₀	n ₁	n ₂	F ₀	n ₁	n ₂	F ₀	n ₁	n ₂	F ₀	n ₁	n ₂
Total		4.75**	274	156	1.23	220	210	3.84**	44	386	0.85	12	418	4.54	428	2
Season	Spring	4.43**	70	34	1.04	54	50	3.24**	14	90	1.08	100	4	0.12	2	102
	Summer	3.80**	70	38	1.08	60	48	3.03**	12	96	1.40	2	106	0.05	2	106
	Autumn	6.22**	54	48	1.54	52	50	8.03**	4	98	0.65	2	100	0.02	2	100
	Winter	4.87**	86	36	1.21	60	62	2.88**	20	102	2.43	116	6	35.98*	120	2
Area	Eastern area	7.78**	30	28	2.12*	22	36	2.10*	10	48	0.68	2	56	0.03	2	56
	Hayatomo seto	2.78*	30	10	1.16	16	24	2.48*	6	34	0.46	2	38	0.02	2	38
	Central area	6.25**	72	54	1.25	64	62	6.45**	8	118	0.75	4	122	0.06	2	124
	Ō seto	3.81**	70	32	1.11	42	60	4.02**	10	92	1.22	2	100	0.05	2	100
	Western area	3.34**	80	32	1.39	54	58	2.28**	18	94	3.15*	104	8	17.68	110	2
Ship size	Under 100 G. T.	4.24**	114	58	1.02	74	98	5.83**	12	160	1.03	4	168	11.44	170	2
	100—1,000 G. T.	6.12**	120	88	1.69**	90	118	3.35**	24	184	1.64	200	8	0.11	2	206
	1,000—3,000G.T.	1.67	10	2	1.55	4	8	2.19	2	10	0.12	2	10	0.01	2	10
	3,000—10,000G.T.	0.66	4	22	1.24	10	16	0.98	8	18	0.29	2	24	0.01	2	24
	Over 10,000 G.T.	3.57	14	6	1.29	10	10	1.02	6	14	0.22	2	18	0.01	2	18

* significant at 0.05 level ** significant at 0.01 level

Table 3. Frequency of the strandings occurred under respective weather-visibility conditions.

Weather Class of visibility	Blue sky	Cloudy	Rain Snow	Fog	Total
1	0	0	4	18	22
2	2	2	4	6	14
3	3	8	3	3	17
4	5	13	6	0	24
5	95	39	3	0	137
Total	105	62	20	27	214

Note ; Class of visibility 1 : Under 0.2km, 2 : 0.2—1.0km, 3 : 1.0—2.0km, 4 : 2.0—4.0km, 5 : Over 4.0km

一般に天気が悪化して雨・雪・霧となった場合の乗揚危険性については感覚的によく認識されているが、ここでは主として視程と乗揚海難との関係について解析した。

3.2.1 天気および視程別乗揚海難件数

8年間に発生した乗揚海難214件を事故発生時の天気および視程別に分類すると、表3のとおりである。全乗揚海難の78%は天気が晴または曇のときに発生した事故である。また、視程クラス3以上(視程>2km)の比較的視界の良好時に発生した乗揚事故は、全乗揚件数の75%を占めている。しかし、天気・視程の影響による乗揚危険について考察するためには乗揚事故率または乗揚危険度について検討しなければならない。表3にみられるように天気と視程とは密接な関係があるので、視程と乗揚海難の関係に限って解析した。

3.2.2 視程と乗揚事故率との相関

視程を5クラスに分類して、それぞれの視程環境における乗揚事故率を求め、これを各視程クラスの中央値に対応させてプロットすると図5のとおりである。また、視程 (D_v) の乗揚事故率に対する回帰式を求めると次のとおりである。

$$\log \sin^{-1} \sqrt{P} = 0.1242 - 0.4444 \log D_v \quad \dots\dots(2)$$

この回帰係数について有意性を検討すると、 $n_1=1$, $n_2=3$ で $F_0=1334.35$ となり、きわめて高度に有意であると判断される。また、式(2)をべき関数で表示すると

$$\sin^{-1} \sqrt{P} = 1.33 D_v^{-0.44} \quad \dots\dots(3)$$

となり視界が狭くなるにしたがって乗揚の危険は飛躍的に増大することが、よくうかがわれる。式(3)から任意の視程時における乗揚事故率の推定が可能であり、さらに基準視程時に対する任意の視程時における乗揚危険の大きさについても推察できる。例えば視程が10kmおよび0.1kmの場合の乗揚事故率は、それぞれ 7.10×10^{-5} および 4.08×10^{-3} となり、視程0.1kmの場合は視程10kmの場合に比べ乗揚の危険度は約60倍であると推定される。さらに、式(3)と式(1)を対比することにより乗揚海難に及ぼす影響度に関して、視程と風力との対応を推定することができる(図6)。例えば乗揚海難に関して風速20m/sの風は視程2kmの場合と同等の影響度があり、風速24m/sの場合は視程が1kmのときと同等の乗揚危険性があると推察される。したがって、関門海峡の乗揚海難を防止する上で、強風の影響は無視できない要素であると考えられる。

(2) 季節・水域および船型別にみた視程と乗揚特性

季節・水域・船型の条件別にみた視程と乗揚特性との関係を検討するため、条件別に視程クラス別の乗揚発生率と視程出現率を比較すると図7のとおりである。また、条件別の有限母集団から求めた乗揚事故率とその母集団を構成する各視程クラスにおける乗揚事故率との有意差検定の結果を表4に示す。

一般的にみると(図7-a)乗揚発生率は視程クラス5の場合に64%, 視程クラス4の場合に11%で、乗揚海難の大部分は視程2km以上の比較的視界良好時に発生している。しかし、乗揚の事故率は視程クラス5の場合は異常に低く、一方、視程クラス4以下の各クラスの場合は異常に高いと判断される。したがって、関門海峡では視程が4km程度になれば通航船の乗揚事故率は平均乗揚事故率を上回る傾向がみられる。

季節・水域・船型の各条件別にみても視程クラス5の場合に乗揚発生率は著しく高いが、この場合の乗揚事故率は概して平均乗揚事故率以下であり、異常に低いといえる。ただ、10,000G. T. 以上の大型船の場合だけは95%の信頼度で判断する限り視程によって乗揚事故率に有意の差があるとはいえない。通航船の乗揚事故率が異常に高い視程クラスは、それぞれの条件により多少異なるが、視程クラス4以下の場合に多くみられる(表4参照)。東部水域および早瀬瀬戸における視程クラス1(視程<0.2km)の場合の乗揚事故率はそれぞれ 1.53×10^{-3} および 7.67×10^{-4} で、それぞれの水域における平均乗揚事故率の143倍および105倍と推定され、乗揚危険の著しい増大傾向が特に注目される。そしてこの場合の乗揚発生地点は部埼南方水域と串埼・干珠島周辺および壇之浦沖である。部埼南方水域における乗揚事故船はすべて200G. T. 未満の小型船であり、濃霧中を漫然と航行したための事故が多い。また、壇之浦沖および串埼・干珠島周辺における乗揚海難は、濃霧中減速して航行中、潮流に圧流されて乗揚げた事故が大部分である。視界が狭くなった場合、衝突防止上自船の

Fig. 5. Correlation between visibility and stranding rate.

Fig. 6. Correspondence of wind force to visibility with the influence on stranding

Fig. 7. Occurrence distribution of the visibilities (hatched) and the strandings (solid) by visible distance.

Note; The ordinate axis is graduated in square root scale.

Table 4. Result of significance test on the difference of stranding rate between the finite population and the sample classified by visibility.

Class of visibility		1			2			3			4			5		
		F ₀	n ₁	n ₂	F ₀	n ₁	n ₂	F ₀	n ₁	n ₂	F ₀	n ₁	n ₂	F ₀	n ₁	n ₂
Total		62.30**	386	44	9.62**	402	28	5.44**	396	34	2.79**	382	48	7.70**	276	154
Season	Spring	54.90**	80	24	5.67**	96	8	2.64	98	6	3.00*	90	14	9.88**	52	52
	Summer	—	—	—	6.92	106	2	3.11	102	6	2.36*	96	12	4.54**	80	28
	Autumn	—	—	—	—	—	—	18.15**	92	10	2.72	96	6	9.41**	80	22
	Winter	37.82**	114	8	12.89**	106	16	7.25**	110	12	2.87**	106	16	8.75**	70	52
Area	Eastern area	208.19**	42	16	10.23*	54	4	10.15**	50	8	1.65	54	4	16.98**	26	32
	Hayatomo seto	136.63**	32	8	0.14	2	38	3.34	38	2	2.47	36	4	7.43**	26	14
	Central area	27.33**	120	6	6.90*	120	6	2.08	122	4	1.92	116	10	3.59**	100	26
	Ō seto	59.40**	92	10	8.62**	96	6	8.45**	90	12	2.42	92	10	8.19**	64	38
	Western area	20.24**	108	4	16.57**	100	12	4.88**	104	8	4.83**	92	20	8.93**	68	44
Ship size	Under 100 G. T.	48.42**	158	14	10.35**	160	12	3.91*	162	10	2.93**	152	20	6.66**	116	56
	100—1,000 G. T.	78.07**	182	26	8.45**	196	12	6.01**	190	18	2.90**	184	24	8.62**	128	80
	1,000—3,000 G. T.	0.01	2	10	27.61*	10	2	12.68	10	2	4.45	10	2	13.80**	6	6
	3,000—10,000 G. T.	99.36**	22	4	11.50	24	2	5.28	24	2	1.85	24	2	8.62**	16	10
	Over 10,000 G. T.	0.02	2	18	0.07	2	18	7.05	18	2	0.40	2	18	1.53	18	2

* significant at 0.05 level

** significant at 0.01 level

緊急停止距離を考慮して安全な速力に減速するのが普通であるが、関門海峡のような強い潮流のある狭水道の低速航行は、潮流に圧流されて乗揚事故につながる危険性がきわめて大きい。

(3) 狭視界時における船型別乗揚事故率

視程が2 km 未満の場合を狭視界として、狭視界時における船型別通航船の乗揚事故率について検討した。狭視界時乗揚海難の87%は1,000 G. T. 未満の小型船の事故である。

関門海峡における通常時の船型別交通量はこれまでの通航船舶の実態調査⁽¹⁰⁾によってほぼ把握されている。また、狭視界時の交通量減少率は30%⁽¹¹⁾狭視界現象の出現率は2%⁽¹²⁾と推定される。これらの要素に基づいて船型別通航船の狭視界時乗揚事故率を推計した。狭視界時における船型別の乗揚事故率を示すと図8のとおりである。また、狭視界時乗揚事故率の船型(総トン数)に関する回帰係数 r を求めると、 $r=0.93$ となりさらにこの相関係数は5%の有意水準で有意であることが確かめられる($t_0=4.81$, $n=3$)。狭視界時の乗揚事故率(P'_{PV})の総トン数(x)に関する回帰は次式で表わされる。

$$P'_{PV}=2.09 x^{0.35} \times 10^{-4} \quad \dots\dots(4)$$

式(4)から狭視界時乗揚事故率は、大型船ほど高くなる傾向にあることが確かめられる。

通常時における船型別乗揚事故率(P')は、

$P'=0.87 x^{0.40} \times 10^{-5}$ と推定⁽¹³⁾される。したがって P'_{PV} と P' との関係は、 $P'_{PV}=24.02 P' x^{-0.05}$ で表わされ、狭視界となった場合、通常時に比べて乗揚事故率

の増大する割合は小型船の方が僅かに大きく、例えば100 G. T. クラスでは19倍、1,000 G. T. クラスでは17倍、10,000 G. T. クラスでは15倍程度と推定される。

次に狭視界時における船型別の乗揚事故率(P'_{PV})と衝突事故率⁽¹⁴⁾(P_{PV})の総トン数に対する回帰式を対比して検討すると、 $P'_{PV}=20.90 P_{PV} x^{-0.44}$ の関係式が得られる。したがって、狭視界時には、1,000 G. T. 未満の小型船は衝突事故率よりも乗揚事故率の方が高く、一方、1,000 G. T. 以上の大型船では乗揚事故率よりも衝突事故率の方が高くなる傾向があるといえる。

Fig. 8. Correlation between the size of ship in gross tonnage and the stranding rate in the poor visibility (<2km).

4. 要 約

- (1) 乗揚海難の87%は風速 5.5m/s 未満の弱風時に発生している。また、風速(V_w)と通航船の乗揚事故率(P')の間には有意の相関が認められ、乗揚事故率の風速に対する回帰は次式のとおりである。

$$\sin^{-1}\sqrt{P'}=2.58-1.55(\sqrt{V_w+1})+0.26(\sqrt{V_w+1})^2$$

- (2) 乗揚海難の75%は視程が2 km 以上の視界良好時に発生している。また、視程(D_v)と通航船の乗揚事故率(P')との間の回帰式は

$$\sin^{-1}\sqrt{P'}=1.33 D_v^{-0.44}$$

で表わされ、視程が小さくなるにしたがって乗揚事故率は飛躍的に増大する傾向が認められる。

- (3) 濃霧中(視程 0.2km 未満)の東部水域および早瀬瀬戸における通航船の乗揚危険度は、それぞれの水域における平均乗揚危険度の100倍以上である。
- (4) 狭視界時(視程2 km 未満)乗揚海難の87%は、1,000 G. T. 未満の小型船の事故である。
- (5) 狭視界時における通航船乗揚事故率(P'_{PV})の船型(総トン数: x)に関する回帰は次式で表わされ、乗揚事故率は大型船ほど高くなる傾向が認められる。

$$P'_{PV}=2.09 x^{0.35} \times 10^{-4}$$

5. む す び

この研究ではそれぞれの気象環境のもとにおける船舶交通量の総計は、その気象の出現時間に比例するもの

として解析を進めた。関門海峡における強風・視界不良の出現頻度は小さいが、これらの気象環境のもとでは通常時に比べ単位時間当り船舶交通量は減少すると考えられる。したがって、単位時間当りの平均交通量を基準にした気象条件別の船舶交通量の変動率が求まれば、これによって気象条件別の総計交通量の補正を行ないより精度の高い乗揚事故率が推定できると思われる。しかし現状では気象条件別の交通量の変動率を求めるための資料はほとんど見当らず、わずかに信号日誌によって300 G. T. 以上の通航船の実態を知り得るのみである。以上の事由により本研究では強風・視界不良時の乗揚事故率は若干過小評価されていると思われるが、乗揚事故率のパターンには大きな影響はないと考えてよいであろう。

終りに本研究の統計解析について御助言下さった水産大学校前田弘教授に深謝し、資料の収集に関して種々の便宜を与えられた第七管区海上保安本部警備救難部、下関地方気象台防災業務課および門司中央信号所の関係各位に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 例えば、海難審判研究会：海難審判庁裁決例集
Andries Van de Ree : Groundings, The Journal of Institute of Navigation Vol. 21 No. 3, (1968).
- (2) 例えば、寺尾進：小型鋼船の海難について(乗揚)，海上保安大学校研究報告第2部第17巻2号，
pp.41～54 (1972).
藤井弥平他：海上交通事故の研究—Ⅲ—乗揚について—，日本航海学会論文集第50号，
pp.21～28, (1973).
- (3) 例えば、杉崎昭生：乗揚確率，日本航海学会誌第41号 pp. 1～6 (1969).
- (4) 日本航海学会：関門航路における海難防止対策，(1963).
- (5) 福山コンサルタント：関門海峡の船舶航跡調査報告書，(1966).
- (6) 第四港湾建設局：関門航路における通航船舶調査報告書 一早瀬瀬戸地区一，(1967).
- (7) 第四港湾建設局：関門航路における通航船舶調査報告書 一大瀬戸地区一，(1968).
- (8) 鳥井敏雄他：推計学，pp. 22～25.
- (9) 前掲(8)，pp. 89～101.
- (10) 前掲(4)(5)(6)(7).
- (11) 神鳥昭：関門海峡における衝突海難と気象との関係，日本航海学会論文集第47号，pp. 88～89, (1972).
- (12) 前掲(11)，p. 87.
- (13) 神鳥昭：関門海峡における乗揚海難の動向，日本航海学会論文集第50号，p. 126, (1973).
- (14) 前掲(11)，p. 89.

質 疑 応 答

藤井 弥平

1. 交通量と視程・風向の関係をおもとめになりましたか。
2. たとえば視程200m以下のサンプル数はどれ位でしょうか。
3. Arc sin の回帰をおとりになった理由をおたずねします。

神鳥 昭

1. 次の方法によって求めました。

通航船実態調査の結果から単位時間当りの平均交通量を、また気象の観測原簿から気象条件別(視程・風向別等)出現率を求めました。そして気象条件別交通量の総計はその気象出現時間に比例するものとして算出しました。ただし、狭視界時における船型別乗揚事故率(3.2.2—(3))の推計には上記の方法によって算出した交通量に、さらに信号日誌の資料を参考に交通量の減少率を見込んだ補正を行ないました。

2. 例えば視程が200m未満の場合のサンプル数は、船舶交通量5,218隻、乗揚事故船隻数22隻です。
3. 風力および視程と通航船の乗揚事故率との相関関係を回帰式で考察することにし、求めた回帰式の妥当性を検討するには、回帰係数の有意性検定を利用するよう計画しました。回帰係数の有意性を検定するには分

散分析にかけなければなりません。また、分散分析の対象は正規型であることが原則になっております。したがって、二項型である乗揚事故率 (P') を正規型に近づけるために逆正弦変換し、 $\sin^{-1}\sqrt{P'}$ として回帰をとったわけです。