

荒天時船舶の港内避泊選好基準について

REFUGE ACTION CRITERIA OF SHIPS UNDER STORMY WEATHER

長尾義三*・黒田勝彦**・井上欣三***

By Yoshimi NAGAO, Katsuhiko KURODA and Kinzo INOUE

After ship accidents inside harbours at Jane Typhoon in 1950, it has been a custom that large-sized ships take refuge outside harbours under stormy weather such as typhoons. However refuges inside harbours are again discussed recently because of lack of capacity of waters outside harbours. But captains are anxious about the inside harbour refuges.

The present paper discusses the relationship of the safety levels of the inside and the outside harbour refuges, between which captains are preferentially indifferent, and gives a criteria for planning and design of harbour facilities.

The indifference curve is conducted by the interviews and questionnaires to two hundred Japanese captains. 70% of them have experienced typhoons and all captains are assumed expected monetary valuers.

1. はじめに

一般に、商港、貿易港などの港湾が円滑に機能するには、人的、物的流通のなかで、人や物の輸送の転換がスムーズに行え、かつ、そのための施設、機構が備わっていないと行かない。それゆえ、港湾には特に、効率的な輸送を実現するためのターミナル機能と、船舶の港内における安全を確保するためのハーバー機能の充実が要求され、港湾施設の整備、改良は、主として、これら機能面の向上を目指して進められる。

しかしながら、昭和25年のジェーン台風による港湾災害を機に、台風などの荒天時には、在港船に対し港外避難勧告が出されるようになり、それ以後荒天時には小型船以外の船舶に対して港湾は、事実上ハーバーとしての機能を果たしていない状態が続いている。台風の来襲に際して船舶が自船の安全を確保するため、いったんバースを離れ、港外の錨地へ避難することを、ここでは港外避泊とよぶことにするが、台風などの荒天のつど、

船舶がこのような港外避泊を行うことは、時間的にも費用的にも損失は大きい。本来、港湾はあらゆる気象、海象に対して、いつの場合もハーバーとしての機能を発揮できることが望ましいが、現状では荒天時における港内静穏度が低いと、もとのバースに係留したまま台風の通過に備える港内避泊には不安があることも否めない。

一方、近年における船舶の大型化や避泊需要隻数の増加は、港外避泊錨地の恒常的不足をもたらし、さらに、風圧抵抗の大きい船型や危険物積載船の増加とも相まって、現在では港外避泊は必ずしも安全とはいえなくなってきている。そして、このような状況を反映し、最近船舶側からも港内避泊を要請する声が高まりつつある。

ジェーン台風を経験するまでは、港内は船舶にとって安全な停泊場所と考えられており、台風などの荒天時には、船舶は港内で避泊するのが常識であった。しかしながら、ジェーン台風による波浪と高潮は、防波堤を欠壊させ、港内係留船舶にも多大の被害を与えた。そして、この出来事は、船舶側の港に対するこれまでの考え方を一変させる結果となった。在港船に対する港外避難勧告は、このような当時の港湾施設の不十分さを背景に慣例化されたものである。その後、港湾施設の整備、改良も進み30年余りが経過した。しかし、荒天時港内避泊に対する船舶側の不安の念はいまだに消えてはいない。そ

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学教室 (〒606 京都市左京区吉田本町)

** 正会員 工博 京都大学助教授 工学部交通土木工学教室 (同上)

*** 正会員 商船学修 神戸商船大学助教授 操船運用学教室 (〒658 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

れとともに、将来港内避泊を可能にするためには、防波堤等の港湾施設の充実による波浪対策が最重要課題であるとするのが、現状における船舶側の共通した認識となっている。もちろん、港内避泊をより安全に行うためには、港内規模に応じた適切な避泊隻数の算定および避泊係留施設の改良等もあわせて考えなければならないのはいうまでもない。

このように、港内避泊の問題は、港湾におけるハーバー機能の充実を目指した港湾施設計画上の問題として位置づけることができるが、港内避泊実現のためには、荒天時における港内停泊の安全性と、港湾施設の整備、改良に伴う経済性ととのトレードオフを解決することによって、合理的な整備水準を決定することが必要となる。そこで、港内避泊の問題をハーバー施設計画上の問題としてとらえる立場からは、まず、港湾の外かく施設・係留施設と、避泊時事故率との関係を明らかにする必要がある。次いで、港湾施設の整備・改良に伴う期待事故費用の低減、避泊経費の低廉化とそれに要するコスト等の費用を分析しなければならない。そして、これらをもとに、当該施設の整備水準に対して客観的な評価を加えること

になる。しかしながら、ここに得られる整備水準は、いわば施設提供者が妥当と考える水準である。これに対し、船舶自身が港内避泊を行ってもよいと考える整備水準または安全水準が考えられるが、これは利用者の立場から要請される水準である。

本研究では以上のような一般的アプローチを念頭におきつつ、荒天時港内避泊を考慮した際の港湾施設整備水準を、港湾利用者の立場から評価するため、台風時における船長の避難行動に関する意思決定過程をモデル化し、これに基づいて船長が港内避泊を選好する基準を港内避泊のリスクレベルとの対応の中で明らかにする方法を提示する。

2. 台風接近時における港内停泊船舶の避難行動

(1) 台風避泊と船長の判断

昭和26年神戸港では、台風接近時、港内停泊船舶に対して港外避難を勧告する制度を全国に先がけて発足させ、以来30年を経た現在、この制度は全国のほとんどの港湾において定着している。

表一 神戸港において港外避難勧告が発令された台風（昭和41年～昭和57年）

（風速に付した*は10分間平均最大風速が15 m/s以上の台風を示す。）

昭和年月日	台風番号	風向	10分間平均最大風速(m/s)	勧告発令日時	勧告解除日時	勧告発令延時間	港内避泊船隻数 ⁽⁴⁾
41. 6. 27	6604	ENE	12.0	6/27 14:30	6/28 12:00	21-30	不明
41. 9. 25	6624 ⁽¹⁾	ENE	13.7	9/24 06:00	9/25 16:00	31-10	15
42. 8. 22	6718	NE	*15.3	8/21 15:00	8/23 06:00	39-00	1
43. 7. 28	6804	ENE	*18.7	7/27 09:30	7/29 06:00	44-30	6
43. 8. 11	6807 ⁽²⁾	N	10.0	8/10 13:00	8/12 06:00	41-00	不明
				8/16 15:00	8/17 06:00	15-00	不明
43. 8. 29	6810	S	*16.3	8/29 07:00	8/30 06:00	23-00	4
43. 9. 25	6816	ENE	*15.3	9/24 06:00	9/25 10:00	28-00	12
44. 8. 4	6907	NE	11.8	8/4 08:00	8/5 07:00	23-00	3
44. 8. 22	6909	NE	*18.0	8/22 14:30	8/23 07:00	16-30	1
45. 7. 5	7002	ENE	*23.3	7/5 08:00	7/6 05:00	21-00	4
45. 8. 15	7009	SSW	13.2	8/14 17:30	8/15 17:00	23-30	3
45. 8. 21	7010	ENE	14.2	8/20 16:00	8/21 15:00	23-00	1
46. 8. 5	7119	SSE	12.8	8/5 12:00	8/6 08:30	20-30	30
46. 8. 30	7123	ENE	*19.5	8/29 18:30	8/31 06:00	35-30	10
47. 9. 16	7220	NNW	*23.3	9/16 12:00	9/17 06:00	18-00	不明
49. 9. 1	7416	ENE	*15.3	8/31 06:30	9/2 09:00	50-30	1
50. 8. 16	7505	—	—	8/15 14:15	8/17 14:00	47-45	不明
50. 8. 22	7506	WSW	*16.1	8/22 08:00	8/23 12:00	28-00	不明
51. 7. 19	7609	—	—	7/18 15:00	7/20 06:00	39-00	不明
51. 9. 13	7617	ENE	10.8	9/10 12:00	9/13 08:30	68-30	0
52. 8. 24	7707 ⁽³⁾	ENE	12.1	8/24 17:00	8/25 02:00	9-00	71
54. 9. 30	7916	ENE	*18.2	9/30 10:00	10/1 07:30	21-30	0
54. 10. 19	7920	NNW	*16.2	10/18 17:00	10/19 14:00	21-00	0
55. 9. 11	8013	ENE	10.5	9/11 06:00	9/12 07:00	25-00	0
55. 10. 14	8019	N	12.4	10/13 14:00	10/14 16:30	26-30	0
57. 8. 1	8210	NNW	*19.3	8/1 12:00	8/2 07:00	19-00	0
57. 8. 26	8213	ENE	11.3	8/26 15:30	8/27 15:10	23-40	0
57. 9. 25	8219	ENE	*18.5	9/24 14:00	9/25 12:00	22-00	0

(1) 台風6624号 9/25 09:00 いったん勧告解除されたが、9/25 11:50 再発令されたので継続したものと扱った。

(2) 台風6807号 1つの台風に対して2回勧告が発令された。

(3) 台風7707号 港内一部地域に対し勧告が発令された。

(4) 500総トン以上の船舶のうち港内避泊した隻数。ただし、入渠中の船は除く。

表一は、神戸港において港外避難勧告が発令された台風を、昭和41年から最近までの17年間について調査したもので、表には各台風について、神戸海洋気象台で観測された風速の記録、避難勧告の発令時刻と解除されるまでの延べ時間、さらに、避難勧告の対象となる500総トン以上の船舶のうち、勧告が発令されたにもかかわらず港内に残留した船舶の隻数を併せて示している。避難勧告は、各港の港長が自港において台風による影響が予想されると判断したときに発令される。そのときの判断基準は具体的な風速規定などによって明確に定められているわけではないが、大略15~20 m/s以上の強風圏に入ると予想される場合には避難させているようである。表一において*印を付した台風は、勧告が発令された台風のうち、実際に15 m/s以上の風速が観測された例であり、それ以外は予想に反してあまり大きな風速とはならなかった場合である。

港外避難勧告は17年間に合計28回行われており、平均すれば毎年1~2回勧告が発令された勘定になる。また、特にこの数年間、台風時には500総トン以上の船舶はすべて港外へ避難し、港内には1隻も残っていない状況が続いている。このように最近では、台風時には勧告

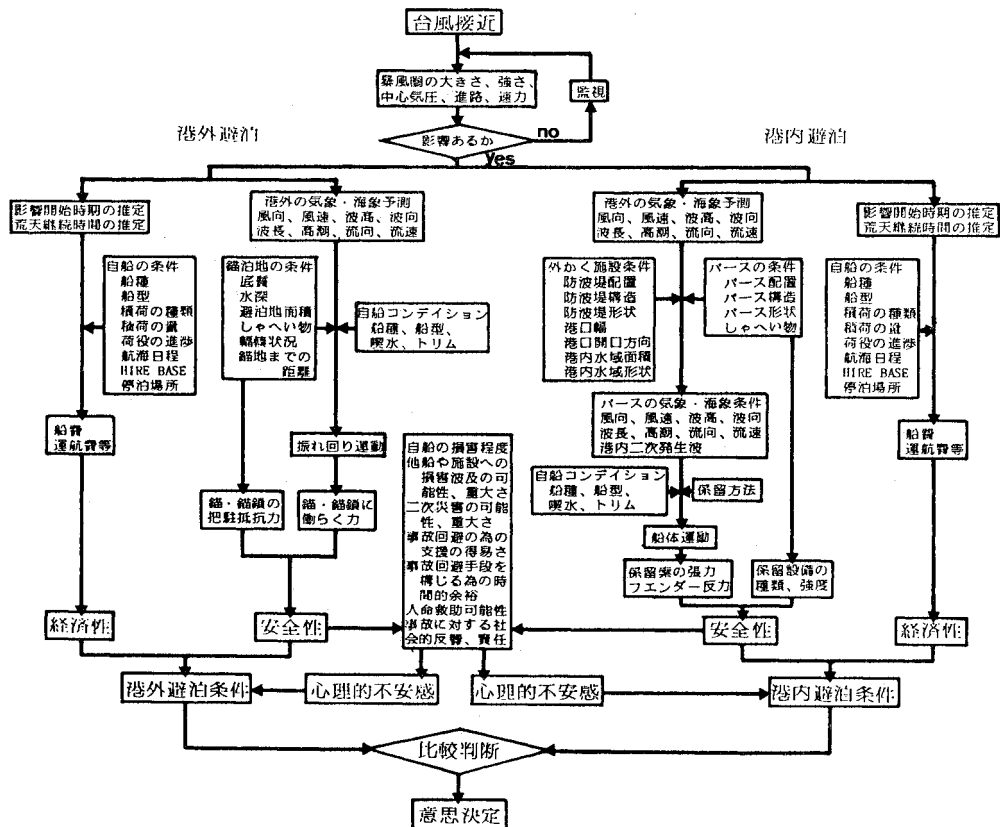
に従って港外避泊を行うことがなれば慣例となつてはいるが、それでも、勧告に従うか否かは、最終的には各船船長の責任のもとでの判断に委ねられている。つまりこのことは、仮に台風避泊のための港湾整備が進み、客観的にみて港内避泊が可能となった時点においても、実際に港内避泊を行うかどうかは、やはり、各船船長の判断にかかっていることを意味している。

それだけに港内避泊を考慮した港湾施設計画の検討にあたっては、従来から行われているように、施設提供者の側からの評価に終始するのではなく、利用者、すなわち、船舶の側からみた評価をも考慮し、立場の差異による評価の差を定量的に把握しておく必要がある。

(2) 港内停泊船舶の避難行動選択モデル

台風の来襲が予想される時、港内停泊中の船舶は、このまま港内に停泊して荒天に耐えるか、それとも、港外へ避難して錨泊するか、いずれかの行動選択をせまられる。

いま、このような行動選択の意思決定にあたっては、各船の船長は停泊中の事故に対する安全性、避泊の時間的・費用的経済性、避泊に対する心理的不安感等を考慮したうえで、港内避泊と港外避泊の優劣を総合的に比



図一 台風避泊に関する船長の意思決定過程

較・判断し、期待される効用の大きい方の代替案を選択するものとする。図-1は、このような台風避泊に関する船長の意思決定過程をモデル化して示したものである。

しかし、実際に台風の影響を被るかどうかは各船舶の船

長が、港内避泊か、港外避泊かの決定を下した後に判明し、この決定の良否はもっぱら自然の不確実な結果に依存する。この意味から、台風避泊に関する船舶の行動選択の問題は、不確実性下における意思決定問題として取り扱うことができる。図-2は、港内停泊船舶の避難行動決定に際し、船舶のとり得る行動と結果の現われ方を不確実性モデルを用いて決定樹木(decision tree)によって表現したものである。

ここに、 C_F は台風避泊中に発生した事故に係る被害額を、 C_E は港内避泊に伴う船舶諸経費(船舶避泊経費)を表わしている。避泊に伴う船舶諸経費の内容は表-2に示した。そして、 C_F 、 C_E に付した添字 i , 0 は、それぞれの費用が港内避泊中および港外避泊中に生じたものであることを示している。また、 $P(R)$ は台風来襲の予測が適中する確率を、 $P(B)$ は台風来襲の予測が外れる確率を示し、 $P(R)+P(B)=1$ の関係にある。 $P(i|R)$ 、 $P(0|R)$ は、台風来襲の予測が適中したもとの条件確率で、 $P(i|R)$ は台風来襲の条件下での港内避泊中の事故率、 $P(0|R)$ は同条件下での港外避泊中の事故率を表わす。表-3は、過去の台風来襲時に港外および港内で避泊した船舶の事故報告を、昭和25年以降についてとりまとめたものである。これによると港外避泊中にも事故が発生していることがわかる。

なお、 $P(i|B)$ 、 $P(0|B)$ は、台風来襲の予測が外れた条件のもとでの港内および港外事故率であるが、台風来襲の予測が外れたときは、この事故率はほとんど無視できるほど小さいと考えられるので、確率 $P(i|B)$ 、 P

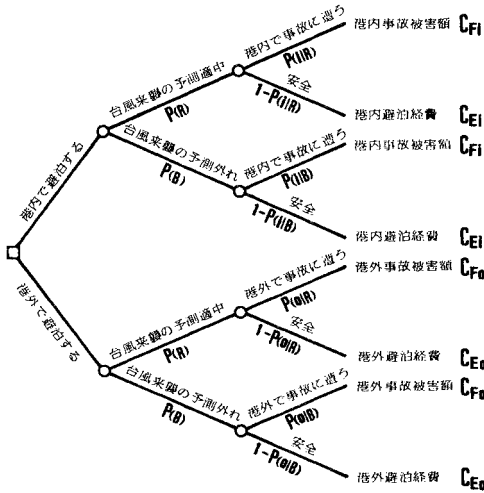


図-2 台風避泊に関する decision tree

表-2 避泊に伴う船舶諸経費

(港内避泊の場合は(1)~(3)は不要)

(1) 水先料	(5) 貨物費
(2) 引船料	(6) 燃料費
(3) 離係作業料	(7) 船費
(4) 岸壁使用料	(8) 貨物金利

表-3 神戸港、大阪港および大阪湾において台風避泊中に事故が発生した台風(昭和25年~昭和57年)

昭和年月日	台風番号	10分間平均最大風速(m/s)	港外避難勧告の有無	台風避泊船被害状況	
				大阪湾内	神戸港および大阪港内
25. 9. 3	5028 (ジェーン)	33.4	不明		大型船3隻、船体損傷 大型船13隻、漂流船と衝突、沈没、擱座 中型船5隻、圧流、衝突、沈没、擱座 小型船6隻、圧流、衝突、沈没、擱座
26. 10. 15	5115 (ルース)	19.6	不明	事故発生場所、大きさ分類など詳細不明	
28. 9. 25	5313	26.8	不明	事故発生場所、大きさ分類など詳細不明	
29. 9. 25	5415 (洞爺丸)	22.6	不明		大型船2隻、索切断、岸壁への打ちつけ、損害軽微
35. 8. 29	6016	19.0	不明	事故発生場所、大きさ分類など詳細不明	
36. 9. 16	6118 (第二室戸)	27.0	有		大型船3隻、索切断、岸壁への打ちつけ、損害軽微 中型船1隻、船体の岸壁への打ちつけ、損害軽微
39. 9. 25	6420	26.8	有	大型船5隻、走錨、乗り揚げ、転覆または大破	大型船1隻、索切断、被害なし
40. 9. 10	6523	30.0	有		大型船3隻、索切断、被害なし 中型船1隻、索切断、岸壁接触、損害軽微
40. 9. 17	6524	24.0	不明	事故発生場所、大きさ分類など詳細不明	
42. 10. 27	6734	17.8	無		大型船3隻、索切断、タグの援助により被害なし
45. 7. 5	7002	23.3	有		大型船1隻、索切断、タグの援助により被害なし
47. 9. 16	7220	23.3	有	中型船1隻、走錨、乗り揚げ、大破	

船の大きさ分類は500~1000総トンを小型船、1000~3000総トンを中型船、3000~10000総トンを大型船とした。

$P(0|B)$ はここでは0として扱った。これについては、表一1に示したように避難勧告が出たにもかかわらず大きな風速が実現しなかった場合を台風来襲の予測が外れた例として考えることができるが、このときは表一3をみて明らかなように実際に事故が発生した例はない。

ところで、図一2の決定樹木 (decision tree) における2つの行動代替案について、 $P(i|B)=0$, $P(0|B)=0$ を考慮に入れそれぞれの期待値を求めれば、港内避泊を選択するときの期待費用 EMV_i および、港外避泊を選択するときの期待費用 EMV_0 は、それぞれ次のようになる。

$$EMV_i = \{P(i|R)C_{Fi} + (1 - P(i|R))C_{Ei}\} \cdot P(R) + P(B)C_{Ei} \dots\dots\dots(1)$$

$$EMV_0 = \{P(0|R)C_{F0} + (1 - P(0|R))C_{E0}\} \cdot P(R) + P(B)C_{E0} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、船長はリスクに対して中庸であり、期待値をガイドラインとして意思決定を行うものと仮定すれば、船長のとるべき行動選択の道は、期待効用最大化の原理に基づいて、

- $EMV_i < EMV_0$ のとき、港内避泊 > 港外避泊
- $EMV_i = EMV_0$ のとき、港内避泊 ~ 港外避泊
- $EMV_i > EMV_0$ のとき、港内避泊 < 港外避泊

のように規定される。ただし、 $X > Y$ は Y よりも X を選好することを意味し、 $X \sim Y$ は X と Y の両者の間の選好が無差別であることを意味する。

(3) 事故率からみた船舶の行動決定基準

いま、各船舶が期待損失を最小とするような行動基準をもつとすれば、港内と港外で期待損失が等価となる $P(i|R)$ と $P(0|R)$ の関係を求めておくと、船舶が港内避泊を選好するための港内における最大事故レベルを求めることができる。この条件は式 (1), (2) を用いて式 (3) のように求められる。

$$P(i|R) = \frac{C_{F0} - C_{E0}}{C_{Fi} - C_{Ei}} P(0|R) + \frac{C_{E0} - C_{Ei}}{P(R)(C_{Fi} - C_{Ei})} \dots\dots\dots(3)$$

式 (3) は、台風避泊時における行動選択の決定にあたり、船長が安全性と経済性の両方を評価して、期待損失最小基準で行動する場合の港内避泊と港外避泊の選好無差別条件を表わしている。そして、もし確率 $P(i|R)$ が、

$$P(i|R) < \frac{C_{F0} - C_{E0}}{C_{Fi} - C_{Ei}} P(0|R) + \frac{C_{E0} - C_{Ei}}{P(R)(C_{Fi} - C_{Ei})} \dots\dots\dots(4)$$

ならば、船長は港内避泊を選好し、

$$P(i|R) > \frac{C_{F0} - C_{E0}}{C_{Fi} - C_{Ei}} P(0|R) + \frac{C_{E0} - C_{Ei}}{P(R)(C_{Fi} - C_{Ei})} \dots\dots\dots(5)$$

ならば、港外避泊を選好するようになる。

一方、台風避泊に伴う経費は、その額の多少にかかわらず、不可抗力の理由をもって船長がその経済上の責任を負う必要がないとすれば、船長は船舶避泊経費 C_{Ei} , C_{E0} を無視するので、式 (3) は次のように書き改めることができる。

$$P(i|R) = (C_{F0}/C_{Fi}) P(0|R) \dots\dots\dots(6)$$

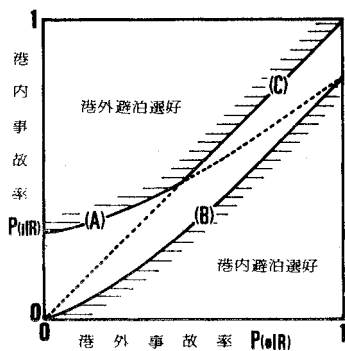
また、このような評価とは別に、港内と港外における事故率の関係のみに着目して行動するときの選好無差別条件は次式で与えられる。

$$P(i|R) = P(0|R) \dots\dots\dots(7)$$

これは、船長が避難行動を事故率の面だけで評価する場合の無差別選好基準ということができる。

図一3は、横軸に港外避泊中における事故率 $P(0|R)$ を、縦軸には港内避泊中における事故率 $P(i|R)$ をとって、前述した3種類の選好無差別条件を示したものである。図中、記号Aを付した式 (3) の条件は、安全性と経済性の両方から事故損失と船舶避泊経費を考慮に入れたときの行動決定基準を、また、記号Bを付した式 (6) の条件は、船舶避泊経費を無視して期待事故損失だけを考慮したときの行動決定基準を、そして、記号Cを付した式 (7) の条件は、これらとは別に、事故率のみに着目して評価するときの行動決定基準を与えている。

ここに、図一3において、港内避泊の事故レベルと港外避泊の事故レベルの対応関係が、ちょうど、A, B, Cの選好無差別条件で囲まれる範囲内におちるときは、それぞれの行動決定基準に基づく評価が一致せず、個々の船長の評価上の立場によって行動選択の判断が異なる状態を示し、図の右側斜線範囲内におちるときは、いずれの評価上の立場においても港内避泊が選好され、図の左側斜線範囲内におちるときは、いずれの立場であっても港外避泊が選好される状態にあると考えることができる。



(A): 式 (3) による行動決定基準
 (B): 式 (6) による行動決定基準
 (C): 式 (7) による行動決定基準

図一3 事故率からみた船舶の行動決定基準

したがって、このように意思決定者が事故率をインデックスとして、自分の行動を判断するときには、図-3の関係をを用いることにより、船長が港内避泊を愛好するための条件を、港内避泊と港外避泊の事故レベルの対応関係のなかで求めることが可能となる。

以上の考え方から、防波堤等の施設の整備水準を引き上げて、 $P(i|R)$ をどの程度引き下げれば船長が港内避泊を愛好するかの判断が可能となり、整備すべき水準の目標値を設定するための貴重な情報を得ることができる。

3. 主観的評価に基づく行動決定基準

(1) 心理的不安感の評価

図-3に示した行動決定基準A, Bは、過去の統計などから客観的に決まる事故被害額と船舶避泊経費をもとにして導かれるものであるが、実際の船長の行動決定基準をモデル化するためには、貨幣タームで計上できる損失以外に、船長の抱く不安感をどのように取り入れるかが問題となる。このような心理的要素を貨幣タームで評価した研究の例は森杉・宮武・吉田(1980)¹¹等にみられるが、ここでは、船長に対するアンケート調査の結果から、船長が避泊に対して抱く心理的不安感を貨幣タームで評価する方法について述べる。

台風避泊に対する心理的不安感は、図-1に示したように、多くは避泊中の事故発生にかかわる危惧の念に基づくものと想像され、このような不安感の大きさは、主として、万が一事故に遭遇したと仮定したとき、予想される被害の甚大さに比例するものと考えられる。そこで、ここでは、船長の抱く不安感の大きさを事故発生時における自船の被害程度の見積り額に反映させることにした。

アンケートは、昭和57年10月より翌年3月までの間、外航船の現役船長(甲種船長)200名に対して行い、そのうちの101名から回答を得た。質問内容は、1万総トン級の一般貨物船の自船が台風避泊中に事故を起こしたと仮定し、このとき生じる自船の被害程度を、港内避泊中と港外避泊中のそれぞれについて、表-4に示した被害ランクの分類に従って見積りようになっている。なお、このとき、台風の規模は、10分間平均最大風速(以下最大風速という)15 m/s, 20 m/s, 30 m/s, 40 m/sを想定し、それぞれの場合について回答を求めた。

アンケートに回答した船長の70%は少なくとも一度は港外避泊を経験したことがある。したがって、港外避泊中の被害を見積るときには、多くの船長は、これまで港外避泊で経験した海の荒れ具合や船体動揺に関する知見に照らして見積ったと考えられる。図-4(a)は最大風速30 m/sの想定台風のもとにおける港外避泊時の見

表-4 被害ランクとその金額換算

被害ランク	被害の程度	海事検査官による換算額	船長による換算結果
1	被害なし	—	—
2	軽微な損傷(外板凹損程度)	1000万円以下	838万円
3	自力航行可能な程度の損傷	3~5000万円	3689万円
4	自力航行不可能な程度の損傷	1億円	1.0354億円
5	大破(浸水なし)	1.5~2億円	1.9039億円
6	大破(浸水あり)	3~4億円	3.5256億円
7	沈没, 擱座	5億円	6.0278億円
8	転覆	10~15億円	15.1081億円

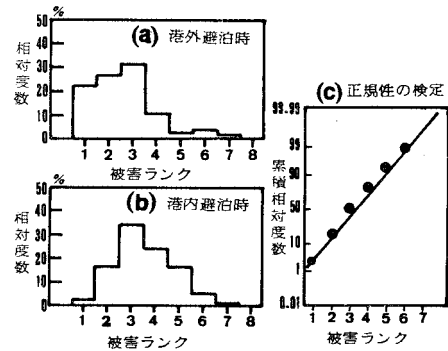


図-4 船長による事故被害の見積り結果(想定台風: 10分間平均最大風速30 m/s)

積り結果を示している。これによると全体の80%の船長が被害程度をランク1~3の間に見積っていることがわかる。このように見積りがほぼ特定のランクに集中する傾向は他の風速を想定した調査結果でも同様で、上に述べたように港外避泊に対して大方の船長が共通した知見をもっているためと思われる。

一方、港内避泊中の被害程度をランク4以上に見積った回答のなかには港外避泊の経験のない船長の回答が多く含まれている。これらの回答は大方の船長の知見と異なり客観性に欠けると考えられる。したがって、ここでは、港外避泊中の被害程度をランク4以上に見積った船長の回答を除外し、港外避泊中の被害をランク1~3の間に見積った船長の回答のみを対象として、これらの船長が港内避泊中の被害をどのように見積ったかをとりまとめた。図-4(b)はその結果を示しており、見積りには正規分布型のばらつきがみられた。図-4(c)は正規確率紙で正規分布への適合性を調べたもので、この結果から港内避泊についての被害の見積りは正規分布で近似できることがわかる。このように、港内避泊中の被害の見積りが港外避泊中のそれと比較して大きくばらつく理由としては以下のように考えられる。すなわち、アンケートに回答した船長のうち、これまでに港内避泊を経験した船長は全体の25%にすぎない。したがって、ほとんどの船長は港内避泊中の被害をそれぞれの主観に基づい

て見積ったと考えられるが、各船長の港内避泊に対する不安感のばらつきが、このような見積り結果のばらつきに反映されたものといえる。

過去の避泊中の事故に関する実績では、表-3をみてわかるようにいったん事故が発生すれば、最近ではかえって港外避泊時の方が被害の程度が大きい。にもかかわらずアンケートでは図-4(a), (b)にみられるように港内避泊時における被害の方が全体に大きく見積られている。このことから、一般に船長は、港外避泊よりも港内避泊に対してより強い不安を感じているといえる。

次に、被害ランクの見積りと同時に各被害ランクについてその金額換算をデルファイ法により行った。デルファイ法は、あらかじめ有識者によって仮説された値を示したうえで回答を求めるもので、このアンケートでは、海難事故の損害査定に経験豊富な海事検査官による換算額を基準値として与えた。結果のとりまとめに際しては、過大または過小な回答の影響を避けるため、上四分位数より高い換算額と下四分位数より低い換算額を除き、残りを平均した額を求めた。結果は表-4に示したように海事検査官による換算額とほとんど一致していた。

図-5は、このようにして得られた事故の被害ランク(K)と被害額(C_F)との関係を回答の平均値は○印で、上下四分位数の範囲は平均値を囲む太線で示したものである。ここで、離散量である被害ランク(K)を連続的に変化させる量と仮定したうえで、両者の関係を最小二乗法により曲線で回帰すれば次のように表わすことができる。

$$C_F = 0.0086 K^{3.749} - 0.0086 \quad (\text{単位: 億円}) \dots (8)$$

ただし、式(8)の回帰にあたっては、被害ランク7以下における回帰の適合性に重点をおくため、被害ランク8のデータは回帰計算から省いた。その結果、被害ラン

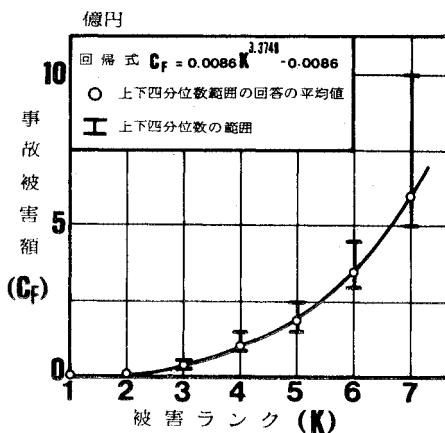


図-5 想定被害ランクと被害額の関係 [相関係数0.884 (被害ランク8のデータは除外)]

ク1~7の範囲における回帰の相関係数は、 $\rho=0.884$ を得た。

したがって、図-4(a), (b)に示した船長による被害の見積り結果に式(8)の関係を適用すれば、船長が避泊に対して抱く心理的不安感を貨幣タームで評価することが可能となる。そして、このようにして得られた事故被害額を、 C_{Fi}^* , C_{Fo}^* とすれば、これらを図-2の決定樹木(decision tree)における結果の終端値に用いることにより、式(3), 式(6)は次のように書き替えられて、船長の心理的不安感を考慮した行動決定基準を得ることができる。

$$P(i|R) = \frac{C_{Fo}^* - C_{Eo}}{C_{Fi}^* - C_{Ei}} P(0|R) + \frac{C_{Eo} - C_{Ei}}{P(R)(C_{Fi}^* - C_{Ei})} \dots (9)$$

$$P(i|R) = (C_{Fo}^*/C_{Fi}^*) P(0|R) \dots (10)$$

(2) 心理的不安定を考慮した行動決定基準

船長に対するアンケート調査によれば、自船の被害程度の見積り結果は、港外避泊時については図-4(a)に示したようにほぼ特定のランクに見積りが集中した。このランク内では、回答がほぼ一様に分布しているので、ここではランク1~3の見積り結果の平均値を求め、これを用いて港外避泊時における船長の見積り結果を代表させることにした。したがって、たとえば最大風速30 m/sの台風を想定したときの港外避泊時における事故被害額 C_{Fo}^* は、見積りランク1~3の平均値が2.114となるので、これに式(8)の関係を適用して $C_{Fo}^*=0.0990$ 億円と求めることができる。

一方、港内避泊については、図-4(b)に例示したように船長による自船の被害程度の見積り結果は正規分布で近似できる。そこで、被害ランクの値が連続的に変化すると仮定し、この分布の平均値を μ 、標準偏差を σ とする。このとき、船長のQ%が港内避泊時の事故による被害をランク(連続と仮定して) X_q 以下であると考えているとすると、

$$Q = \Phi\left(\frac{X_q - \mu}{\sigma}\right) \dots (11)$$

なる関係が成り立つ。ただし、 $\Phi(\cdot)$ は標準正規分布の累積分布である。式(8)に X_q を代入して得られる被害額 $C_F(X_q)$ は、船長のQ%が港内避泊時の事故による損失をこれ以下であると考えていることを示す額である。

したがってこの $C_F(X_q)$ を式(9), 式(10)中の C_{Fi}^* に代入して得られる行動決定基準A, Bの基準値は、多くとも全体のQ%の船長がこの基準値に基づいて港内避泊の選好を判断してもよいと考えることになる。しかし、これに対し、少なくとも残りの(100-Q)%の船長は、この基準値では自分が港内避泊に対して抱く不安

感は解消されないとして、この基準値を受け入れるには至らない。したがって、この場合全体の $Q\%$ の船長がこの基準値を受け入れ、これに基づく判断に満足することになる。この意味から、正規分布の累積分布 Q に対応して求まる行動決定基準値を、今後、満足度 $Q\%$ の行動決定基準値とよぶことにする。

ところで、台風避泊に伴う船舶避泊経費 C_{Ei} 、 C_{E0} は 1 万総トン級の一般貨物船の場合、通常、港外避泊では 300 万円、港内避泊では 100 万円の費用が必要との試算²⁾ がなされているので、式 (9) の計算にはこの値を用いることにする。また、式 (9) 中の台風来襲予測適中率 $P(R)$ は次のように求めた。すなわち、港外避難勧告は自港に台風の影響が予想されると判断したときに発令されるが、勧告発令後実際に強風が観測された場合を台風来襲の予測が適中した例とみなすことができる。表-1 に * 印を付した台風は避難勧告が出された台風のうち実際に大きな風速が実現した例である。したがって、これより台風来襲の予測適中率 $P(R)$ は現在のところ大略 0.5 と推定することができる。もちろん、この適中率 $P(R)$ は、台風の進路や規模の予測精度の向上とともに改善されつつあるが、ここでは、本研究の範囲外であるので一応 0.5 として計算する。

図-6 は以上の考え方に基づいて、最大風速 30 m/s の台風を想定した場合を例に、満足度 65%、80%、95% の行動決定基準値を求めた結果を示している。いま、港内避泊のための港湾整備が進み、港内の事故レベルと港外の事故レベルの対応関係が、図-6 における行動決定基準 B の 95% 満足レベルよりさらに右側に位置するときは、少なくとも 95% 以上の船長は、いずれの基準で判断しようとも確実に港内避泊を選好すると考えることができる。また、満足度 95% の行動決定基準 A と C より左側に位置するときを考えると、いずれの基準で判断しようとも港外避泊を確実に選好したいと考える船長

は少なくとも 5% はいると考えることができる。

このように図-6 によれば、港内の事故レベルをどの程度まで引き下げればどの程度の割合の船長が港内避泊を選好するかを、3 種類の行動決定基準について吟味することができる。そして、この結果は、施設提供者に対して整備水準の目標値を設定するための 1 つの情報を提供することになる。

ここでさらに、式 (10) における C_{E0}^*/C_{Ei}^* の値に着目すれば、これは、港内避泊と港外避泊の選好が無差別である場合の、港内と港外における事故率の比 $P(i|R)/P(0|R)$ を与えると考えることができる。また、図-6 をみて明らかのように式 (10) に対応する行動決定基準 B は他の A や C の基準よりも小さな港内事故率が要求されている。したがって C_{E0}^*/C_{Ei}^* すなわち $P(i|R)/P(0|R)$ の値は最も厳しく見積った港内避泊選好条件を事故率比の形で与えるものといえる。また、ここまでは、船長が港内避泊を選好するための条件を、最大風速 30 m/s の台風を想定した場合を例に説明してきたが、想定する台風の規模が異なっても、これまで述べたと同じ考え方のもとで取り扱えばよい。図-7 は、想定する台風の規模によって、港内避泊と港外避泊の選好が無差別である場合の港内と港外における事故率の比 $P(i|R)/P(0|R)$ がどのように変わるかを、満足度をパラメーターに示したものである。

この図から、たとえば最大風速 30 m/s を想定する場合は、港外の事故レベルに比べて港内が 6 倍程度安全であるときにはほぼ半数の船長が港内避泊を選好し、10 倍程度安全であるときには 2/3 の船長が港内避泊を選好する。そして、全体の 95% の船長が港内避泊を選好するためには、少なくとも、港内の事故レベルは港外よりも 30 分の 1 程度に抑えられなければならないことがわかる。さらに、想定する台風の規模が小さいときは、船長は港外事故率と比較して港内事故率に対してさほど厳

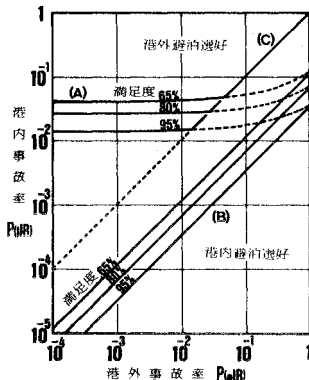


図-6 船長の避泊行動基準 (想定台風：10 分間平均最大風速 30 m/s)

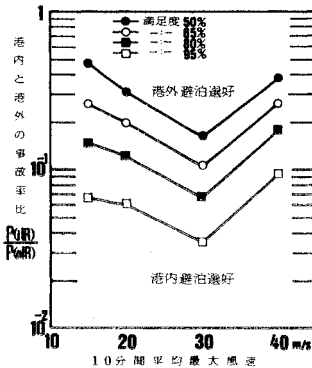


図-7 行動決定基準 (B) における港内避泊と港外避泊の選好無差別条件

しい要求をしないが、ある程度大きな規模の台風になるにつれて、要求が厳しくなることがわかる。しかしながら、想定する台風の規模があまりに大きい場合には、船長は、港内、港外のいずれに避泊しようとも大事故は避けられず、被害も同じ程度になると考えるので、かえって港内事故率に対して要求するレベルは相対的に低下することになるという様子がうかがえる。つまりこのことは、船長が港内避泊を選好するための条件が、想定台風の規模をどの程度にとるかによって異なることを意味している。

また、この図から、防波堤等の整備水準を計画する際に想定する台風規模について以下のことがいえる。すなわち、船長が港内避泊を選好するうえで、港外の事故レベルのいかんにかかわらず、港内の事故レベルに対して最も厳しい要求水準を与えるのは最大風速 30 m/s の台風規模を想定する場合である。したがって、現状では、整備水準を計画するうえにおいて最大風速 30 m/s 規模の台風を想定することが、船舶側にとって最も望ましいといえる。

4. む す び

台風時における船舶の港内避泊の問題は、港湾におけるハーバー機能の充実を目指した港湾施設計画上の問題である。従来、港湾施設計画の検討にあたっては、主として、施設提供者の側からの評価に重点が置かれることが多かった。これは、利用者、すなわち船舶側の施設計画に対する評価基準が明確でなかったためと思われる。

そこで、本研究では、荒天時港内避泊を考慮した際の港湾施設整備水準を利用者の立場から評価するため、台風時における船長の避難行動に関する意思決定過程をモデル化し、これに基づいて、船長が港内避泊を選好するための条件を、港内と港外の事故レベルの対応関係のなかで求める方法を提示した。

そして、このとき、船長が台風避泊に対して抱く心理的不安感をも考慮し、さらに、与えられた港内避泊選好基準を受け入れることのできる船長の割合から、行動決定基準に対する船長の満足度を定義した。その結果、最大風速 30 m/s の台風に対し、少なくとも 2/3 の船長が満足する港内避泊選好条件は、港内の事故レベルが港外

よりも 1 桁オーダーが低いときであることがわかった。

このほか、本研究において以下の諸点が明らかになった。

(1) 港内避泊のための施設整備水準の設定に際し、利用者の立場を考慮した検討が可能となった。

(2) 本研究から得られるような船舶側が要請する整備水準と、これとは別に求める国民経済的立場からみて妥当な整備水準とは一致しないことが予想されるが、本研究の成果を利用することによりこのような立場の差異による評価の差を定量的に把握することが可能となる。

(3) 船長が港内避泊を選好するための条件は、台風の想定風速のとり方によって異なる。船長が最も厳しい港内事故レベルを要求するのは、最大風速 30 m/s の台風の来襲を想定した場合である。

このような成果のほかに本研究で残された課題もいくつかある。すなわち、事故被害は自船の船体損害のほか、たとえば、積荷に生じる損害、他船や港湾施設への損害波及、さらには二次災害の発生や人命の危険等々があるが、これらは船体損害と独立に生じるものではなく、また、その発生はケースバイケースである。そこで本研究では、避泊中の事故を自船の船体損害といった直接的な被害で代表させたが、このような間接的な波及損害をどこまで取り入れるのがよいかは今後の検討課題である。また、想定台風の規模ごとに、港内避泊時および港外避泊時における事故率 $P(i|R)$ 、 $P(0|R)$ の推定モデルの開発も、現在著者らを中心に研究が進められているが、詳細は今後の機会に譲る。

謝 辞：アンケートの実施にあたっては、快くご協力下さった日本船長協会および、各社船長に心より感謝する。

参 考 文 献

- 1) 森杉・宮武・吉田：騒音の社会的費用の計測方法に関する研究，土木学会論文報告集，No. 302，pp. 113～123，1980年10月。
- 2) 長尾・黒田・井上：台風時における船舶避泊経費について，日本航海学会論文集，第70号，pp. 187～197，1984年1月。

(1983. 7. 18・受付)