

狭水道における航行環境総合評価のための エキスパートシステムの研究

山地 哲也

1. 研究の目的

四面を海に囲まれているわが国にとって海は重要な交通路である。エネルギー資源をはじめとする原材料の多くが船舶により海外から輸入され、多くの基幹産業が臨海部に立地しているため、海上輸送活動がきわめて活発に行なわれている。また、海洋レジャー活動や漁業活動も盛んである。しかし、狭水道が多数存在する東京湾、伊勢湾および瀬戸内海の3海域は、背後に大都市および工業地帯を控えているため、船舶交通が輻輳しており、海の過密度はますます高くなっている。また、衝突・乗揚げに代表される海難事故も多数発生し、3海域における海難事故は全体の約3割を占め、これら海域における船舶交通の航行安全対策が必要となってきた。

航行安全対策を推進するためには、海域の航行環境について、総合的な評価を行なう必要がある。そして、その評価結果をもとに航行環境の中で重点化を図り、目標を設定した上で、これに沿った対策を推進しなければならない。

航行環境は多くの要因で構成され、その評価を行なうには専門的知識を要することから、本研究では、3海域の船舶輻輳域である狭水道の航行環境の総合評価を定量的かつ定性的に行なうエキスパートシステムを確立することを目的とする。

2. 研究の流れ

研究は、図1の流れに沿って行なう。

ここで、評価項目、定性的評価、事象変数選択肢、数値変数区分のウェイト決定には、AHP（階層化意思決定法）を用いる。そして、ウェイトを組み込んだプロダクションルールを作成し、エキスパートシステム知識ベ

やまじ てつや 海上保安庁 横浜海上保安部
受理 91.9.25

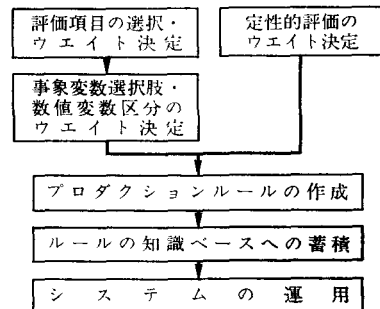


図1 研究の流れ

ースに蓄積し、システムを運用する。

なお、データには、日本海難防止協会が平成元年9～10月に実施した「航行環境評価のためのアンケート調査」結果を用いる。

3. 評価項目の選択・ウェイト決定

アンケート調査結果をもとに、海域の航行環境を「地理的条件」、「気象・海象条件」、「交通条件」に分け、各条件を4～6の要素で表わし、階層構造を作成する。

アンケートでは、階層構造最下層18項目が衝突・乗揚げ海難に、どの程度の影響（「非常に大きい」、「かなり大きい」、「普通程度」、「少しある」、「ほとんどない」の5段階）を与えているかを調査している。そこでまず、AHPにより5段階の影響の程度のウェイトを算出する。そして、「階層構造最下層項目と影響の程度」アンケート回答数に影響の程度のウェイトを乗じて合計し（表1）、その合計値の比を用いて一対比較を行ない、評価項目のウェイトその合計値の比を用いて一対比較を行ない、評価項目のウェイトを算出する（図2）。

一対比較により算出したウェイトの低い項目は、航行環境を評価するにおいて重要性が低いものと判断し、階層構造から削除する（「建築構造物の存在」、「高い潮差」、「浮遊物存在」、「航路不設定」）。また、狭水道では

表 1 事故に影響する航行環境要素

影響の程度	非常に大きい	かなり大きい	普通程度	少しある	ほとんどない	影響の程度を乗じた合計値	
ウェイト	0.513	0.262	0.129	0.063	0.033		
航行環境要素	回答数						
地理的条件	水路幅	334	499	165	81	18	329
	水路屈曲	164	504	239	108	18	254
	水路見通し不良	120	424	290	135	32	220
	水路水深不足	150	309	274	159	75	206
	障害物の存在	180	392	217	171	43	235
	建築構造物	34	172	314	259	164	125
	海苔ひび等	176	407	267	161	31	243
	陸岸の灯火	72	311	315	261	62	178
	計					1790	
気象・海象条件	強潮流	333	535	157	52	4	335
	高潮差	38	136	343	225	170	119
	強風	147	373	326	114	36	224
	視界不良	751	310	39	11	2	472
	浮遊物存在	17	85	292	304	191	94
		計					1244
交通条件	通航船舶幅転	587	432	78	16	1	425
	針路交錯	397	532	145	38	4	355
	漁船幅転	778	348	30	6	1	495
	プレジャー幅転	350	467	188	57	13	330
	航路不設定	123	327	351	143	36	204
	計					1809	

すでに船舶航行に十分な水深を有しているため、「水路水深不足」を階層構造から削除する。

その結果、階層構造最下層項目を必要最小限の13項目に絞り、再度一対比較を行ない、この13評価項目により、狭水道航行環境の総合評価を行なうこととする(図3)。

4. 定性的評価のウェイト決定

定性的な評価結果は5段階(「良好」,「概ね良好」,「少し危険」,「危険」,「かなり危険」)で表わす。(以下、単に「定性的評価」という)

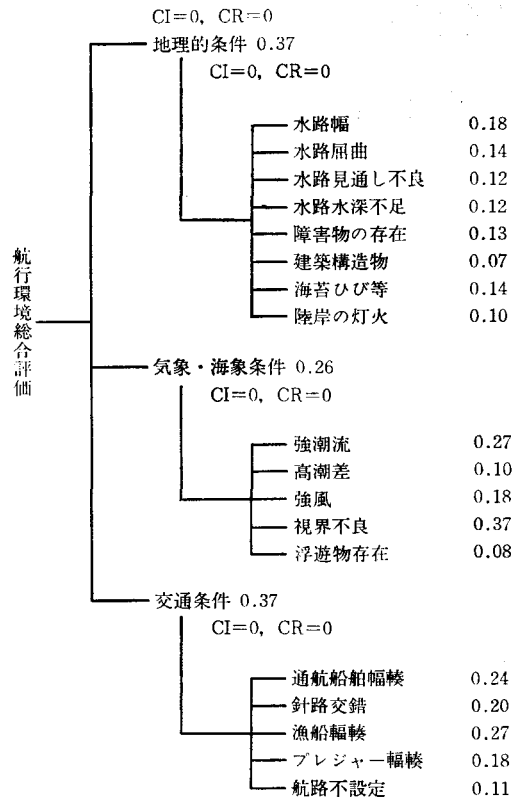


図 2 18評価項目・ウェイト

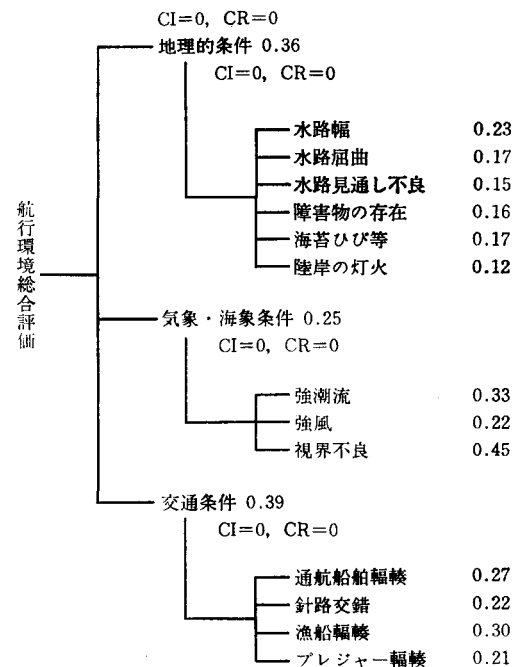


図 3 13評価項目・ウェイト

表 2 定性的評価の
ウェイト

定性的評価	ウェイト
良好	0.062
概ね良好	0.097
少し危険	0.160
危険	0.263
かなり危険	0.418

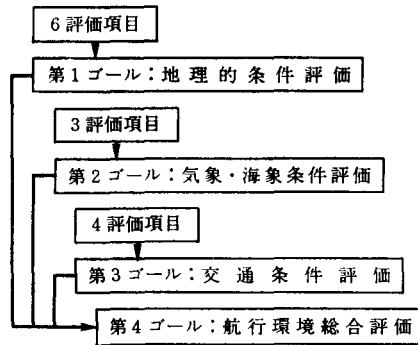


図 4 知識ベースルール構成

定性的評価の危険性に着目した一対比較を行ない、それぞれの評価のウェイトを求める(表2)。

5. 事象変数選択肢・数値変数区分の ウェイト決定

評価項目の入力は事象または数値を用いる。事象変数選択肢、数値変数区分の危険性に着目した一対比較を行ない、各評価項目の事象選択肢、数値区分のウェイトを求める。一例として、表3に交通条件評価項目の事象変数選択肢、数値変数区分のウェイトを示す。

6. プロダクショナルルールの作成

(1) 知識ベースの整理法

図4に示すように知識ベースにプロダクショナルルールを蓄積する。

第1ゴールの地理的条件の評価は6評価項目、第2ゴ

ールの気象・海象条件評価は3評価項目、第3ゴールの交通条件評価は4評価項目を用いて行ない、3条件の評価から第4ゴールの総合評価を求める。ゴールの変更にはメタルールを用いる。

(2) 事象変数選択肢・数値変数区分の代表値の決定

0~4の間を事象変数選択肢、数値変数区分のウェイトで区分し、区分域の中間値を、それぞれの選択肢、区分を代表する値(以下「代表値」という)とする。

(3) 定性的評価数値範囲区分の決定

0~4の間を定性的評価のウェイトで区分し、定性的評価数値範囲区分とする。

(4) 条件評価値の算出

各条件ごとに、事象変数選択肢または数値変数区分の代表値に各評価項目のウェイトを乗じて合計し、条件評価値を算出する。条件評価値は、各条件の航行環境を定量的に評価したものである。

$$NCEV_1 = \sum_{i=1}^6 NGRV_i \cdot NGW_i$$

$NCEV_1$: 地理的条件評価値

$NGRV_i$: 地理的条件評価項目代表値

NGW_i : 地理的条件評価項目ウェイト

$$NCEV_2 = \sum_{i=1}^3 NWRV_i \cdot NWW_i$$

$NCEV_2$: 気象・海象条件評価値

$NWRV_i$: 気象・海象条件評価項目代表値

表 3 交通条件評価対応

評価項目 ウェイト	変数	事象変数選択肢 or数値変数区分	ウェイト	代表値 $NTRV_i$	定性的評価数値範囲区分
通航船舶数 (S隻) NTW_1 =0.27	事象	少ない	0.070	0.140	交通条件評価値 ($NCEV_3$) = $\sum_{i=1}^4 NTRV_i \cdot NTW_i$ = $0 < NCEV_3 \leq 0.248$: 良好 = $0.248 < NCEV_3 \leq 0.636$: 概ね良好 = $0.636 < NCEV_3 \leq 1.276$: 少し危険 = $1.276 < NCEV_3 \leq 2.328$: 危険 = $2.328 < NCEV_3 \leq 4$: かなり危険
		多い	0.223	0.726	
	かなり多い	0.707	2.586		
針路交錯 NTW_2 =0.22	数値	$S < 500$	0.081	0.162	
		$500 \leq S < 1000$	0.188	0.700	
		$1000 \leq S$	0.731	2.538	
漁船操業 NTW_3 =0.30	事象	ほとんどなし	0.070	0.140	
		少しあり	0.223	0.726	
		多くあり	0.707	2.586	
プレジャー NTW_4 =0.21	事象	ほとんどなし	0.060	0.120	
		少しあり	0.231	0.702	
		多くあり	0.709	2.582	

表 4 総合評価対応

条 件	条件評価値 $NCEV_j$	ウエイト NCW_j	定性的評価数値範囲区分
地理的条件	0 ~ 4 の値	0.36	総合評価値 ($NSEV$) $= \sum_{j=1}^3 NCEV_j \cdot NCW_j$ $= 0 < NSEV \leq 0.248$: 良好 $= 0.248 < NSEV \leq 0.636$: 概ね良好 $= 0.636 < NSEV \leq 1.276$: 少し危険 $= 1.276 < NSEV \leq 2.328$: 危険 $= 2.328 < NSEV \leq 4$: かなり危険
気象・海象条件		0.25	
交通条件		0.39	

表 5 一対比較値の意味

スケール	同じ位重要	若干重要	重要	かなり重要	絶対に重要
線形	1	3	5	7	9
指数	1	2 ¹	2 ²	2 ³	2 ⁴

NW_i : 気象・海象条件評価項目のウエイト

$$NCEV_s = \sum_{i=1}^4 NTRV_i \cdot NTW_i$$

$NCEV_s$: 交通条件評価値

$NTRV_i$: 交通条件評価項目代表値

NTW_i : 交通条件評価項目ウエイト

(5) 狭水道航行環境条件別評価

各条件評価値を定性的評価数値範囲区分に対応させ、定性的評価を得る。一例として、表 3 に交通条件の評価対応を示す。

評価結果は、定性的評価 および 条件評価値で表示する。

(6) 総合評価値の算出

条件評価値に各条件のウエイトを乗じて合計し、総合評価値を算出する。総合評価値は、狭水道の航行環境の総合評価を定量的に表わしたものである。

$$NSEV = \sum_{j=1}^3 NCEV_j \cdot NTW_j$$

$NSEV$: 総合評価値

$NCEV_j$: 条件評価値

NCW_j : 条件ウエイト

(7) 狭水道航行環境総合評価

総合評価値を定性的評価数値範囲区分に対応させ、狭水道航行環境の総合的な定性的評価を得る。

表 4 に総合評価対応を示す。

評価結果は、定性的評価 および 総合評価値で表示する。

7. ルールの知識ベースへの組み込み

これまで示した AHP 一対比較は、線形スケールにもとづいて行なってきたが、同様の一対比較を指数スケールを用いて行ない、ウエイトを算出する。線形スケール、指数スケールの一般的な対応は、表 5 に示すとおりである。

線形スケールによるルールを「線形ルール」、指数スケールによるルールを「指数ルール」と呼ぶ。条件評価値、総合評価値の算出；定性的評価への対応を線形ルール、指数ルールともに 92 ルールで表わし、エキスパートシステム知識ベースに組み込み、「線形システム」、「指数システム」とする。

8. システムの運用

線形システム、指数システムを用いて、浦賀水道、伊良湖水道、友ヶ島水道、明石海峡、鳴門海峡、備讃瀬戸、来島海峡、釣島水道、関門海峡の 9 狭水道について航行環境評価を行なったところ、指数システムの方が線形システムよりも若干安全寄りの評価となる。

9. 研究のまとめ

(1) システムの特徴

① 通常、われわれが意思決定を行なう際には、評価項目間の重要性のあいまいさの問題を有している。しかし、本システムにおいて、各評価項目は同列に扱われるものではない。AHP を適用することにより、航行環境に対して重要性の高い項目のウエイトは大きく、それほど重要性の高くない項目についてはウエイトを小さくしている。そして、ルールの中にウエイトを組み込むことにより、評価項目間の重要性の軽重の客観性を担保している。

② また、航行環境は数多くの要因から成り立っている。

る。その要因のウェイトを決定し、それぞれの要因について1つずつ検討したとしても、要因間の関連性が明らかでない場合は、航行環境の評価を行なうのは困難なものとなり、また、信頼性も低いものとなる。この点については、航行環境構成要因を階層構造で表わし、要因のレベル、関連を明確にすることで解決している。この階層構造は、要因のウェイトを決定するAHP-対比較の第1プロセスと共通である。

③ 航行環境評価を行なう場合、航行環境の構成要因の関連と評価項目のウェイトを机上で利用しようとしても、多大なる人員、時間、労力を要することとなる。この点については、エキスパートシステムの採用によって解決した。エキスパートシステム知識ベースに、階層構造の下層から上層に向かって評価を行なうプロダクションルールを組み込み、ユーザーがシステムと対話を行なうことにより、システム推論部が蓄積されたルールを起動して推論を行なっている。一度知識ベースを作成しておけば、ユーザーが評価項目に必要な情報を入力するだけで、航行環境を総合的に評価することが可能である。

④ 入力情報については、評価項目の特性により事象変数または数値変数あるいはその両者のうちいずれかを選択できるようにしている。事象変数は定性的情報に、数値変数は定量的情報に対応している。

⑤ 評価は定量的かつ定性的に行なうこととした。これは、AHPで求めた事象変数選択肢、数値変数区分のウェイトからそれぞれの代表値を決定し、この代表値に、評価項目のウェイトを乗じて合計し、まず、定量的評価である評価値を算出し、この評価値を定性的評価数値範囲区分に対応させることによって定性的評価を導いている。事象変数選択肢、数値変数区分の組合せ数は、34、102、224通りあり、複数の海域について同一の定性的評価が行なわれる場合があるが、このときには定量的評価である評価値の比較により、同一定性的評価内の順位づけ、差別化が可能となる。

⑥ 定量的評価から定性的評価を導く方法を採用することにより、「知識の組合せ的爆発の問題」を回避した。システム知識ベースには92ルールを組み込んでおり、これで34、102、224通りの組合せを表わしている。

(2) システムの運用法

① 狭水道航行環境の現状把握

最も基本的な運用法である。航行安全を所掌事務とする行政庁としては、全国の狭水道航行環境の現状を常に

把握しておく必要がある。

② 整備を必要とする狭水道の選択

整備を要する複数の狭水道がある場合、本システムにより各狭水道の航行環境の評価を行ない、危険性の順位を整備の優先順位とする。

③ 狭水道の整備項目の選択

ある1つの狭水道について、本システムでの推論を逆にたどれば、どの要因が総合評価の危険性に大きく寄与しているかを調べることができる。その要因を整備項目として選択する。

④ 狭水道整備のシミュレーション

狭水道航行環境の現状分析を行なったのち、ある評価項目について整備を実施した場合の想定情報を入力することにより、その項目に対する整備にどの程度の効果を期待できるのかを定量的かつ定性的に推定することが可能である。

10. おわりに

本論文は、人事院の行なう「派遣行政官国内研究員」制度にもとづき、海上保安庁から派遣された埼玉大学大学院政策科学研究科における2年間の研究成果を、修士論文としてまとめたものです。研究を進める過程において、指導教官である刀根薫教授をはじめとする多くの方々のご指導、ご助言をいただきました。ここにあらためて、心からお礼申し上げます。

参考文献

- [1] 上野晴樹, エキスパートシステム, オーム社, 1986
- [2] 海上保安庁, 海上保安白書, 1989, 1990
- [3] 加藤直孝, CAD/CAM機種選定エキスパートシステム, AHP事例集, 日科技連, pp.123-135, 1990
- [4] 小林重信, 知識工学, 昭晃堂, 1986
- [5] 竹田英二, サーティの方法によるウェイトの若干の吟味, AHP事例集, 日科技連, pp.233-246, 1990
- [6] 寺野隆雄, ダムゲート寿命診断エキスパートシステム, AHP事例集, 日科技連, pp.112-122, 1990
- [7] 刀根 薫, ゲーム感覚意思決定法, 日科技連, 1986
- [8] 刀根 薫, 真鍋龍太郎編, AHP事例集, 日科技連, 1990