避航操船の困難度評価指標の開発

—操船環境総合化モデルの提案—

井上 欣三*・宇佐美 茂*・世良 亘**

Risk Evaluation of Collision Avoidance in Restricted Water

Kinzo INOUE, Shigeru USAMI and Wataru SERA

Abstract

When the difficulties of collision avoidance in a restricted water is discussed, it must be taken into account that the collision avoidance actions are limited due to the existence of marine obstacles in the vicinity of own ship and target ships. If a mariner can choose any action from a two dimensional action space of collision avoidance which is composed of an orthogonal axis of course-change and speed-reduction, it is thought that the encountering situation gives a minimum difficulty. On the contrary, if only limited action can be taken, the mariner must feel much more difficulty for the encountering situation. Such difficult situations can be found in the cases of encountering in restricted water such as inside a harbour, near a marine construction site and in a narrow waterway.

On the basis of the above consideration, in the present paper, a model is proposed to estimate the difficulties of collision avoidance in a restricted water by taking the remainder of the action space excluding obliged or limited action space into account.

1. はじめに

船舶が航行中に他船と出会うとき、その出会いの難易を操船者が感じる操船上の困難さの面から評価しようとする試みはこれまでもいくつか手掛けられてきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。しかし、港内水域や海上構造物の建設水域においてはこのような評価は従来のように船同志の出会いのみに着目するのではなく、周辺の物理的障害物の存在が操船者の感じる避航操船の困難さにどのような干渉効果をもたらすかといった面からも評価できる必要がある。

この研究では、交通の輻輳やルートの交錯といった交通環境条件はもとより、このほかにも、自船の操縦能力やその場の自然的環境条件、地理的環境条件等をも含めた、いわゆる、操船環境全体の干渉影響を評価の中に総合的に取り込むことを目標に、ここでは、次のような要請に応えることのできる評価指標について検討を行った。

- (1) 自船固有の変針・変速性能、自船の操縦性に及ぼす浅水影響など操船能力の違いが困難度評価指標の値に反映できること。
- (2) 風潮外力などの自然的環境条件の変化が困難度評価指標の値に反映できること。
- (3) 港内や航路などで、岸壁などのハードバンクやブイなどのソフトバンクで操船水域が制約される場合、また、橋脚、浅瀬、操業漁船群、漁網など構造物や障害物が存在して操船水域が制約される場合といったように地理的環境条件の影響が困難度評価指標の値に反映できること。

このように、与えられた交通環境下で衝突のおそれのある他船と出会うときの操船上の困難さの程度を避航操船を行う当事者である操船者の感じる負担感や困難感の面から評価するに際し、操船環境全体の影響が困難度評価指標の中に総合的に取り込めるモデルをここでは操船環境総合化モデルと呼ぶことにする。

* 正会員 神戸商船大学(〒658 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

** 学生会員 神戸商船大学大学院(〒658 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

2. 操船環境総合化モデルの提案

2.1 考え方の前提

いま、着目船が与えられた水域内で他船と出会う状況を考える。そして、「2 船がそのまま直進すれば 2 船間の航過距離が一定値以下になる」状況を出会いと定義する。また、出会った後 2 船は避航は行わずいずれもそのまま航行する状態を考える。これは、避航を考慮しないことによってその出会いにおいてそれぞれの操船者が負うことになるであろう負担の大きさを測ることができるからである。すなわち、その交通の場に潜在する操船上の困難性を知ることが意図したものである。

2.2 評価指標値

自船が他船と出会うとき衝突の危険を回避するために操船者が取り得る手段は針路と速力の変更である。そこで、横軸に変針量、縦軸に変速量をとった図 1 のような 2 次元操作空間を考える。この範囲については、ここでは、実務的常識の範囲内でできるだけ広い操作空間を考え、針路変更は ± 60 度の範囲、速力変更は原速力を基準に $0 \sim 1.2$ 倍の操作範囲とした。

いま、他船との出会いもなく操船水域にいかなる制約も受けなければ、操船者はこの空間上のすべての操作をとる事が許される状態にあり、操船者にとっては余裕は最大と考えることができる。一方、図中①の範囲は他船と出会うときその船との衝突の危険を避けるために自船が最小限度取らなければならない操作空間を模式的に示したもので、この範囲が広がれば広いほど操船者に許された操作上の余裕空間が狭められ、その出会いに対して感じる余裕は小さくなる。

この①の範囲以外の操作空間はすべて当該操船者に許された選択自由な操作上の余裕空間を意味する。しかし、自船の操縦能力やその他自然的環境、地理的環境などその場の操船環境の干渉影響は、操船者が取り得る手の内にさらに制約を加えることになる。

①の範囲の外側を取り巻く②の範囲は、自船の操舵追従性能が劣る場合に操船者がさらに取らなければならない操作空間の広がり性を示したもので、追従性能が劣るほどその面積の広がりに応じて操船者にとっては操作上の余裕空間が狭められることになる。また、速力を変更する場合自船の惰力性能によっては必要な時間内に目標とする速力にまで到達しないことがある。③の範囲はこの船にとって物理的にそのような速力変更が不可能となる操作空間を意味しており、このような範囲が広いほど操船者にとっては取り得る手の内が狭められることになる。なお、自船の操舵追従性能や惰力性能などの操船能力は浅水影響により変化を生じるが、避航操船が水深の浅い水域で行われるときのこの影響は②や③で示される操作空間の広がりの変化に反映される。さらに、他船を避けるとき周辺に岸壁やその他の障害物があると、その制約のために操作手段の選択に制限を受けることになる。図中④で示す範囲がその領域に対応し岸壁、浅瀬、浮標、橋脚、操業漁船群、漁網などの地理的環境条件による干渉の大きさはこの部分に反映される。

したがって、図 1 において操船者に残された操作上の余裕はハッチ部以外の操作空間の広がりであり、この面積の全体に占める割合が大きいほど避航操船を行う当事者である操船者の感じる余裕は大きく、逆にこの割合が小さいほど操船者の感じる余裕は小

図 1 評価モデルの模式図

表 1 計算条件

自船の条件	
船の長さ	100 m
針路	0.0 度
速力	4.0 m/sec
避航領域の大きさ	自船を中心とする半径 300 m の円
操舵追従性能	操縦性指数 $T' = 1.0$ $K' = 1.0$
減速惰力性能	機関を全速後進に操作した場合において 4.0 m/sec から停止に至るまでに 60 秒を要する
避航操船方法の条件	
針路の変更	舵角は常に 35 度を使用する
速力の変更	機関操作は常に全速後進を使用する
他船の条件	
針路	270 度 (出会い角 90 度)
速力	2.0 m/sec
2 船の接近条件	
最接近までの時間	10 分
最接近距離	0 m

さいといえる。そこで本モデルでは、ひとつの出会いのある時間断面において操船者が感じる余裕の大きさはこの面積の割合に応じて変化すると考えることにする。なお、操船者にとっては余裕と負担は互いに補数の関係にあると思われるので、ハッチ部の面積の全体に占める割合は操船者が感じる負担の大きさに対応すると考える。以上のように、この研究では、操船上の余裕と負担の値に着目して与えられた操船環境下での出会いに関する困難性を評価することにする。

3. 他船との出会いの評価

3.1 評価指標値の時間変化

まず、2 船が互いに 90 度の出会い角をもって 10 分後に衝突するような典型的な出会いを取りあげる。ここで、出会い角とは 2 船の船首方位の交差角を示し Head on を 0 度、Overtaking を 180 度で表す。図 2 は、他船との接近につれて自船に許される操作上の余裕空間がどのように制約を受けるかを、衝突 10 分前、衝突 6 分前、衝突 2 分前について示している。衝突直前になると自船操船者にとってはほとんど打つ手がなくなる様子がよくわかる。なお、この出会いの評価に際し設定した計算条件は表 1 に示すとおりである。

図 3 は、2 船の出会いから衝突に至るまでの 10 分間の時間経過における操船上の余裕と負担の時間変化の様子を示している。このうち操船上の余裕の値は先に述べたように操船者に許された操作上の余裕空間の広がりから求め、操船上の負担の値はその間に操作空間に制約を与えた領域の大きさから求めた。

図中①で示される他船との衝突の危険を避けるために自船がとらなければならない操作領域が次第に増えることにより、操船上の余裕は時間の経過と共に減少していく。この領域は他船が自船から一定の距離内（以下、「避航領域」とする）に入ると同時に全体を覆ってしまい、操船上の余裕は全く失われる。これは衝突の危険を避けるための手段がもはや残されていないことを意味している。ここでは避航領域の半径を 300m としているため、全操作空間がこの領域で覆われる時期は他船が最接近に至る約 1 分前となっているが、自船がもっと大きな船である場合など、避航領域が大きくなればこの時期は当然早く訪れることになる。

図中②で示される自船の操舵追従性能により制約を受ける領域は、他船が避航領域に入るまではわずかな範囲であるが、避航領域に入る直前で増加し、その後ピークを迎えた後徐々に減少する。これは他船の接近に伴い①の領域が操作空間の大半を覆うようになり、その外側に存在する当該領域の一部が評価対象となる操作空間外に押し出されることにより減少するためである。さらに他船が避航領域に入った瞬間には、①の領域が操作空間の全面を覆ってしまい、当該領域は現れないようになるため量的に 0 となる。

図 2 操作上の余裕空間の制約
(障害物の無い水域における出会い)

図 3 評価指標値の時間変化
(障害物の無い水域における出会い)

また、図中③で示される減速惰力性能により制約を受ける領域は、他船が避航領域内に入る直前から急増し、最接近に至った時はほぼ 1 となる。これは変速の効果を得るための時間がすでに存在しないため、いかなる変速手段を取ることも不可能であることを意味している。

なお、図 3 に示したような操船上の余裕や負担の時間変化を何らかの代表的な指標で表現するに際しては、今後具体的な事例を念頭に置いたうえで適切な工夫が必要となるが、本論文ではモデルの感度を試算紹介することに主眼をおいているため、計算事例は単純な出会いに統一しているので、評価値の比較に際しては一連の時間経過における余裕の総和を時間経過のステップ数で除した平均値を用いた。図 3 の右側には、これら余裕と負担について平均評価値を棒グラフで示している。

3.2 出会いの状況と余裕

2 船が互いに出会い角 0 度、45 度、90 度、135 度、180 度で出会い、それぞれ 10 分後に衝突するような出会いを取り上げる。図 4 は、衝突に至るまでの 10 分間の時間経過において操船者が感じたであろう余裕の平均値をレーダーチャートを用いて表している。

実際の操船者が感じる出会いの困難性が出会い角の違いによってどのように異なるかについては、現在別途調査中であり現時点ではまだ把握しきれていないため、この指標値がどれほど現実性を有しているかは今のところ明確には言い切れないが、ここに得られた指標値によれば、追い越しの状態より行き会いの状態に近くなるほど操船上の余裕が減少するという結果が得られた。この点の検証問題については 5 章に付言する。

次に、2 船間の最接近距離を変化させた場合に操船者が感じる余裕がどのように変わるかについて試算してみた。図 5 はその結果をとりまとめたものである。最接近距離が小さくなるほど操船上の余裕が減少していく様子がわかる。

図 4 出会い角の違いによる余裕の変化

図 5 最接近距離の違いによる余裕の変化

4. 操船環境要素の評価指標値への反映

4.1 操舵追従性能の評価値への反映

他船に対し針路変更を行って避航する際、それぞれの船ごとの転舵所要時間、追従性能、旋回性能により、衝突の危険を避けるためにさらに大きな変針を余儀なくされることがある。このモデルでは操舵追従性能の良否を評価指数値に反映させるために次のように考えた。すなわち、無次元化された操縦性指数 T' および K' から得られる新針路距離をもとに船の運動軌跡を折れ線運動として近似化した。具体的には、自船の変針操作に際して自船の運動は転舵後新針路距離に相当する距離だけ直進しその後瞬時に新針路に向くものとした。ここに、新針路距離を求める近似式は、

$$\text{新針路距離} = V \cdot \left(T + \frac{t_1}{2} \right) + \frac{V}{K \cdot \delta_0} \cdot \tan \left(\frac{\phi_0}{2} \right) \quad \dots\dots(1)$$

ただし、 V : 速力 [m/sec]

L : 船の長さ [m]

T : 追従性指数 $T = T' \cdot (L/V)$

K : 旋回性指数 $K = K' \cdot (V/L)$

t_1 : 転舵所要時間 [sec]

δ_0 : 舵角 [deg]

ϕ_0 : 変針角 [deg]

なお、ここでの計算にあたっては転舵所要時間は無視し、その他の計算条件は表 1 にとりまとめたとおりとした。図 6 は、2 船が互いに 90 度の出会い角をもって 10 分後に衝突するような出会いにおいて、自船の操舵追従性能を変化させた場合、操船者が感じる余裕の平均値がどのように変化するかを示している。追従性能が低下すると、そのために針路変更に際し余分に取らなければならない操作空間が広がるため、操船者が感じる余裕は減少する。

4.2 減速惰力性能の評価値への反映

他船に対し速力変更を行って避航する際、それぞれの船の減速惰力性能によっては、与えられた時間内に所要の減速を行うことが物理的に不可能となることがある。このモデルではこのような減速惰力性能による操作空間の制約の状況を評価指標値に反映させるために次のように考えた。

つまり、機関操作後の速力変化は一次関数的に変化するものとし、自船が現在の速力から全速後進をかけ完全に停止するまでの時間（以下「急速停止時間」とする）を用いてそれぞれの船ごとの減速惰力性能を表現する。この場合の急速停止時間は近似的に (2) 式により求める。

$$t_s = \frac{(m + m_x) \cdot V_0}{T_p} \quad \dots\dots(2)$$

ただし、 t_s : 初期速力 V_0 に対する急速停止時間 [sec]

m : 自船の質量 [ton · sec²/m]

m_x : 付加質量 [ton · sec²/m]

V_0 : 初期速力 [m/sec]

T_p : 機関後進推力 [ton]

また、増速の場合の速力変化も減速時と同じ割合で一次関数的に変化するものとした。

着目する速力変更が物理的に可能かどうかは、機関操作後の平均速力が目標の速力となるまでの時間を求め、この時間と他船との TCPA とを比較することにより判定した。ただし、ここでの計算にあたっては t_s を (2) 式を参考にして 60 秒と定めた。その他の計算条件は表 1 にまとめたとおりである。

図 7 は 2 船が互いに 90 度の出会い角をもって 10 分後に衝突するような出会いにおいて、自船の減速惰力性能を変化させた場合、操船者が感じる余裕の平均値がどのように変化するかを示している。減速惰力性能が劣り急速停止時間が長くなると、そのために物理的に取ることが不可能な操作空間が広がるため、操船者が感じる余裕は減少する。

以上にみられるように、本モデルでは自船固有の操船性能の良否が避航操船の困難性に及ぼす影響につ

図 6 操舵追従性能の違いによる余裕の変化

図 7 減速惰力性能の違いによる余裕の変化

いて検討することが可能である。

4.3 地理的環境条件の評価値への反映

4.3.1 平行岸壁水路航行時の余裕

他船を避けるとき周辺に障害物があると、その存在のために操船者は操作手段の選択に制約を受けることになる。避航動作を行う場合、避航が完了すれば元の針路・速力に戻ることができるので、それまでの許された時間内で障害物に衝突しないのであれば障害物に針路を向けるような操作も選択できると考えられる。つまり、針路速力変更後に他船との間に生じる TCPA よりも障害物と衝突するまでの時間の方が長ければ、そのような針路・速力の変更操作は選択可能であると判定できる。このモデルでは、このような考え方のもとで岸壁やブイ、海上構造物や障害物などの地理的環境の影響を評価指標値に反映させることにした。

図8は、自船が可航幅 1000m の平行岸壁水路の中央を航行中、他船が 90 度の出会い角をもって 10 分後に衝突するような状況で接近する場合、他船と接近するにつれて自船に許される操作上の余裕空間がどのように制約を受けるかを、衝突 10 分前、衝突 6 分前、衝突 2 分前について示している。なお、この出会いの評価に際し設定した計算条件は表 1 に示すとおりである。

また、図9には、2 船の出会いから衝突に至るまでの 10 分間の時間経過において、操船者に許された操作上の余裕空間の広がりから求めた操船上の余裕の時間変化と、その間に操作空間に制約を与えた領域の大きさから求めた操船上の負担の時間変化の様子を示している。これによると、平行に続く水路岸壁により選択できる操作空間が大きく制約されるため、障害物の無い時の出会いに比べて余裕がかなり減少していることがわかる。

図10は、2 船が互いに出会い角 0 度、45 度、90 度、135 度、180 度で出会い、それぞれ 10 分後に衝突するような条件のもとで、水路の可航幅を変化させたときの余裕の変化を示している。いずれの出会いにおいても、可航幅が狭くなるにつれてそのために選択できない操船手段の領域が増加するため、衝突に至るまでの 10 分間の時間経過において操船者が感じたであろう余裕の平均値が減少する様子がうかがえる。このように本モデルによれば、任意形状の岸壁で囲まれた水路内での避航操船の困難性について検討が可能となる。

4.3.2 障害物が存在する水域における余裕

橋脚、浅瀬、浮標、操業漁船群、漁網など構造物や障害物が存在して避航水域が制約される状況を想定し、自船がこれらの近傍で他船と出会うとき操船者が感じるであろう余裕や負担がどのように変化するかについて試算した。いま、一辺 200m の正方形の障害物を考え、これが自船初期位置の右側 500m、前方 1200m の位置に一個孤立して存在する場合を基準とし、これが自船の進行方向と同じ方向に複数

図8 操作上の余裕空間の制約
(平行岸壁水路における出会い)

図9 評価指標値の時間変化
(平行岸壁水路における出会い)

個連続して並ぶ場合、進行方向と直角方向に連続して複数個並ぶ場合をとりあげる。図 11 に障害物の配置のイメージを示す。なお、この場合も計算に際し設定した条件は表 1 に示すとおりである。

図 12 は、2 船が互いに 90 度の出会い角をもって 10 分後に衝突するような出会いについて、障害物の数と配置方向を変化させた場合に操船者が感じるであろう余裕の変化を示している。これより障害物の数が増え長く伸びるほど、そのために選択できない操船手段の領域が増加することにより操船者にとっては余裕が失われていく様子がわかり、また、障害物が進行方向と直角方向に並ぶ場合よりも進行方向と同じ方向に平行に並ぶ場合のほうが操船者にとっては余裕が失われ感じる負担が大きくなることがわかる。

図 13 は、同じ出会い条件のもとで孤立障害物が 1 個の場合を想定し、このときの障害物との航過距離 (W) を種々変化させた場合に操船者が感じるであろう余裕の変化を示している。これより航過距離が小さくなるときの余裕の減少の様子をみてとることができる。このように本モデルによれば、例えば架橋橋脚やその他の構造障害物、漁網や操業漁船群など海上に障害物が存在する水域での避航操船の困難性について検討が可能となる。

図 10 水路幅の違いによる余裕の変化

図 11 障害物の配置

図 12 障害物の配置と余裕の変化

図 13 障害物との航過距離と余裕の変化

4.3.3 風潮外力条件の評価値への反映

風潮外力下で避航操船を行う場合、それぞれの船は進行方向に応じて異なった外力影響を受けるため、結果として自船と他船は運動軌跡にそれぞれ変化をきたす。したがって、同じ出会い条件でも結果として操船者が感じるであろう余裕の感覚は異なったものとなると思われる。そこで、このモデルでは、このような外力影響を評価指標値に反映させるため次のような考え方を導入した。

今は簡略化のために風外力による横流れの影響だけを考え、風外力による回頭作用、増・減速作用は考えないこととした。計算においては、近似的な扱いとして停船時に正横から風を受ける場合の横流れ速度⁽⁴⁾を最大値とし、相対風向が船首尾に回るにつれて正弦関数的に減衰するものとして横流れ速度を求めた。停船時に正横から風を受ける場合の横流れ速度は(3)式により求めた。

$$U = \left(\frac{C_{ya} \rho_a B_a}{C_{yw} \rho_w B_w} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot v_a \cdot \sin \phi \quad \dots\dots(3)$$

ただし、 U ：横流れ速度 [m/sec]

C_{ya} ：風圧横力係数

C_{yw} ：水抵抗の横力係数

ρ_a ：空気密度 [kg・sec²/m⁴]

ρ_w ：海水密度 [kg・sec²/m⁴]

B_a ：正横受風投影面積 [m²]

B_w ：海水側圧投影面積 [m²]

v_a ：相対風速 [m/sec]

ϕ ：相対風向 [deg]

図 14 は、2 船が互いに 90 度の出会い角をもって 10 分後に衝突するような出会いにおいて、真風向を 0 度から 315 度まで 45 度ずつ変化させたときに、最接近に至るまでの時間経過において操船者が感じたであろう余裕の平均値が風の無い場合と比較してどのように異なるかをレーダーチャートで示している。なお、計算に際しては、真風速 10m/sec の定常風を想定し、この条件下で両船の横流れ速度を考慮したうえで 2 船の相対運動を求めて評価を行った。これ以外の設定条件は表 1 に示したとおりである。

図中、外力が無いときに操船者が感じる余裕の値は円で示されている。風速がさほど強くないためか外力の有る無しによる差が明らかでないが、風向が自船の左斜め後方 (225 度) のときは他と比較して最も余裕が大きく感じられる結果となっている。これは、自・他船の横流れにより他船が避航領域内に入らなくなったためであるが、このように本モデルにより外力影響が避航操船の困難性に及ぼす影響についての検討が可能となる。

5. むすび

ここに提示したモデルは、避航操船において操船者に許された操作手段の多様さから操作者が感じる余裕を定量化しようとしたものである。本論文では、他船との出会いに関する交通環境はもとより、自船の操船能力、自然的環境条件、地理的環境条件など避航操船の困難性に影響を及ぼす要素が本モデルにどのように取り込まれ、モデルによる出力評価値にどのように反映されるかを示した。

現時点で残された問題点は、出会い角が異なる他船との出会いについて本モデルにより出力される余裕や負担の評価指標値が、実際の操船者が感じる感覚とどのような対応関係にあるかを明らかにする必要がある点である。これについては、現在進行中の調査の結果と整合をとるためのモデルのチューニングも一方では必要と思われる。図 15 に、そのための試みのひとつとして、操作空間に重み付けを行ってモデルのチューニングを図るアプローチについて試算例を示しておく。図には右変針のみを考え左変針側の操作空間の重みをゼロとした場合と、さらに針路と速力の変更量が大きくなるに従い一次関数的に減少するような重みを加えた場合の結果を示した。

図 14 風の影響による余裕の変化

図 15 操作空間への重み付け

ここでは端的なチューニングの試行例のみを示したがこの種のアプローチの有効性が感じられる。

このほかにもさらに実際問題への適用に対し必要な問題を解決しつつあらゆる環境影響を総合的に評価ができる指標へと発展させ実用性のあるモデルとしていきたい。

参 考 文 献

- (1) 長澤 明：避航を考慮した海上交通シミュレーション，航海，第 80 号，P.28～34，昭和 59 年 6 月
- (2) 長澤 明・原 潔・井上欣三：避航操船環境の困難度—I.—シミュレーションによる評価に向けて，日本航海学会論文集，第 79 号，P.91～101，昭和 63 年 9 月
- (3) 長澤 明・原 潔・井上欣三・小瀬邦治：避航操船環境の困難度—II.—シミュレーションによる評価に向けて，日本航海学会論文集，第 88 号，P.137～144，平成 5 年 3 月
- (4) 本田啓之輔：操船通論（改訂版），P.70～73，成山堂書店，平成元年

質 疑 応 答

高瀬 悟（広島大学）：評価モデルの模式図において、上が減速、下が増速にとっていますが、直感的に考えるのとは逆ではないでしょうか。また、加速側を物理的限界までとらなくても良いのでしょうか。

世良 亘：通常、避航の際には減速を考えるため、原速力を基準として変速量の大きさを示すには、減速が上になるほうが良いと判断しました。また、加速側の限界については、大きくとればそれだけ操船者が考える基本の操作範囲（モデルでは全体の面積）が広がりますが、実際の操船では極端な増速により避航することはまずありえないことから、今回の原速力の 1.2 倍までできることとしました。

石村信道（神戸商船大学）：

- (1) 要因比較を行うとき各評価値の時間平均を使用していますが、この時間平均を用いた理由と、他に適切なものはないのかについて説明してください。
- (2) この操船環境総合化モデルは ARPA レーダーの考え方と非常に近く、ARPA レーダーに機関要因を付加したものと考えられますが、ARPA レーダーと対比した場合のこのモデルの特徴について説明してください。

世良 亘：

- (1) 操船の困難さを比較する場合に一連の時間経過における余裕の最大値を使用することも考えられますが、ここでは衝突する場合を基本として評価を行っているため全てが 1 となってしまう使用できません。そこで、今回は衝突までの時間の長さが同じであるので、余裕の総和を時間経過のステップ数で除した平均値を用いました。今後実海域で使用するにあたっては、適切な方法を考えていくつもりです。
- (2) ARPA レーダーの考え方は衝突危険の地理的範囲を示すものであり、避航の操作空間を考える本モデルとはまったく別のものであると考えます。本モデルの特徴は、避航の操作空間において交通環境だけでなく自船の操縦性、地理的環境条件、自然的環境条件等を含んだ評価が行える点にあり、避航領域を求めるものではありません。