あいまい推論を用いた避航操船モデル

岩崎 寛希*・原 潔**

A Fuzzy Reasoning Model to Decide the Collision Avoidance Action

Hiroki IWASAKI and Kiyosi HARA

Abstract

Fuzzy reasoning as decision analysis is very actively being investigated. In this paper, the method of the fuzzy reasoning is applied to the decision making for collision avoidance maneuver in congested waters.

The proposed model consists of two sub-model. One is for evaluating the risk of collision on the values of TCPA and DCPA. Another is for deciding the collision avoidance action in order to satisfy the following three goals with the order of priority;

- 1) to avoid the most dangerous target
- 2) to obey REGULATIONS FOR PREVENTING COLLISION AT SEA, 1972
- 3) to minimizing the loss of sailing time.

The knowledges of ship's operator as to the judgement about the situation were acquired by a series of experiments using a simple radar simulator. The results of experiments and the comments of ship's operator were fully used to renew the knowledge base of the model.

Finally the maneuver by the proposed model were found to be reasonable under the simulated encounters. This means that the model will be useful as a fundamental approach in order to construct the so-called expert system for collision avoidance maneuver.

1. はじめに

船舶の知能化を考える時、他の船舶との衝突回避は、海上交通の安全確保のためにまず達成されねばならない問題の一つである。その際、熟練した操船者のもつ操船感覚を組み込んだシステム、つまりエキスパートシステムを構築する必要がある。

本研究では、熟練した操船者（以後、オペレータ）の持つ衝突危険に関する判断基準のあいまいさ（以後、あいまいさ）をそのまま知識ベースとして用い、衝突危険の判断にあいまい推論⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾を適用する方法を述べ、さらに危険判断後の避航動作決定アルゴリズムを付加した一つの避航操船モデルを提案する。

このモデルの特徴は、衝突危険の判断基準を作る段階で、オペレータが各自の衝突危険に関する感覚をあいまいさを含んだままその基準の中に容易に盛り込める点にある。これまでに、衝突危険の判断基準作りにあたっては、様々な方法が提案されてきた。それぞれ用いた判断要素の違いはあっても、避航操船の決断はこれらの判断基準の数値を使い、確定的⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾、あるいは確率的⁽⁹⁾に行われている。しかし、航行船舶がどのような避航行動をとるか、その航行環境がどの程度危険であるかの判断は、操船者それぞれの考え方や感覚、そして周囲の状況等によっても変わるものであり、あいまいさを考慮する必要がある。確率はもともと客観的なものであるが、ここで言う「あいまいさ」とは、“主観的な確率”とも言えるものである。このような操船者の持つ判断上のあいまいさを評価指標に組み込む必要があると思われる。清水ら⁽¹⁰⁾は、航路交差部の通過時刻の速力調整の制御に

* 正会員 大島商船高等専門学校（〒742-21 山口県大島郡大島町小松1091-1）

** 正会員 神戸商船大学（〒658 神戸市東灘区深江南町5-1-1）

あいまいさを表現して成功している。以下のモデルは、避航操船の判断部分にあいまいさを取り入れた試みである。

ここで問題となるのは、オペレータの持つあいまいさを引き出すために、モデル構築者とそのオペレータ両者間を結ぶ共通のメディアが必要となることである。そのメディアとしては、衝突危険の存在する現場を臨場感を持って再現できるCGI方式の操船シミュレータ⁽¹¹⁾が理想であるが、ここでは著者ら自身がオペレータ役を兼ね、パソコンCRT上に描いた簡単なレーダシミュレータを用いて判断基準群を構築した。

2. あいまい推論の衝突危険判定への適用

2.1 あいまい推論の概念

人間が判断を行う時、その判断を行う人や周囲の状況によって、その判断の内容や基準は、それぞれ異なる。これは、人間の個々の性質、又はそれぞれの状況が、ケースバイケースであり、本質的にあいまいな要素を含んでいるからである。

例えば、数隻の船舶が存在する海域で自船に避航義務がある場合を想定する。この時、オペレータは、一般に他の船舶の相対方位の変化や、相対距離、その接近感等の要素で衝突危険を判定している⁽¹²⁾。すなわち、自船から見た他の船舶の相対方位があまり変化せず、接近感が大きければ、衝突のおそれがあると判断するのである。ここでいう「相対方位の変化があまりない」とは、どれくらいの変化をいうのか、又「接近感が大きい」とは、いくらぐらいなのかについては、各オペレータの個々の性質、そしてその時の状況に応じて異なるのである。

あいまい推論とは、このようなオペレータが感じる「大きい、小さい」等、言葉によるあいまい情報を、その属性により集合化し、さらにそれらの集合を、あいまい命題の形式で表現された一群の危険判定ルールに基づき論理的に合成することにより、判断指標を導き出す方法である。

2.2 あいまい推論の衝突危険判定への適用

2.2.1 判断要素の選択

図1において、自船O、他の船舶Aはそれぞれ速力 V_O 、 V_A で直進するものとする。もし、自船Oが避航しないまま直進を続けるならば、両船間の距離は、相対座標上 A' で最小値 OA' をとる。ここで、この最小値 OA' は相対速力ベクトル V_R に自船の中心を通る垂線をおろしたときに得られる長さであり、最接近距離(DCPA)を示している。又、点Aから最接近点 A' に至るまでおよそ R/V_R の時間(TCPA)がかかるものとする。

一般に、避航操船時の判断要素として、この図中に示されるもののうち

- 1) 方位変化率 : $\dot{\theta}_P$
- 2) 相対距離 : R
- 3) 接近速力 : $\dot{R}$
- 4) 最接近距離 : DCPA
- 5) 最接近に至るまでの時間 : TCPA

が重要と言われる⁽¹²⁾。ここで、DCPAとTCPAは、次式のように表せる。

$$DCPA = \dot{\theta}_P \cdot R \cdot (R/V_R) \quad \dots\dots(1)$$

$$TCPA = R/V_R \quad \dots\dots(2)$$

これより、オペレータが通常の避航操船判断に用いる要素である方位変化率 $\dot{\theta}_P$ と接近速力 $\dot{R}$ は、(1)、(2)式を用いて次のように導きだせる。

$$\dot{\theta}_P = DCPA / (TCPA \cdot R) \quad \dots\dots(3)$$

$$\dot{R} = (R/TCPA) \cdot \cos(\theta) \quad \dots\dots(4)$$

$$\therefore R = V_R \cdot \cos(\theta)$$

衝突危険の存在を示す $\dot{\theta}_P$ は、DCPA、TCPAを用いて表される。又、接近感を表す $\dot{R}$ はTCPAを用いて表される。したがって、本モデルにおける衝突危険の判断要素はDCPAとTCPAの2要素とした。

2.2.2 判断要素のファジィ集合化

DCPAとTCPAの2つの判断要素で、衝突危険の存在をあいまい推論するために、各判断要素をファジィ集

合で表現することを考える。

判断要素の DCPA に 4 事象そして, TCPA と最終的な推論結果 (衝突危険判断の強さ, 以後, 変数 J で表す。) については, それぞれ 7 事象のファジィ集合を定義し, それらを事象ごとに帰属度関数化⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽¹⁰⁾ (Membership function) した。その方法を, TCPA の例について説明する。

TCPA は, 避航判断の時間的余裕を表すものであり, その時間的余裕のレベルにより 7 事象の集合を設定し, それぞれにアルファベット 2 文字でラベルを付けた。それらを, 表 1 に示す。又, 図 2 は, 表 1 中の「時間的に全く余裕がない場合」のファジィ集合で, 横軸に時間 TCPA, 縦軸にこの集合への帰属度⁽⁴⁾⁽⁵⁾ をとったものである。この図では, TCPA が t_1 分より小さい時, そのオペレータは, 「TCPA が時間的に全く余裕がない」と認め, 同様に t_3 分よりも大きい時は「その事象である」とは, 認めないことを意味している。そして, その間に存在する t_2 分ではどっちつかずということになる。ファジィ集合が, 台形近似 (三角形近似) できるものとした場合, こ

表 1 TCPA の事象

ラベル	事象の内容
NB (Negative Big)	TCPA は時間的に全く余裕がない。
NM (Negative Medium)	TCPA は時間的に余裕がない。
NS (Negative Small)	TCPA は時間的に少ししか余裕がない。
ZO (zero)	TCPA は時間的にどちらともいえない。
PS (Positive Small)	TCPA は時間的に少しは余裕がある。
PM (Positive Medium)	TCPA は時間的に余裕がある。
PB (Positive Big)	TCPA は時間的に十分余裕がある。

の図の時間 0 を含め, ファジィ集合の形を示す t_1 , t_3 をスケーリングパラメータ⁽⁵⁾ (以後, SP 値) と定義する。ここで, TCPA を t とし, 帰属度を μ とすればこのファジィ集合の帰属度関数は,

$$\mu(t) = 1 \quad (0 \leq t < t_1)$$

$$\mu(t) = (-t + t_3) / (t_3 - t_1) \quad (t_1 \leq t < t_3) \quad \dots\dots(5)$$

$$\mu(t) = 0 \quad (t \geq t_3)$$

と表すことができる。

2.2.3 判断基準の作成

各集合の形を示す SP 値は, そのオペレータの持

図 2 TCPA の最も余裕のない場合のメンバシップ関数

図 1 最接近距離 (DCPA) とそれに至る時間 (TCPA)

(基準作成者)

(オペレータ)

図 3 スケーリングパラメータを求める実験

図4 判断基準群

つ時間的、距離的な感覚に合致したものでなければならぬ。そこで本研究では、著者らのオペレータとしての感覚を抽出すべく、図3のような実験を、簡単なレーダシミュレータを用いて行った。ここで、被験者であるオペレータに対するヒアリングは、単に避航操船実施時だけでなく、これに至る過程においても、あるいは避航実施後も行う。そして、その状況における時々刻々の TCPA, DCPAの値を数値データとして手元に置きながら、そのオペレータの感じたその時々衝突危険の大きさ、時間的あるいは距離的余裕の程度を、それぞれ「少しある」「ほとんどない」等の言葉によるデータとして集める。さらに、繰り返し実験を行い、集めた言葉のデータと数値データを照合することによって、そのオペレータの言葉で表された感覚を数値に置き換える。このようにして作成された判断基準群を図4に示す。この図における TCPA, DCPA については、船長、船速を用いて無次元化している。又、J 値は無次元値として任意に-6から6までの値をとり、マイナス側が「安全」、プラス側が「危険」と割り当て、それぞれ離散的に事象分けを行った。

2.3 あいまい推論による衝突危険判定のモデル化
さて、具体的に TCPA と DCPA で衝突危険の有無を推論するために、次のようなあいまい命題の形式で表現された衝突危険判定ルールを設定した。

表2 ルールテーブル
TCPA

	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
DCPA							
NB	PB ¹	PM ²	PS ³	ZO ⁴	NS ⁵	NM ⁶	NB ⁷
NM	NS ⁸	NS ⁹	NM ¹⁰	NB ¹¹			
NS	NM ¹²	NB ¹³					
ZO	NB ¹⁴						

(決定の強さ)

i : ルール番号
 $\mu_{Di}(d_0)$: DCPAの帰属度関数
 $\mu_{Ti}(t_0)$: TCPAの帰属度関数
 $\mu_{Ji}(i)$: ルールiでの判断の強さ
 μ_{JJ} : 総合判断結果
 J : 判断の強さ

図5 あいまい推論・直接法のアルゴリズム

例 If DCPA is NB and TCPA is NB Then J is PB.

NB(DCPA) : 距離的に全く余裕がない。

NB(TCPA) : 時間的に全く余裕がない。

PB(J) : 非常に危険である。

注) NB, PBは, 図4を参照。

これは, 「DCPAが距離的に全く余裕がなく, TCPAが時間的に全く余裕がなければオペレータは躊躇なく危険と判断を下す」ということを意味する。そして, 判断を下す強さの順に他のルールを作成した。このルールの数が豊富であれば, 避航操船を要する場合の判断の強さが徐々に変化する様子を表現できるが, 判断に要する計算時間が増すことになる。逆にルールの数を減らせば, 時間的な判断の強さの変化は階段状となり, 判断に不感帯を生ずることになる。この関係から, ここではルール数を14とした。表2に, そのルールテーブルを示す。

これは, 縦に判断要素DCPAの4事象, 横に判断要素TCPAの7事象をとり, これらのそれぞれの組み合わせによる危険判定指標Jの事象を枠内に示す。ただし, この表の空白部は, すべて全く危険でない事象NBである。

次に, あいまい推論・直接法⁽⁵⁾による推論のアルゴリズムを図5に示す。まず, 他船の動きを解析して得られたTCPAとDCPAの値をそれぞれ t_0 , d_0 とし, 14の判断ルールを充てはめる。次に, 各集合の帰属度関数より, TCPAとDCPAのそれぞれの i 番目のルールでの帰属度 $\mu_{Ti}(t_0)$, $\mu_{Di}(d_0)$ を求める。そして, その2つの帰属度を論理積することで, そのルールへの適合度を求める。これをすべてのルールで行い, 最後に得られた14の適合度を論理和することにより, 総合推論結果を得る。この総合推論結果の面積重心を求め, その x 座標をJ値とする。

このJ値が, ある一定基準($J=0$: 危険判定の閾値として設定)に到達した時, 第3船への影響がないかどうかを推論し, なければ回避動作をとる。その後, 衝突危険が去れば, やはり第3船の影響を推論したうえで, 原針路へ復帰する。このようにして, あいまい推論を避航操船モデルに適用した。

3. あいまい推論を用いた避航操船モデルの構成

3.1 避航操船モデルの全体構成

避航操船モデルの全体構成を図6に示す。このモデルは, 2つのサブモデルから成っている。

1つは, 衝突危険判定サブモデルである。これは, 上述したようなあいまい推論を用いて, 衝突危険の有無を判定するもので, モデル全体の頭脳部分にあたる。このサブモデルへの入力として, レーダから得られた時々刻々の他の船舶の方位(360°方式)と距離を与える。出力としては, 衝突危険判定の評価指標Jを算出する。

他の1つは, 避航動作決定サブモデルであり, ここでは衝突危険を回避するための動作を決定する。上記の衝突危険判定サブモデルで「危険」と判定された場合, 自船の針路, 速力, そして解析して得られた危険対象船の針路, 速力, 相対位置の5データをもとに避航動作を幾何学的に決定する。

図6 避航操船モデルの全体構成

3.2 衝突危険判定サブモデル

このサブモデルは、海岸線等の障害物がなく、他の船舶とのみ遭遇する海域で、

- 1) 避航操船を行うか、否かの判断
- 2) 避航動作による新たな第3船との衝突危険の判定
- 3) 避航操船後の原針路復帰による第3船との衝突危険の判定

のそれぞれの判断を行うサブモデルである。これらすべての判断に、あいまい推論を適用した。

3.3 避航動作決定サブモデル

このサブモデルは、以下に示す2つの目標に即し、実際に避航するうえでの避航動作を決定するサブモデルである。

1) 抽象的目標

遭遇した衝突危険を回避するための動作は、優先順に次の3つのゴールを目指さねばならないものとした。これら3つを抽象的目標とする。これは次の2)に示す運用上の目標の優先度を決定するのに用いる。

ゴール1. 切迫した衝突危険の回避。

ゴール2. 海上衝突予防法の遵守。

ゴール3. 航路からの離脱を最小にする。(経済的要因)

2) 運用上の目標

ここでは、自船の長さの4倍の領域(閉そく領域)を確保するように避航動作をとるものとする。そのための運用上の目標を優先順に以下のように決定する。

ゴール1. 最小の右変針で避航する。

ゴール2. 大角度での右変針の場合は、減速を併用する。

ゴール3. 減速のみの手段を考える。

ゴール4. 左変針を考える。

ゴール5. 左変針と減速の併用を考える。

ゴール6. 緊急停止。

変針角の許容範囲は、経験的な値として右変針の場合には最大 45° 、左変針の場合には最大 70° とする。又、避航対象船との最接近点を通過後、原針路(原速力)復帰を考えることにする。

4. モデルの適用例

4.1 避航操船環境の設定条件

このモデルを組み込んだ避航操船シミュレーションを以下の設定条件で実施した。

- 1) 陸岸等の障害物のない海面であること。
- 2) 互いに他の船舶の視野の内にあり、視界は制限されていないこと。
- 3) 各船の操縦性能は考えず、針路の変更、あるいは変速等は決断すれば瞬時に成されるものとする。
- 4) 各船の持つ判断基準は、その長さ、速力によって無次元化されているが本質的に同一のものとする。
- 5) 互いの衝突危険判断は、シミュレーション時間間隔(20sec)ごとに行う。
- 6) 遭遇した状況が以下のような場合、TCPAの判断基準を時間的にある程度繰りあげる(以後、繰りあげ量)ことによって、衝突危険判断を通常より早期に行わせた。
  - ・他の船舶の出現した相対方位(以後、相対方位)が、 60° 以上の場合。
  - ・自船が追越し船である場合。
  - ・避航対象船の相対方位が、時計回りに変化する場合。
  - ・自船にとって法的避航義務のある他船が、比較的近距离内に2隻以上存在する場合。

4.2 適用例

4.2.1 2船が真向かいに出会う場合の適用例

図7(a)の航跡図は、この出合いの中での3場面を時間順に示し、図中の格子はすべて縦横1マイルとする。又、図7(b)は、上部に相対距離の時間変化、そして下部にO船が感じたA船のJ値の時間変化を示す。この結果

は、小林らの提案したCJ値⁽⁶⁾と同種のものであるが、避航開始までの値の変化がそれより急激である。船速は、両船14k'tsである。このケースでは、次のような手順で衝突危険判定を行った。

- ・開始後、すぐにA船との衝突危険を認識しだした。
- ・約3分でJ値は正に転じ、互いに約20°の右変針を行った。(図中(1)参照)
- ・避航動作により、一端はJ値は-6に減少する。
- ・最接近点に近づくにつれ、J値は徐々に増え、図中(2)で最接近となる。
- ・原針路復帰し、J値は-6に下がる。

4.2.2 4船が関係する場合の適用例

次に、A、B、C 3隻の他の船舶のうち、A船はO船と真向かいに出合い、またB船はO船と少しのDCPAで行き違う。さらに、C船はB船の後方に位置し、これもO船と行き違う。図8(a)に航跡図、図8(b)にO船が感じた3隻の他の船舶のそれぞれに対するJ値の時間変化の様子を示す。

- ・開始後すぐに、A船との衝突危険を認識し始め、約2分後、B船に対しても危険を認識し始めた。
- ・2.5分後、A船に対するJ値が正転し、13.5°の右変針を考える。図中(1)参照。
- ・上の動作による第3船(B船)との新たなDCPA, TCPAを用い、衝突危険判定を行った。その結果、影響があると判定した。
- ・避航の対象にB船も含めて考え、25.9°の右変針を決定し、実行した。
- ・B船と最接近し(図中(2))、原針路復帰を考えた。原針路復帰によるA、C船への影響を判定し、C船に影響があると判断した。
- ・C船への影響がなくなるまで待ち、原針路復帰(図中(3))した。

True Plot 全船14k'ts

図8(a) 航跡図

True Plot 全船14k'ts

図7(a) 真向かいに出合う場合の航跡図

図7(b) 相対距離とJ値の時間変化

図8(b) O船が感じた各船に対するJ値の時間変化

この場合は、相手船が1隻の場合にA船との相対距離が1.6マイルで避航を開始したのに比べて、2.7マイルで開始しており、早めに大きく避航していることがわかる。ここで実務上は、左転するべきかどうかは、議論が分かれると考えられるが、本モデルでは回避できるならばルールに沿って右転することになっている。

5. 結 論

本研究は、避航操船判断にオペレータ自身の持つあいまいさを取り入れ、できる限り実際の避航操船に近い操船状況を得るモデルを開発することにあつた。まだ多くの問題点や課題を残しているものの、方法論としては有効であることを示すことができた。今後、衝突予防レーダや交通管理システムのなかにこのような知能部分を組入れることによって、操船者の行う安全確保のための判断を支援する有力な方法となると考えられる。

本モデルについて、今後改良していくべき諸点をまとめると以下のようになる。

1) 避航操船判断の閾値

判断の閾値としてJ値が0になった時と固定した。これは、そのオペレータが通常の避航判断パターンでは、この時判断を下すであろうと考えられる値である。しかし得られた TCPA, DCPA の生データの不定誤差等で判断の信憑性が薄れていたり、自船に疑念を抱かせるような避航対象船の動き等で判断に迷いが生じた場合等は、この値の時機よりもむしろ早期に避航判断が成されるものと思われる。このような、避航開始時期のあいまいさもモデルに盛り込むことを検討しなければならない。

2) 判断基準 TCPA の繰りあげ量について

とるべき避航手段や避航開始時期に限られてくる 4.1 6) のような状況に遭遇した時そのオペレータは、自身の持つ通常の時間感覚よりも早期に判断を下し、避航動作をとろうとする。このような場合オペレータの衝突危険に対する時間感覚を示す TCPA の基準群に、ある適当な繰りあげ量を加えることにより、通常に比べ早期より衝突危険を認識しだすようにしたが、この TCPA の基準群の時間的な繰りあげのやり方、その量については、遭遇した状況の困難さと密接な関係があると思われ、十分に検討の余地があると思われる。

3) 船舶の動特性、自然環境の設定について

今回開発したモデルでは、各船舶の動特性や風、潮流、対象水域での地形等の自然環境は考慮していないが、これらの避航操船判断への影響を検討しなければならない。

以上の課題は、今回設定したルール数14をさらに増やすことで、様々な出会い状況の避航操船判断の様子を、より詳細に表現し、より複雑な状況を多く試行することが1つの解決策となる。それには、操船者の操船感覚をよりの確に表現する必要がある。また、高速処理を実時間で与えることが要求されるので、計算所要時間との兼ね合いも考慮する必要がある。

最後に、研究途上で熱心に討議に加わって頂いた神戸商船大学間淵重昭先生、小谷通泰先生、山村三朗先生、井上欣三先生に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 塚本弥八郎：Fuzzy 推論について，数理科学，191号，昭和59年
- (2) B. R. Gaines：Foundation of Fuzzy Reasoning. Int. J. of Man-Machine Studies, 9, pp. 1~68, 1977
- (3) 水本雅晴：ファジイ推論法，システムと制御，Vol. 28, No. 7, pp. 436~441, 1984年
- (4) 寺野寿郎：システム工学入門，共立出版，pp. 281~315, 昭和60年
- (5) 山崎，菅野：ファジイ制御，システムと制御，Vol. 28, No. 7, pp. 442~446, 1984年
- (6) 小林，遠藤：船舶避航操縦の解析—人間・機械系解析の観点より—，日本航海学会論文集，第56号，pp. 101~109, 昭和51年
- (7) 今津，小山：避航判断基準の最適化に関する研究—Ⅱ—，日本航海学会論文集，第72号，pp. 23~30, 昭和60年
- (8) 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，pp. 28~34, 昭和59年
- (9) 黒田，喜多：分布としての避航領域と航過距離分布の解析，日本航海学会論文集，第72号，pp. 1~11, 昭和59年

- (11) 清水, 小山: あいまい制御による航路交差部の通過時刻・速度調整, 日本造船学会論文集, 第156号, pp. 201~206, 昭和59年
- (11) 山村, 原: CG I 方式による夜間操船シミュレータの試作, 日本航海学会論文集, 第73号, pp. 59~66, 昭和60年
- (12) 長畑 司: 避航の判断と操船者の特性, 日本航海学会論文集, 第48号, pp. 77~85, 昭和47年

質 疑 応 答

今津隼馬(東京商船大学):

1. 衝突危険は確率的にも求められますが, これに対してファジィを使われたのはどのような考えでしょうか。
2. 遭遇状況に応じて判断時機をずらす方法で対処されようとしているが, 避航は多段の行動決定の結果が行動開始時機を決めるのではないかと思います。この点どのようにお考えでしょうか。

岩崎寛希:

1. 避航操船は人間の判断が中心となっているのが現状であり, 人間が持つ判断上のあいまいさは客観的なものでなく主観的なものですので, それを表すためにファジィ集合を使用しました。一方人間がかかわる事象について客観的な確率をあらゆる場合に求めることはもっと困難なのではないかと考えます。
2. 遭遇状況を考えて判断時機をずらすのは, その場に必要の避航の方法を考慮して決めています。ここでは具体的な試行操船をするのではなく, 操船者の感覚を組込むことにしました。以上のことから, 本モデルは操船者の行う避航操船以上の操船はできません。

遠藤 真(富山商船高専): 避航操船モデルとして衝突危険判定, 避航動作に Fuzzy を用いる意味として, Fuzzy を用いると定性的であいまいであることが系自体を頑強なものにする効果があると思うが, それをチェックするために様々な避航状況に対する実験を行ったか, 御聞きしたい。

岩崎寛希: Fuzzy を衝突危険判断には用いたが, 避航動作の決定には用いていません。確かに系自体は, 様々な状況に対しても柔軟性があり, 2隻の出会い状況については相手船が停止している場合等も含めてかなりの状況に対応できます。

杉崎昭生(東京商船大学): ご説明の中で, ファジィのメンバーシップ関数を台形にした理由は何ですか。ファジィ推論をするとき, このメンバーシップ関数の形が基本となるはずですので, お聞かせ下さい。

岩崎寛希: メンバーシップ関数の形状が重要なのは御指摘のとおりです。ここでは, 二つの事象のあいまいさは, その中間値で最大になると考えられるので, 三角形を仮定しました。したがって, 両端の事象では台形を仮定しました。