海上交通の安全に及ぼす高速船航行の影響の評価

—操船者が感じる脅威—

宮崎 恵子*・沼野 正義*・福戸 淳司*・金湖富士夫*・桐谷 伸夫*
有村 信夫*・田中 邦彦*・村山雄二郎*・伊藤 泰義*
今津 隼馬**・甲斐 繁利**

Safety Assessment of High Speed Marine Transportation
from Viewpoint of Threat in Captains Sense

Keiko MIYAZAKI, Masayoshi NUMANO, Junji FUKUTO,
Fujio KANEKO, Nobuo KIRIYA, Nobuo ARIMURA,
Kunihiko TANAKA, Yujiro MURAYAMA, Yasuyoshi ITO,
Hayama IMAZU and Shigetoshi KAI

Abstract

We have already proposed the procedure for the safety assessment of ship navigation from the viewpoint of potential danger. As it is difficult to deduce the potential danger by considering all factors that are related to ship navigation, then in the present paper, the procedure for the safety assessment of ship navigation from the viewpoint of threat in captains sense is proposed and discussed. Threat in captains sense is not only subjective but also a kind of indices for the safety assessment considering those factors related to the potential danger.

To execute safety assessment for high speed marine transportation, we've made maneuvering simulator experiments to get relations between starting points of high speed vessels' collision avoidance maneuver and threat which ordinary speed vessels' captains feel.

1. はじめに

著者らは、海上交通全体の安全とは、結果的に衝突を回避できたかどうかではなく、衝突回避の過程において、潜在的危険が顕在化したときに、その危険を回避できるかどうかで評価されるべきものであるという考えを既に示した⁽¹⁾。

本稿では、最初に、操船者が感じる脅威と潜在的危険について検討し、一般船と高速船の遭遇において、一般船の操船者の感じる脅威が、潜在的危険を考慮した航行の安全を評価する一種の指標となることを示す。次に、一般船の操船者に脅威を感じさせない航行、すなわち、安全な航行をするために、高速船はどのような航行をするべきかを求めることを目的とし、まず、一般船操船者が脅威を感じる、高速船の避航開始位置を調べる実験を行った。さらに、一般船操船者が脅威を感じる高速船の避航開始位置が、物理的にはどのような意味を持つ位置

* 正会員 運輸省船舶技術研究所（〒181 東京都三鷹市新川6-38-1）

** 正会員 東京商船大学（〒135 東京都江東区越中島2-1-6）

であるかを、避航限界⁽²⁾と比較することで検討した。

2. 潜在的危険と操船者の感じる脅威

航行の安全を担保するためには、故障、見落とし、判断の誤りなどの何らかの「外乱」によって、潜在的危険が顕在化したときに、その危険を回避することのできる余裕、すなわち安全余裕が必要である。どこまでの外乱を考慮しているかは、個人によって様々ではあろうが、その想定している外乱に対する安全余裕を、操船者は普段持っている。この安全余裕は、操船者または操船している船舶によって、時間、距離、能力など様々な形がとられる。そして、図1に示すように、想定している外乱に対するこれらの安全余裕がないと、操船者は心理的

に余裕がなくなり、衝突してしまうのではないかと
いう恐れを感じてしまう。本稿では、この操船者が
感じる衝突に対する恐れを「脅威」と呼ぶ。

反対に、操船者は、脅威を感じないように常に操
船しているといえるので、これはすなわち、個人差
はあるにせよ、操船者は脅威を基準として、潜在的
危険を回避するような操船をしているということが
できる。

一方、以前行った、一般船が航行している海域の
中を、高速船の操船者が安全を確保しつつ航行する
という実験では、高速船が、一般船にかなり接近し
て避航開始する場合が少なからず見受けられた。高
速船の操船者は、自船の優れた操縦性能を考慮する
と「十分な安全を確保できる位置から避航開始し
た」としている。しかし、一般船の操船者からは
「衝突の危険を感じる」という意見が得られた。こ
のように、同じ場面でも、高速船と一般船では、脅
威の感じ方が違うことは明らかである。

図1 潜在的危険と操船者が感じる「脅威」

3. 操船者の感じる脅威とその要因

脅威は、操船者が主観的に感じるものであり、現在、遭遇している状況に対して、今までの自分の経験から感じるものである。では、この脅威に影響を与えるものを具体的に考えてみる。

表1の左の欄と中央の欄には、一般船と高速船の遭遇において、一般船の操船者の「衝突の危険を感じる」とい

表1 一般船操船者が感じる脅威に影響を及ぼす要因とその傾向および実験で考慮した内容

脅威に影響を及ぼす要因	影響の傾向	実験で考慮した内容
避航開始位置	遠くなると、脅威が小さくなる傾向	調査対象
航過距離	長くなると、脅威が小さくなる傾向	考慮しない
海域の輻輳度	小さくなると、脅威が小さくなる傾向	非常にすいている（一対一）
一般船側の高速船の操縦性能の認識	良いことを認識すると、脅威が小さくなる傾向	良いことを認識している
高速船の大きさ	小さくなると、脅威が小さくなる傾向	小型船2種類（船長30m, 50m）
高速船の速度	遅くなると、脅威が小さくなる傾向	2種類（50kt, 25kt）
高速船と一般船の通信	できると、脅威が小さくなる傾向	なし
高速船と一般船の意思疎通の支援機器	できると、脅威が小さくなる傾向	なし
自船の大きさ	眼高が高いと、脅威が小さくなる傾向	2種類（船長209m, 50m）
自船の操縦性能	良いと、脅威が小さくなる傾向	低速船の13kt航行に相当

う脅威」に影響を及ぼす要因とその影響の傾向を示す。操船者が感じる「脅威」は、操船者が安全を判断するときの主観的な尺度であるが、ここに示す様々な具体的要因が複合して、「脅威」に影響を与えている。また、これらの要因は、考慮すべき外乱の潜在的危険としての範囲でもある。よって、この「脅威」は、潜在的危険を評価する際に考えられる様々な要因を操船者が経験的に包括したもの、すなわち、操船者の主観による潜在的危険の評価の指標と捉えることができる。だからこそ、操船者は、自船側に潜在的危険を考慮した安全余裕があるときには、脅威を感じない。先に述べた実験の、高速船と一般船の遭遇では、高速船側には自分からの安全余裕があるが、一般船側にはないので、それぞれ、脅威の感じ方が違った。海上交通全体の安全を確保するには、一般船側の操船者の脅威を、安全評価の指標として用いることとし、高速船側が一般船に脅威を与えない避航方法をとらなくてはならない。

では、どんな点に気をつけて高速船が航行すれば、一般船に脅威を与えず、すなわち、海上交通の安全を確保した航行ができるのか。そこで、この「脅威」に影響を及ぼす要因について検討を行った。

表1の左の欄に示した要因の中で、高速船側の航行方法によって変わるのは、避航開始位置と航過距離である。過去に行ったシミュレータ実験で、「避航していることがわかれば、すなわち、意志の疎通ができていなければ、航過距離は近くても安心できる。」ことが判明している。

また、高速船と一般船では、速度差が大きいことから、安全余裕は時間で表すことが適当と考えるが、接近に要する時間と距離は、船速を一定とすると一対一対応の関係とみなすことができる。

よって、高速船は、一般船に対して、脅威を与えない位置で避航を開始すれば、安全を担保できることになるので、高速船の避航開始位置を調べる実験を行うことにした。

表1の左の欄に示した要因において、今回の実験で考慮した内容を表1の右の欄に示す。今回の実験では、高速船と一般船の一対一の遭遇において、一般船が脅威を感じる、高速船の避航開始位置を求める。航過距離は考慮しない。一般船の操船者は対象とする高速船を知っており、その操縦性能の良いことを認識している。高速船は、速度をパラメータとして検討するため、大きさは基本的に小型船とし、ジェットフォイル（船長30m、船速50kt）、カタマラン（船長50m、船速25kt）の2種類を用いた。それぞれ実船に該当する操縦性能を有している。高速船と一般船の間の通信およびその他の意志疎通のための援助装置はない。一般船側は、自船の大きさによる脅威の感じ方の違いを見るために、大型船（船長209m、船速13kt）、小型船（船長50m、船速13kt）の2種類とした。自船の操縦性能は、低速船の13kt航行に相当する。高速船、一般船とも、実験中の航行速度は一定である。

表2 高速船の避航開始位置の調査用実験シナリオ一覧

一般船	高速船	接近角度	見通し角	実験番号
小型船 13kt	ジェット フォイル 50kt	右22.5度	右18度	小1, 小11, 小33
		左90度	左76度	小2, 小10, 小34
		左45度	左36度	小3, 小9, 小35
		正面	正面	小4, 小16, 小36
		右90度	右76度	小5, 小15, 小37
		左22.5度	左18度	小6, 小14, 小38
		右45度	右36度	小7, 小13, 小39
		右135度	右123度	小8, 小12, 小40
	カタマラン 25kt	右22.5度	右15度	小17, 小27, 小41
		左90度	左63度	小18, 小26, 小42
		左45度	左30度	小19, 小25, 小43
		正面	正面	小20, 小32, 小44
		右90度	右63度	小21, 小31, 小45
		左22.5度	左15度	小22, 小30, 小46
		右45度	右30度	小23, 小29, 小47
		右135度	右105度	小24, 小28, 小48
大型船 13kt	ジェット フォイル 50kt	右22.5度	右18度	大1, 大11, 大33
		左90度	左76度	大2, 大10, 大34
		左45度	左36度	大3, 大9, 大35
		右3度	右2度	大4, 大16, 大36
		右90度	右76度	大5, 大15, 大37
		左22.5度	左18度	大6, 大14, 大38
		右45度	右36度	大7, 大13, 大39
		右135度	右123度	大8, 大12, 大40
	カタマラン 25kt	右22.5度	右15度	大17, 大27, 大41
		左90度	左63度	大18, 大26, 大42
		左45度	左30度	大19, 大25, 大43
		右3度	右2度	大20, 大32, 大44
		右90度	右63度	大21, 大31, 大45
		左22.5度	左15度	大22, 大30, 大46
		右45度	右30度	大23, 大29, 大47
		右135度	右105度	大24, 大28, 大48

4. 実験概要

今回の実験は、一般船の操船者が脅威を感じる、高速船の避航開始位置を、様々な接近角度に対して求めるものである。

被験者は、大型船舶長経験者 A, B, 2名, 内航小型船舶長経験者, 1名である。心理的な許容範囲を求める実験であることから、被験者には、普段操船している船舶に近い大きさの一般船を自船としたが、大型船操船者 B には、小型船を自船とした。

実験では、被験者は操船卓につき、自船である一般船ブリッジからの景観画像を見る。自船は 13 kt でまっすぐ航行する。一回の実験ごとに、一隻の高速船が、自船に向かって、衝突する航路上を直進してくる。実験のシナリオを表 2 に示す。実験番号の順に、同じ状況を 2 回から 3 回実験した。

被験者は、実験中に次の 2 つのことを申告する。

- ① 脅威を感じることもない高速船の避航開始地点の限界点（以下、非脅威限界点と呼ぶ。）
- ② これ以上近くまで寄られては我慢できない、高速船の避航開始の限界点（以下、許容限界点と呼ぶ。）

実験において、被験者が利用できる情報は、景観画像とレーダ模擬画像の二つである。一般船ブリッジからの景観画像は、普通は視野は 90 度、視線は自船の進行方向であるが、視野と視線は、操船卓にあるジョイスティック、レバーで変更可能である⁽³⁾。

実験前には、慣熟操船を行い、自船の操縦感覚、高速船の見え方等に慣れていただいた。

5. 実験結果

図 2～5 に実験結果を示す。図は、一般船を中心として、高速船の位置を相対表示している。図中の、船型の記号は非脅威限界点を、□は許容限界点を示す。

図 2～3 は、小型船経験者が小型船を自船とした結果であり、図 2 は相手の高速船はジェットフォイルで船速が 50 kt であり、図 3 はカタマランで 25 kt である。同様に、図 4～5 は、大型船経験者 A が大型船を自船とし

図 2 一般船操船者が許容可能な高速船の避航開始位置

一般船：小型船，高速船：ジェットフォイル，
操船者：内航小型船舶長経験者

図 3 一般船操船者が許容可能な高速船の避航開始位置

一般船：小型船，高速船：カタマラン，
操船者：内航小型船舶長経験者

図4 一般船操船者が許容可能な高速船の避航開始位置

一般船：大型船，高速船：ジェットフォイル，
操船者：大型船舶長経験者 A

図5 一般船操船者が許容可能な高速船の避航開始位置

一般船：大型船，高速船：カタマラン，
操船者：大型船舶長経験者 A

た結果である。

これらの脅威を感じる避航開始位置が物理的にどのような意味を持った位置なのかを調べるために、一般船と高速船の次の三種類の避航限界⁽²⁾と比較、検討することにした。

- ① 一般船側からの左右各30度変針での高速船に対する避航限界
- ② 高速船側からの右15度変針での一般船に対する避航限界
- ③ 高速船側からの30秒の余裕時間を見てから右15度変針での一般船に対する避航限界

一般船が高速船に対して避航操船するときには、大きくとると考えられるので、一般船からの避航限界を求める変針角度は左右各30度とした。また、海難審判の事故例の中で、大型船が衝突事故を起こしたときの変針角の平均が30度であることから、想定する変針角としては30度が妥当であると判断した。一方、高速船側からの一般船の避航は、通常の避航操船であると考えるので、変針角度は15度とした。また、速度差が大きいため、右のみの15度変針とした。

6. 考 察

今回の実験ではデータ数が少なく、当初予測したよりも操船者の個性による差が大きく、数値はケーススタディの域を出ないが、傾向を分析するには十分であると考え。以下、考察を試みた。

(a) 非脅威限界点（反航及び横切りの場合）

図2～3が示すように、小型船において非脅威限界点は、一般船側からの高速船に対する避航限界の外側に位置している。しかし、図4～5が示すように、大型船の横切りでは、避航限界の内側に非脅威限界点が位置している。

一般船の高速船に対する避航限界の形は、左右に長い楕円形をしているのに、非脅威限界点の分布は、円形に近い。そこで、この非脅威限界点の分布については次のように考えることができる。脅威を感じる避航開始位置は、操船者の経験、感覚から出てきた値である。被験者は高速船に出会ったことはあっても、実験のような状況にあったことはなく、従来経験している一般船との見合いの感覚で、このようなほぼ円形をなす非脅威限界点の

図6 一般船操船者が許容可能な高速船の避航開始位置と一般小型船に対する避航限界
自船：一般大型船，高速船：ジェットフォイル，
操船者：大型船舶長経験者A

図7 一般船操船者が許容可能な高速船の避航開始位置と一般小型船に対する避航限界
自船：一般小型船，高速船：ジェットフォイル，
操船者：内航小型船舶長経験者

領域が示された可能性がある。そこで、図6に示すように、図4に一般大型船の一般小型船に対する変針角左右各30度の避航限界を重ねてみた。非脅威限界点は、一般大型船の一般小型船に対する避航限界の外側に位置していることがわかる。図7には、参考のため、自船が一般小型船（操船者は、小型船経験者）の場合を示した。

これらの結果から、高速船に対しての脅威の基準が、まだ、十分に操船者の中でできあがっていない、高速船に対しての脅威と一般船に対しての脅威が混合した基準で、非脅威限界点が出てきていると考えることができる。したがって、今回求められた非脅威限界点は、一般船に対する避航限界以上安全余裕のある位置ということができる。

図8～9に、大型船経験者Bが小型船を自船とした結果を示す。図8は、相手の高速船はジェットフォイルで船速が50ktであり、図9は、カタマランで25ktである。これらの図のうち、特に、図8は、図4の大型船操船者Aが大型船を自船とした場合の分布に近く、操船者の感覚が、実験時に用いた小型船ではなく、普段、経験している自船である大型船の感覚であることが示されていると考えられる。

(b) 許容限界点（反航及び横切りの場合）

一方、図2～3が示すように、小型船において、許容限界点の分布は、一般船の高速船に対する避航限界と、高速船の余裕のない避航限界の間に分布していることがわかる。大型船では、図4～5が示すように、反航時は、小型船と同様の分布であるが、横切りでは、高速船の余裕時間0秒の避航限界の内側まで入っている。ここでも、一般船の操船者による高速船の性能に対する認識が不足しており、脅威の基準がまだできあがっていないと思われるが、図8～9を含め、全体では、許容限界点は高速船の避航限界を意識したものと考えられる。一般船操船者は、脅威の限界では、自船からの避航操船ができなくても、高速船の操船で衝突を回避することを期待しているとみることができる。このことは、この範囲では、高速船側に避航の義務を負わせることが必要であることを示している。

また、許容限界点は、図2～9が示すように、自船が小型船、大型船とも、高速船の30秒の余裕を持った避航限界にほぼ含まれて分布している。この位置で高速船が避航すると、一般船に限界の脅威を与えずに、避航できることがわかった。この30秒が、ほかの外乱に対処する安全余裕時間と見ることができる。

(c) 同航の場合

図8 一般船操船者が許容可能な高速船の避航開始位置

一般船：小型船，高速船：ジェットフォイル，
操船者：大型船船長経験者B

図9 一般船操船者が許容可能な高速船の避航開始位置

一般船：小型船，高速船：カタマラン，
操船者：大型船船長経験者B

斜め後ろから高速船が接近する同航の場合では、景観画像で高速船を見ることはできず、レーダのみによる確認だけであった。データ数は更に少ないが、図2および図8～9が示すように、非脅威限界点、許容限界点ともに、かなり一般船に近い。接近速度が小さいので、距離が近くなっているのは、常識的である。

(d) 脅威に影響を及ぼす要因についての検討

全体的に、データのばらつきは、50 kt の高速船の場合の方が大きい。25 kt の方が、時間的に余裕があって、一般船側の高速船に対する情報の収集にばらつきがなく、結果的に避航開始して欲しいという判断地点が一致しやすいのではないかと考えられる。

今回の実験では、接近してくる高速船の速度を 25 kt, 50 kt と変化させて、それぞれ一般大型船、一般小型船の操船者が脅威を感じる、高速船の避航開始位置を求めた。しかし、今回の実験においては、高速船の船速の差による脅威の感じ方の違いは、あまり見られなかった。また、自船の大きさごとに異なった操船者に実験していただいたが、図2～5が示す限りでも、大型船の方が小型船よりも、ジェットフォイルに対する非脅威限界点が遠くに位置している程度の違いであり、図8～9を含めると、自船の大きさによる脅威の感じ方の違いはあまり見られなかった。さらに、大きさの異なる一般船を同一被験者で実験することが必要と思われる。一方、一般小型船操船者が脅威を感じる、高速船の避航開始位置に注目してみると、図2～3が示す小型船操船経験者よりも、図8～9が示す大型船操船経験者Bの方が遠くなっている。これらの図のうち、特に、図8は、図4が示す大型船操船経験者Aが大型船を自船とした場合に近い分布をしている。実験時に用いた自船よりも、普段から経験している自船に基づく主観によって、脅威を感じる避航開始位置が現れていると考えられる。つまり、操船者の経験が、このような主観的な値を求めるときには、重要な要素になる。よって、ふさわしい被験者を選ぶことが重要である。

全体に、非脅威限界点、許容限界点とも、当初予測したよりも、一般船に近いところに分布している。これは、一対一の実験のため、一般船の周りに空いている海域があったためと考えられる。輻輳海域では、一般船操船者が潜在的危険を考慮すべき要素が増えるので、脅威を感じる避航開始位置がこれより遠くなる可能性がある。

今回は、高速船がいずれも小型であったが、表1にまとめたように、高速船の大きさは一般船が感じる脅威に

影響を及ぼす。この高速船の大きさによる違い、高速船と一般船の両者の相対関係による違いにも考慮した実験を行って、一般船操船者が脅威を感じる、高速船の避航開始位置を求めることが必要である。

7. お わ り に

操船者の感じる脅威が、潜在的危険を考慮した航行の安全を評価する一種の指標となることを示した。脅威は、操船者が主観的に感じるものであるから、どこまでの潜在的危険を考慮しているかは、本人にもはっきりと意識されていない。そこで、シミュレータ実験で、実際に外乱を起こして、潜在的危険を明確にすることはシミュレータ実験の大きな役割であると考ええる。

また、一般船、高速船の操船者、海域管理者など、海上交通の安全に関係する人たちの認識を同じにするための道具として、シミュレータは利用できる。

今回の実験からは、高速船に対しての脅威が、一般船の操船者の中で、まだ、基準として固まっていないことが判明した。実際に経験しなくても、今回のような一般船操船者によるシミュレータ実験を行い、その実験結果を操船者が確認することができれば、主観的に感じていた脅威が、客観的に、例えば、避航限界などに対してどの程度に位置するかを知ることができ、一般船操船者が高速船に対して感じる脅威の基準を固めることができる。そして、一般船操船者の感じる脅威が、正しい認識から得られた基準であれば、潜在的危険を考慮した高速航行の安全を評価する一種の指標となることができると考える。

今後は、潜在的危険を顕在化させる外乱について、危険を回避する安全余裕について、更に検討を重ねていく予定である。

本研究は、(社)日本造船研究協会との共同研究として実施した。

参 考 文 献

- (1) 沼野他；船舶航行における潜在的危険の評価，日本航海学会論文集，第85号，1991.5
- (2) 今津他；避航限界と被避航限界の研究，日本航海学会論文集，第85号，1991.5
- (3) 金湖他；船舶航行システムの安全評価用シミュレータの開発，日本航海学会論文集，第85号，1991.5

質 疑 応 答

井上欣三(神戸商船大学)：航行の安全を避航開始点に着目して評価しようとする研究かと思いますが、このような評価基準に対する操船者の意識感覚は一律ではなく操船者によっては提示された基準を受け入れるかどうか意見が分かれることも予想されます。この点どう対処しようと考えておられるか御意見をお聞かせください。

宮崎恵子：今回の実験では、一般船の操船者が脅威を感じる高速船の避航開始位置の非脅威限界点と許容限界点を求めました。これは、はっきりとした一定の値ではなく、かなり幅の広い領域になりました。私たちは、操船者の意識によって、分散している脅威の基準を一つにまとめるのではなく、領域全体を基準にしようと考えました。つまり、非脅威限界点の領域の外側であれば、一般船操船者は脅威を感じないといえますし、許容限界点の領域の安全側(外側)よりも内側では、一般船操船者が脅威を許容できる限界を越えていると考えます。また、個々の操船者によって評価が大きく異なる場合は、脅威の対象に対する考え方を調査して、個々の操船者が想定している外乱の項目および範囲を明らかにする方向で安全側の基準を導き出す必要があると考えています。