

輻輳海域における船舶の衝突事故とヒューマンエラーの関連性に関する研究

大阪大学工学部船舶海洋工学科

長谷川 和彦

1. はじめに

オイルショック前のタンカー最盛期の頃、経済性を優先してタンカーの大型化・肥大化が進むにつれ、従来の常識では考えられないくらいに針路不安定な船が出現した。例えていえば倒立振子である。たえず舵を取っていないとまっすぐ進まない。造船所も船主もどうなることかと気をもんでいた。ところが実際に操船してもらおうと最初は少しまごついていた操舵手もすぐに慣れてうまく操船できるようになった。しかもそんなに頻繁に操舵しなくてもまっすぐ進むのである。考えてみれば、幼稚園児でも本来不安定なはずの自転車を乗りこなすのにそんなに時間がかからない。こうなると（もちろん、それ以外に推進性能から構造強度に至る種々の問題も解決してから）造船所も船主も欲が出てますます大型化を進めた。50万トンタンカーだの100万トンドックだのが世に出た頃である。その時、ではいったいどのくらいの不安定な船まで人間はさほど困難でなく操船できるのだろうか、という疑問がわいた。これが筆者が機械としての人間の性能と関わったきっかけである。

同じ頃、船舶のオートパイロットについても研究を行っていたが、どうしても人間が行なうように針路不安定な船をうまく操船できない。人間はそれがシステムの一部として機能するとき、システム内の欠陥や不都合をうまく補償して全体としては自分の持っているある好ましい姿（reference）になるように自己の制御パラメータを無意識に調整しているのである¹²⁾。この結果を手にしたとき、私は人間（あるいは動物としての人間）の性能に感動し、この性能に迫る機械を作りたいと願った。しかし、短時間ならまだしも、船舶のように何日間にもわたって操船しなければいけない状況になると人間の持つ悪い面が出てくる。これがヒューマンエラーと呼ばれるものである。

2. 船舶の海難事故とヒューマンエラー

船舶の事故（海難）は日本で1年間に約1万件（昭和57年以降の平均）発生している。図1は昭和61年中に日本で起こった海難事故（10,151件）を種類別にまとめたものである。全体の約40%が衝突（単独衝突を含む）事故であり、この傾向は毎年ほぼ同じである。

衝突事故は船舶等の物的損失のみならず、乗客がいる場合その損失は膨大なものとなる。昨年7月浦賀沖で起こった大型釣り船「第一富士丸」と海上自衛隊の最新鋭潜水艦「なだしお」の衝突事故が記憶に新しい。この事故が象徴的なのは第一に、世界でも一二を争う超過密海域で起きたこと、第二に、衝突したのが一般商船ではなく一方は自衛艦で、他方は海洋レジャーブームに乗って改造された釣り船であったことである。そして、このことが事故の遠因にもなっている。つまり、自衛艦は通常他船が避けてくれるものと思っていること、釣り船も航路に不案内で海上衝突予防法にしたがい当然自衛艦が避けるといったこと、さらに、自衛艦の行動を惑わしたヨットがいたことである。こういった事故は高度な機械や法律だけでは十分に防止することはできない。今後、海洋レジャーが盛んになるにつれ、ますます未熟な操船や無謀な操船をする小型船が過密航路を行き来することが目に見えており、安全教育とともに十分な対策を講じる必要がある。

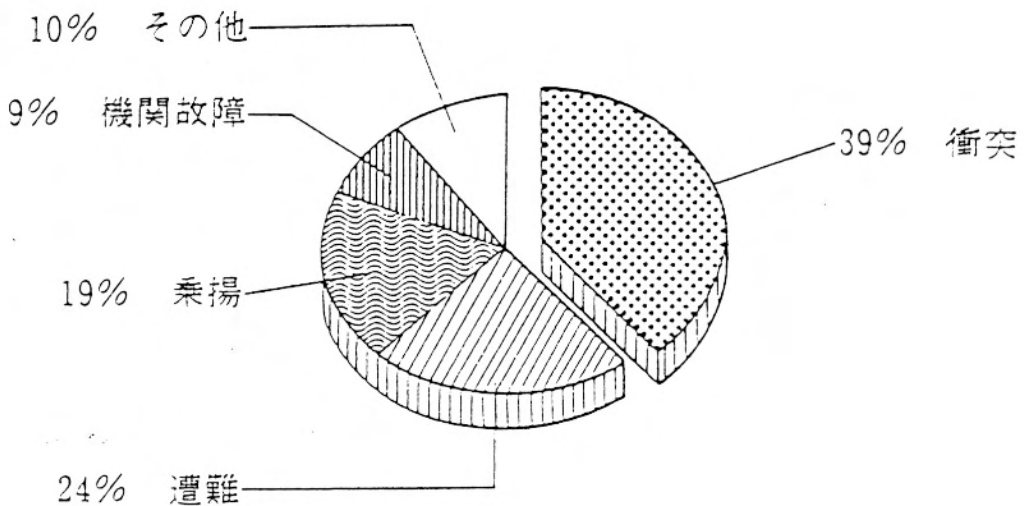


図1 種類別にみた海難事故統計（昭和61年、海上保安庁調べ）

また、近年、原油や天然ガス(LNG)、液化石油ガス(LPG)を運ぶタンカーやケミカルタンカーが増加している。そして、これらの危険物運搬船が狭水路や港湾域で衝突や座礁事故を起こすと、単に人的及び物的損失に留まらず、環境汚染や爆発の二次災害により社会問題にまで発展する危険性を常にはらんでいる。現に、本年3月、アラスカで起きたアメリカのタンカーExxon Valdez号の座礁事故はアメリカ史上最大の原油流出事故となり(図2)、大きな社会問題となった。現地では連日、新聞が天気予報代わりに汚染地域の地図を掲載して周辺の住民に注意を呼びかけた。そして、その影響は周辺住民、漁民のみならず、あざらしなどの野生生物をはじめとする環境問題、そして広くアメリカ合衆国全体の石油業界から経済界にまで達した。その詳細はここでは触れないがアメリカの新聞の関連記事だけでも3月から5月までの約2カ月間に300件以上あり、この事故の社会的影響がいかに大きかったかを物語っている。し

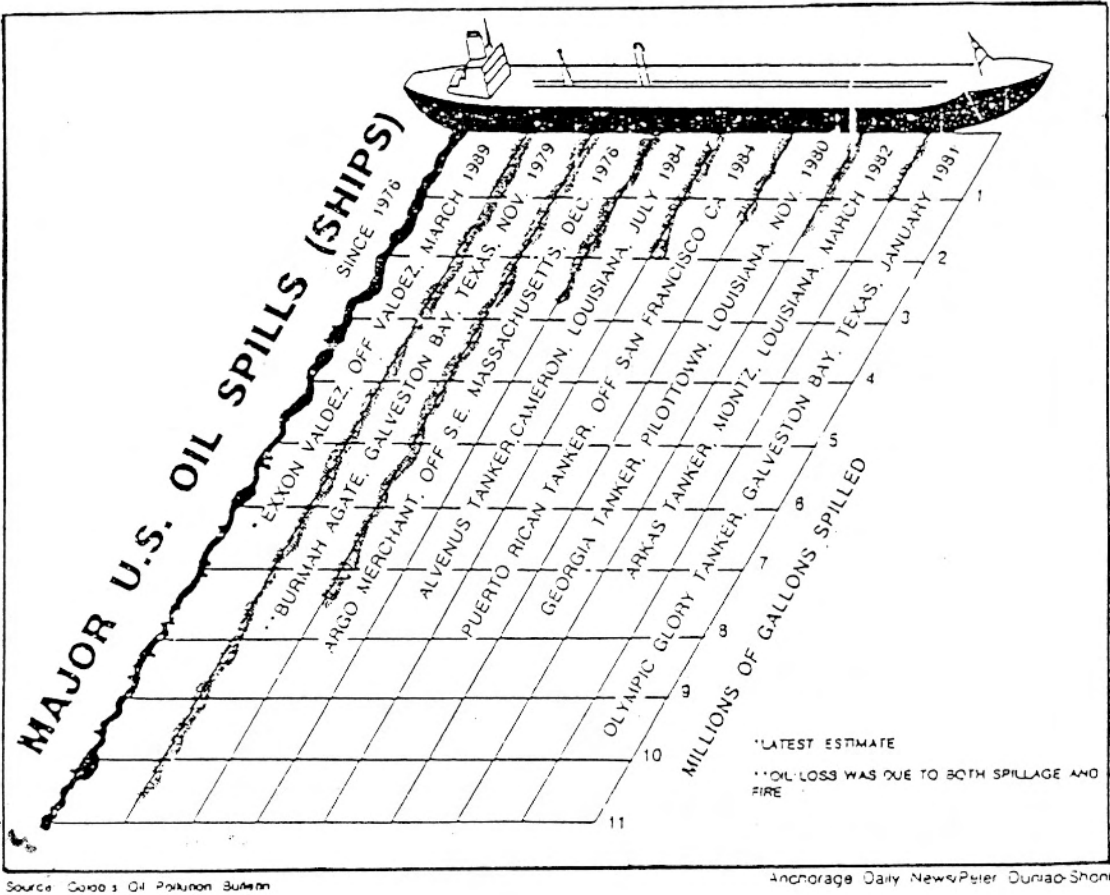


図2 アメリカ船舶による主要な原油流出事故 (Anchorage Daily Newsより)

しかし、これほど影響のあったこの事故でさえ世界的にみると図3に示すようにそれほど大量とは言えず、逆に言うとも世界的記録の原油流出事故がこれから東京湾やニューヨーク等で起きたときの影響は想像を絶する。さらに我々を驚かせたのは船長が当時酒を飲んでいたという報道である。Exxon ValdezはExxon社が保有する最新、最大のタンカーの一隻である。船長も第一線の船長のはずである。しかも、Valdez港からは狭くて浅い入り江が続いており、タンカーが出入りするための水路が浚渫されている。ただでさえ、緊張する入出港でしかも狭水路となると水先案内人の誘導にしたがい船長が指揮を取るのが常識である。またしてもヒューマンエラーである。

確かに、衝突事故の多くはヒューマンエラーが原因になっている可能性が高い。しかし、すべての事故の原因を特定するのは非常に難しい。そこでこの事故のように裁判で責任が確定した事故からその原因を調べよう。海難事故を扱う裁判所に相当する

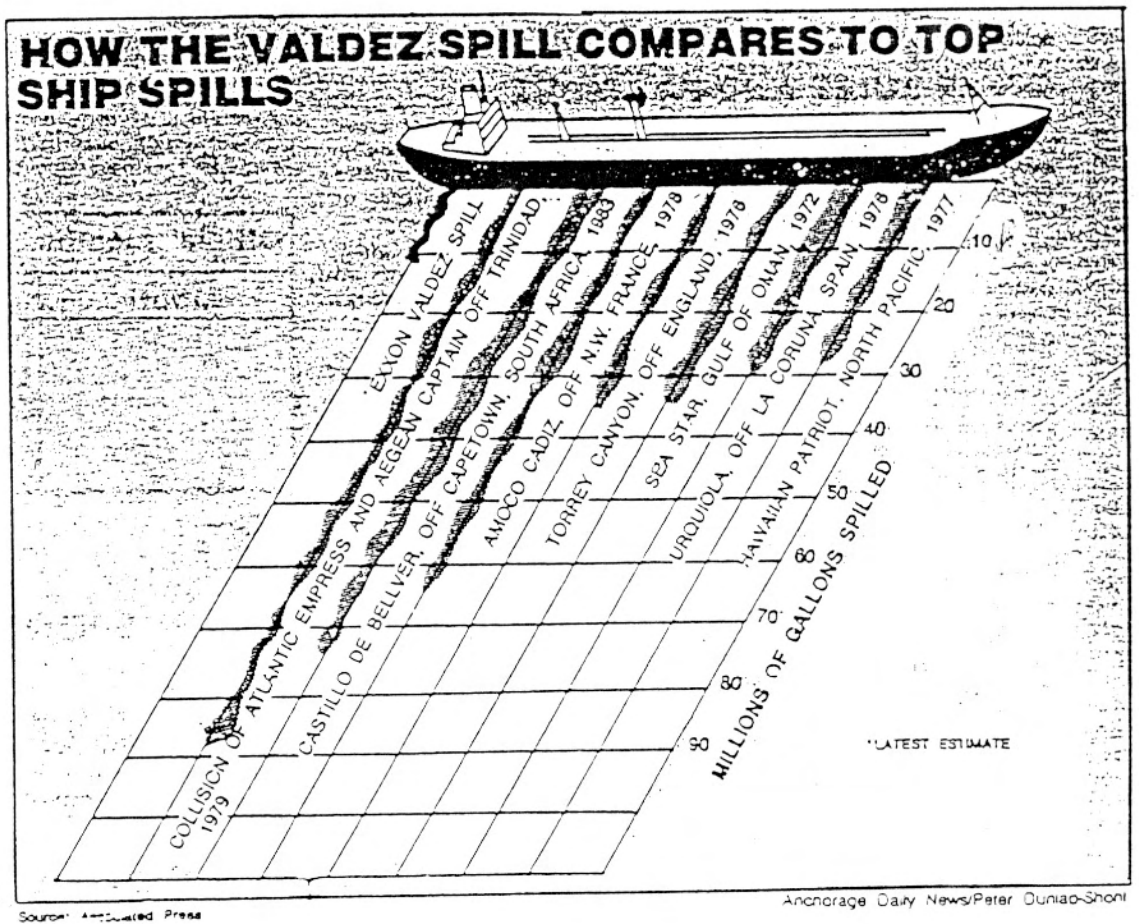


図3 世界の船舶による主要な原油流出事故 (Anchorage Daily Newsより)

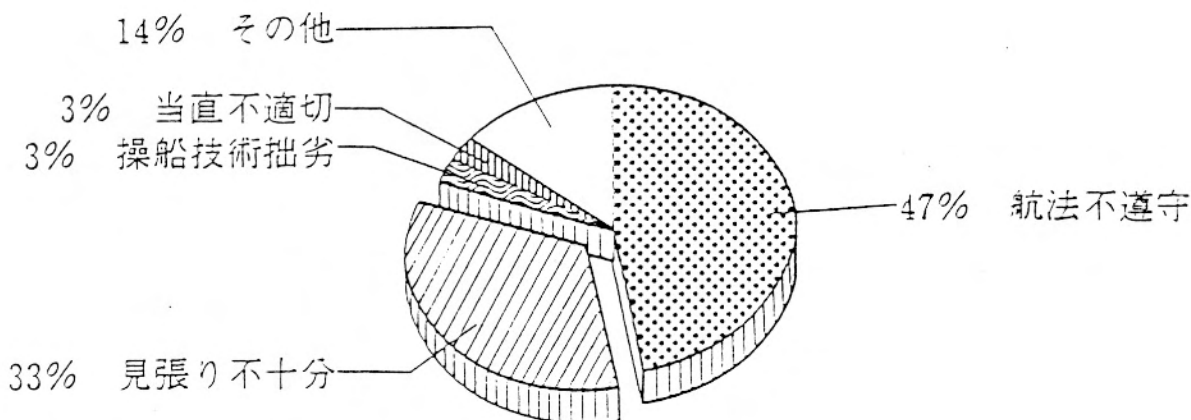


図4 原因別にみた海難事故統計（昭和61年、海上保安庁調べ）

のが海難審判庁である。図4は日本で昭和61年海難審判庁において裁決された海難事故のうち衝突事故（753件）だけ取り出してそれを原因別にまとめたものである。これによると、海上衝突予防法の航法不遵守47%に続いて見張り不十分が33%あり、実に全体の8割がこのふたつで占められている。採決されていない事故も統計的にはほぼ同様であろうから、ヒューマンエラーが事故原因のほとんどであることが想像できる。

しかし、問題はどのようにしてそのヒューマンエラーを減らすかである。

3. 衝突予防援助装置の利用実態

もちろん、こうした事故1件1件の教訓から、事故防止のための方策が取られている。レーダは今や、一般の漁船にも装備されているし、1967年に英仏海峡で起きたTory Canyon号の座礁・原油流出事故を契機にIMO（国際海事機構）は衝突予防援助装置の開発とその段階的装備を大型船から進め、現在は1万トン以上の新造船にその装備が義務付けられている。衝突予防援助装置というのは、レーダ上に映った他船等の輝点を自動的に追尾してその相対速度、方位を計算しレーダ上にベクトル表示

(従来はレーダプロットングといってレーダ上に人間が一定時間毎に輝点をマーキングしていた)するとともに、ある一定のDCPA(最接近距離)またはTCPA(最接近時間)以下になると警報を鳴らして衝突回避のための措置を操船者に促すものである。英語名称Automated Radar Plotting Aids(ARPA)の方が正確な機能を表している。

1984年の装備義務から5年経っているが、統計資料でみる限り衝突事故の顕著な減少はみられない。また、この装備義務を強力に進めたのはアメリカのカーター大統領(当時)であるがExxon Valdez号の座礁事故にみられるように実際には事故防止に役だっているのだろうかという疑問がわく。そこで、国内の船長、航海士等の操船者約1000名にアンケートを行なって、衝突予防援助装置の利用実態を調査した²⁾。その結果を参考のため、本報告の末尾に添付する。

いずれにせよ、衝突予防援助装置というのはあくまで人間の判断を補助するものであり、最終的な衝突回避動作などは人間が判断して行なわなければならない。さらに実際には、狭水路などでは警報が鳴りっぱなしとなるために警報を切る場合も多く²⁾、これでは何のための援助装置かわからない。

このように工場内のFA機器と違って、一般の自動化装置は常に最終的な人間の判断を仰ぐようにできている。冒頭で述べたように人間は多少の誤差や不意の変動などにも柔軟かつ臨機応変に対応できる。しかし反面、人間は同じ作業を長時間続けることはできない。疲れや慣れによる誤認、判断ミスを犯し易くなる。

ここに船舶の運動のテンポと人間の判断ミスを端的に表しているので折りにふれ紹介している1枚の統計資料¹³⁾がある(図5)。衝突事故において相手の船または

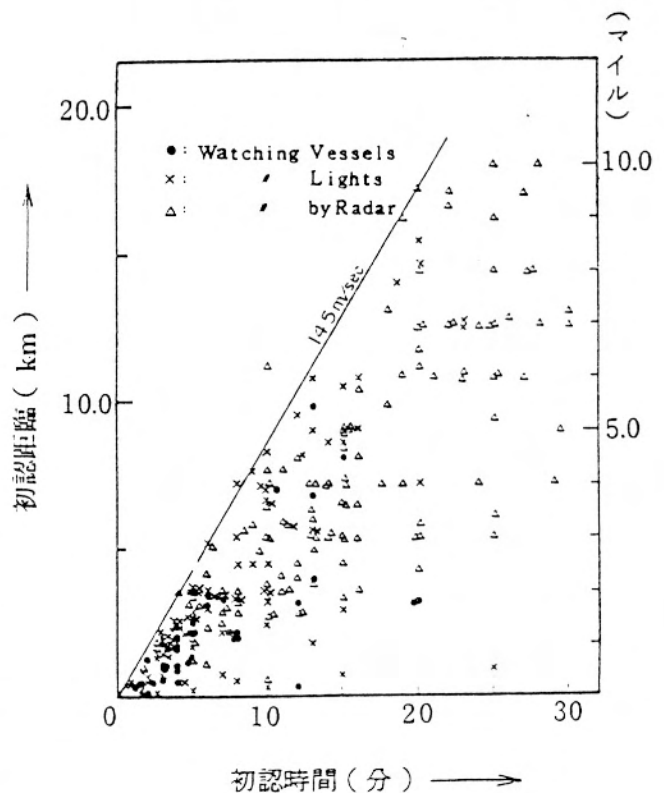


図5 衝突事故における初認時間と初認距離¹³⁾

物標を衝突の何分前（初認時間）あるいは何km前（初認距離）に初めて認めた（初認）かを示したものである。先の「なだしお」の場合ではほぼ原点に近いところに当たる。多くの場合、衝突の数分前数km以内に初認しているものの、10分以上、距離にして5km以上手前から初認していながら衝突に至ったケースが相当ある。航空機や新幹線のように高速のため判断する余裕がなかったわけではない。十分な時間がありながら「先に越せるだろう」、「相手が避けてくれるだろう」といった見込み操船が災いしたためである。

4. 船舶自動航行システムと操船者のモデル化

したがって、現在の衝突予防援助装置にさらに衝突危険判断機能と衝突回避行動決定機能を付加してオートパイロットやエンジンテレグラフ（主機関回転数遠隔指令装置）と統合すればその意義は大きい。そこでヒューマンエラーそのものからは少しはずれるが、こうした複雑な操船者の判断を自動化する試みを行なった。

まず、最初に手がけたのが1隻に対する避航（衝突回避）の判断とその行動の自動化である。これを人間の考え方や行動ルールに近いとされるファジィ理論を用いて行なった^{1) 3) 4) 5)}。ここでは一般向けに解説した論文⁵⁾を参考のため添付する。

ところが実際の海域、特に輻輳した海域では同時あるいはほぼ同時に複数の他の船舶と行き合う状況が頻繁に起こる。海上衝突予防法では複数の船舶に対する避航の仕方は規定していないから各人の判断にまかされている。ここでも人間の持つ優れた総合判断能力が発揮されている。この機能をモデル化するため、さらに上述の自動避航システムをエキスパートシステム化して、複数の船舶に対しても避航できるようにした^{6) 10)}。その中で用いた複数船との衝突回避の戦略はその応用として、同一の知識とルールを持った複数の個体が存在する社会システムの行動予測などへの適用が可能である¹¹⁾。このシステムを冒頭で述べた「なだしお」と「第一富士丸」の衝突事故に適用した⁷⁾。その結果、事故の航跡と標準的な航法を身につけたモデル航海士の操船を比較することによってヒューマンエラーを無作為的に抽出する方法論としても応用可能であることが予想できる。しかし、その際重要なのは、標準的な航海士の行動や意志決定をどのようにモデル化するか⁹⁾であり、それが現実と違ふとまちがった結論を導くことになりかねないので注意が必要である。

5. 航行環境の安全性評価とヒューマンエラーの関連

このように述べてくると船舶の衝突事故はすべてヒューマンエラーが原因ととられがちである。もちろん、何かに気を取られて見張り不十分だったり、酒を飲んでいたりなどというのは論外だが、どうしても避けられない、これ以上は操船者の責任とはいえない、むしろ、航路の設計や船舶の性能にも問題がある、などといった状況はないのだろうか。船乗りと言うのはプライドが高く責任感の強い人が多い。冒頭の針路不安定なタンカーと操船者の腕くらべのように与えられた環境と船を乗りこなすのは自分の責任であり、かつ、自分にはそれができる、という自負が往々にしてある。なかなか、まいった、とはいわない。確かに、定期航路のフェリーの船長がタグボートの補助もなく、プロペラと舵とサイドスラスター（横方向に推力を出す推進器）を操作して岸壁にびたりと接岸する光景はまさに神業である。しかし、船を設計したり、港湾や航路を計画する立場からみると、少々無理をした設計をしたり大した根拠もなく航路を決めた時など果してこれで船長さんはうまく操船してくれるのだろうか、という疑問がわいてくる。こういった時、計画中の船や航路の実船実験はできないから、操船シミュレータを用いたアセスメントが行なわれることがある。しかし、実験をしているという心理的影響や個人差、実船との感覚の違いなどから必ずしも正確な結果が得られるとはかぎらない。しかも、シミュレータを使った実験は時間と費用が多くかかるのでよほどのことがないかぎり行なわれない。例えば、最近ではパナマ運河の拡幅計画などが知られている。したがって、多くの場合、船や航路の不備はすべて操船者がかぶることになる。その程度がそんなに大きくななくてもそれが長時間になる、あるいは、他にも注意を払わなければいけない狭い海域を航行するときなどに本来のごく当り前にしていた業務が少しおろそかになるなどしてそれが事故につながるケースがないとはいえない。こういった事故があったとしたら、これはヒューマンエラーといえるのだろうか。海難審判ではあくまで直接の原因としてそうなる可能性が大きい。潜在的原因として船や航路・港湾の不備を指摘するのは操船環境として人間が入っているかぎり相当難しい。

こうした問題に対して、本研究で開発した自動航行システムが活用できるかどうかを次に検討した⁸⁾。適用したのは備讃瀬戸航路と水島航路の交差部であり、現状通りの航行環境を再現した。その結果の一例が図6である。この図の左側は24時間の航跡であり、各船はそれぞれ矢印の方向に航行するが、途中で他の船舶と危険な状態に

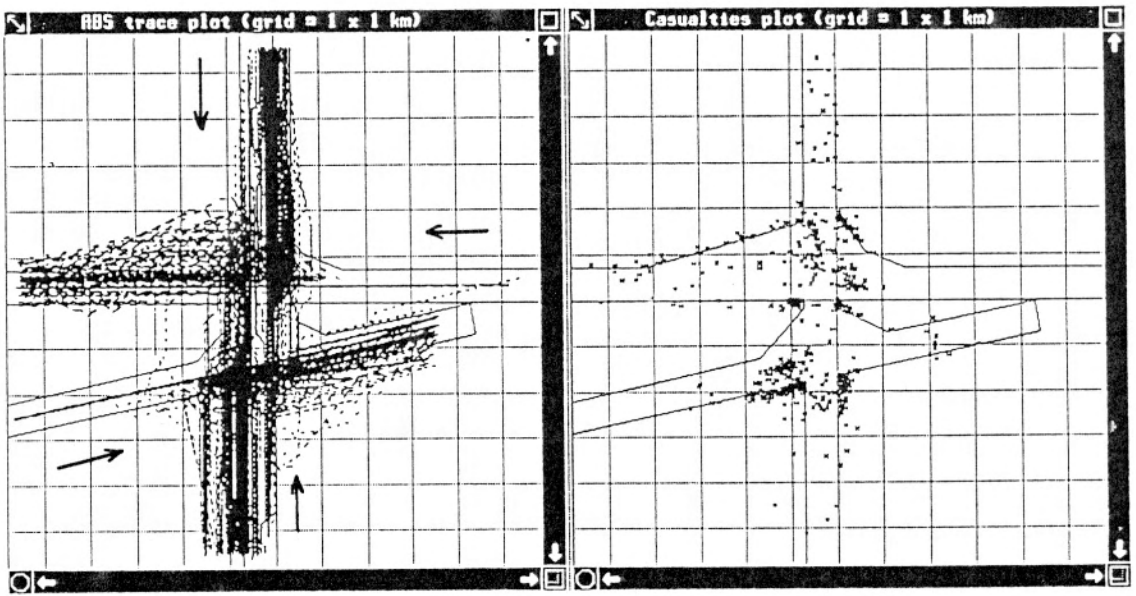


図6 備讃瀬戸航路交差部における潜在的な衝突の危険性

【自動航行シミュレーション（24時間）⁸⁾による推定例】

なると自動的に避航するようになっている。そして、図の右側にはその中でニアミス（非常に危険だと感じた状態）が起こった場所及び現存の航路境界線をはみ出して航行した地点がすべてマークしてある。この図を見るだけで現在のこの航路は相当に危険な状態であるといえる。実際には二重追越しはしないで速度調整をする、航路交差部の手前では追越しはしないなど本システムには組み込んでいないルールがあり、航路のはみ出し、ニアミスともにこれよりは少ないようである。しかし、この航路は、通り抜けるまでに3回は避航する、といわれており、その過密航路ぶりが納得できる。これで事故が起こらないほうがふしぎなくらいである。

6. おわりに

本研究では船舶の海難事故それも衝突事故にかぎって、ヒューマンエラーとの関連

性についての検討をいくつか試みた。その中でまずは機械としての人間の優れた性能をどのようにしてモデル化するかを自動航行システムへの応用を念頭にして研究した。そこには現在の計算技術、知識工学でもまだ達し得ない高度な判断機能などがあり、まだまだ、無人化船というわけにはいかない。しかし、このようにある程度操船者としての知識を持ったモデルができあがるとそれを船の運動シミュレーションプログラムに組み込むことにより思いがけず、操船環境としての航路全体の安全性評価を客観的に判断する、あるいは事故状況を再現することによりヒューマンエラーを抽出する、といった手法として活用できることがわかった。

海上交通は陸上や航空と違い、立体交差や専用道路、信号などの管制ができない、海上は物資や人の輸送路であるとともに漁場でもある、さらに、今後は海洋レジャーも欧米並みに盛んになることが予想されるが、遊び場でもある。道路と畑と遊園地が同じ場所にあって、そこにダンプカーとトラクターと三輪車が共存している、それが海上交通の持つ特殊性である。関西新空港、本四架橋などが完成すると、さらに道路の上に家や電信柱まで建つことになる。どのようにそれらを共存させるか、潮流の速い明石海峡でもし、明石大橋の橋脚に満載のタンカーが衝突し、炎上したら．．．。だれがその可能性を否定できるか。どのようにして安全を保障し、ヒューマンエラーを防ぐのか、我々のすべきことは山積している。

謝 辞

本研究は、財団法人セコム科学技術振興財団から研究助成金をいただき昭和61年度から2年（実施は昭和62年度から2年）にわたって行なわれたものであり、特定総合研究「ヒューマン・エラーに関する調査研究」の一部として実施された。

本研究に関連した発表論文

- 1) 長谷川和彦、上月明彦：Fuzzy 制御による自動避航システムに関する研究、関西造船協会誌、第205号、昭和62年6月、p.1-10.
- 2) 長谷川和彦、山下 庸：船舶の衝突予防援助装置の利用実態と問題点、第17回安全工学シンポジウム、東京、昭和62年7月、p.69-72.

- 3) K. Hasegawa : Automatic Collision Avoidance System for Ships using Fuzzy Control, 8th Ship Control Systems Symposium, Vol.2, The Hague, The Netherlands, Oct. 1987, p.2.34-58.
- 4) 長谷川和彦、上月明彦：船舶の自動避航システムとそのシミュレーション、第13回システムシンポジウム、沖縄、昭和62年11月、p.121-126.
- 5) 長谷川和彦：船舶の衝突回避システム、オートメーション、第33巻、第6号、昭和63年6月、p.42-49.
- 6) 長谷川和彦：船舶自動航行システム、ファジィコンピュータ/ファジィエキスパートシステム（廣田薫監修）、トリケップス、東京、昭和63年7月、p.135-159.
- 7) 長谷川和彦：船舶衝突回避システムへのファジィの応用、CAD&CIM、第2巻、第4号、昭和63年10月、p.49-53.
- 8) 長谷川和彦：航路と海上交通システムのための新しいシミュレーション手法 - SMARTS、日本航海学会平成元年度春季講演会にて発表、東京、平成元年5月.
- 9) K. Hasegawa : Fuzzy Modelling of the Behaviours and Decision-Making of Ship Navigators -- An Application to Ship Auto-navigation Fuzzy Expert System (SAFES) --, Third International Fuzzy Systems Association Congress, Seattle, USA, Aug. 1989.
- 10) 長谷川和彦、村松 徹：集団行動の知識処理とそのシミュレーション例、計測自動制御学会関西支部シンポジウム「知的システム構築の実戦と将来」にて発表予定、大阪、平成元年9月.
- 11) 長谷川和彦、上月明彦、村松 徹、小峰博文、渡部勇治：船舶自動航行ファジィエキスパートシステム (SAFES)、日本造船学会平成元年度秋季講演会にて発表予定、東京、平成元年11月.

本報告で引用した文献

- 12) K. Koyama, K. Kose and K. Hasegawa: A Study on the Instability Criterion of the Manual Steering of Ships, Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol.16, 1978, p.15-24.
- 13) 翁長一彦：避航操船における視認方法の信頼性について、日本航海学会論文集、第62号、昭和54年1月、p.89-96.