



研究ノート

船舶の衝突回避を科学する ～ 自動運航システムの応用 ～

長谷川 和彦*

Scientific Approach for Preventing Ship Collision
— An Application of Automatic Navigation System —

Key Words : Ship collision, automatic navigation, human recognition

1. はじめに

ときどき、テレビや新聞などで船舶の衝突のニュースが流れる。決まって、私の部屋の電話が鳴る。最近では時間もいわず携帯電話にいきなりかけてくることも多い。その多くは「原因は何と考えられるか?」というものである。言うまでもなく、ほとんどの事故において、原因には、ヒューマンエラーが絡んでいることが多い。当然、もっとも身近で事故に関与した乗組員のエラー、すなわち、判断ミス、思いこみ、伝達ミスなどが連続して複数起こったとき事故になる可能性が高いと考えられる。しかし、報道となると、軽はずみなことは言えないので、たいていの場合、当事者や学識経験者は「現在、情報を収集中であり、双方の過失、あるいは、機器の故障、さらには、何らかの不可抗力等の面から全力を挙げて原因を究明中である」などとお茶を濁すことになる。自衛隊が絡むと取材はよけいに執拗になる。最近では2008年2月19日に千葉県野島崎沖約40 kmで起きた自衛隊の最新鋭イージス艦「あたご」と漁船「清徳丸」の衝突事故が記憶に新しい。全長165 mの最新鋭護衛艦がその海域で漁をしていた漁船群の中に進入してきた。多くの漁船は逃げたが、「清徳丸」は気がつくのが遅かったか、あるいは、海上衝突予防法で規定された権利船¹であることから、相手が避けてくれるだろうとの推測のもと、そのま

ま移動しなかったため、両者は衝突し、漁船はふたつに分断、乗船していた親子2名が犠牲になった。自衛隊は実は1986年にも私の電話を鳴らしたことがある。東京湾で起こった潜水艦「なだしお」と遊漁船「第一富士丸」の衝突沈没事故である。こちらは、乗客39名、乗員9名のうち、30名が死亡し、17名が重軽傷を負った。

この「なだしお事件」の頃、ちょうど、世界ではAI（人工知能）研究が盛んで、さまざまな理論やソフトウェア（いわゆるエキスパートシステム）が開発され、また、さまざまな分野への応用が試みられていた。また、ファジィ理論や、ニューラルネットワークなどのいわゆるソフトコンピューティングの分野も理論面、実用面双方から研究が進められ、掃除機や洗濯機など、何でもファジィとつく主婦たちが商品選択の切り札にしたり、仙台市営地下鉄などでファジィ制御が実装され話題となった頃である。

著者が、この船舶の衝突という分野に関わるようになったのもこの頃である。まだ、助手の頃である。今回の投稿の依頼を受けてから、この頃からの自分の研究を振り返り、当時、いかに夢に燃えて研究を行っていたかを思い出した。そこで、20年以上にわたる研究の歩みをかいつまんで紹介し、若い研究者の皆さんに少しでも参考になればという気持ちで執筆することにした。



*Kazuhiko HASEGAWA

1951年9月生
大阪大学大学院工学研究科造船学専攻修了（1976年）
現在、大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 教授 博士（工学） 船舶操縦性、船舶自動制御
TEL : 06-6879-7588
FAX : 06-6879-7594
E-mail : hase@naoe.eng.osaka-u.ac.jp

¹ 海上衝突予防法では相手船を右手に見る船を義務船、その反対を権利船と称し、義務船は権利船の針路を妨げてはならず、避けなければならない。反対に権利船は、その針路と速度を変えてはならない。大洋中や船舶の数が比較的少ない海域ではこれにより、スムーズにお互い航行ができるが、東京湾や大阪湾などの過密海域で、3船以上がほぼ同時に危険な関係になると、この権利船と義務船の関係は三つどもえになり身動きが取れなくなる。実際には、船長や航海士、水先案内人（パイロット）の判断で、未然にそういう状況にならないように操船されている。

2. ちょっと脱線して海難事故の社会的影響

世界の海難でもっとも有名なのがタイタニック号の氷山衝突事故 (1912年4月) であろう。実は、船舶の世界でも、この事故は、船舶の安全基準のもととなる重要な法律制定のきっかけとなっていて、現在でも、その法律の改正が国際海事機関 (IMO) で行われている。近年、映画化され、多くの人が、その衝突から沈没、その後に至るまでを詳細に知ることになった。飛行機のハイジャックやビル火災で主人公が無事救出されるまでを描いた映画は理解できるが、船が衝突により浸水してから沈没するまでを映画にしたのはたぶんこれが最初であろう。船というのは横っ腹に穴が空いてからでもラブロマンスが書けるくらい長い時間をかけて沈没に至るように設計されている。その後の法律で種々の安全性向上が図られた。ちなみに、船舶用レーダーの搭載が義務づけられたのもこの事件がきっかけである。しかし、最近、バルト海においてスウェーデンとエストニアを往復するフェリーが、高波を受け、船首の車両進入用ランプウェイのドア・ロックの欠陥のため、車両デッキへ浸水、同様の転覆を起こし、852名が死亡 (負傷者・生存者 137名) する事故 (1994年9月) が生じている。フェリー故、途中に浸水隔壁 (浸水が浸水した区画に止まるための仕切) が設置できないことがタイタニック (死者 1517名、負傷者 706名) に次ぐ大惨事となった例がある。特に客船では衝突にしろ、座礁や何らかの原因による転覆などにしろ多くの死者を出す可能性があり、また、タンカーやLNG船などにおいては、爆発や重油の流出などによる社会的影響が危惧される。こうした状況から、筆者は、1980年代から研究の進んだAIやソフトコンピューティングの手法を使い、船舶の自動航行システムの研究を開始した。

3. 初の船舶の自動避航システムと道場破り

最初に手がけたのは、2船間の自動的避航 (相手船を避ける行動) システム (1987)¹⁾ である。これが意外と難しい。その理由は、避けるという動作の曖昧さである。安全上は早目にできるだけ大きく避けたい。しかし、避けるために自船は余分な距離と時間をかけることになるため、避けるのは最小にした。この相反する条件下で、現実には、船長などが判断している。混んだエレベータや電車では、相手

との距離が最大となるように人は自然に動く。行き先がクロスする混んだ地下街では、人と衝突しそうなき、自分の前方から来る人の直後を通るように避ける。自分のまわりに一種の閉塞領域を持っているという考え方もある。速度を持つ物体ではその閉塞領域は速度ベクトル方向に長い卵形と考えられる。個々の物体にこの閉塞領域を定義し、場のポテンシャルが最小になるように移動すると衝突のリスクが最小になるというのがこの分野の研究の先輩たちが行ってきた方法であった²⁾。

自船、相手船とも現在の速度と進行方向を維持するという前提のもと、いつ、どの距離で再接近するかは計算できる。そのふたつの変数をもとにして、衝突の危険度を時々刻々ファジィ推論することにした。その結果、相手船との見合い関係が様々であっても同一のファジィ制御ルールで避航できることがわかった。また、結果をもとに、メンバーシップ関数の調整を行った。このルールでは自船が権利船の時も避航を開始する危険度レベルを上げることにより、義務船である相手船が何らかの理由で避航しない場合にも対応できることや、変針動作にファジィ制御を使うことにより、航路が曲がっていて変針中などでも避航できることがわかった。

このシステムは、シアトルで開催された国際ファジィシステムシンポジウムでも発表し、ファジィ理論の創始者 Zadeh 先生を始め、内外の名だたる研究者の方と知り合えたのは大きな成果であり、その後も多くの著名な先生方のおつきあいや、種々の雑誌への寄稿などの依頼が舞い込んだ。最近は、そこまで元気がないが、当時はまだ助手になりたてで怖いもの知らず、次々と関連の学会に乗り込んで道場破りと称して、腕試しをしたものだ。その後、日本でもその時のメンバーを中心として、日本ファジィ学会 (現日本知能情報ファジィ学会) が設立された。若い研究者には、ぜひ、この道場破りをしていただきたい。

4. システムのエキスパートシステム化と計算機の発達

しかし、このシステムでは2船に対してだけ避航が可能である。それを複数船にも対応できるように、このシステムをエキスパートシステム化した (1989)³⁾。これがまた大変であった。それまで FORTRAN で

書かれていたプログラムを、根底から書き直さなければならない。まだ、B.W.カーニハン（石田晴久訳）の「プログラム言語C」⁴⁾がCの教科書として幅を効かせていた頃である。それ以上に、先の脚注で説明したように現行の法律では2船以上の見合い関係に対してはルールが記述されていない！もちろん、専門家（この場合、船長や航海士）に聞いても明示的なルールは出てこない。つまり、ルール作りが最大の難関であった。また、この頃、計算機の世界ではUNIXをOSとするワークステーションが年々MIPS（計算機の速度単位）を上げてきて、ハードの投資が必要だったし、エキスパートシステムも1千万円規模のものまで出てきて、研究室は火の車だったが、今思うと不思議なくらいお金が集まった。2千万円もの計算機でさえ寄付していただいた。やはり、旬の研究という側面がいろいろな助成応募に役立った。もし、この頃、大学の評価システムが機能していれば、相当評価が上がったはずである。余談ながら、操船シミュレータなどの応用分野においてCG（コンピュータ・グラフィックス）についてもいろいろな仕事をしていた当時は、このワークステーションのおかげで、PIXELという当時のCG分野を代表する雑誌にも寄稿を依頼されカラーページを飾らせて頂いたこともある。

5. 海上交通流のシミュレーション

複数船の自動航行ファジィエキスパートシステムはその頭文字を取ってSAFES（Ship Auto-navigation Fuzzy Expert System）とややこじつけの愛称をつけた。そして、模型船を使い、複数の船（ここでは3隻）の避航実験に世界で始めて成功した（図1）⁷⁾。もともとは、この実験のように、船舶の自動航行システムを目的にしていたが、工場内無人搬送車のように特定の地域で運用するのでない限り、実際の海域ではあくまで、船長に対してガイドラインとして示す補助システムでしかあり得ない。むしろ、港湾や航路設計、安全航行アセスメント、さらには海難事故解析など幅広い分野に適用することにした。それまでの安全航行アセスメントは、操船シミュレータ（たとえば図2）を用いて行われていた。これはいわば、フライトシミュレータのようなものであり、その建設コストは莫大である上に、特定の海域の一般的な航行アセスメントを行おうとすると多数の被

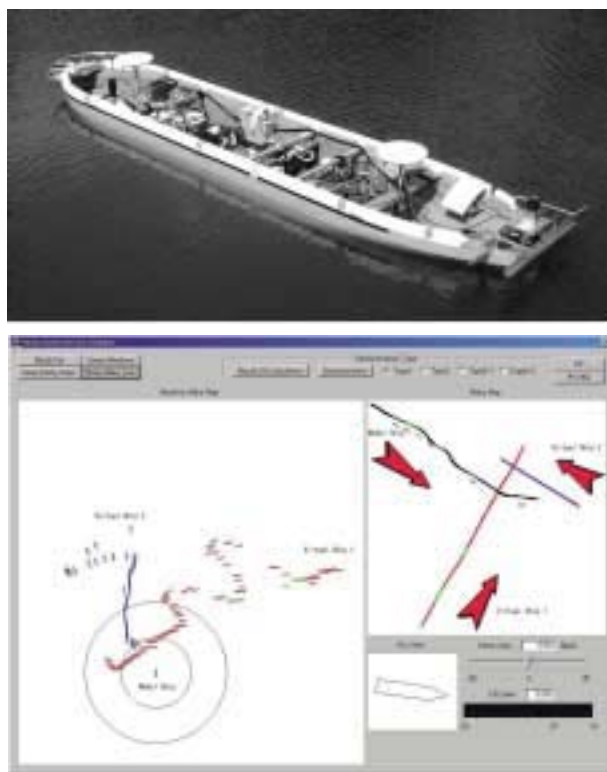


図1 模型船による世界初の自動避航実験⁷⁾
（上が用いた模型船、下が自動避航実験結果の一例で、左が自船から見た2隻の相手船の相対軌跡、右が絶対軌跡、自船は左上から右下へ向かう船）

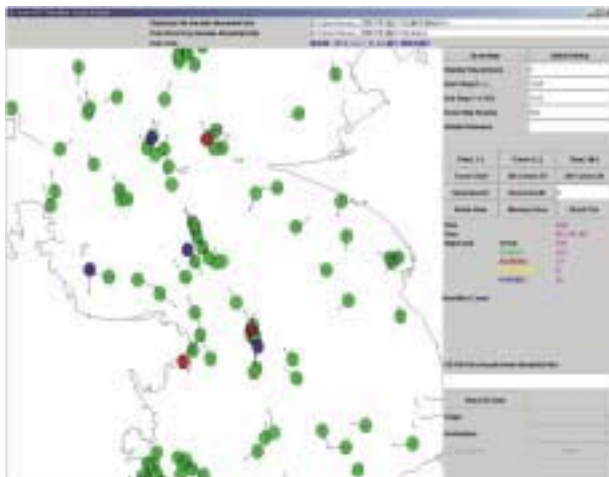


図2 操船シミュレータ
（CAORF、ニューヨーク、アメリカ、1975年）

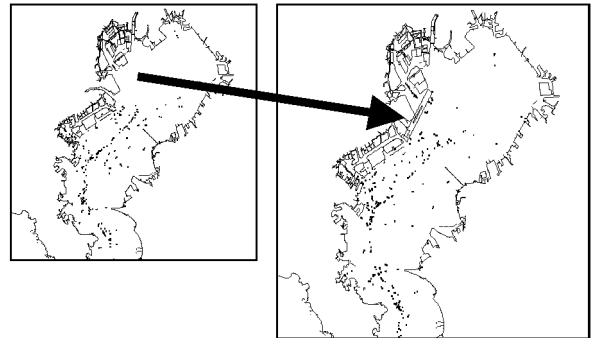
験者による結果が必要であり、膨大な経費がかかるわりには定性的結果しか出ないことが多い。一方、我々の開発したシステムでは、計算機的能力さえいとわなければ、船舶の数がいくつであろうと、想定する海域がいくら広くてもシミュレーションは可能である。それまで、この種の大規模なシミュレーションは大きな想定航路のモックアップを使って記録係の号令により一船一船、人間が手動で動かしていた（図3²⁾）。しかし、この複合シミュレーション（一種の手動マクロシミュレーション）と呼ばれた

図3 複合シミュレーション²⁾

シミュレーションでは、個々の船の避航などの細かい動きは模擬できず、まったく、将棋の駒のように決められた長さ（単位時間あたりに進む距離）だけ決められた方向に単位時間動かすという動作を繰り返していた。それに比べ、我々の開発した幅轅海域シミュレータ（図4、2001）^{5,6)}では、一船一船に人工の船長が乗り込み、まわりの状況を判断して舵やプロペラ回転数などの指示を行い、すべての海域に存在する船に指示を与えた段階で一斉に1単位時間進めるといえばマイクロシミュレーションであるし、個々の船に運動特性を与え、衝突危険度も時々刻々ファジィ推論しているの、どの海域で、あるいは、どういう船種に問題が起きているかなど、海上交通流の質的量的評価が単に衝突件数などの物理量だけでなく船長の心理的ストレスレベルまでも評価できる点が特長である。図4は東京湾で個々の船が相手船を避けながら航行している様子を一部拡大したものであり⁸⁾、図5はこのシミュレータを用

図4 幅轅海域シミュレータの結果例（東京湾）⁸⁾

いて、羽田沖滑走路拡張計画によって、船舶の航行にどのような影響が出るかを定性的かつ定量的に評価した一例である⁹⁾。

図5 羽田沖滑走路拡張計画への安全航行アセスメントへの適用例⁹⁾

6. 今後の展開

このプロジェクトの一部は国土交通省の「海のITS」プロジェクトの一部として実施されたほか、海上保安庁からの依頼を受け、自主研究が続いている。一番の問題はどうやって周辺の船の正確な情報を入手するかであって、これまでは、タイタニックの項で書いたレーダが唯一の手段であった。しかし、近年、飛行機にならい、船舶でも自動識別装置（AIS: Automatic Identification System）がある一定のトン数以上の船舶でその搭載が義務づけられるようになった。自動的にデジタルで周辺海域の航行船舶の位置や行き先情報などが入手できるようになった。我々は、AISシミュレータも開発し¹⁰⁾、幅轅海域シミュレータと組み合わせたシステムの開発や各種の評価も行っている¹¹⁾。また、これまで、航空機、列車、船舶と別々の事故調査委員会や海難審判が行われていたのを改め、来年度から統一された「運輸安全委員会」が新設されることになった。海上の安全に最新の情報通信技術を用いたり、海難事故に科学的手法を使う時代の到来である。また、筆者にとって追い風である。

参考文献

- 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、1987/6.
- 2) たとえば、藤井弥平：交通システム工学 海

- 文堂、1981 初版。
- 3) 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)、日本造船学会論文集、第 166 号、1989/6.
 - 4) B.W. カーニハン、D.M. リッチー (石田晴久訳)：プログラム言語 C UNIX 流プログラム書法と作法、共立出版、1981 初版.
 - 5) 長谷川和彦、立川功二：輻輳海域シミュレータと海の ITS、計測自動制御学会関西支部シンポジウム講演論文集、2001/10.
 - 6) 長谷川和彦、佐伯敏郎：海の ITS — 輻輳海域交通流シミュレーター、日本機械学会関西支部講演会講演論文集、2002/3.
 - 7) Hasegawa, K. : First model experiment of intelligent ship, *Press Release*,
http://www.naoe.eng.osaka-u.ac.jp/~hase/research/Marine_ITS/pressrelease020119.html, 2002/1.
 - 8) Hasegawa, K. : Some recent developments of next generation's marine traffic systems, *Proc. of IFAC Conference on Computer Applications in Marine Systems (CAMS'04)*, 2004/7.
 - 9) Hasegawa, K., K. Niwa, S. Mori, H. Fukuda, M. Shioji and K. Hata 2004c. Simulation-based master plan design and its safety assessment for congested waterways management, *Proc. of International Maritime Conference on Design for Safety*, 2004/10.
 - 10) 畑 耕治郎、長谷川和彦、丹羽量久：AIS シミュレーター、日本船舶海洋工学会論文集、第 6 号、2007/12.
 - 11) 畑 耕治郎、福戸淳司、長谷川和彦、丹羽量久：AIS シミュレーターを用いた AIS 通信の評価 — Class B AIS 搭載設置条件の影響 — 日本航海学会論文集、第 117 号、2007/9.

