

連載解説



最近のシミュレータ開発

2. 船舶航行の安全評価シミュレータ[†]金 湖 富 士 夫^{††}

1. はじめに

最近、船舶の分野でも高信頼度知能化船、大型高速貨物船 (TSL: Techno Super Liner) などの、先端技術を応用した船舶の研究開発が実施され、中テクと言われている造船業もハイテクの仲間入りをしようとしている。しかしながら、そのようなこれまでの枠を超えた新しい概念の船舶が従来型の船舶で輻輳している海域で航行する場合には、大きな混乱が生じその海域での安全が脅かされるであろうことは想像に難くない。そのような船舶が実海域で航行可能になるためには航行の安全性を十分評価することが必要である。

しかし、それらの船舶を始めから輻輳している実海域で試験することは危険がとれない不可能であるため、まずはシミュレータを用いての評価を行うことになる。

運輸省船舶技術研究所では、新しい概念の船舶および運航技術の航行の安全評価のためのシミュレータ (以下、SISANAM と呼ぶ) を開発し、評価を実施している。

本稿では、最近の船舶および運航技術の動向と SISANAM の概要を紹介し、SISANAM を用いて評価した例を示す。

2. 船舶および運航技術の最近の動向

世界的に、運送経費削減のため乗組員の少人数化がさらに進行する傾向にある。日本では 1960 年代には大型船で乗組員 55 名前後であったが、1990 年代に入って 11 名程度で運航している船舶も出現している。デンマークでは 6 人乗りの船舶さえ現われている。これを可能とするためにエン

ジンの信頼性向上、操船支援機器の高度化などがなされてきた。最近では、IBS (Integrated Bridge System: 統合ブリッジ) というブリッジシステムがヨーロッパの船舶から普及しはじめている¹⁾。IBS は、船舶航行に使用される種々の計器類を少数の画面に集約して表示させ、乗組員が場所を移動しなくても必要なすべての情報が得られるようにしたものである。日本では最近特に船員不足が懸念されるようになり、日本国内で航行する船舶 (内航船と言う) では物理的に少人数航行にならざるを得なくなっている。そのため、IBS は日本では特に内航船での使用が検討されている。また、エクソンバルディーズ号の原油流出事故などのため船舶の航行の安全に対する世界的な意識の高まりが生じており、航行の安全確保のためにも IBS の必要性が高まっている。

また日本では究極の少人数航行が可能な船舶を作ろうとの国家的プロジェクトが昭和 58 年から 63 年にかけて実施され、高信頼度知能化船プロジェクトと呼ばれた²⁾。目標は無人航行を可能とする運航システムを作ることである。それまではエンジンなどのアクチュエータの自動化が自動化の主なものであったが、無人を指向するため、熟練者の判断まで機械に置き換えようというものである。現実には、技術的に無人航行が可能となっても法律などの問題があり、しばらくは無人航行船の出現はあり得ないが、このプロジェクトで開発された機器のあるものはすでに製品化されている。

また、年を追うごとに日本国内では扱う貨物の量が増え、モータリゼーションの進展とも相俟ってトラックでの貨物の運送に限界が見えつつある。そのため、貨物の輸送手段をトラックから他の輸送機関へシフトする、いわゆる「モーダルシフト」が国の重要施策の 1 つとなっている。輸送能力の点で鉄道よりも船舶の方が大きいですが、スピ

[†] Safety Evaluation Simulator of Ship Navigation by Fujio KANEKO (Ship Research Institute Ministry of Transport, Ship Equipment and Marine Environment Division).

^{††} 運輸省船舶技術研究所・装備部

ードは鉄道の方が速い。しかし、鉄道は輸送量を増加させるためにはレールなどのインフラストラクチャの整備のための膨大な費用がかかるため、船舶を高速化した方が得策と考えられる。この考え方に立って、平成元年度から大量の貨物（1000トン）を高速（50ノット：時速約90km）で運ぶ大型高速貨物船（TSL）の研究開発が行われた³⁾。その実験船が1994年に完成し、船舶の少ない外洋で実験が実施された。

3. 船舶航行の安全評価用シミュレータ

SISANAM は、当初は知能化船の安全評価のためのシミュレーションシステムとして開発された。そのため、Simulation System for Automatic Navigation and Vessel Traffic Management と名付けられた。

知能化船の運航システムの開発にあたっては、衝突回避、離着岸などの航行の作業ごとに自動化してそれぞれをサブシステムにし、それらのサブシステムが通信しながら動作するという、分散型システムが指向された。

その当時はようやくエンジニアリングワークステーションが出始めたばかりであり、分散型の計算機システムはまだ試行段階にあった。そうした状況の中で知能化船プロジェクトでは、航行における種々の機能を果たすサブシステムをそれぞれ1つの計算機で実現し、それらをネットワークで互いに接続し協調してリアルタイムで動作させることを目標としており、このことは当時としては画期的な計算機システムの実験でもあった。また、それらのサブシステムはSISANAMによる評価の際にはシミュレータ本体の計算機と接続されて動作した（図-1）。

また、知能化船はその開発目的より、人間が現在果たしている機能をすべて機械で置き換えることを目指すことになるため、知能化船の評価の際には、航行において生じ得るすべての状況を模擬する必要がある、SISANAMには現実の自然環境および交通環境を計算機内で設定できることが要求された。別のことばで言えば、実世界を十分に精度でモデル化しプログラム化することが必要であった。

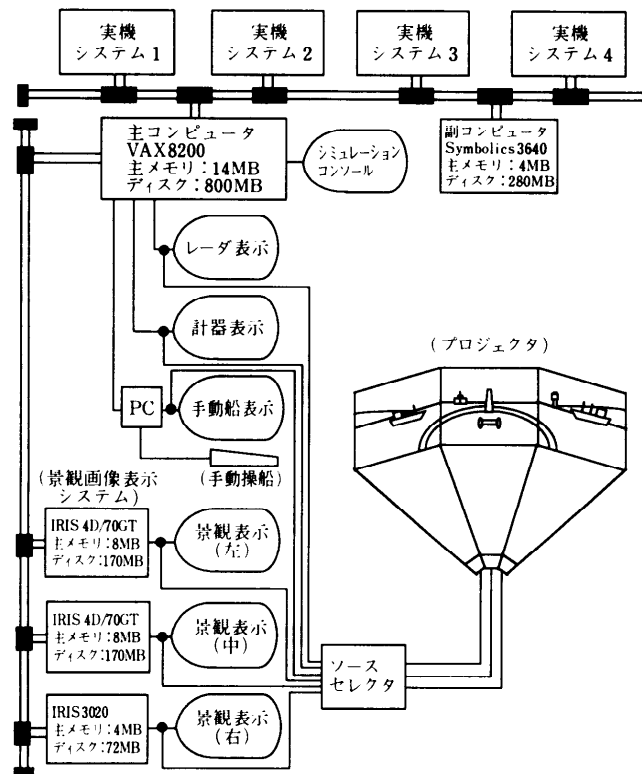


図-1 SISANAM ハードウェア構成

航行の実世界には、船舶、航行支援機器、潮流等の要素がある。それらの要素間には、たとえば、ある航行支援機器はある船舶に付属するなどの関係がある。また、要素にはそれぞれの状態量（観測装置には観測値、位置推定装置には推定値、船舶には真の値（位置、速度）、制御装置には指令値など）、さらにそれぞれの状態量の時間的変化をもたらす原理、方針などが存在する。したがって、シミュレーションにおいて実世界を構成するそれらの要素をモデル化する場合、そうした実世界と同様の構造を実現することは有効である。したがって、それらの要素のモデル化においては、それぞれの要素に状態量およびそれらの更新を支配する関数（船舶には操縦運動モデル、観測装置には観測モデルなど）を付属させることにした。この考え方はオブジェクト指向の考え方と似ている。また、シミュレータ内の実世界に対応する世界を対応世界（図-2では1）で示されている）と呼んでいる。

また、シミュレーションにおいては、実世界に対応する要素をモデル化したものと、それらの生成、削除、また、状態量更新の時間サイクルの管理、データの記録などの処理、すなわち対応世界を制御する処理が必要である。SISANAMでは、このような処理を行う計算機プログラムを、実世界を模擬した要素のモデルと明確に区別し、別世界（管理世界と呼ぶ、図-2では2）で示されている）を構成するものとしている。さらに、シミュレーションはシナリオ（評価対象船舶に与える問

題設定）に基づいて行われるが、シナリオは管理世界を制御するものであり、SISANAMではシナリオに基づき管理世界を生成、制御する世界（シミュレーション生成世界と呼ぶ、図-2では3）で示されている）を構成するシミュレーションジェネレータを頂上プロセスとしてシミュレーションを実施している。これらの考え方を徹底するため、SISANAMでは異なる処理を行うプログラムを独立したプロセスとして実現しており、マルチプロセスシステムとなっている^{4),5)}。

その後平成元年度よりTSLの開発が開始され、それにともなう、大型高速船の運航の安全評価を可能とするためにSISANAMの改良を行った。知能化船の評価のためには人間が操船する必要がなかったため景観画像は状況のモニタに過ぎなかったが、高速船の評価の際には人間が操船することになるため、図1の景観画像表示システムをリアルタイム（秒30枚程度）で描画することの可能な景観画像表示システムで置き換えた⁶⁾。そのハードウェアは、BALL社の944システムである。

4. 航行の安全評価事例

4.1 高信頼度知能化船^{2),5)}

知能化船の自動航行システムの中で出入港自動化システムに属する4つのサブシステム（自己誘導システム、港内航行誘導支援システム、自動錨泊システム、自動離着岸システム）および陸上システムを模擬した計算機がシミュレータ本体と接

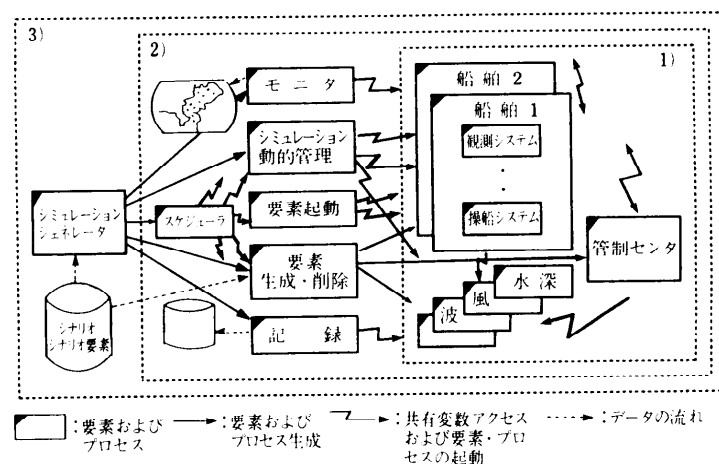


図-2 SISANAM ソフトウェア構成

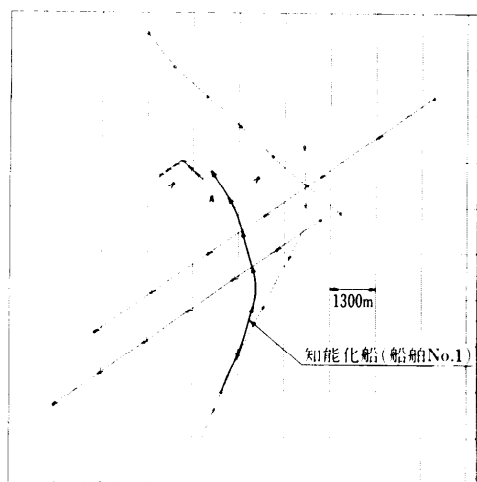


図-3 知能化船シミュレータ実験結果

続されてシミュレーションが実施された。結果を図-3に示す。また、図-1では、それらのサブシステムは実機システムと表示されている。

図-3より、東京湾の中の瀬航路を出て左に曲がり、川崎港扇島の栈橋へ向かう航行を想定したシミュレーションにおいて、進路を横切る2隻の他船を避航して停泊船の間をうまく通過している。なお、図-3には地形は描き込んでいない。

この結果より、出入港自動化システムは自分の航行計画を考慮した衝突判定を行い、自船の操縦特性を考慮した避航航路を作成してそのとおりに航行することが可能であることが示された。

シミュレーションはその後引き続き行われ、自動離着岸システムに船舶の制御権を委譲して、岸壁の手前にいる停泊船を避けつつ、所定の岸壁までタグボートを自動制御して着岸させることもうまく行くことが確認された。

その他にも、自動錨泊システムが錨を引きずりながら走錨船を避けて船舶を移動させる（ドレッシング）などのシミュレーション、また、東京湾浦賀航路入港以前に、陸上との交信を行い、その後浦賀航路に入り、扇島岸壁に着岸するまでの一連のシミュレーションも実施しており、知能化船は所定の性能を発揮することが確認された。

このような実験の様子を100インチスクリーン3面に写しだした景観画像などにより航行の専門家が観察し、知能化船の航行方法に対する評価を行い、開発側がそれらのコメントに従い改良を行った。

4.2 大型高速貨物船^{7)~9)}

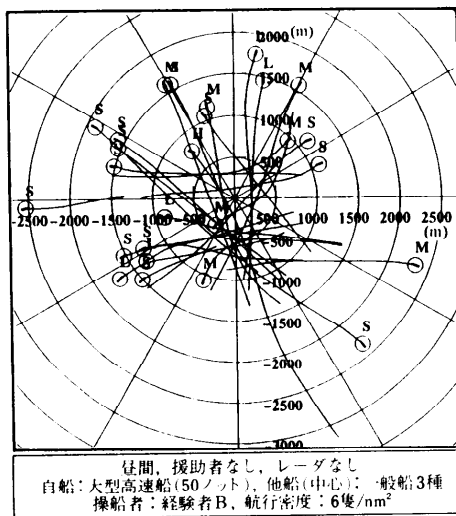
平成元年度よりTSLの開発が実施され、それと並行して、HSCコード（高速船の国際基準）の作成がIMO（国際海事機関）で実施された。これらに対応すべく（社）日本造船研究協会では高速船の国際基準に関する研究のための委員会が組織され、高速船の運航の評価のためにSISANAMを用いることになった。

大型の高速船が輻輳海域で航行する場合、他船に与える心理的な恐怖感是非常に大きいであろうことは想像に難くない。したがって、ただ衝突の確率が低いというだけでは輻輳海域での航行は受容されず、それが可能となるためには他船の操船者に脅威を与えずに航行することが必要とされる。衝突回避の際には高速船が避航動作を行わなければ衝突回避は困難であるため、どのような遭遇場面においても高速船が避航動作を起こすことが要求されると考えられるが、問題は高速船が避航動作を開始するタイミングである。あまりに近くで避航を開始すれば相手船に大きな脅威を与えるため、ある程度離れているうちにに行わなければならない。高速船は短時間で多くの他船と遭遇するので、相手船に脅威を与えずに早めに避航を開始するためには高速船の操船者にかかりの情報処理能力が要求される。その能力を高めるために、種々の運航支援が考えられ、それらを用いた運航技術を開発しなければならない。

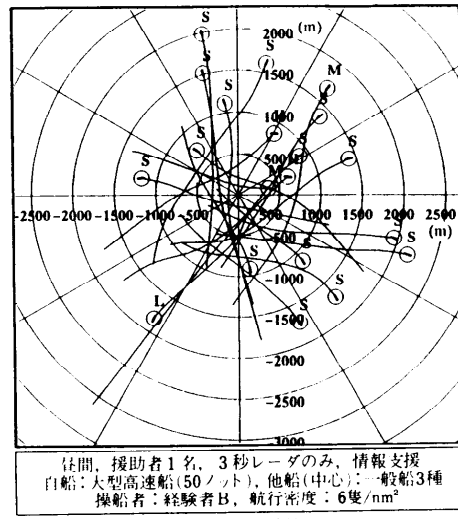
そこで、SISANAMを用いて、まず、避航される相手船の操船者が耐え切れない脅威を与えずに避航を開始できる2船間の距離の最小値（避航開始限界距離と呼ぶ）を求め、その後、その距離を遵守して避航できる最大の船舶航行密度（限界航行密度と呼ぶ）を求めて、その密度の交通環境を何種類か作成し、その中をレーダなどの航行支援機器、操船援助者の支援方法などの組合せより構成される数種類の運航体制のもとでシミュレータ実験を行い、輻輳海域での航行の際に最も有効と思われる運航体制を選択した。

ここでは、大型高速船の昼間の航行を想定して実施した運航体制の評価の例を示す。

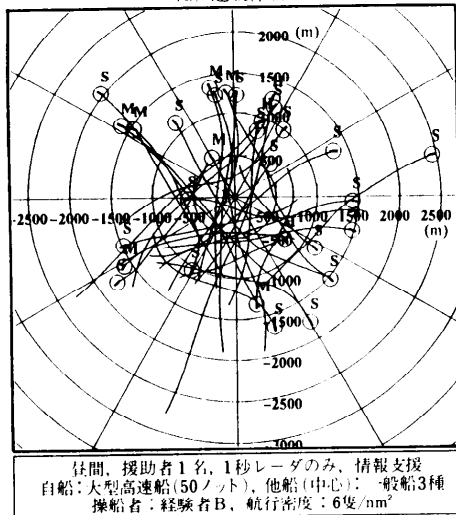
図-4に避航開始時点における避航された他船を中心とした自船（大型高速船）の相対位置を運航体制ごとにまとめて示す。運航体制は、A、B、C、D、Eの順で高度なものになる。図-4の各図に



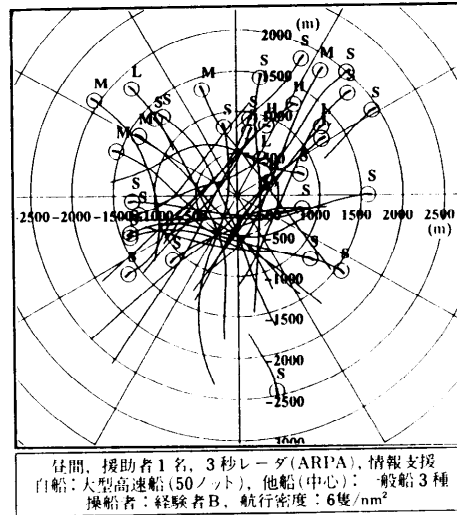
(a) 運航体制A



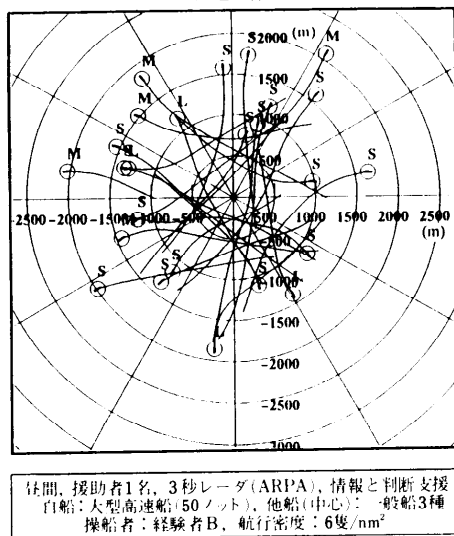
(b) 運航体制B



(c) 運航体制C



(d) 運航体制D



(e) 運航体制E

S：小型船避航地点

M：中型船避航地点

L：大型船避航地点

H：高速船避航地点

図-4 大型高速船シミュレータ実験結果

において、中心は避航された他船であり、鉛直上方は避航された時点における他船の進行方向である。また、避航開始地点（丸印）にSとあるのは小型船を、Mとあるのは中型船を、Lとあるのは大型船を、Hとあるのは高速船を避航したことを意味する。避航開始地点から伸びている線は、避航開始後、避航された他船から見た自船の航跡である。

これらの実験結果を分散分析で解析した結果、および、実験ごとに実施した操船者の主観的評価をくみ上げるアンケートの結果を数量化理論III類で分析した結果を用いて運航体制の有効性を評価した。

これらの解析の結果、輻輳海域における支援手段として有効なものは、ARPA*と操船援助者が周囲の船舶の動向についての情報収集の援助をするだけでなく、どのように航行すべきかの判断をも援助する援助方法であることが判明した。

5. おわりに

進展する社会情勢より、今後さらなる自動化および少人数化、高速船の大型化などのこれまでの船舶および運航形態から外れたものが出てくる可能性がある。

SISANAMは人間の要素だけでなく、機械の評価をも行うことのできる多目的なシミュレータであり、今後出現するであろう種々の運航形態を持つ船舶の航行の安全評価に威力を発揮すると期待される。

* ARPA (Automatic Radar Plotting Aids) : レーダプロットングを自動化した装置であり、レーダによる目標位置の時間変化から目標の相対運動や真運動を解析したり、自船の行動変化が目標の相対運動に与える影響を調べることを目的したもの。

参 考 文 献

- 1) 小林：統合化ブリッジの実用化、日本造船学会誌 (TECHNO MARINE), Vol.769, No.7 (1993).
- 2) 日本造船研究協会：高度自動運航システムの研究開発総合報告書 (1989).
- 3) TSL 技術研究組合他：特集「テクノスーパーライナー」、日本造船学会誌 (TECHNO MARINE), Vol.785, No.11 (1994).
- 4) 金湖、沼野：船舶航行自動化システムの開発および評価に有効なシミュレーションシステム、シミュレーション, Vol.9, No.1, pp.54-64 (1990).
- 5) 船舶技術研究所：出入港自動化システムの評価技術特別講演会講演集 (1989).
- 6) 田中ほか：船舶航行システムの安全評価用シミュレーター—リアリティのある景観情報、日本航海学会論文集, Vol.88, pp.129-136 (1993).
- 7) 日本造船研究協会：高速船の国際基準に関する研究報告書 (1993).
- 8) 金湖ほか：輻輳海域における大型高速船の運航体制評価手法について、日本造船学会論文集, Vol.174, pp.875-886 (1993).
- 9) 金湖ほか：シミュレータ実験による大型高速船の運航体制評価（その1：昼間の航行）、日本造船学会論文集, Vol.174, pp.893-902 (1993).

(平成8年1月17日受付)



金湖富士夫

1955年生。1978年東京大学工学部船舶工学科卒業。1980年同大学院工学系研究科修士課程修了。同年運輸省船舶技術研究所に入所。現在同研究所装備部に勤務。高信頼度知能化船および高速船の運航の安全評価、操船シミュレータ、船舶の確率論的安全評価などの研究に従事。日本造船学会、日本航海学会、日本シミュレーション学会各会員。