船舶運航のシステム化（その1）

人・船・環境の強調を目指して

富山商船高等専門学校　助教授　遠藤（えんどう）　真（まこと）
大阪大学　教　授　長谷川（はせがわ）　和彦（かずひこ）

遠藤　真氏

長谷川和彦氏

はじめに

日本海におけるナホトカ号の折損および大量の油流出事故、その半年後の東京湾におけるダイヤモンドグレースの座礁および油流出事故はまだ記憶に新しい。

ナホトカ号事故は高齢船舶の構造の弱さ、油流出事故の社会的影響の大きさと保険でカバーしきれない船舶の事故処理実態を示した。

ダイヤモンドグレースの事故は大都市東京の目の前で発生した油流出事故であり、マスコミにも大きく取り上げられたが、流出量も少なく、直ぐに社会的には沈静化した。一般社会の取り扱いとは別に、世界最大の船会社の保有船舶に熟練パイロットが乗船していて発生した座礁事故であったことが、海運関係者には大きなショックを与えた。

ナホトカ号事故は油流出事故を起こしてはならないことを、ダイヤモンドグレースの事故は、熟練パイロットが乗船しても、熟練船長を含む三人の船舶側当直者が同じ船橋にいても、海難事故は簡単に発生することを示した。

ダイヤモンドグレースの事故原因は単純な操船者の誤り（ヒューマンエラー）として処理され、船会社は再発防止に向けて委員会を設置し、パイロット乗船時を含むブリッジ・リソース・マネージメント訓練とISM（International Safety Management Code）の徹底を決定し、実施していると聞く。

船舶運航システムは船舶を操縦する運航者、操縦対象である船舶とその船舶が航行する航行環境の三種類の要素から構成されている。

海上における船舶運航上の事故は、これら三種類の要素のどれか、または、複数に発生したトラブルが原因となって生じるのである。

船舶の運航制御のみならず、航行環境および船舶の安全性の査定をも、運航者が行っている現状から、航行安全の責任のすべてが運航者に担わされているのが現状である。

すなわち、海上船舶事故のほとんどすべてが何らかの形で運航者の誤り（ヒューマンエラー）に起因しているとして、操船者ならびに船長がその過失責任を問われる形で行政処分が実施される場合が多い。

一方、大多数の船舶は事故を起こさず航行しており、その船舶の安全性を確保しているのも運航者の機能（ヒューマンファクター）であることも忘れてはならない事実である。

船舶運航システムは人（操船者）・船・環境（自然および交通）からなるにもかかわらず、人（操船者）のみに航行安全上の責任のみならず、作業までが担わされ、さらにそれが質的、量的に高度化

しつつある。

船舶運航の安全性を確保するには人・船・環境の三要素が個々におよび総合的に適正な機能を発揮することが不可欠であり、現状では、人に負荷が集中し過ぎており船・環境から人への支援、協力の必要性を強く感ずる。

このような考えとヒューマンエラー防止の視点から、工学技術の発展に伴って、船舶運航に関連する自動化、システム化が進められている。

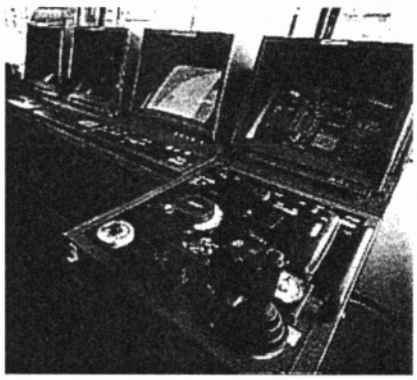
図1は、現在までに実施された船舶運航にかかわる自動化、システム化等について、人・船・環境の要素別に年代を追って示したものである。

図から明らかであるが船自体のシステム化だけが極端に進められており、最終的なシステムとしてのIBS（統合船橋）が提示されている。このシステム化進展の端緒となったのが近代化船プロジェクトであり、船舶運航要員の減少という経済的メリットを目標として進められたことが分かる。この近代化船の経済的メリットの消滅により、プロジェクトそのものが、現在中止されている。

環境におけるシステム化は、海上交通安全法の施行による一部輻輳海域の整流とVTSの設置のみが現状である。

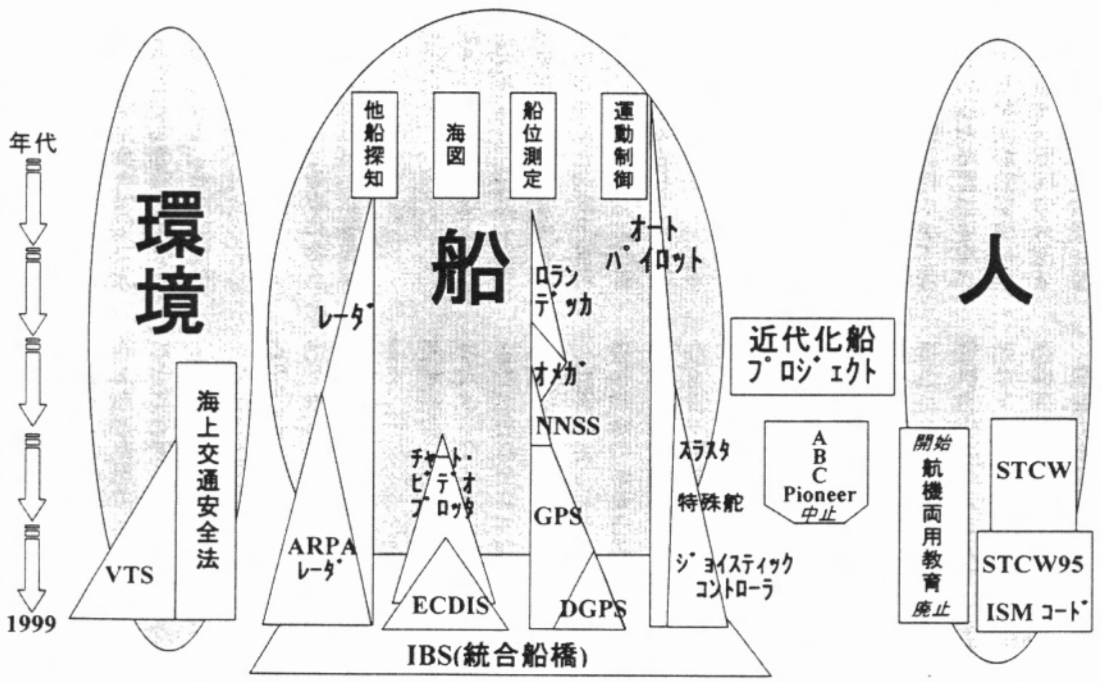
人についてのシステム化は、国際条約としての適用と近代化船プロジェクトに対応した航機両用教育の実施が行われたが、近代化船の経済的競争力の消滅に伴い航機両用教育も廃止された。現在は、STCW95とISMコードが実施されている。

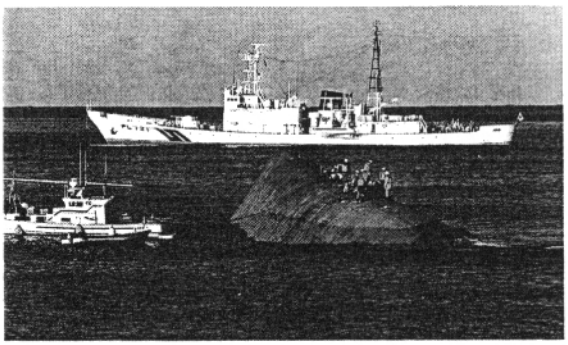
バランスよく進められるべき船舶運航のシステム化において、船のみに集中したシステム化が大きな政策的支援を得て進められ、船



IBSの例＝㈱トキメック提供

図1　船舶運航におけるシステム化の変遷





記憶に新しいナホトカ号船首部分の漂着

員教育システムまで変更させた近代化船プロジェクトは崩壊し、進むべき方向を見失っている状況にも思える。

このような状況であるが、船舶運航における安全性と効率の向上への社会的要求は質、量ともに増大し、それに対応せざるを得ないのも事実である。この困難な課題への現実的な回答は、やはり「船舶運航のシステム化」以外にないようにも思える。

本論では、この「船舶運航のシステム化」の背景と現状を整理し、安全性と効率の向上を目指した将来への展望を示唆する。

船舶運航のシステム化の背景

石油ショック以来の急激なコスト競争は、コストの安い急造船舶運航要員のみならず、劣悪な船舶（サブスタンダード船）の運航をも進ませ、近年の海難事故の増加を生み出した。幾つかのタンカー事故等は重大な環境破壊を発生し世界的な社会問題ともなった。低技能船員とサブスタンダード船の増加、これらによる環境破壊を伴う海難事故の増加への早急な対応、対策が国際的に求められた。

前記課題への対策として、ＩＳＯ９０００、ＩＳＯ１４００等に代表される品質管理と環境保護への姿勢が海上輸送サービスにも適用され、船員の技能確保を目的とするＳＴＣＷ条約、船舶安全管理上のガイドラインであるＩＳＭコード、サブスタンダード船の海運市場からの排除を求めるＰＳＣ（Port State Control）等が実施された。

しかし、これらは海上輸送サービスにおける環境保全と安全確保への最低限の保証に過ぎず、海運界にはさらなる安全性の確保と経済機競争力の基となる効率的な運航が求められている。その実現には次の課題の克服が不可欠となっている。

①船舶自体の安全性と効率の向上
②船舶運航全体の安全性と効率の向上
③船員教育の改善

内航規制という保護環境下に置かれていた内航海運においても、同様に課題を抱えている。規制緩和による競争の激化と運航・管理コストの低減であり、さらに④若年船員の極端な不足という深刻な問題も加わっている。

ここに挙げた内航海運が抱える四項目の課題は簡単に解決できるものでもなく、一部は政策的な対応を必要とするものにも思えるが、海運界、また、船舶運航関連分野における解決へ向けた動きが不可欠である。これらの課題に対する一つのの解決策が「船舶運航のシステム化」であり、現代の海運業に求められている合理化の流れと技術レベルから、最も現実的、かつ効果的な対応と考えられる。

「船舶運航のシステム化」の具体的な内容と課題との対応を整理して次に記す。

①船舶自体の安全性と効率の向上

ＤＧＰＳ、ＥＣＤＩＳ、Joy-Stick Controller、これらを統合化したＩＢＳ等で代表される新しい操船機器の導入および支援等による「船舶自体のシステム化」は、船舶操船上の安全性と効率の向上に大きく寄与すると考えられる。

②船舶運航全体の安全性と効率の向上

到着予定と目的地が指示され出港した後の船舶運航業務のほとんどが船舶に任されているが、現代の通信、監視技術は、港内から大洋までの陸上からの支援・指示を可能にするまでに至っている。輸送サービスの定時性確保等の効率的な経済安全運航を進めるには、ＶＴＳ、Remote Pilotage等の陸上からの支援を強化した「船舶運航全体のシステム化」が不可欠と考えられる。

③船員教育の改善

船舶自体および船舶運航全体の

システム化が進めば、操船者に必要とされる船舶運航上の機能は作業能力から管理能力に移行することになる。船員技術および技能の標準化とシステム化対応などを含む船員教育の再体系化が必要であり、船舶運航の安全と効率の向上を支える「人材育成のシステム化」が不可欠となっている。

④若年船員の極端な不足

過度な経済競争が若年船員の極端な不足を生じ、船員になって十年経ずに船長となる事態が内航海運では起きようとしている。従来の十分な乗船経験・OJTによる操船技術の継承（伝承）ができなくなっているのである。

船舶自体および陸上支援等の船舶運航全体のシステム化等により経験の浅い若年船員でも安全な運航を確保し得る技術・環境上の条件を整備しなくては、若年船員の減少をとどめることはできないと考える。

日本も含む先進諸国船員のみによる船舶運航を期待することは、進んだ時計の針を元に戻すにも似たものである。国際的な市場にさらされている外航海運、規制緩和の中で新たな競争原理が導入された内航海運において「船舶運航のシステム化」は現実的な対応であり、唯一の策かもしれないと考えるのが妥当であろう。

船舶運航におけるシステム化の試み

近年多発している環境破壊にも繋がる大きな海難事故の多くが操船上のヒューマンエラーを起因として発生していること、船員の技量低下および若年船員の不足等と相まって、船舶運航における操船作業の自動化・システム化が緊急課題として進められている。現在試みられている船舶運航上のシステム化について、船、環境と人の三要素の視点から整理してみる。

(1)船舶の知能化

船舶自体をシステム化することで運航の安全性と効率を向上することが試みられている。代表的なものとして操船システムの統合化（統合船橋＝Integrated Bridge/Navigation System＝IBS/INS）がある。

船舶運航に不可欠な船橋で実施されている操船作業において、船舶をシステム化することで人間と機械（船舶）との適切な役割分担および人間への適切な支援を実現し、人間を含め操船能力の向上およびヒューマンエラーの発生を防止することを試みるものである。

具体的には、操縦関連情報の収集、加工、表示、操縦指令の実行等を集約、統合化するシステムである。ヨーロッパで初めて開発され日本でも実用化され始めている。

統合操船システムと人間の役割分担は、概略次のように考えられ、操船者が直接的な情報収集や制御系の作業から離れ、管理的な作業に移行するものとなっている。

●統合操船システム＝情報の収集・加工、操作命令の実行

●人間＝状況認識、行動判断、操作指示

日本で実施された統合操船システム・プロジェクトの一つである内航船近代化において、統合操船システム開発の具体的な目標として設定された項目は次の三項目である。

①基本的には、港内、輻輳海域を含めてブリッジ内の操船のワンマン化に対応可能な使用を目指すが必要に応じてツーマンにも対応可能とする。

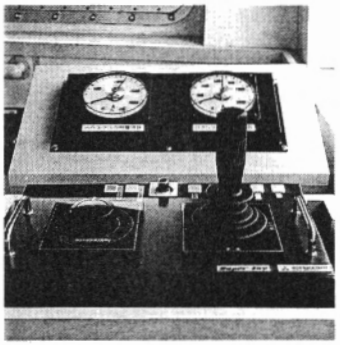
②支援システムと人間の相補的分担により、永年の経験が必要な操船者の熟練に過度に依存しないで操船可能で、従来以上の安全が確保さえる。新しいシステムの理解と習熟については適切な訓練などの機会を配慮する。

③アクチュエータとその制御方式を工夫し、荒天時の耐航性、港内での操船性を改善して、定時性等の向上を図る。

このプロジェクトでは、満足する実証結果が得られたと報告されている。

ここに紹介した統合操船システムのような船舶の知能化は人と機械（船舶）とのかかわり合いを適切にすることを目指し、ヒューマンエラーを防止することで安全を向上しようとするものである。

DGPS・電子海図・レーダーの重畳表示、大洋・沿岸航行時の自動船位誘導による計画航路航行や離着桟時のジョイスティックコントローラ操船等は効率と安全の向上への効果が期待できる有用な



おがさわら丸のジョイスティック

試みである。

しかし、次記する幾つかの点については、さらに検討する必要があるように思える。

①航海する場である環境と人、または船（機械）とのかかわり合い

②現状の一般的な操船技術、操船規範との整合性

③操船者に要求するシステムへの適応と習熟

現状の船舶の知能化は、計算機に代表される現有する工学的要素技術を船舶に展開・実証することに重点が置かれ過ぎているように思える。操船者の操船技術はどのようなものなのか、操船者が何を求めているのか等の操船者と共生を起点とした操船者に分かりやすい「船舶自体のシステム化」へのアプローチを求めるものである。

(2)海上交通管制

船舶運航における人と環境（交通・自然）、船（機械）と環境（交通・自然）とのかかわりをシステム化することで効率と安全性を向上させることが試みられている。それは、ヨーロッパで開発され、実用されている海上交通管制（Vessel Traffic Servise＝VTS）であり日本においても海上交通安全法をは背景とした海上交通センターが実施している。

ヨーロッパには狭い河川港と水門（Lock）に囲まれた港が多く、港内および水門における船舶の滞留防止、港および水門へのアプローチ操船の安全確保を目的として生まれたのが、通航船舶の交通管理を行うVTSである。水先案内との連携、通航船舶への最新環境情報（交通・自然）の提供と指示、通航船舶挙動の監視、事故対応等を行っており、出入港における効率と安全性の向上に大きく寄与している。

VTSの効果はすでに実証され、ヨーロッパおよびアジアの多くの港や狭水道で実施されており、輻輳海域の安全と効率の向上にVTSは不可欠となっている。

日本におけるVTSは、海上交通安全法が適用される輻輳海域における航路の航行管制を目的とし、主な対象は巨大船、危険物積載船、長大物件曳押航船である。水先案内との連携等のサービスはない。

VTSの目的は、交通流を整理することで通航船舶の摩擦（見合い関係）を減少すること、交通・自然環境の最新情報の提供することによる効率と安全の向上である。

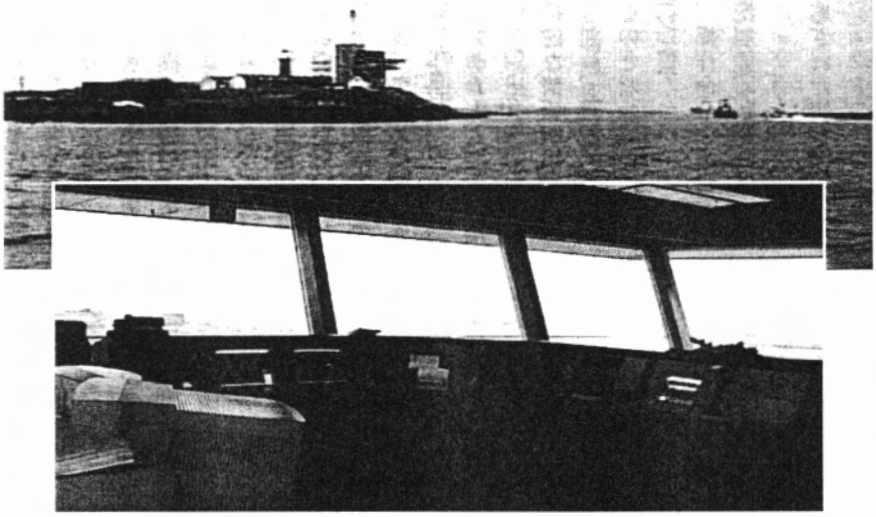
このVTSの本来の目的から日本のVTSの現状を検討すると、次記の幾つかの課題が残されていることが分かる。

①管制対象船舶種類の増加

②航路の通航規制から航行管制・情報提供サービスへ

③水先案内との連携

④動静把握対象に小型



アムステルダムのVTS センター

漁船等を含めるべき

個々の船がそれぞれに収集した情報と判断に基づいて勝手に航行する交通環境では、どのように優秀な人と船をしても事故は発生すると考えられる。熟練した操船者達の誠意と熱意が、法拘束以外に整流も指示もない輻輳した環境の中を、かろうじて安全を保ちながら航行させているのが現状である。

操船者が求めているのは、整流された交通環境、安全を保証された通航指示と自然・交通環境の正確な最新情報と思われる。より詳細かつ確実な海上交通管制サービスが日本に適用されることが望まれる。

(3)シミュレータ教育システム

船舶運航の構成要素である環境と船舶のシステム化が進められ、残る一つの最も重要な要素である人(操船者)にもシステム化への対応が強く求められている。超大型船および新型式船舶の出現、輻輳化の進展、新航海機器類の装備などが、知識・経験重視の従来型操船者育成による対応では不可能であることを証明し、実務能力重視の体系化された操船者育成への交換が必要となっている。また、操船者に求められる機能も従来の対応作業機能から管理(Management)機能に移行してきている。

これらの動きは、船舶運航の構成要素間における、環境と船舶のシステム化レベルとの不整合を防止するための、残った人(操船者)要素のシステム化である。人は機械ではないので人(操船者)要素のシステム化とは、システム化された環境と船舶のもとで船舶運航システムの能力を十分に発揮できる人(操船者)の育成・訓練を示すものである。

従来の操船者育成が操船技術を構成する各作業に関する知識取得、海上経験による操船技術の定着および総合的な操船における潜在的能力(ポテンシャル)の証明で構成された知識・経験重視型であったのに対し、これからの操船者育成には操船技術を構成する各機能ごとの対応と管理的色彩の強い実務的能力の証明が求められる。

この新しい操船者育成システムの意図は二つある。一つが潜在的能力(ポテンシャル)ではない実務的操船能力の確実な証明であり、他の一つが機能ごとの技術区分による環境と船舶のシステム化への柔軟性の確保である。

人(操船者)のシステム化ともいえる新たな操船者育成のシステム化として試みられているのがレーダーシミュレータ、操船シミュレータによる教育・訓練である。特に、操船シミュレータは実務的能力の証明に使用されることが計画されている。

操船シミュレータは三十年前に開発され、欧米を中心に活用され、船員・パイロットの教育・訓練のみならず、港湾・航路開発における操船アセスメントにも利用され、すでにその有用性は世界的に認知され、公的な認定を受けている国も多い。日本を除く、欧米の船員・パイロット育成機関ではシミュレータ教育訓練はカリキュラムに必ず組み込まれ、さらに、海上履歴の代替えともなってもいる。

一人の操船者が実務で経験できない船種・海域・航海機器・状況への多様な対応、操船者が取得・整理困難な操船技術上の主要な原理、原則等に関する体系的な教育、訓練となっている。また、システム化に伴う省人化において、人および機械(システム)の能力を十分に発揮させるためのリソース・マネージメント等の管理教育・訓練も行われている。

将来にわたって、激しい変貌が予測される環境と船舶における効果的、かつ有用な人(操船者)育成システムとなっており、不可欠なものと考える。

シミュレータ教育・訓練は欧米における十分な実績を有し、世界の海運界からの期待も大きいが、シミュレータ教育・訓練の有用性をより高めるためには幾つかの見直しが必要であることが指摘されている。

①シミュレータ活用以前の操船技術の体系化

②個々のシミュレータ適用限界に対応した教育・訓練法

③シミュレータ教育・訓練機会の平等な提供

環境と船のシステム化等の変貌は操船者育成システム全体の変革を必要としているのであって、海上経験をシミュレータ経験に置換してすむものではない。環境と船の技術動向・システム化レベルに

対応できる操船技術そのものの再体系化が重要であり、その教育・訓練ツールとしてシミュレータが効果的なのである。また、目的に対応した適切なシミュレータによる養育・訓練の機会が多くの操船者に平等に与えられなければ、操船者育成のシステム化による実務上での効果を期待することはできないと考える。

船舶運航の特殊性

「システム化」が船舶運航の安全性確保等において唯一選択できる現実的な対応であることを述べ、現在試みられているシステム化には幾つかの課題が存在することを指摘した。船舶運航の持つ特殊性とその実態の把握および整理の不足が、これらの課題を発生する要因となっていると考えられる。そこで、現状の船舶運航が抱える特徴および特殊性を整理し、適切なシステム化プロセスの方向性を探る起点とする。

(1)船体運動の鈍重さと多様さ

船舶も自動車、飛行機、電車と同じ移動体であり、障害物を避けながら計画通り目的地に到着するように操縦することを任務として運行されている。船舶を操縦することの大きな制御上の特徴は、応答運動が極めて鈍重であることである。

マ・シ海峡を航行中のVLCC

すなわち、船舶の質量が極端に大きく、操作量である舵とプロペラの発生する制御力が、大きな質量の生み出す慣性力に比し、極端に小さいのである。移動体重量当たりの速度制御力の例を示すと、ジャンボジェット機が八五〇馬力／トン、自動車は一〇〇馬力／トン、新幹線六馬力／トンであるのに対し、VLCCは〇・一馬力／トン（七〇W／トン）である。

VLCCの速度制御力は自動車の一〇〇〇分の一で、一般的な車重一トンの自家用車を模型用直流電動モーター（七〇W）で制御しているのと等しい。

また、VLCC船舶の針路制御時の操舵応答における時間遅れは三〇〇秒（五分）を超えるといわれている。舵を切って回り始めたと確認できるのに五分程度が必要なのである。この例からも明らかであるが、船体を操ること自体が極めて困難な作業であり、意のままに操るなど不可能であると考えるのが当然である。

この船体運動の鈍重さから、船舶の操縦は、飛行機や自動車のように反応で対処できるものではなく、予測、計画、実行および評価というプロセスを経て実施されている。また、船舶には飛行機や自動車のような型式は存在せず、個々の船が異なった操縦特性を有する多様さが存在し、操縦者は前述のプロセスの繰り返しを通じて、個々の船舶に対応した操縦技術を学習しているのである。現状は、熟練操船者の職人的技能により辛うじて実現されているととらえるべきものと考えられる。

(2)希薄な交通管制

船舶運航において、操船が困難で危険な場が存在する。それは狭水道、輻輳する海域、港の近傍、港内などである。他船との遭遇機会の多い海域、地形的拘束などがある海域であり、自船の操船行動が拘束される機会の多い場である。

他の交通機関においても同様の場が存在し、そのような場では、制御し得る対象として移動体交通の整流等を実施することで衝突機会の発生自体を防止する処置がなされている。自動車交通における通行区分や信号機規制、飛行機運航における飛行経路区分や空港における離発着指示などの交通管制である。

船舶交通ではどうであろうか？ヨーロッパでは水先案内と協調した交通管制がなされていることが多いが、日本では、海上交通安全法の対象海域における巨大船への弱い拘束力を伴う管制が実施されているのみである。日本近海に多数存在する漁船を含む小型船への

個別の管制はほとんど存在せず、通信手段すら存在していないのが実状である。

日本近海には多くの輻輳海域が存在し、世界的にも操船が困難な海域とされているにもかかわらず、その海域における船舶交通の実態は、高速のスポーツカー、大きなトレーラー、一般自家用車、小さく遅い自転車等が走行レーン分けもなく、何の管制も受けずに各々の意志に基づいて運航されているのと同じ状況であるといえる。自動車業界関係者が、多くの行動規制を実施しても発生する自動車事故の状況から、このように行動規制のほとんどない状況下における船舶衝突事故の発生率の少なさに驚くのも当然である。

熟練操船者の技能と努力が衝突事故発生率の現状維持を継続しているのである。「諸外国の状況と比較すれば、日本近海は全域、強力な交通管制に置かなければ安全の向上などあり得ない。」という意見を熟練船長から聞くが、これが実状であろう。

(3)行動規範の抽象性と多様性

船舶内の人的配置、運航速力レンジ、操作量配置等の船舶運航方法が現代の形態となって数十年以上を経ているが、船舶運航上の具体的なガイドラインやマニュアルが提案されたことはない。船舶運航は、現在も数少ない交通規制と経験則にのみに基づいて実施されており、結果的には、一人の操作船者が一つの操船方法を有するという職人的技術の集合が操船技術となっている。

多様な操船を生み出している原因として考えられるものは次の二項目である。

◆交通規制の抽象さ

海上交通法規は海上衝突予防法、海上交通安全法と港則法である。海上衝突予防法は二船間に発生した衝突機会を避けるために、信頼に基づく互いの義務（避航義務、保持義務等）を規定したものである。この海上衝突予防法に基づき避航する場合、操船者は法規定の衝突のおそれが発生したか否か？法的に十分に避航できたか？等の法解釈を行い、かつ具体的な船体運動制御を行っているのである。

さらに、複数の船舶との衝突機会においては、明確な法的指針はないのである。他船運動および行動も推測と信頼の域を出ず、自船のとるべき行動も法解釈しなくてはならないのでは、抽象的かつ複雑すぎる規則といわざるを得ない。

衝突を避けるための交通規則は、自分にとっても相手にとってもそのとるべき行動が明確に規定されるシンプルなものでなくてはならないと考える。

海上交通安全法や港則法においても同様であり、例えば港内速力の制限とは一体何ノットとすればよいかは明確に規定されておらず、操船者判断に委ねられている場合も多い。

法規の性格上抽象的な表現とならざるを得ないことは認めるが、行政指導等によるきめ細かい指導は不可欠である。個々の船舶の操船者個人に、時事刻々発生している衝突回避行動のたびに法解釈を求めることは異常な事態と言わざるを得ない。

◆経験の蓄積と継承の不足

多くの船乗りが長い乗船経験を積んで熟練操船者となる。今も、熟練操船者となることを目指して同じ道を同じように歩んでいる者たちがいる。多くの分野では、初心者が同じ失敗を繰り返さないために、また効率よく技能を身につけるために、ガイドラインやマニュアルが作成され活用されている。船乗りにおいてはどうであろうか？　残念ながら、操船上のガイドラインやマニュアルが提示された例を見ないのが実状である。

石油メジャー系の海運会社におけるマニュアルの存在はあるが、日本の海運会社では存在しない。日本の船乗りにおいて、操船上の経験、技術情報およびコツは操船者個人にのみ蓄積され、継承されていないのが実状である。

非効率な技能の修得ならびに定着方法であり、結果的に、操船者一人ひとりが各々の操船法を持つものとなり、多種多様な操船行動を助長するものとなっている。交通問題において、個々の移動体が多様な行動を取ることは問題を複雑にするだけで、解決に繋がらないと考える。

—続く—

次回の内容は、「システム化への姿勢」、「船舶運航システム化の新たな方向性」などとなっている。