

## 海上交通とリスク管理

喜多秀行\*

海上においても交通混雑は緩和されず、船舶の衝突や乗揚げといったいわゆる海上交通事故が後を絶たない。ここでは、まず、わが国を中心に海上交通と事故発生の現状を手みじかに述べ、海上交通の特徴をリスク分析の観点から他の交通と比較しつつ整理する。ついで、これまでに開発されたリスク分析の手法を概観し、リスク管理の方法と今後の展望についても触れる。

### Risk Management of Marine Traffic

Hideyuki KITA\*

Traffic congestion in bay areas especially those in front of major cities carries many traffic accidents of ship some of which give tremendous damage to the environment. This paper outlines the present situation of ship traffic including traffic accidents. Then, models to analyze marine traffic accidents and operator's subjective risk are reviewed. Present and possible safety measures are also discussed.

#### 1. はじめに

大海原を舞台とする海上交通には古来よりさまざまな危険が伴い、海上輸送に携わる者が手にする利潤はまさに「リスクの負担に対する報酬」<sup>1)</sup>であった。このような中で早くから発達した海上保険はリスク管理論の発展に大きな影響を与え、その意味からも海上交通はリスク管理と密接な関係にあるといつてよい。

海上交通をとりまくリスクはきわめて多岐にわたるが、その一つは、海運事業を営む上でのリスクである。海運事業をとりまく環境の中には海運市況や船舶需給といった、必ずしも将来予想が容易でない変動要因があり、このような不確実性の下で船舶や人員その他の資源の配備や航路の開設・廃止などの投資行動をとる場合に避けられない、経営上のリス

クである。

第2は、輸送契約を遂行する上でのリスクとでもいうべきもので、損傷を与えることなく客貨を無事に目的地まで輸送するという個々の航海の目的を妨げるリスクである。これは海上保険における担保危険として海上交通で最初に扱われたリスクでもあり、主たるペリル (peril、リスクの原因となる危険事象) は、いわゆる海固有の危険 (沈没、座礁、衝突、荒天による転覆や浸水、漂流、荷崩れ、波浚い)、火災、強盗、投げ荷 (共同海損)、腐敗等による荷傷み、などである (リスク、ペリル等の概念については文献2) を参照されたい)。

第3は、交通安全上のリスクである。これは、本来上述の「海固有の危険」に含まれているのであるが、輻輳海域や制限水域を航行する場合に特有のものであることから、交通という観点からリスクを論じる場合にしばしば分離して扱われる。主たるペリルは、他船や障害物との衝突、および乗揚げといったいわゆる海上交通事故である。

本稿では、今回の特集の趣旨より、上記の諸リス

\* 鳥取大学工学部助教授  
Associate Professor, Faculty of Engineering,  
Tottori University  
原稿受理 1992年8月26日

クのうち交通安全上のリスクをとり上げる。以下では、まず海上交通の現状を簡単に述べ、リスク分析の観点から海上交通の特徴を整理する。ついで、主として海上交通工学の分野でこれまでに開発されてきたリスク分析の手法を概観し、リスク管理の方法についても触れる。

2. 海上交通と海上交通事故の現状

2-1 海上交通の現状

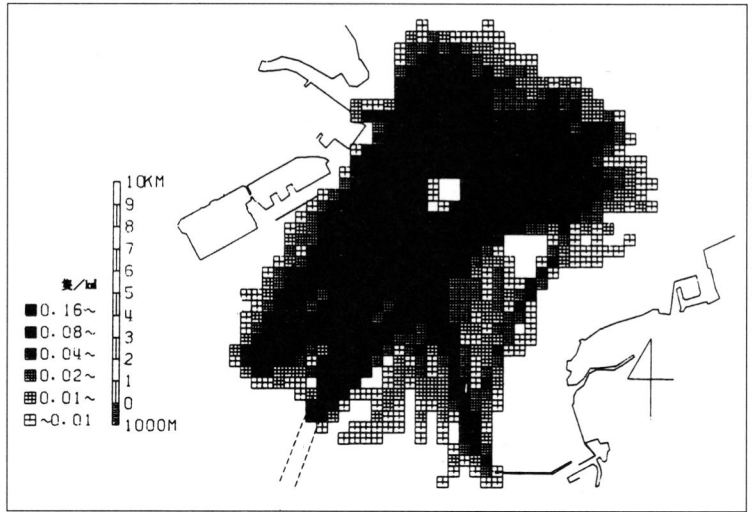
港湾取扱貨物量でみるわが国の海上貨物輸送量は、昭和55年まで急激な伸びを見せていたが、それ以降はほぼ横ばいないし微増といったところである。平均船型は徐々に大型化し、したがって交通量自体にはあまり大きな変化はないが、高速化が着実に進んでいる。航行船舶の中にはタンカー等危険物船も多く、天然ガスを運搬するLNG船が火災を起こした場合は現在の技術で消火できないといわれている。

本邦周辺の主要3海域（東京湾、伊勢湾、大阪湾を含む瀬戸内海）は世界有数の船舶輻輳海域となっている。Fig. 1は東京湾中央海域における船舶密度図であるが、単純密度で0.5隻/km<sup>2</sup>、L<sup>2</sup>換算密度（船長35mの標準船の隻数に換算したもの）では3.6隻/km<sup>2</sup>という混雑ぶりである。この混雑は狭水道でさらに著しい。ピーク時の浦賀水道では平均2分弱に1隻の間隔で船舶が航行しており、その10隻に1隻は2万トン以上の巨大船である。ちなみに、成田空港におけるピーク時の離着陸間隔も平均2分弱、JR中央線のラッシュ時における快速の運転間隔は2分10秒である。

2-2 海上交通事故の現状

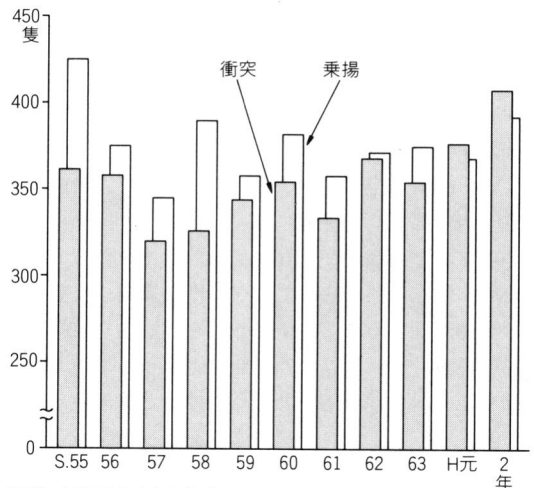
要救助海難統計<sup>4)</sup>によると、衝突、乗揚げとも年間300隻台を推移している。乗揚げ隻数がほぼ横ばいであるのに対し、衝突隻数は種々の安全対策が講じられているにもかかわらず徐々に増加し、平成2年度には10年ぶりに400隻を上回った(Fig. 2)。

海域別に見ると、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海の3海域で全国の約4割が発生している。また、事故を原因別にみると、衝突事故では57%が見張り不十分、



注) 操業漁船、停泊または漂泊中の船舶等を除く。出典) 文献3)。

Fig.1 東京湾中央海域における航行船舶密度分布



資料) 文献4)をもとに作成。

Fig.2 我が国における海上交通事故発生件数の推移

19%が操船不適切、乗揚げ事故では23%が船位不確認、20%が居眠り運航、13%が見張り不十分となっており、以下、操船不適切、水路調査不十分等が続く（いずれも平成2年発生のもの）。

事故による死亡・行方不明者は、昭和63年から平成2年までの3年間で、衝突により57名、乗揚げにより9名発生している。また、海上交通事故による海洋汚染も少なからず発生しており、100kl以上の油等の流出を伴った衝突・乗揚げ事故だけでも同期間に7件起っている。

2-3 海上交通をとりまく環境の変化

テクノスーパーライナーをはじめとする海上にお

ける貨物の大量高速輸送技術の開発は、道路の混雑、トラック運転手の不足、環境への配慮、およびハブ空港における容量制約などに起因する道路・航空からのモーダルシフトを促し、海上交通の輻輳は今後さらに進むものと予想される。しかし、航路横断橋が建設された海域では交差交通が減少し、輻輳の程度は緩和される傾向にある。

港湾の沖合い展開や埋立による都市活動関連用地需要への対応といった沿岸域開発の進展により、従来の港湾が相対的に奥まったところに位置するようになってきており、入出港船舶が操船の困難な狭隘水域を長距離にわたって航行しなければならない状況が生じている。航行水域における海洋構造物の建設も船舶航行に対して影響を与え、これらの水域は荒天時の避泊水域としても利用されていることが多いため避泊時の危険をも増大させる。さらに、沿岸域の高度利用は油流出事故等の被害を従来にも増して大きくする。

また、海洋性レクリエーションが普及するにしたがってプレジャーボートが増加し、都市前面湾域を中心に操船形態の異なる船舶が混在して航行する状況が頻繁に生じるようになってきている。

一方、海上空港へのアクセス船やテクノスーパーライナー等、高速性能に富んだ新たなタイプの船舶の就航はその高速性に存在価値の多くを負っているため、現在は認められていない港内翼走や夜間翼走の要請が高まることが予想される。港内を航行する船舶の多くは減速により操船性が低下しており、夜間翼走の場合は香港―九竜島間で行われているようにスターライトスコープによる見張りをするとともに一般船舶は相変わらず肉眼とレーダに頼るしかない。このように、速度や装備、操船性能が大きく異なる船舶が混在して航行する状態は、潜在的な事故危険度を増大させる。

### 3. リスク分析からみた海上交通の特徴

交通流の挙動は、それを構成する要素——自動車、航空機、船舶、歩行者など——の違いによって大きく異なる。したがって、リスク分析を行う上で、交通流の特徴を把握しておくことがまず要請される。

海上交通の第1の特徴は、混雑が主として事故危険度の変化として現れることである。自動車交通では混雑が進むにつれて走行速度が低下し、混雑の影響は走行時間の増大となって現れるが、1台あたりの事故率は減少する傾向にある<sup>5)</sup>。一方、海上交通

では航路上での混雑が甚だしくなるにつれて事故率が増大するが、加減速性能や低速航行時の操船性の悪さなどの理由から航行速度はさほど低下しない。この点だけをみても海上交通にリスク分析が不可欠であることが理解される。

第2には、事故によりもたらされる損失が比較的大きいことである。衝突事故1件あたりの平均損害額（船体と積み荷）は約3,900万円<sup>6)</sup>にのぼり、大型船や巨大船、危険物輸送船の場合は莫大なものとなる。また、しばしば事故による海洋汚染を起こし、古くは英国南東岸と仏国北西岸のほぼ全域を汚染したトリーキャニオン号（1967年）、近年ではアラスカ湾の生態系に甚大な影響を及ぼしたエクソンバルディーズ号（1989年）などにみられるように、深刻な環境破壊につながりやすい。

第3は、以上の2点の故に、操船者が航行安全性の確保に極めて敏感であるという点である。実際、航行安全性を阻害するような環境の変化に対して極めて敏感な態度をとることが多い。したがって、航行水域におけるプロジェクトの実施に際しては、海上交通に与える影響を客観的に明らかにしておくことが強く求められる。

第4は、自動車交通流が基本的に1次元的な流れであるのに対し、海上交通流は2次元的な流れである、という点である。推進力により移動する浮体であるため側方変位のコントロールが困難であること、流体力が保針を困難にするため接近航行が困難であること、航行速度が船舶により異なり加減速も十分でないため追従航行が困難であること、通行レーンの概念がないこと、などにより海上交通流は2次元的なものとなり、種々の複雑な見合い関係が発生する。

第5は、船型のばらつきが極めて大きい点である。自動車交通では小は自転車から大は大型トラックまでであるが、海上交通では数トンの漁船から数十万トンの巨大タンカーまで極めて広範囲にわたる。船体の大きさはそのまま運動特性に反映されるため、多様な挙動を示す船舶が混在して航行していることを意味する。

第6は、海上交通のための空間が他の利用と分離されていないことである。漁船の操業やプレジャーボートの回遊などが船舶航行と同じ水域で行われるため、操船形態や注意の対象が異なる船舶が互いに混在して航行する状況が随所に見られる。

第7は、航行挙動に及ぼす human factor の影

響が卓越していることである。自動車は走行状態の敏速なコントロールが可能のため、運転操作はほとんど反射的に行われるとあってよい。しかしながら、船舶は操船に対する船体運動の反応が遅いため、操船者は今後起こりうる状況を予測し行動を決定する必要に迫られる。そのため、リスク分析に際しては human factor に関する理解が必要となる。

#### 4. 衝突事故のリスク分析

##### 4-1 衝突事故リスクの指標

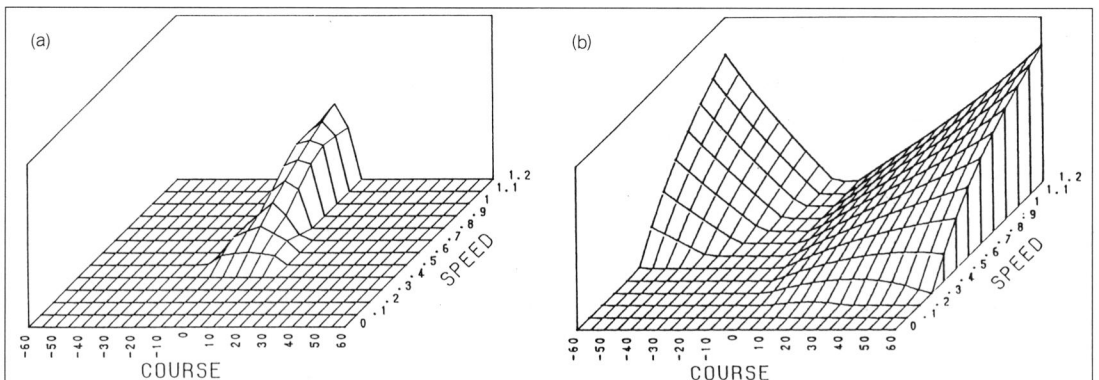
船舶が航行する際の危険度がどの程度の水準にあるかは、その海域を航行する際に衝突に結びつく可能性の大小をもって評価することができる。ここで注意すべきことは、個々の操船局面に存在する危険の一部は、適切な操船行動をとることによって回避されるから、それがそのまま事故発生件数に反映されるわけではないという点である。すなわち、注意の集中と高い操船技術の発揮をもってようやく回避できた輻輳水域での危険と特段の努力なしに回避できた閑散水域での危険は、結果的にどちらも安全であったという事実だけをみて同等に扱うべきでない。この意味で、評価すべき危険は事故に結びつく可能性がある「潜在的な危険」であると考えべきである。危険を回避するに十分でない操船しかなされないうきに潜在的な危険が顕在化し、事故発生という事態を招くのであり、結果的に発生した衝突の事実のみに着目するだけでは十分ではない。

2隻の船舶が何ら避航措置をとらずそのまま航行を続ければ両船間の距離がある一定値以下となるような位置関係を「出会い」または「遭遇」というが、ある船が海域を航行する際に、他船との遭遇回数が多いほど当該海域の潜在的危険度は高いといえる。

また、同じ一回の遭遇であっても、難なく他船をかわせる場合と操船上極めて困難を感じる場合とでは後者の方が危険度が高いとあってよい。すなわち、衝突に対する潜在的危険度は遭遇の「量」と「質」によって表現される。このような点を踏まえて、航行危険度を表わす種々の指標が提案されている。

「遭遇頻度」は、単位距離を航行する際の遭遇回数(船舶に着目した場合)、あるいは単位面積あたり単位時間に発生する遭遇回数(水域に着目した場合)であり、上述の「量」的側面からみた危険度指標である。

これに対し、遭遇の「質」を定量化する試みがここ数年精力的になされている。大きな舵角で転舵しなければ衝突を避けられない状況は少しの転舵で避けられる状況よりも危険であり、転舵だけでは避け得ず速度を落としてようやく衝突を回避できる状況はさらに危険度が高い。また、同じ操船手段で避航できる場合であっても、あわや接触かと思わせるきわどい状況は十分な間隔をあけて相手船をかわすことのできる状況より数段危険である。「避航空間閉塞度」<sup>7)</sup>では、前者を“操船手段の困難さ”、後者を“残存危険度”によって記述し、両者の積を全ての避航操船手段について足し合わせるにより、個々の遭遇状況の「質」を表現している。Fig. 3では、着目船の進行方向に避航のための増減速の程度を、横方向に舵角の大きさを表わす軸をとり、この平面で両者の組み合わせとしての避航操船手段を表わしている。また、高さ方向は残存危険度を表わす軸である。(a)は前方正面に1隻の反航船が、(b)は前方左右両側に1隻ずつ反航船が存在するケースを示している。(a)では、コースを変えずに直進するとこの反航船に著しく接近してしまうため残存危険度が高



出典) 文献 7)。

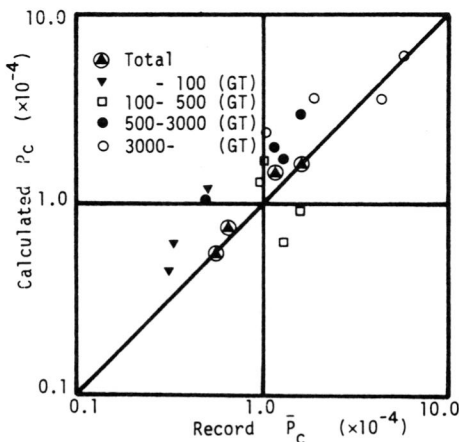
Fig.3 避航空間の閉塞状況(反航船: 針路交差角180度)

くなるが、転舵することにより衝突の危険を比較的容易に下げることができる。一方、(b)では、転舵するとかえって相手船に接近してしまい危険度が高くなるため、十分に保針して左右の反航船の間を通り抜けることになる。この場合、操船の自由度が小さく(a)よりも難しい避航操船を要求されるという状況が、残存危険度の総和を示す山の体積がより大きいという形で表現されている。2隻の反航船がより中央に寄った状況を想定すると、間を通り抜けることが危険な状況では(b)図の谷間がなくなり、大きな転舵を余儀なくされるが、大角度転舵はそれ自体容易なものではないため、この状況は(b)以上に避航困難な状況であることが推察される。これは、遭遇の質の一つの表現法であるが、このほか、他船の方位とその変化率および最接近時刻によって構成される「C」値<sup>8)</sup>、相手船の将来位置に関する予測誤差と衝突までの時間的余裕に基づく今津<sup>9)</sup>の衝突危険度などが提案されている。

他方、顕在化した危険の程度を表わす場合にしばしば用いられる「衝突事故発生確率」は、海域を航行する船舶が他船と衝突する1トリップあたりの確率である。前述したように、衝突事故は存在する危険の一つの結果にすぎない。しかし、ここには避け得なかった危険の大きさが反映されており、また、危険がもたらす具体的な損失と密接に関係する指標でもある。

#### 4-2 衝突事故リスクの推定手法

船舶の衝突危険度を推定する方法は、統計的方法、解析モデル、シミュレーションモデル、ビジュアルシミュレータ、の4つに大別される。



出典) 文献14)。

Fig.4 船型別衝突事故確率の推計値と実績値

統計的方法は、事故データを基に、水域特性や交通特性といった説明変数と事故危険度の関係を統計的に整理して何らかの傾向や関係を抽出し、検討対象とする状況下での事故危険度を推定しようとするもっとも基礎的な方法である。

解析モデルは、統計的方法が事故危険度と相関関係(必ずしも因果関係ではない)の高い説明変数を見出すことに主眼をおいているのに対し、まず船舶の動態や衝突事故が発生するメカニズムを把握し、これを主として数式を用いて記述した後、解析的ないしは数値計算によって事故危険度を求める方法である。これまで提案されたモデルは衝突事故発生メカニズムのとらえ方により、いくつかのアプローチに分類できる。以下に、代表的な3つのアプローチを記す。

第1の避航失敗確率に着目したアプローチは、航行中に遭遇した他船をうまく避航できないときに衝突が生起するとの考え方に基づくもので、方向別交通量や速度分布、船型構成分布といった検討対象時点の船舶交通流特性からまず遭遇確率ないしは遭遇回数を求め、それに避航失敗確率を乗じて衝突危険度を推定しようとするものである。遭遇確率と衝突確率との比率が水域を問わずほぼ一定値になるとのデータ分析結果からこの比率を避航失敗確率として用いた藤井<sup>10)</sup>の先駆的研究や Lewisson<sup>11)</sup>、単位時間あたりの遭遇回数が着目船舶の単位時間あたり避航可能回数を越える場合に衝突に至るという仮説を立て、これを待ち行列モデルで表現した原<sup>12)</sup>、観測結果から算定した遭遇他船との相対距離が船舶の周囲に設定した一定の領域より短くなる確率として衝突確率を計算したKwik<sup>13)</sup>、船舶が所定の時機までに避航を開始できない確率を避航失敗確率とし、実態観測結果から同定した避航開始距離分布を用いてこれを算定した黒田・喜多<sup>14)</sup>などが提案されている。Fig.4はその結果の一例を示したもので、事故統計に基づく衝突確率の実績値を横軸に、モデルによる推定値を縦軸にとり、いくつかの主要な狭水道航路における両者の対応関係を、総トン数(GT)で分類した船型ランク別に見たものである。いずれもほぼ45度線に沿っており、良好な現象説明力が認められる。

第2の制御不能確率に着目したアプローチは主として海洋構造物への衝突を対象としたもので、海洋構造物の近傍で船舶が何らかの原因によって制御不能になってしまう確率と、制御不能となった船舶が当該構造物に向かって航行し続ける確率から衝突確

率を求めようとする方法で、Macduff、<sup>15)</sup>Larsen、<sup>16)</sup>Kristiansen<sup>17)</sup>などが提案されている。

第3の最適避航操船法に基づくアプローチは、個々の船舶が所与の最適避航操船を行いながら航行する場合に生成される航跡を基に衝突危険度を算定しようとするものである。最適避航航跡がある条件の下で微分ゲームに基づく最適制御問題の解として定式化できることを示し、これを解くことにより衝突危険度を算定した Skjong and Mjelde<sup>18)</sup>がこのアプローチをとっている。

以上の解析モデルに対し、シミュレーションモデルによる方法は、対象海域の交通特性を与えてコンピュータ上で船舶を発生させ、あらかじめ設定してある基準に沿って船舶を移動させながら、所定の危険状態に陥った回数等を集計し、事故危険度を算定するもので、船舶の動きかき方によりマイクロシミュレーションとマクロシミュレーションに大別される。前者は、周辺他船の航行状況や陸岸との位置関係を運航判断基準と照らしあわせ、個々の船舶ごとに定められた操縦性能に応じた変針や増減速を行うことにより、船舶の動きをなるべく正確に模擬しようとするもので、長澤<sup>9)</sup>、日本海難防止協会<sup>7)</sup>では操船困難度別にみた避航操船回数あるいは避航空間閉塞度が危険度指標として出力される。後者は、水域をいくつかのブロックに分け、交通量が個々のブロックに賦与された交通容量を越えない場合に船舶を次のブロックに進めるもので、奥山<sup>20)</sup>では危険度の代理指標として交差部における待ち時間等が出力される。

また、ビジュアルシミュレータは、操船者がコンピュータグラフィクスで再現された水域と周辺船舶の航行状況を見ながら実物を模した操船機器を操作すると、それに応じた船体運動を計算して次の画像を作成し、あたかも操船者が実際に対象水域で操船しているかのような状況を創出して船舶の運航挙動を得る装置である。計画水域における航跡のばらつきをシミュレータ実験により求めて事故危険度を算定した Oldenkamp<sup>21)</sup>のように、解析モデルの入力データを得るという利用法の他、後に触れる操船者の主観的危険度を抽出するという形での利用がなされている。

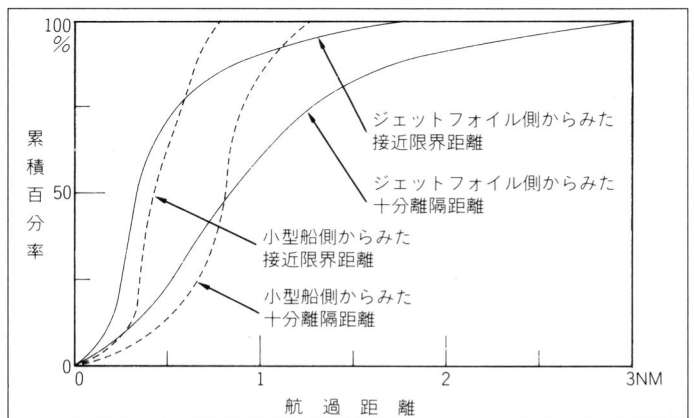
なお解析モデルについては喜多<sup>22)</sup>、シミュレーションモデルについては

奥山<sup>23)</sup>、船舶と橋梁との衝突に関するものについては藤井<sup>24)</sup>に詳しい。また、事故損失の分析については触れていないが、例えば喜多・加古・黒田<sup>25)</sup>などを参照されたい。

#### 4-3 危険感の分析

以上は海上交通事故の危険度を推定しようとするものであるが、操船者が抱く「危険感」はこの危険度とは必ずしも一致しない。これは、大型船と小型船、あるいは従来型船舶と高速船といった操船性能の大きく異なる船舶が十分な情報交換を行えないまま混在して航行していることに起因する。小型船やプレジャーボートといった小回りの効く船が大型船との間に十分危険を回避できる距離をあけているつもりであっても、大型船から見ると自力では衝突を回避できないところまで小型船が接近してくるという状況がしばしば起こる。この場合、当該小型船が大型船の存在を知った上で接近してきているのであれば、衝突の回避を小型船に委ねることもできるのだが、もし大型船の存在に気がついていないとすれば衝突が避けられず、しかもそれを確認する十分な手段が現行では存在しない。これが、操船者が抱く危険感である。

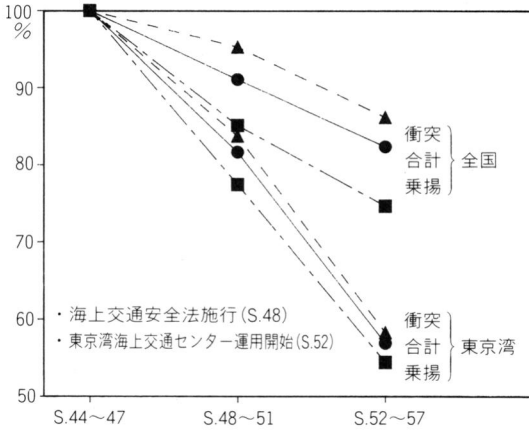
「恐怖心をもたせる交通環境というのは問題である」と越<sup>26)</sup>が指摘しているように、危険と危険感のいずれもがない交通環境を実現することがリスク管理の目指すところであろう。このような観点から、海上交通工学では危険感（主観的危険度と呼ぶこともある）に関する分析が行われてきた。種々の交通環境下におけるビジュアルシミュレータ実験を行い、操船者をもつ危険感と交通環境特性とを関係づけた原・長澤・中村<sup>27)</sup>、避航船と被避航船の双方からみ



出典) 文献29)。

Fig.5 ジェットフォイル操船者と一般船舶操船者の意識比較





資料) 文献31)に一部加筆。

Fig.6 船行安全対策と事故発生件数

た避航限界の差異を論じた今津ほか<sup>28)</sup>、高速船の操船者と一般船の操船者の航過距離に対する安全感覚を調査することにより高速船が周辺航行船舶に及ぼす危険感の評価を試みた井上<sup>29)</sup>などの研究がある。また、長尾・黒田・井上<sup>30)</sup>は荒天時の避泊に関する船長の主観的危険度を基に、港内避泊が選好される条件を明らかにしている。

Fig. 5は関西国際空港海上アクセス船等として輻輳海域を高速で航行することが予想されるジェットフォイルの操船者と一般船舶の操船者の意識をアンケート調査により比較したもので、図中の「接近限界距離」はこれ以上相手船に接近すると危険が大きくなりすぎると考える距離、「十分離隔距離」は衝突の危険性からみてこれだけ離れていれば十分であると感ずる距離を意味している。いずれの距離に関しても双方の操船者間に差異がみられるところが特徴的であり、このような差異の存在を十分認識しておくことがリスク管理上きわめて重要となる。

## 5. リスク管理方策

### 5-1 リスク管理の現状

以上に述べたリスク分析や実務者の経験等を基に、海上交通の事故リスクを低減するためのさまざまな努力がなされている。

水域計画の面からは、航路指定やブイの設置により方向別の通行区分を明確化するとともに、船舶の流れを整流し複雑な見合い関係が生じないよう航路体系の改善が図られている。また、操船上の自由度が小さい停泊操船水域と一般航行水域を分離するなど水域の利用区分も有効な対策である。

交通管理面では、交通管制システムの整備が進め

られている。わが国では東京湾に続いて備讃瀬戸、関門海峡に海上交通センターが設置されているほか、特定港においても交通管制が実施されている。航行管制の内容としては、一定総トン数以上の船舶に対する航路入航時刻の指示や警戒船の配備、各船舶に対する情報提供(他船の動静、航行規制等)、事故危険発生に対する注意喚起と航法是正のアドバイスなどが主たるものである。Fig. 6に海上交通安全法の施行(S.48)および東京湾海上交通センターの運用開始(S.52)前後の海上交通事故件数の推移を比率で比較したものを示すが、そのリスク低減効果が理解される。しかし、交通管制の強制力等をめぐっては長年にわたる議論があり、世界的には交通管制システムは拡充と縮小の2つの方向に分かれてきている。

操船機器面では、衝星航法システムの発達による測位作業の軽減が見張り等への一層の集中を可能とし、危険発生の見落としを防ぐための衝突予防装置の搭載も進みつつある。

また、環境対策の面については、流出事故処理体制の整備により、事故による油拡散の防止や被害の減少が図られるようになった。

以上は、一般的な対策であるが、輻輳水域に近接する大規模プロジェクトに関連して実施された対策も多く、例えば東京湾横断道路の建設にあたっては、橋梁部分を一部トンネル化するという構造形式の変更による可航水域の確保、航行安全センターの設置による航行船舶と作業船のレーダ監視、危険度予測に基づく開口部通航方式の検討、監視船艇の配備をはじめとする様々な安全対策がとられている。また、関西国際空港の建設に際しては工事船のルートと運航スケジュールの調整、本四連絡橋やデンマークのGreat Baelte Bridgeなどでは、航行リスク軽減の観点からスパン長の当初案からの変更がなされている。詳細については文献32)~35)などを参照されたい。

### 5-2 リスク管理の今後の方向

2-3で述べた海上交通をとりまく環境の変化を考えると、リスク管理の重要性は今後ますます高くなっていく。

高密度化する沿岸域利用のうち、埋立等水域形状の変更を伴うものについては、これまで同様、海上交通に及ぼす影響を考慮して実施の有無やその形状を予め総合的に検討する必要があるが、航行水域における漁船の操業や海上レジャー等については、運航形態や操船モードの異なる船舶が航行する水域を

可能な限り分離し、複雑な見合い関係や権利関係がなるべく生じないようにすることが望ましい。海は本来自由に航行できる場であり、Freedom at Seaを主張する声はいまだに大きい、個々の船舶が自由に航行して何の問題をも生じなかった時代はすでに過去のものとなり、互いの航行の自由を妨げないような調整が必要となっていることは論を待たない。その基礎となるのが航路体系の整備であるが、その際、横切り遭遇を減らして比較的危険の小さい分合流を主体とすること、避航に係わる権利関係が明確となるような形状とすることなどが留意点となろう。また、自衛艦などお衝突事件の折にクローズアップされた多重遭遇（3隻以上の船舶が同時に遭遇し、ある船を避航しようとする他の船に衝突するような位置関係となることで、現行法では明確な避航方法が規定されていない）に関しても、その発生を減少させるという形で主として航路体系整備の側から対応する必要がある。危険を0にすることは不可能であるから、今後は、事故危険度と明示的に対応づけられた航路体系ならびに水域施設の設計法を確立することが望ましい。

一方、航行管制もリスク低減には効果的であり、一層のレベルアップが要請される。現行のシステムでは、個々の操船者が有する情報と管制センターが有する情報とは必ずしも同じでなく、前者は当該船舶周辺の局所的情報を、後者は広域的情報を豊富に有する。この違いが両者の危険回避の判断に相違を招く一つの原因となっているため、管制に用いる種類の情報を賦与したレーダ画像を船橋で見られるようシステム整備を図るというのも一つの方向であろう。衝突事故の多くは船舶相互の意思疎通が十分に行えないことに起因しているため、操船者が2次レーダ上で同定した船名を基に管制センターを介して当該船舶と直接交信できれば、より安全な避航操船ができるものと思われる。また、海上交通管制による勧告や指示は現在法的な強制力をもたないが、管制ミスの場合の責任の所存等に関する議論を踏まえ、適切な分担のあり方を検討する必要がある。

また、リスク管理の最初の作業となる事故調査については、現行の表形式の調査票では、個々の要因相互の関連を把握することが必ずしも容易ではないため、現在導入が検討されている事故発生の因果系列に着目した調査票<sup>6)</sup>を併用した事故調査を行うなど、事故の発生構造分析により適したものとすることも望まれる。

## 6. おわりに

本稿では、海上交通の特性を踏まえたうえで、海上交通に係わるリスクの分析と管理の方法について述べた。ここで強調したことは、交通挙動に占めるHuman Factorの大きさであり、それ故に、航行環境特性とリスクとを関係づけることは、航行環境特性と操船行動との関係づけ、および操船行動と交通流の全体的挙動ないしはリスクの関係づけ、の両者が明らかにされてはじめて可能となる、という点である。したがって、人間の判断や反応といった操船行動を明示的に扱うことなく、単に航行環境特性と結果としての事故率の関係を整理してもあまり使いものにはならない。事故を避けるための操船者の負担やその限界を考慮に入れることがリスク管理にとって不可欠である。

このようなアプローチがあって、はじめて設計変数と事故危険度の関係が明らかとなり、「リスクと対応づけられた水域設計」が可能となる。これが、海上交通工学における現在の一つの底流となりつつあるが、これは海上交通に限らず全ての交通施設計画に共通して求められる考え方であるともいえよう。

## 参考文献

- 1) Knight, F: Risk, Uncertainty and Profit, Univ. of Chicago Press, 1971
- 2) 黒田勝彦「不確実性とリスク」『第26回土木計画学シンポジウムテキスト“社会基盤整備とリスクマネジメント”』土木学会、pp.87~90、1992年
- 3) 海上保安庁警備救難部『平成2年度通航船舶実態調査報告書』P.504、1991年
- 4) 同上『要救助海難統計、昭和61年版~平成2年版』1986~1990年
- 5) 交通工学研究会編『交通工学ハンドブック』技報堂出版、P.942、1984年
- 6) 海上保安庁海難調査データ（昭和56年1月~昭和59年12月）に基づいて整理したもの
- 7) 社団法人日本海難防止協会『航行環境の定量的評価手法に関する調査研究完了報告書』pp.58~78、1992年
- 8) 小林弘明「避航処置と人間特性」『日本航海学会避航操船シンポジウムテキスト』pp.39~45、1977年
- 9) 今津隼馬『避航と衝突予防装置』pp.77~96、



- 成山堂、1984年
- 10) 藤井弥平「船の衝突直径と衝突発生率」『日本航海学会論文集』No.42、pp. 1～8、1969年
  - 11) Lewisson, G. R. G.: The Modelling of Marine Traffic Flow and Potential Encounters, in Mathematical Aspects of marine Traffic (Hollingdale, S.H.ed.), Academic Press, pp.129～159, 1979
  - 12) 原潔「船の衝突確率を任意の水域で推定する方法について」『日本航海学会誌』No.46、pp.191～200、1971年
  - 13) Kwik, K. H.: Evaluation of the Safety of Ships in Traffic, Safety at Sea, No.119, pp.39～45, 1979
  - 14) 黒田勝彦・喜多秀行「船舶衝突確率の推定モデル」『土木学会論文報告集』No.339、pp.187～194、1983年
  - 15) Macduff, T.: The Probability of Vessel Collisions, Ocean Industry, Sept., pp.144～148, 1974
  - 16) Larsen, O. D.: Ship Collision Risk Assessment for Bridge, Introductory Report of IABSE Colloquium "Ship Collision with Bridge Piers and Offshore Structures", pp.113～128, 1983
  - 17) Kristiansen, S.: Marine Traffic and Platform Collision Risk, Report UR-82-19, Dept. of Marine Tech., The Norwegian Inst. of Tech., pp.45～72, 1982
  - 18) Skjong, R. and K. M. Mjelde: Optimal Evasive Manoeuvre for a Ship in an Environment of Fixed Installations and Other Ships, Modelling, Identification and Control, Vol.3, No.4, pp.211～222, 1982
  - 19) 長澤明「避航を考慮した海上交通シミュレーション」『航海』No.80、pp. 28～34、1984年
  - 20) 奥山育英「ネットワークシミュレーション」『航海』No.80、pp.20～27、1984年
  - 21) Oldenkamp, I.: Statistical Analysis of Ship Manoeuvres, Proc. Symp. "Ship's Handling", Wageningen, 1973
  - 22) 喜多秀行「船舶衝突危険度の解析モデル」『航海』No.87、pp.27～35、1986年
  - 23) 奥山育英「海上交通シミュレーション特集号の展望」『航海』No.80、pp. 2～7、1989年
  - 24) 藤井弥平「海上交通工学からみた橋の安全性」『航海』No.108、pp. 1～9、1991年
  - 25) 喜多秀行・加古聡一郎・黒田勝彦「船舶衝突事故による損害の推定に関する基礎的研究」『土木計画学研究・論文集』No.6、pp.137～144、1987年
  - 26) 岡並木・鈴木春男・長江啓泰・越正毅「IATSS研究プロジェクトへの取り組み」IATSS Review、Vol.17、No.4、pp.51～59、1991年
  - 27) 原潔・長澤明・中村紳也「海上交通状況に関する操船者の主観的危険度評価」『日本航海学会論文集』No.83、pp.71～80、1990年
  - 28) 今津隼馬ほか「避航限界と被避航限界の研究」『日本航海学会論文集』No.85、pp. 9～16、1991年
  - 29) 井上欣三「航過距離に関する操船者の安全感覚」『日本航海学会論文集』No.86、pp. 1～10、1992年
  - 30) 長尾義三・黒田勝彦・井上欣三「荒天時船舶の港内避泊選好基準について」『土木学会論文集』No.347/IV-1、pp.59～67、1984年
  - 31) 日本道路公団・(社)日本海難防止協会『昭和59年度東京湾横断道路海上交通安全調査第一専門委員会報告書』P. 94、1985年
  - 32) 日本道路公団・(社)日本海難防止協会『東京湾横断道路航行安全調査報告書』昭和53年度～平成3年度(書名は年度により変更あり)
  - 33) (社)日本海難防止協会『関西国際空港航行安全調査報告書』昭和59年度～平成3年度
  - 34) 本州四国連絡橋公団・(社)日本海難防止協会『本州四国連絡橋航行安全調査報告書』昭和46年度～平成3年度
  - 35) Frandsen, A. et al.: Evaluation of Minimum Bridge Span Openings Applying Ship Domain Theory, Paper presented at the 70th TRB Ann. Meet., Washington, 1991
  - 36) 喜多秀行「事故調査記録に基づく衝突海難発生機構の同定法」『日本航海学会論文集』No.86、pp.305～312、1992年