

海上交通流シミュレーションを用いた 安全対策の評価例

瀧本 忠教*

Examples of evaluation of safety measures using Marine Traffic Simulation

by

Tadanori TAKIMOTO

Abstract

Marine Traffic Simulation is a ship automatic navigating system which models of automatic avoiding for target ships were incorporated. This simulation system has some models for generating ships, the rules of marine traffic and navigational judgments etc. If simulation input data based on actual conditions are prepared, simulation near actual marine traffic flow can be performed.

Automatic Identification System (AIS) has to be equipped to more than 500 gross tonnage for coasters and more than 300 gross tonnage for oceangoing ships. If AIS receivers were installed ashore, the navigational data of ships equipped AIS (AIS data) can be obtained. Then three AIS receivers were installed in the Southern Area of Tokyo-bay and AIS data were collected. The AIS data were analyzed and made some of the input data, such as origin destination (OD) data etc. Simulation for one week was carried out for the Southern Area of Tokyo-bay. Simulation results were compared to results from AIS data to certificate of validation for the simulation.

Marine traffic simulation not only can express near actual marine traffic flow, but change of marine traffic can evaluate. Two examples were prepared to evaluate the change of marine traffic. First, OD data were changed and simulated. The simulation results were compared to original simulation results (before results), and collision risks were reduced about 20 %. Second, ship route data were changed and simulated. The simulation results were compared to before results and the rectification effect of marine traffic flow was acquired. Therefore, marine traffic simulation can evaluate the effect of safety measures quantitatively.

* 流体性能評価系 (当時 海上安全イニシアティブプロジェクトチーム)
原稿受付 平成24年7月17日
審査日 平成24年8月31日

目 次

1. まえがき	36
2. AIS について	36
3. AIS データに基づく海上交通流の分析	37
3.1 海上交通量の分析	37
3.2 衝突危険な状態に関する分析	41
4. AIS データに基づく海上交通流シミュレーション	41
4.1 海上交通流シミュレーションについて	41
4.2 海上交通の表現	42
4.3 衝突危険な状態の表現	44
5. 海上交通流シミュレーションの適用事例	45
5.1 出発・到着時間を変更した場合	45
5.1.1 海上交通への影響	46
5.1.2 衝突危険性への影響	46
5.2 航路を変更した場合	47
5.2.1 海上交通への影響	47
5.2.2 衝突危険性への影響	48
6. まとめ	49
参考文献	49

1. まえがき

海上交通における船舶の混雑度や衝突危険な状態に関する実態を評価するツールの 1 つとして海上交通流をシミュレーションすることは非常に有効である。そこで、海上技術安全研究所では大阪大学の長谷川和彦教授他により作製された輻輳海域シミュレータ²⁾をベースに、大阪大学と共同で「海上交通流シミュレーション」の開発を行っている^{2),3),4)}。

海上交通流をシミュレーションするためには、シミュレーションの元となる海上交通流を事前に分析する必要がある。しかし、この分析を行うためには、詳細な船舶の動静を含む運航データが必要となる。そこで、このような運航データを得るために、これまでは目視やレーダーによる運航調査が行われてきた。ところが、これまでの運航調査では調査期間等の面で体系的に運航の現状を把握することが困難であった。しかし、現在では総トン数 500 トン以上の内航船舶、総トン数 300 トン以上の外航船舶には、船舶自動識別装置 (AIS; Automatic Identification System) の設置運用義務がある。すなわち、AIS により得られるデータ (AIS データ) から、AIS 搭載船舶の動静を体系的に把握、分析することが可能となった。

海上交通流をシミュレーションする際、可能な限り実際の海上交通流に近い状態を表現することが望ましい。そこで、実際の海上交通流に近い状態を表現するために、海上交通流シミュレーションに AIS データを活用することが考えられる。本稿では、この海上交通流シミュレーションに、海上技術安全研究所で観測を行っている東京湾口における AIS データを活用した結果について報告する。また、この海上交通流シミュレーションは、安全対策等により海上交通流が変化した場合の予測・評価に利用できると考えられる。そこで、海上交通流シミュレーションで評価できる安全対策を想定し、海上交通流に変化を加えることにより海上交通流に及ぼされる影響について調査したので併せて報告する。

2. AIS について

AIS とは、2002 年 7 月 1 日に発効した海上人命安全条約 (SOLAS 条約; The International Convention for the Safety of Life at Sea) の附属書 V 章第 19 規則の改正により搭載が規定されている航海計器であり、総トン数 500 トン以上の内航船舶、総トン数 300 トン以上の外航船舶に設置運用の義務がある。また AIS は、VHF データリンクを通して、自船の ID である海上移動業務識別 (MMSI; Maritime Mobile Service Identity) コードに加え、静的情報、動的情報、航海情報を送るシステムである。各情報の主な送信内容は以下の通りである。

- ・静的情報：IMO 番号、コールサイン、船名、船長、船幅、船種 (旅客船、貨物船、タンカー等)、アンテナ位置
- ・動的情報：船位 (緯度、経度)、進路、対地船速、協定世界時 (UTC; Universal Time Co-ordinated)、回頭角速度、船首方位、航海状況
- ・航海情報：喫水、仕向港、到着予定時刻、危険物の搭載

AIS 活用の本来の目的は航行安全であり、船舶が運航する時の衝突予防として利用されている。しかし、AIS にはこれ以外にも活用することが考えられ、例えば AIS 受信機を陸上に設置することで、港湾管理や交通管制等にも利用されている。また、近年では海難事故の分析や海上交通の調査にも AIS データが活用されている。海難事故の分析の場合、AIS データは事故に係る船舶の事故発生前後のデータに限定される。一方、海上交通の調査を行うには、長時間レンジで AIS デ

ータが必要となる。すなわち、長時間レンジでの AIS データが入手できれば、海上交通流の状況进行分析することができる。ところが、長時間レンジで AIS データを購入するとかなり高額になる。そこで、海上安全イニシアティブプロジェクトチーム(以下「本 PT」という)では、独自に AIS データを受信することとした。対象は、船舶が輻輳する海域の代表として東京湾を選択した。しかし、海難事故及び海上交通の観点から、東京湾内だけでなく東京湾口のデータも必要と考えられ、

- ・伊豆大島北部
- ・房総半島南部
- ・三浦半島南部

の3箇所を候補とし、その中で AIS 受信装置が設置でき、かつ AIS データが送信できる環境にあるところを現地調査により検討、設置を行った。これら3箇所でもカバーできる範囲を図1に、アンテナの設置状況と AIS データ受信装置を図2に示す。なお、本 PT で収集した AIS データは、海上交通流シミュレーションだけでなく、海難事故の分析や、環境影響評価、物流に関する海上交通の解析など様々な分野で有効に利用されている。

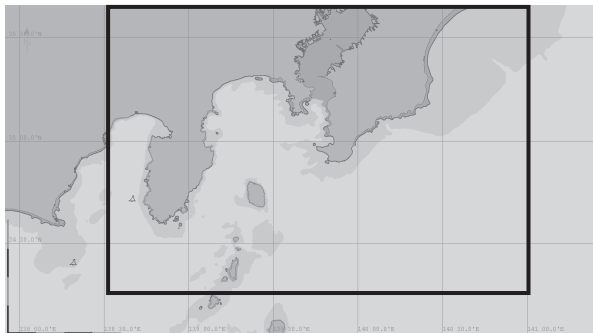


図1 AIS データのカバーエリア

3. AIS データに基づく海上交通流の分析

海上交通流の分析を行う対象海域は、海上交通流の複雑さ及び本 PT で独自に AIS データを取得しているという観点から、東京湾口の中で、かつ取得している AIS データがカバーする領域を選択した。なお、対象期間は2010年7月29日(木)から8月4日(水)までの1週間とした。対象期間の各日の航跡を図3に示す。

3.1 海上交通量に関する分析

対象期間における海上交通流の時間変化を図4に示す。図4から、東京湾口は朝方までと夕方以降

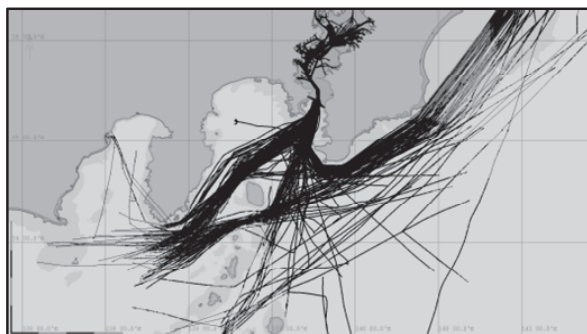
(以下「夜間」という)に混雑の度合いが高くなり、一方で昼間は夜間に比べて混雑の度合いが低くなることがわかる。

東京湾口における船舶の動静をさらに詳しく調査する。例として2010年7月29日24時間分の AIS データを4時間毎に区切り、さらに対象領域を1マイルメッシュに区切った時に各領域を通過した隻数をカウントした。東京湾に入ってくる船舶(上り)の隻数を図5(a)に、東京湾から出ていく船舶(下り)の隻数を図5(b)に示す。図5から、東京湾に入ってくる船舶は4時から8時までが多く、東京湾から出ていく船舶は16時以降に多いことがわかる。4時から8時は、東京湾内の港湾で午前中に荷役作業を行うために航海してくることから、東京湾に入ってくる船舶の隻数が多くなると考えられる。一方16時以降は、夕方までに東京湾内の港湾で荷役作業を終え、次の目的地へ向けて航海を開始することから、東京湾から出ていく方向の船舶の隻数が多くなると考えられる。

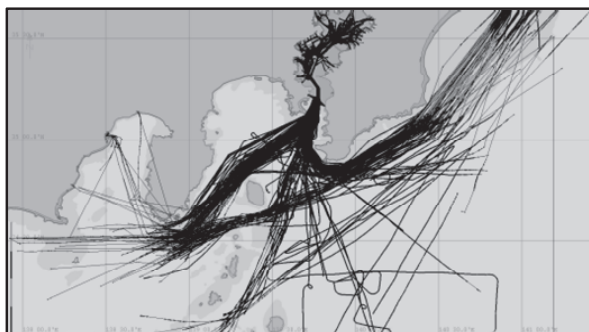
また、対象期間の船舶の隻数データを上りと下りに分けて、一週間の平均通過隻数をカウントしたものを図6に示す。図6(a)より、東京湾に入ってくる船舶は、浦賀水道を通ることが決められていることから、浦賀水道の入口めがけて船舶が集まってくるので、浦賀水道入口付近での航路幅は狭くなることがわかる。一方図6(b)より、東京湾から出ていく船舶は、浦賀水道を出ると各々の船舶が自船の目的地に向けて航海することから、東京湾に入ってくる船舶に比べて浦賀水道入口付近での航路幅は広くなることがわかる。



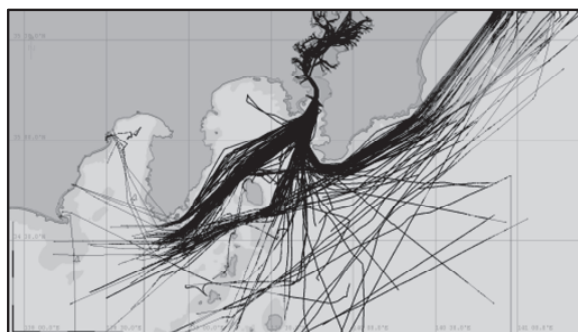
図2 アンテナ設置状況と AIS データ受信装置



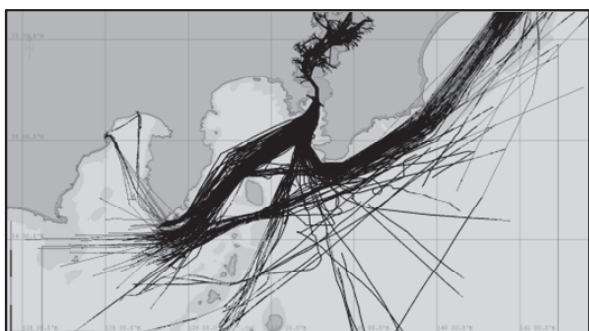
7月29日



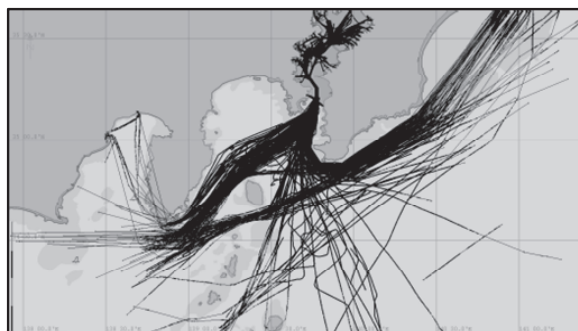
7月30日



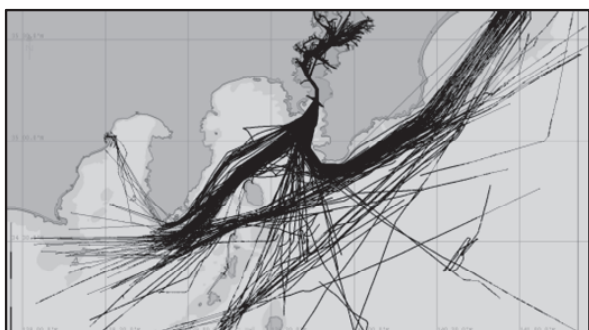
8月2日



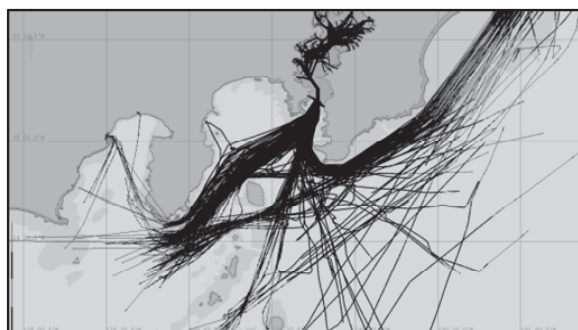
7月31日



8月3日



8月1日



8月4日

図3 対象期間の航跡

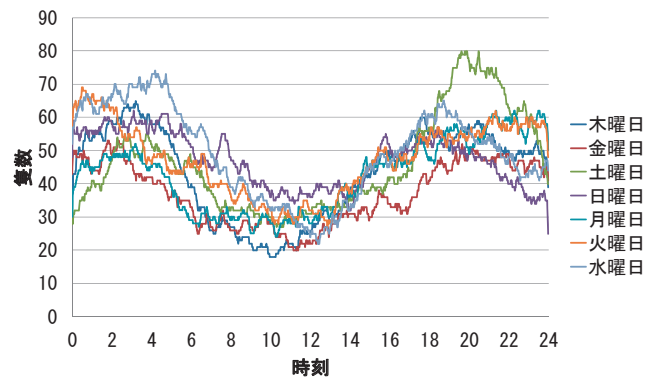


図4 AISデータに基づく海上交通量の時間変化

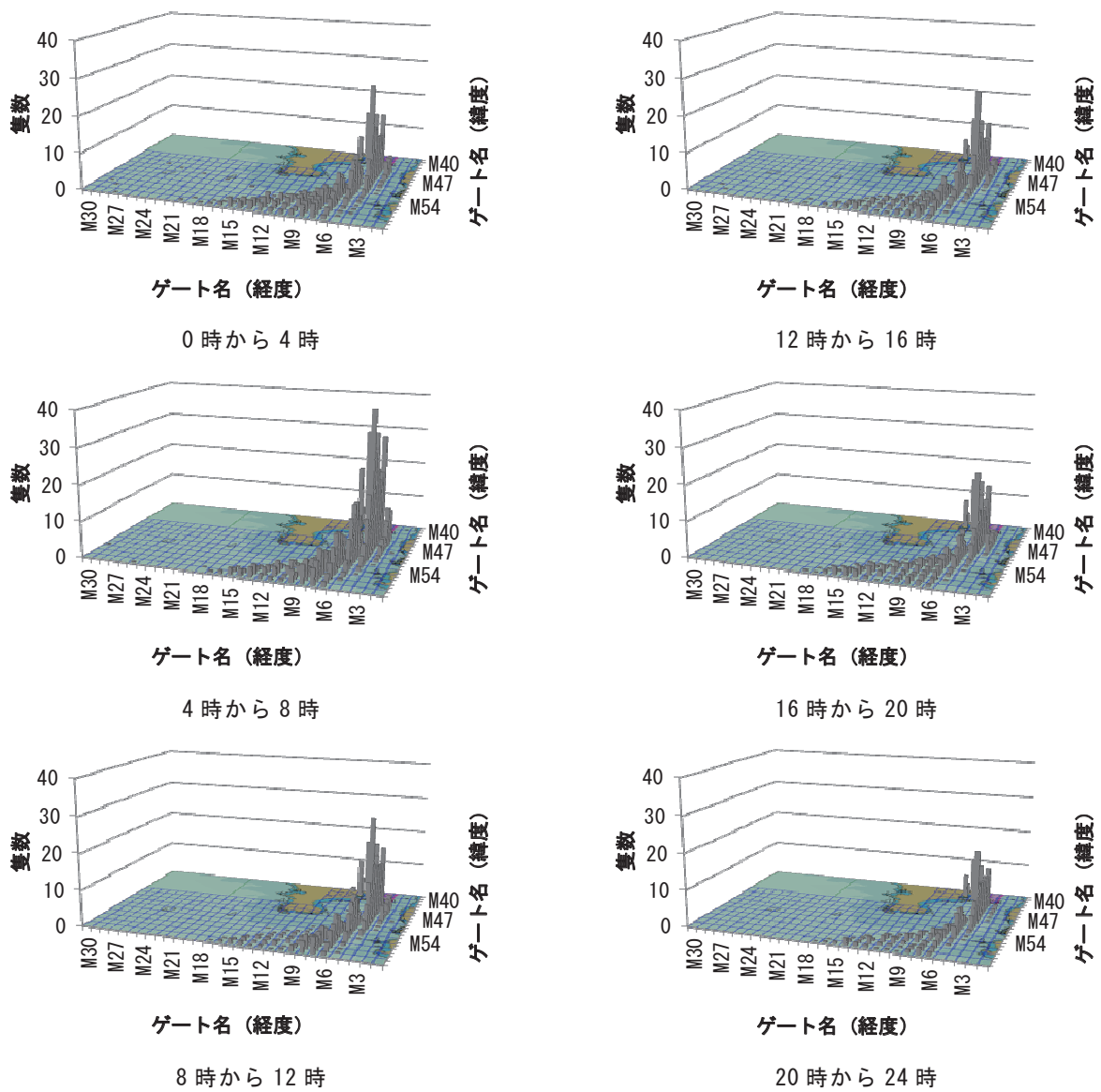


図5(a) 東京湾に入ってくる船舶の隻数
(AISデータ、4時間毎)

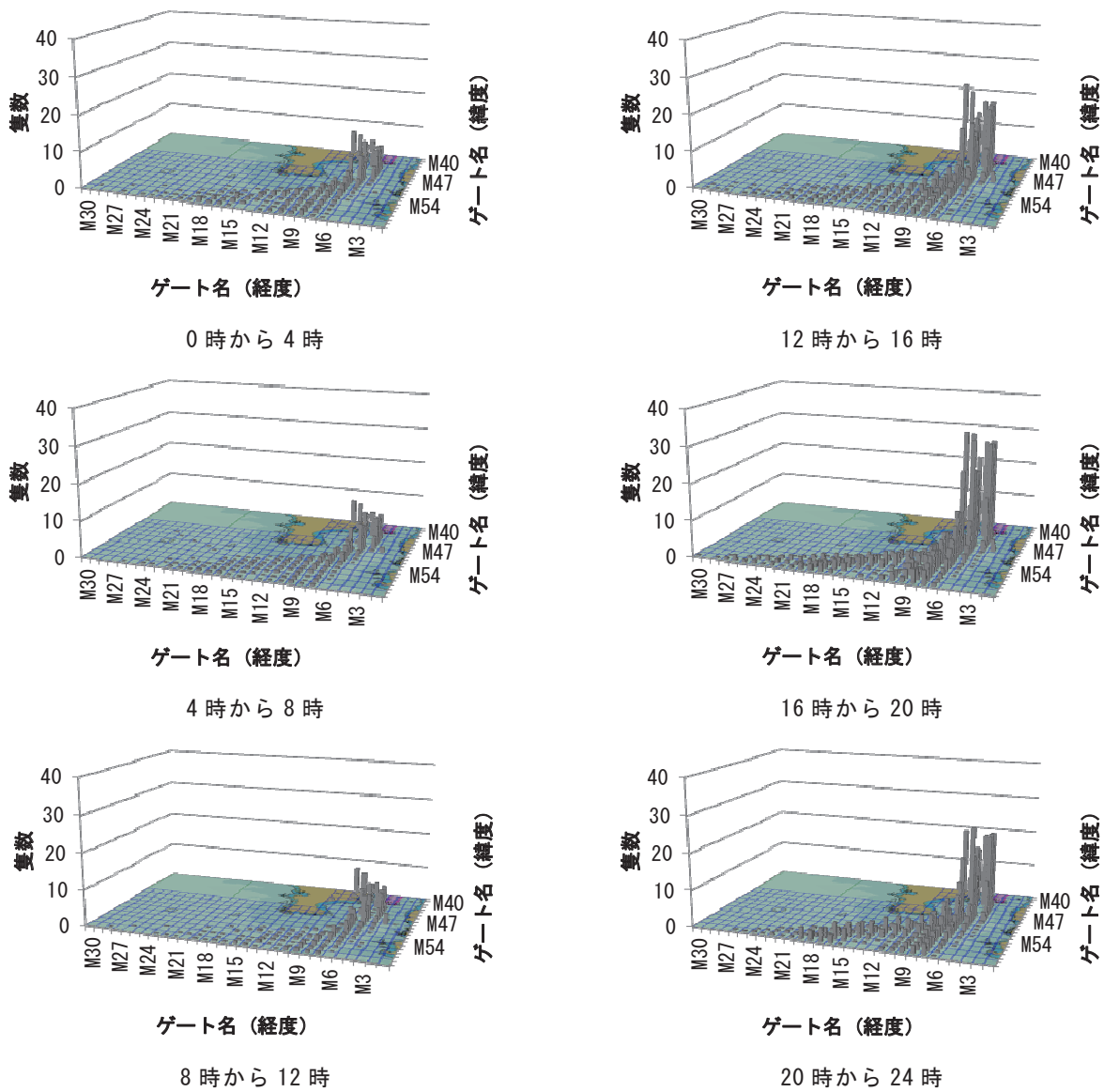


図 5(b) 東京湾から出ていく船舶の隻数
(AIS データ、4 時間毎)

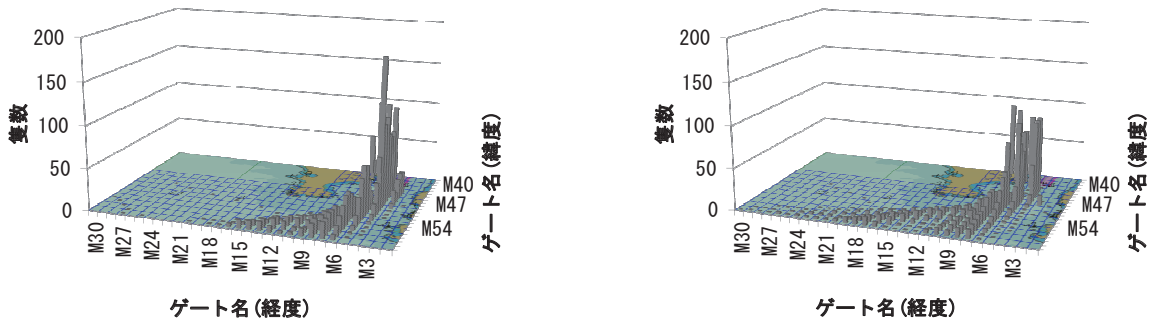


図 6(a) 対象期間一週間の平均通過隻数
(東京湾に入ってくる船舶)

図 6(b) 対象期間一週間の平均通過隻数
(東京湾から出ていく船舶)

3.2 衝突危険な状態に関する分析

AIS データから自船、相手船が衝突危険な状態にある場合をプロットしたものと海難審判裁決録データベースから実際の衝突事故が発生した位置をプロットしたものを図7に示す。

本稿における衝突危険な状態は、海上交通流シミュレーションにおいて衝突危険な状態を表す指標である CR (Collision Risk)⁵⁾ 値を用いている。

CR 値とは、操船判断を行う際に大きく依存する要素である最接近距離 (DCPA、Distance of Closest Point of Approach) と最接近時間 (TCPA、Time of Closest Point of Approach) から算出される値である。ここで DCPA、TCPA とは、

- ・ DCPA：自船、相手船がともに現在の針路及び速力を維持した場合に両船間の距離が最小となった時の両船間の距離
- ・ TCPA：自船、相手船がともに現在の針路及び速力を維持した場合に両船間の距離が最小となるまでの現在からの時間

を表す。

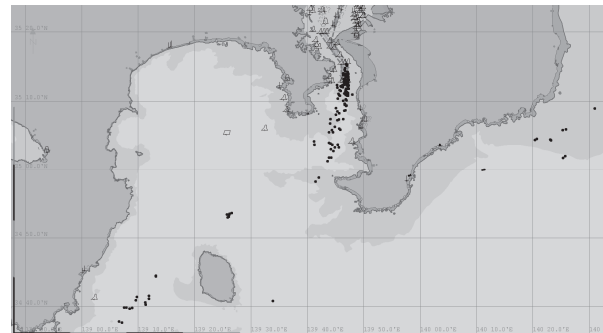
しかし、実際のところ操船者が衝突の危険を感じ避航を判断する際、自船の大きさによって相手船との距離感は異なる。そこで DCPA の算出に船舶の大きさの要素を考慮し、船長 (L) で無次元化した値を $DCPA' (= DCPA / L)$ として定義し、 $DCPA'$ と TCPA から Fuzzy 推論を用いて CR 値の計算を行っている。

Fuzzy 推論を用いた CR 値の計算手法は、長谷川他⁵⁾によって明らかにされた。簡単に言うならば、Fuzzy 推論とは「人間の経験や勘を「制御規則」という形で表し、メンバーシップ関数という関数を作成して定量的に表現された値を定性的な表現 (Fuzzy 数) に対応させて数値化したものである」ことから、本稿における海上交通流シミュレーションでは、操船に関する専門家の経験や勘による判断を制御規則として表し、 $DCPA'$ 、TCPA、CR に対してメンバーシップ関数を作成することにより数値化している。

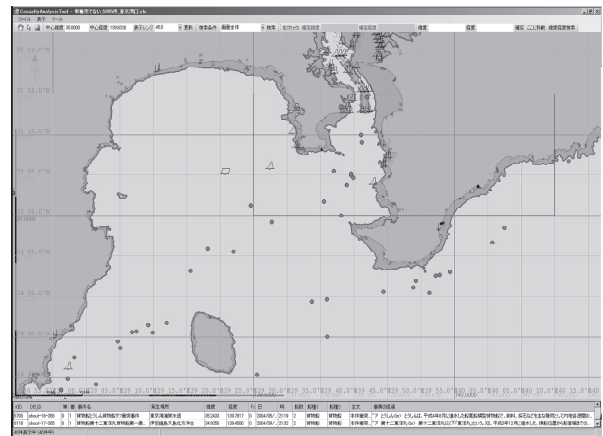
CR 値は-1 から 1 までの値を取り、絶対値が 1 に近いほど衝突危険な状態を表す。また、自船が最接近点 (CPA、Closest Point of Approach) を航過すると負の値となる。なお、この海上交通流シミュレーションでは自船が衝突危険であると感じ、避航を意識する時の CR 値を 0.7 としている。そこで、CR が 0.7 以上 (以下「CR07」という) の状態を抽出すれば、多数の航行データから衝突危険な状態を選択できると考えられることから、CR07 についてプロットを行った。

図7から、浦賀水道入り口付近から館山沖付近の交通が複雑かつ輻輳し、衝突危険な状態が多数

発生していることがわかる。



AIS データに基づく衝突危険な状態



商船同士の衝突海難事故⁶⁾

図7 AIS データに基づく衝突危険な状態の位置と
商船同士の衝突位置の比較

4. AIS データに基づく海上交通流シミュレーション

4.1 海上交通流シミュレーションについて

海上交通流シミュレーションは、海域、船舶の特性 (船型、船速等)、航行環境 (船舶発生頻度、変針点等) を設定することにより、自船と相手船の見合い関係を考慮しつつ、自動的に保針、変針、避航を行うシミュレーションである。海上交通流シミュレーションの模式図を図8に示す。

AIS データから各船の動静が体系的にわかることから、図8の入力値のうち、「航行環境」に相当する部分の「OD 別船舶発生頻度」、「時間帯別船舶発生頻度」、「船型別船舶発生頻度」の入力データを、AIS データを活用して作成することができる。

また、AIS データの航跡図から各船舶の航跡を分析することにより、各航路における変針点を決めることが可能である。

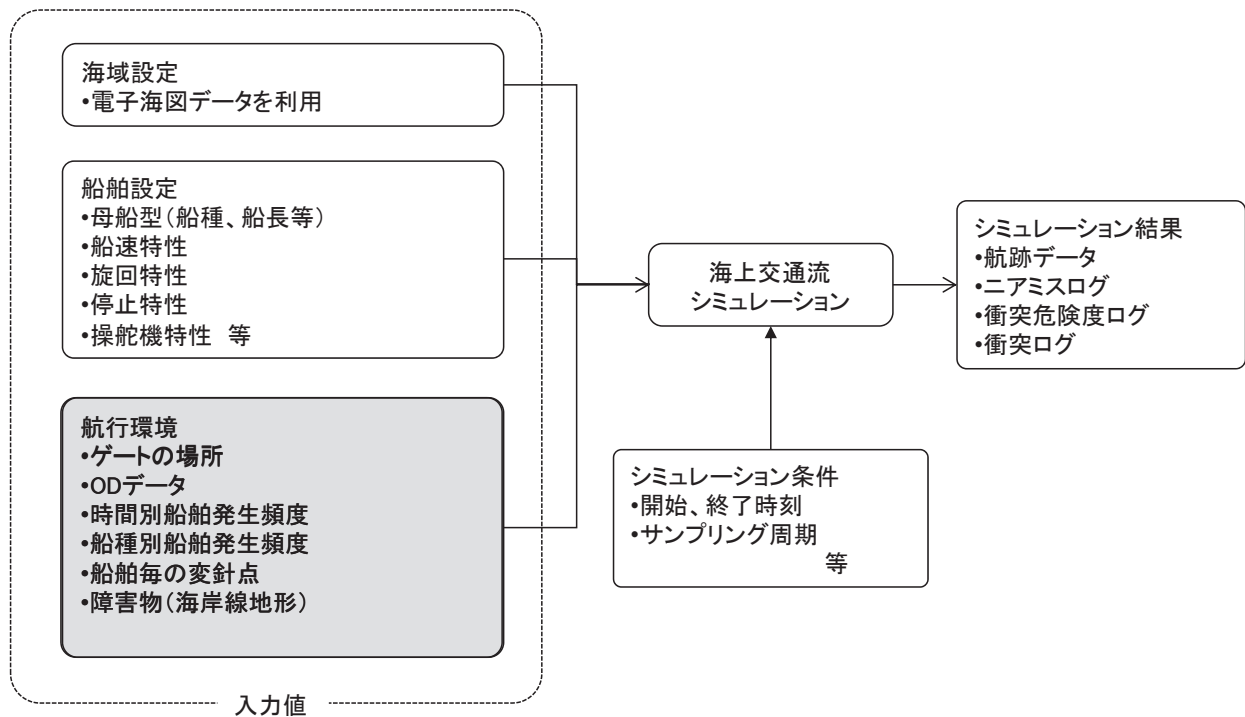


図8 海上交通流シミュレーションの模式図

4.2 海上交通の表現

海上交通流シミュレーション上での海上交通の表現については、航跡図及び海上交通流の時間変化をもって評価した。航跡図の例として、2010年7月29日のAISデータに基づく航跡及び海上交通流シミュレーションによる航跡を図9に示す。

また、対象期間のシミュレーションによる海上交通流の時間変化を図10に示す。図4、図5、図9、図10から、本稿におけるシミュレーションは航跡及び海上交通量の時間変化の観点から、AISデータによる海上交通流を十分に表現できているといえる。

東京湾口における海上交通量の変化をさらに詳しく調査する。例として、2010年7月29日の24時間分の海上交通流シミュレーションにより得られた船舶の交通量のデータを4時間毎に区切り、さらに対象領域を1マイルメッシュに区切った時に各領域を通過した隻数をカウントした。東京湾に入ってくる船舶（上り）の隻数を図11(a)に、東京湾から出ていく船舶（下り）の隻数を図11(b)に示す。図10、図11より、AISデータを分析したときに得られた「東京湾に入ってくる船舶は4時から8時までが多く東京湾から出ていく船舶は16時以降に多い」という傾向が海上交通流シミュレーション上で表現されていることがわかる。



AIS データ



海上交通流シミュレーション

図9 AISデータと海上交通流シミュレーションの航跡の比較

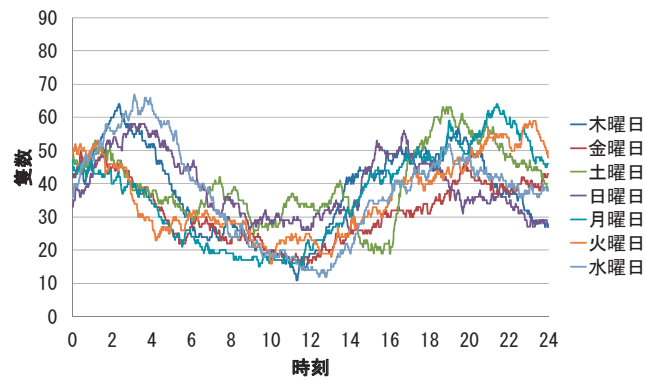


図 10 海上交通流シミュレーションによる海上交通量の時間変化

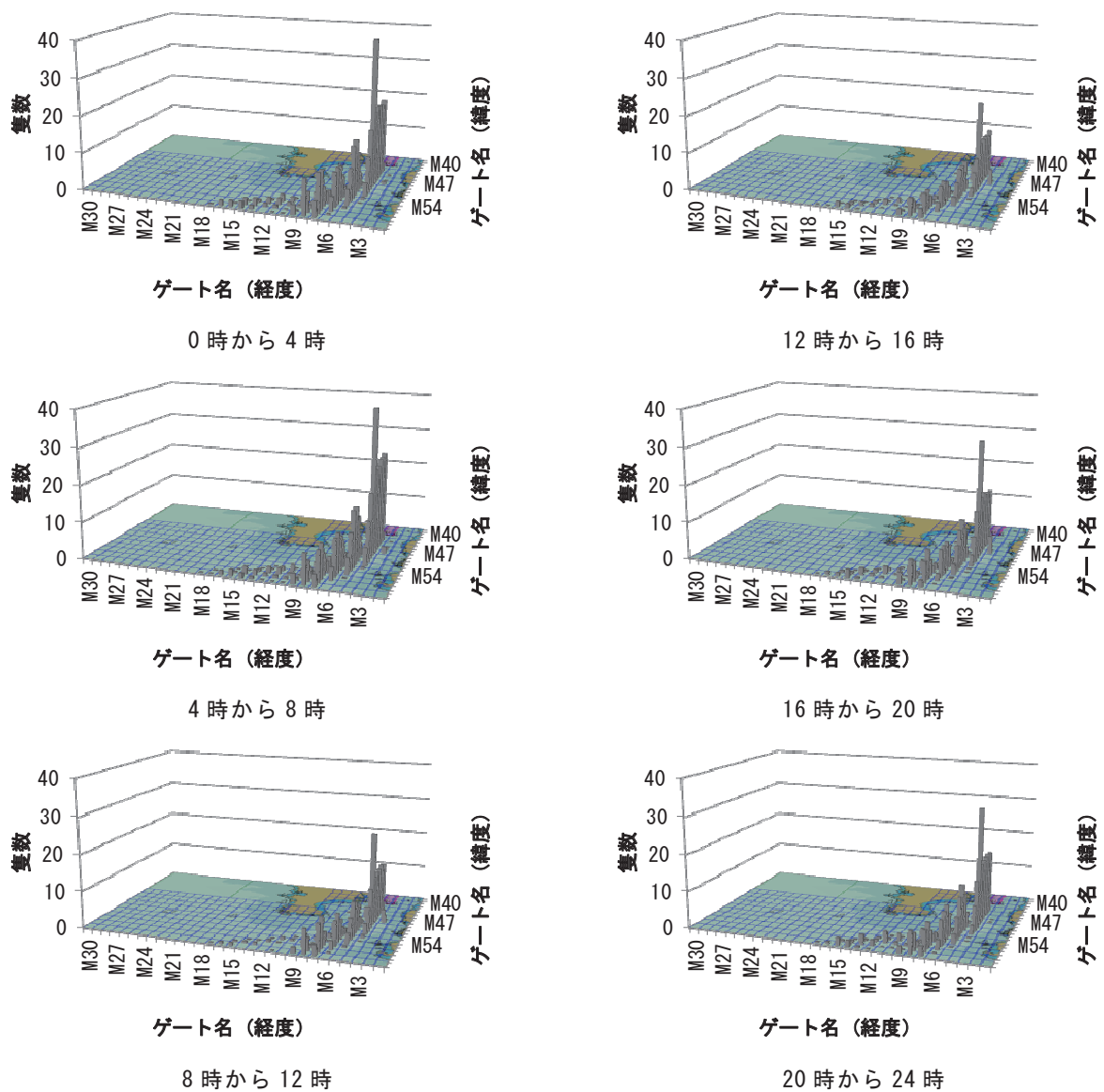


図 11(a) 東京湾に入ってくる船舶の隻数
(シミュレーション結果、4時間毎)

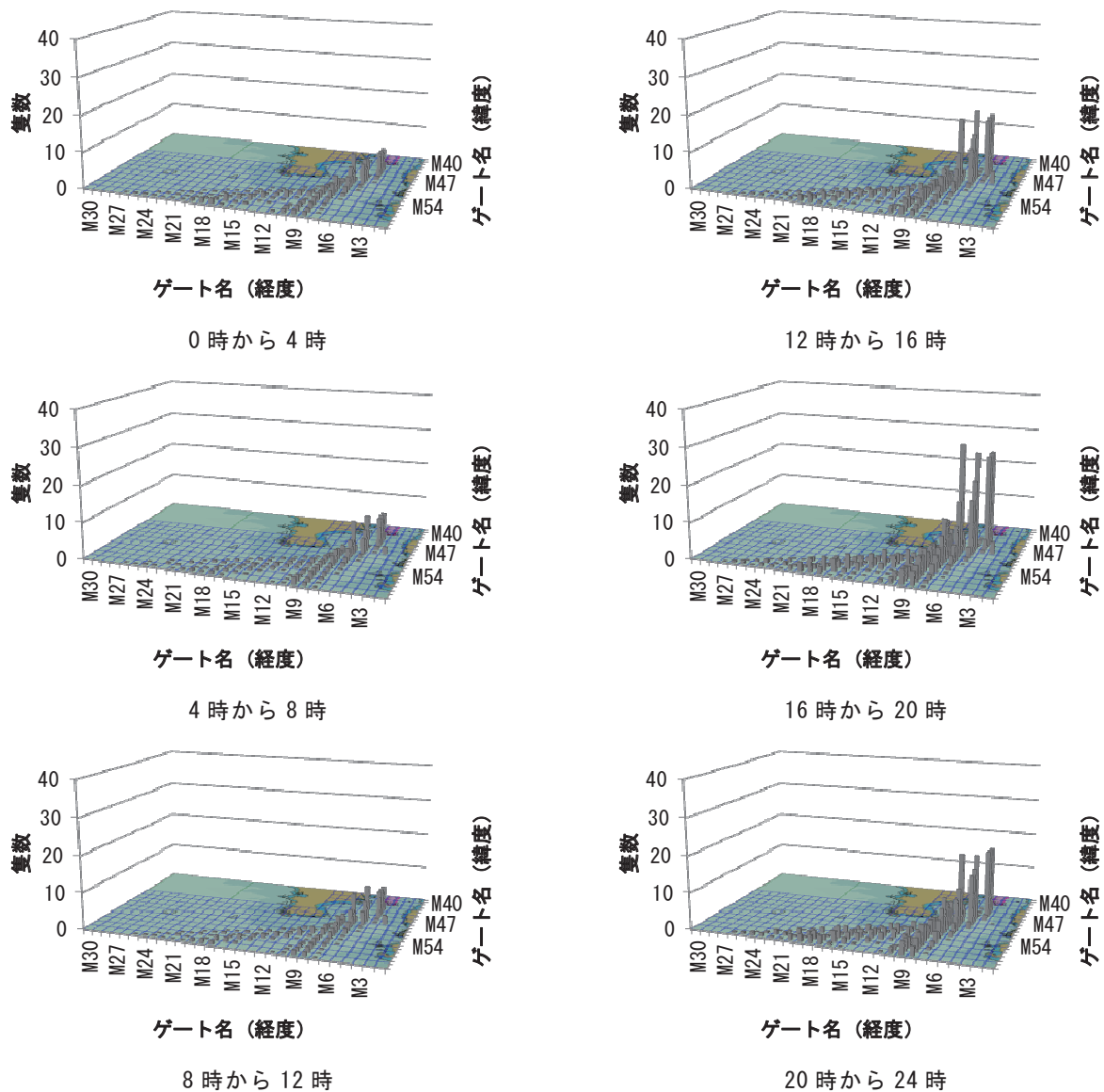
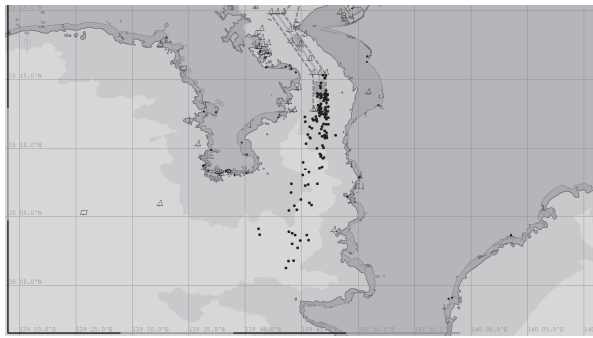


図 11(b) 東京湾から出ていく船舶の隻数
(シミュレーション結果、4 時間毎)

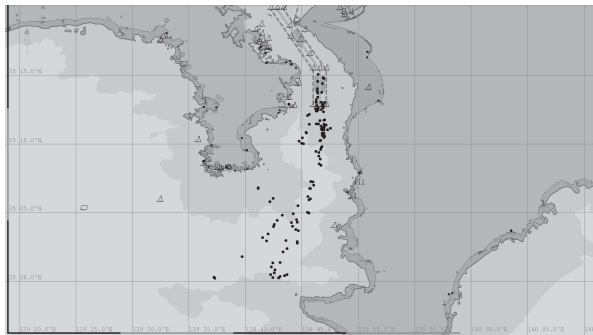
4.3 衝突危険な状態の表現

海上交通流シミュレーションにおける衝突危険な状態については、CR07 をもって評価した。衝突危険な状態の比較例として、2010 年 7 月 29 日の AIS データにおける CR07 の分布及び海上交通流シミュレーションによる CR07 の分布を図 12 に示す。図 12 より、交通が密集してくる浦賀水道入り口付近から館山沖の範囲の海域において、衝突危険な状態が多数発生するという状況が表現されていることがわかる。

以上より、海上交通の観点及び衝突危険な状態の観点から見て、AIS データにより得られた状況を海上交通流シミュレーション上に表現することが可能であるといえる。



AIS データ



海上交通流シミュレーション

図12 AISデータと海上交通流シミュレーションの
衝突危険な状態の比較

5. 海上交通流シミュレーションの適用事例

海上交通流に変化が及ぶような何らかの安全対策を考慮した場合、海上交通流シミュレーションはその効果を定量的に評価するのに有効なツールとなる。ここでは、図8に示した海上交通流シミュレーションの入力パラメータのうち、航行環境に関する入力データに変化を加えることにより、海上交通流にどのような影響を及ぼすかを調査した。海上交通流シミュレーションによる結果の比較に関する模式図を図13に示す。本稿では海上交通流シミュレーションで評価できる安全対策の適用事例として、以下の2種類のシミュレーションを実施した。

5.1 出発・到着時間を変更した場合

AIS データを交通量の観点から見ると、4時から8時までに東京湾に入ってくる方向の船舶にピークが、16時以降に東京湾から出ていく方向の船舶にピークが生じることがわかった。

また、衝突海難の観点から、図7の商船同士の衝突海難事故について、海上交通が複雑かつ幅輻してくる浦賀水道入口付近から館山沖にかけての海域に絞ってさらに詳しく見てみる。この海域における商船同士の衝突海難の時間変化を図14に示す。図14から、衝突海難の75%が夜間に発生していることがわかる。すなわち、当該海域では夜間に交通量のピークが生じ、衝突危険な状態が発生しやすいことがわかる（朝「入港ラッシュ」、夜「出港ラッシュ」）。

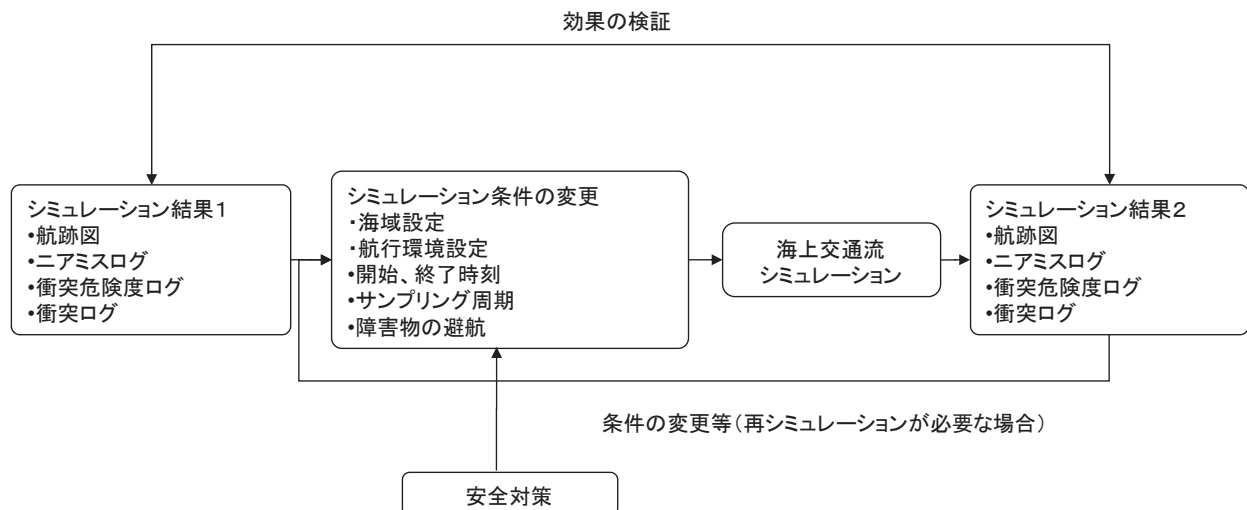


図13 シミュレーションによる比較の模式図

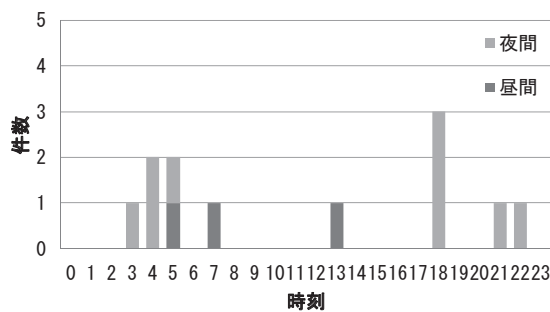


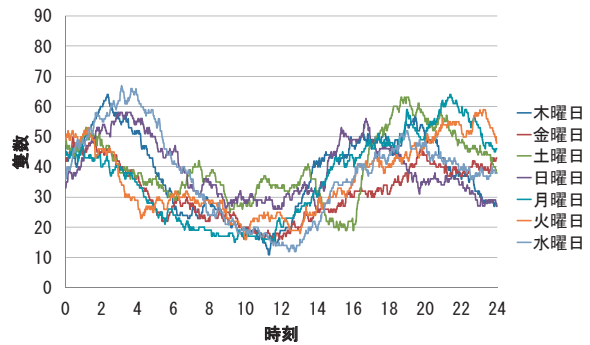
図 14 東京湾口における衝突海難の時間帯分布

この夜間に生じるピーク（入出港ラッシュ）を解消すれば危険な状況の減少を図ることができ、安全性を高められると推測される。そこで、このピークを解消する対策として、極端な事例ではあるが、港湾での荷役作業を 24 時間フルオープン化することが考えられる。

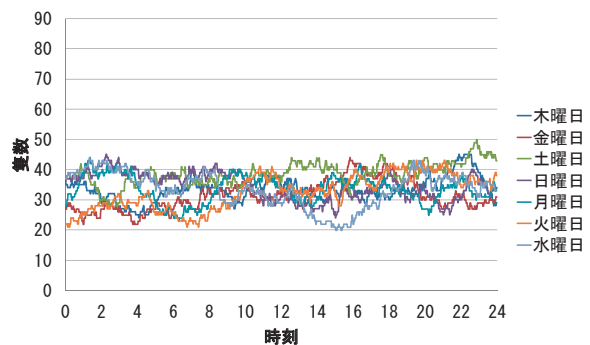
港湾での荷役作業は貨物の集中度や船舶の入港、天候に左右されるが、アジア地域の 24 時間オープンな港との激しい競争に勝つために、一部の港で 1 月 1 日を除く 364 日 24 時間フルオープン化が導入されているのが現状である⁷⁾。また、近頃の節電機運の高まりや夜間電力の有効活用等を考えると、今後港湾での荷役作業の 24 時間フルオープン化を導入する港が増える可能性はゼロではないと考えられる。そこでこのような状態を想定し、夜間に東京湾に出入港する船舶の交通量のピークを解消した場合に対して、AIS データに基づいて作成したシミュレーション結果 (before) と、全体の交通量を同等とし、夜間の交通量に生じるピークを解消した場合のシミュレーション結果 (after1) を比較・検討することで、その効果の評価を行った。

5.1.1 海上交通への影響

海上交通への影響は、交通量の時間変化により比較を行った。AIS データに基づいて作成したシミュレーションと夜間交通量のピークを解消した場合のシミュレーションによる交通量の時間変化を図 15 に示す。図 15 から、夜間に生じていたピークを解消した状態が海上交通流シミュレーション上で表現されていることがわかる。



AIS データに基づくシミュレーション
(before)



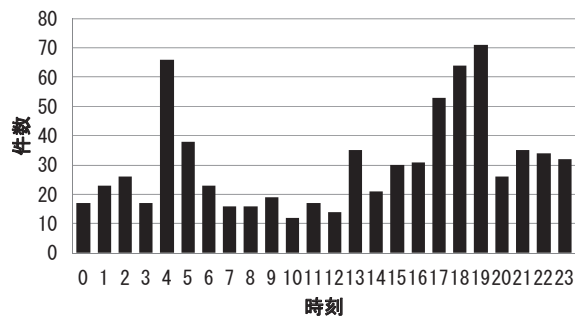
夜間交通量のピークを解消した場合の
シミュレーション
(after1)

図 15 海上交通流シミュレーションによる
海上交通量の時間変化の比較

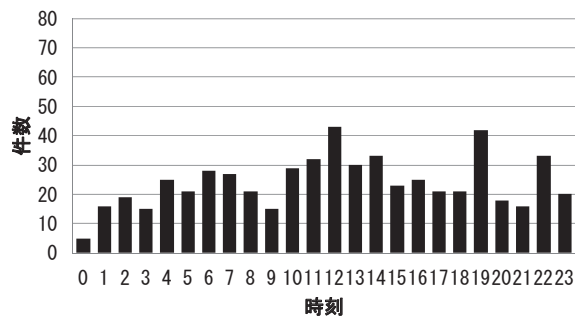
5.1.2 衝突危険性への影響

衝突危険性への影響については、CR07 により比較を行った。AIS データに基づいて作成したシミュレーションと夜間交通量のピークを解消した場合のシミュレーションによる CR07 の時間変化を図 16 に示す。図 16 から、夜間交通量のピークを解消することにより、交通量が多い時間帯に生じていた衝突危険のピークが解消され、どの時間帯にもほぼ均等に分散していることがわかる。また両者の件数を比較すると、夜間の交通量のピークを解消することにより、CR07 が 736 件から 578 件へと変化し、衝突危険な状態が約 20% 減少していることがわかる。

すなわち、安全対策を考慮して海上交通流シミュレーションを行うことにより、安全対策の効果を定性的かつ定量的に評価することが可能であるといえる。



AIS データに基づくシミュレーション
(before)



夜間交通量のピークを解消した場合の
シミュレーション
(after1)

図16 シミュレーションによる衝突危険な状態
の時間変化の比較

5.2 航路を変更した場合

AIS データによる海上交通流の分析から、東京湾に入ってくる船舶の航路幅は狭く、東京湾から出ていく船舶の航路幅は広いことがわかった。また、AIS データに基づく衝突危険な状態のプロットから、浦賀水道入口付近で衝突危険な状態が多数発生していることがわかった。

すなわち、東京湾口における海上交通流の現状は、交通が密集してくる浦賀水道入り口付近で危険な状況が発生しやすい。この危険な状況を少しでも緩和するために、整流する方法により安全性を高めることが考えられる。

現状では東京湾に入る方向の船舶は、浦賀水道入口を目指して集中してくるので、この方向の船舶に対して早い段階から整流した場合を想定する。この場合における AIS データに基づいて作成したシミュレーション結果 (before) と全体の交通量を同等とし、図 17 のように航路を変更した場合のシミュレーション結果 (after2) を比較・検討することで、その効果の評価を行った。

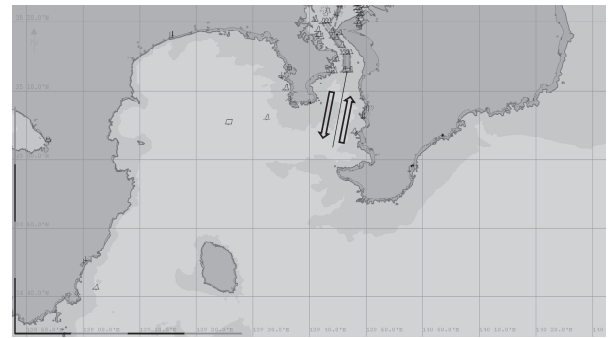


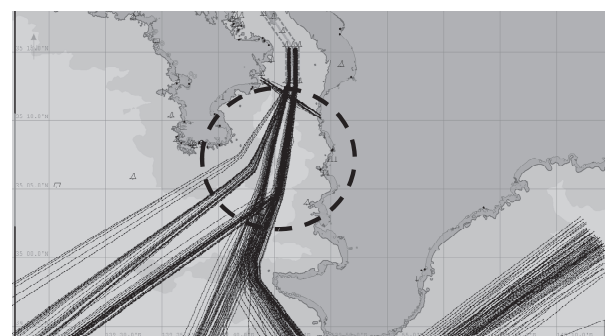
図17 航路分離の位置

5.2.1 海上交通への影響

海上交通への影響は、航跡の違いにより比較を行った。航跡の例として、2010 年 7 月 29 日の AIS データに基づくシミュレーション結果と航路を変更した場合のシミュレーション結果を図 18 に示す。図 18 から、東京湾に入る方向の船舶に対して、早い段階から交通が整流されている状況が海上交通流シミュレーション上で表現されていることがわかる。



AIS データに基づくシミュレーション
(before)

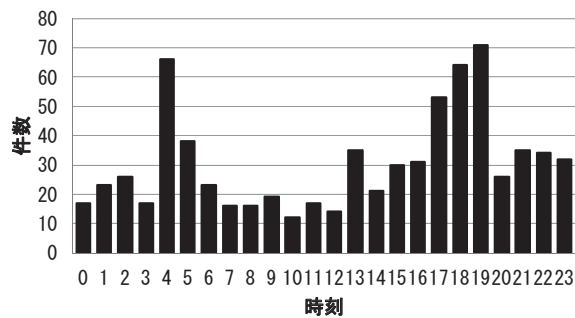


航路を変更した場合のシミュレーション
(after2)

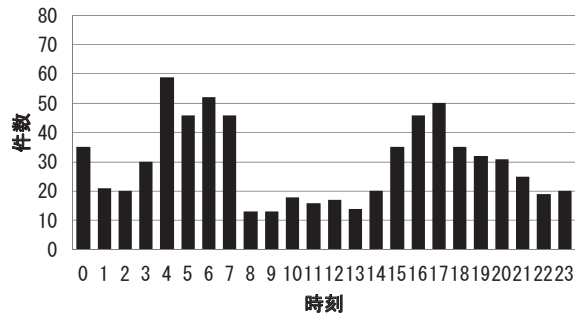
図18 シミュレーションによる航跡の比較

5.2.2 衝突危険性への影響

衝突危険性への影響は、5.1と同様にCR07による比較を行った。AISデータに基づくシミュレーションと航路を変更した場合のシミュレーションによるCR07の時間変化を図19に示す。図19から、衝突危険性の時間変化は概ね同一の傾向にあることがわかる。また、両者の件数を比較すると、シミュレーション条件に変化を加える前後で衝突の危険性は736件から713件へと約3%の減少であり、ほとんど変わらないことがわかる。このことについてさらに考察を行った。



AIS データに基づくシミュレーション
(before)



航路を変更した場合のシミュレーション
(after2)

図19 シミュレーションによる衝突危険な状態の時間変化の比較

各々の衝突危険な状態について、自船と相手船がどのような位置状態（見合い関係）にあったのかを調査した。なお、ここでの見合い関係は、「反航」「横切り」「同航」の3つに分類した(図20)。AISデータに基づくシミュレーションと航路を変更した場合のシミュレーションによるCR07を上記3つの区分に分類した場合の時間変化を図21に、各々の割合を図22に示す。これらの図より、航路の分離を行うことで同航の割合が大きくなる

傾向が見られる。これは早い段階から交通を整流したことにより、船舶同士が同航する距離と時間が増加することで同航による衝突の危険の割合が増加したものと考えられる。

以上より、安全対策を考慮した場合、その対策を盛り込んで海上交通流シミュレーションを行うことにより、その効果を定量的に評価することが可能であるといえる。

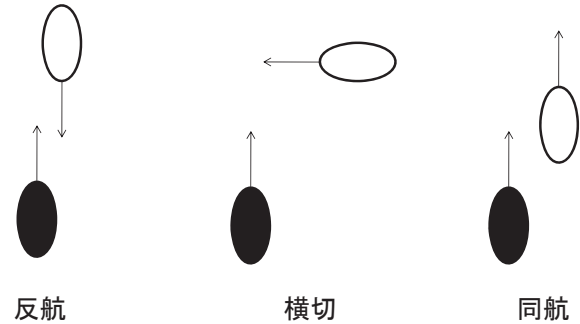
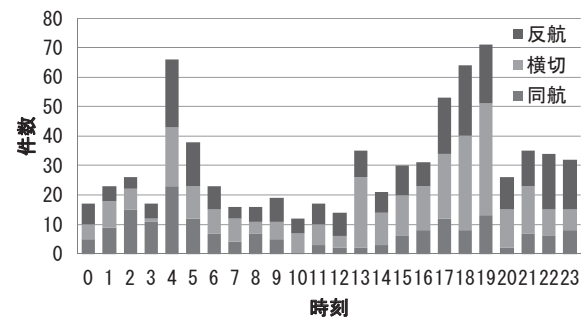
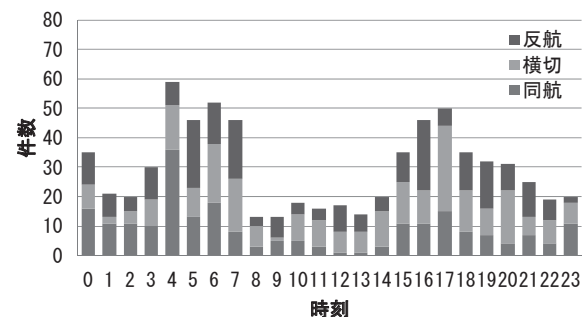


図20 見合い関係の分類



AIS データに基づくシミュレーション
(before)



航路を変更した場合のシミュレーション
(after2)

図21 シミュレーションによる衝突危険な状態の見合い関係別時間変化の比較

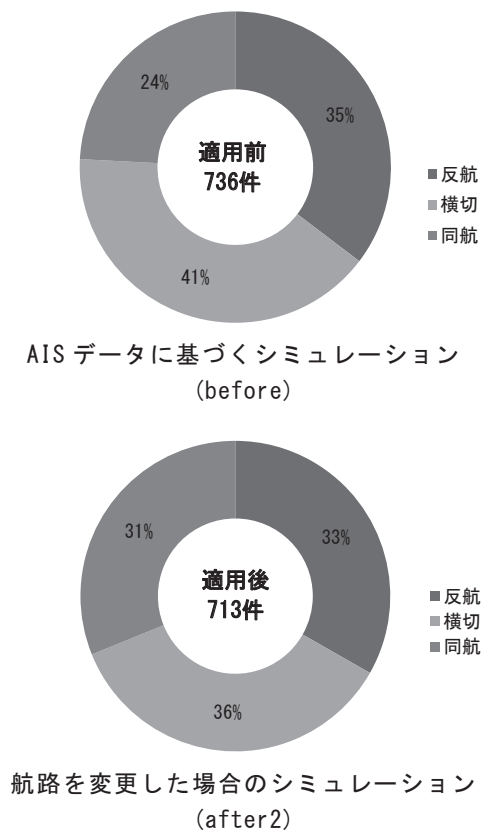


図22 シミュレーションによる衝突危険な状態の各々の割合の比較

6. まとめ

- 1) 海上交通流の実態を把握するため、AIS データを独自に取得し、分析を行った。
 - 2) AIS データを用いてシミュレーションの入力を作成し、海上交通流をシミュレーションできる技術を確立した。
 - 3) AIS データに基づいて海上交通流シミュレーションを実施することにより、交通流に潜む危険性を衝突危険な状態の発生頻度という形で表現することができる。
 - 4) 海上交通流シミュレーションでは船舶の発生頻度や船舶の通航する場所を変更することができるので、本稿のような事例に対して海上交通流の変化を予測でき、その時の衝突危険な状態や見合い関係の発生頻度を推定できる。
- なお、海上交通流シミュレーションは、以下のような状況等に対しても利用できると考えられる。

- ①分離通航や仮想ブイによる交通の整流を想定した場合の交通流への影響評価
- ②航行区域の変更に伴う交通流への影響評価
- ③障害となるもの（構造物、海底地形等）による交通流への影響評価
- ④物流の変化等に伴う海上交通量の変化による交通流への影響評価

また、海上交通流シミュレーションの操船判断モデルを操船シミュレータに組み込めば、自船以外の船が予め設定された航路を航行していた今までの操船シミュレータが、自船の操船に対応して自動的に避航動作を取るインテリジェント化された操船シミュレータ⁸⁾として活用できる。様々な形で海上交通流シミュレーションが有効に活用されることが望まれる。

なお、本研究の一部は大阪大学大学院工学研究科との共同研究により実施した。

参 考 文 献

- 1)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(2001)、pp.184-189
- 2)瀧本忠教、谷澤克治、福戸淳司、伊藤博子、吉村健志、長谷川和彦：海上交通流シミュレーションによる海難事故対策の定量的評価について、平成23年度(第11回)海上技術安全研究所研究発表会講演集(2011)、pp.283-290
- 3)長谷川和彦、福戸淳司、瀧本忠教、山崎全紘：輻輳海域シミュレーションシステムによる海域評価、日本航海学会論文集第125号(2011)、pp.33-41
- 4)瀧本忠教、福戸淳司、山崎全紘、長谷川和彦、三宅里奈：AIS データを活用した海上交通流シミュレーションについて、日本船舶海洋工学会講演論文集第14号(2012)、pp.31-34
- 5)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、関西造船協会会誌 No.205(1987)、pp.1-10
- 6)伊藤博子：海難事故データベースを用いた事故分析、海上技術安全研究所報告第12巻第2号(2012)
- 7) http://www.mlit.go.jp/kaiji/harbor_transport/harbor_transport.html
- 8)福戸淳司、長谷川和彦、酒井史彦：操船シミュレータへの自動避航操船機能の導入、日本航海学会論文集第125号(2011)、pp.63-71