

AIS データを用いた大津波来襲時の石油コンビナートを有する港湾における船舶の避難状況把握

牧野 秀成 大阪大学

Analysis of the evacuation situation of ship in the harbor with a petrochemical complex during tsunami using AIS data

Hideinari MAKINO Naval Architecture & Ocean Engineering, Osaka University
makino@naoe.eng.osaka-u.ac.jp

Abstract

A massive earthquake occurred in the Tohoku and Kanto regions of Japan on the 11th of March 2011. In response, a tsunami alert, a tsunami warning and an advisory were issued for the entire Pacific coast region. This research investigates the evacuation behavior of ships by AIS data in Sendai port after the tsunami warning was issued. The unusual behavior observed was attributed to the emergency evacuation of ships. We recognize the actual situation of ship refuge in the target port after the Tsunami alert. The result verified that most ships in port started to evacuate approximately 20 minutes after the major tsunami warning and completed offshore evacuation 50 minutes after this warning. Moreover, the drifting or stranding state of ships resulting from the tsunami was recognized from each ship's behaviour. This contributed in understanding the actual status of the ship refuge action, and the final goal of our research is creation of the optimal safe refuge manual for each harbour.

1 緒言

本研究は、巨大自然災害発生時における港湾全体の保全と港湾機能の停滞防止を目指したものであり、特に、港湾においてその機能的部分の主を担う船舶の安全避難を主眼としたものである¹⁾²⁾。近年、世界各所で巨大自然災害が頻発しており甚大な被害が出ている。そうした災害は、それ自身がもたらす1次的な災害に加え、その1次的災害を起因とした2次的・3次的な災害が被害状況を更に悪化させる。特に、船舶や港湾はその行動や機能の大部分が自然界の外的要因に影響されるため、そのような異常時の気象・海象情報をいち早く入手し、それらに対して対策を講じなければならない。特に、大津波来襲時や巨大台風来襲時には、船舶自体や港湾施設の損傷のみならず海事産業に関わる多くの人や物、また、沿岸地域に居住する人々に種々のリスクが生じる。加えて、特に船舶はそれ自身が海面に浮遊した巨大構造物であり操船不能ともなれば、それ自身が甚大な被害を与える加害側にもなり得る。そのような要因をいかに削減するかが今後の巨大自然災害時の減災にも直結した非常に重要かつ早急にクリアすべき課題である。そうした対応策を考慮する上で、その核となる船舶自身の避難状況の詳細な把握は急務である。従来、荒天時の船舶の避難行動は、その大きさによりその対応策が異なるが、着浅時は係留索の強化や出港し港外避泊、または沖出しにより対応することが通例とされてきた。しかし、こうした避難行動については習慣的な訓練はほとんどなされていないのが現状である。また、現在の日本における海上物流のほとんどは大型の外航船舶を起点として行われているが、それらのほとんどが外国人船員により運航されており、彼らは寄港する海域に関しての詳細な情報や土地勘を有していないことがほとんどである。特に、上述の巨大自然災害時における避難に関して、それを経験した船員は極少数である。こ

うした背景のもと、船舶が安全に避泊を行うには正確な情報を早急に取得し、その情報に基づき的確な避泊行動と、避泊完了までの明確な想定が必要となる。また、これらの緊急避泊の際は、自船のみの安全のみならず、他船や周囲の安全も同時に確保できれば、より被害を低減することが可能となる。そのためには、基礎データの構築として実際に津波に遭遇し、避泊行動をとった船舶の詳細を解析し、それらの結果を共有することで、実際にはそうした災害避難経験はなくとも明確な情報として避難経路や避難場所の認識や、避難操船時の未経験の船体挙動などの情報を前もって獲得できる。本研究では、この船舶の行動解析に用いる基礎データとして、日本の沿岸航行をしている多くの船舶に搭載されている船舶自動識別装置 (Automatic Identification System : 以後、AIS とする) から送信される船舶の航行情報を含む AIS データを用いて船舶の動静を把握し避泊行動の解析を行った。

本報告では、2011年3月11日の超巨大自然災害である大津波来襲時の石油コンビナートを有する港湾における海上避難状況の解析結果として、

- ①実際に避難行動をとった船舶群の実航行データである船舶自動識別装置 (AIS) データを用いて避難行動を再現解析
- ②緊急避難時における船舶間距離に基づく衝突危険分析と地理情報システムを用いた港湾危険リスクの可視化を行った結果について報告する。

2 AIS データを用いた船舶の避難行動解析

AIS³⁾は、放送型自動従属監視の一種で、船名、呼び出し符号等の船舶の識別に役立つ情報、船舶の位置、速度、針路等の動きを知らせる情報および目的地、積荷等の情報を、周囲

の船舶などに自動的に送信する装置である。IMO(International Maritime Organization)により、対象船舶(国際航海では旅客船と300総トン以上、国際航海以外では500総トン以上)への順次搭載が義務化されている¹⁾。各データには各データの詳細目を表1に示す。送信されるデータは大きく分けて①静的情報(IMO番号、呼び出し番号、船名、船長、全幅、船種など)、②動的情報(時刻、船位、船速、対地方位、船首方位、航海状態など)③航海関連情報(喫水、目的地、ETA、積荷など)に大別される。

本研究では、2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震発生後に仙台港周辺海域に存在していた船舶群のAISデータを基に、その中から津波の影響を避けるために避泊行動をとった船舶を抽出し、それらの船舶の避泊行動とその分布について解析した。避難した船舶の抽出手順を図1に示す。はじめに、各船舶が港内からの避難か港外で入港待ち状態からの避難か

を区別するために、船舶の初期位置が設定した同港領域内かそうでないかを判別する。次に、避難船舶の動向を把握するために避難船舶が沖合で停泊したか、それとも停泊せずに別の海域に移動したかを判別する。この判別には、避難船舶の航海状態が停泊または、船速が2ノット以下であったかどうかを判定要素とした。さらに、避難の際に津波の影響を受けたかどうかを判定するために、船首方位と対地方位の差が5度以上を閾値とし判別を行った。以上の手順により抽出された船舶について、同港周辺には震災当時19隻のAIS搭載船舶が確認され、そのうち、17隻が港内に存在しており、その船舶の内14隻が大津波警報を受けて港外へ避難した。

2.1 船舶の避難行動解析

図1で示した手順により、大津波警報を受けて緊急避難行動をとった船舶群を抽出した結果を図2に示す。図2(a)～図2(f)は、大津波警報発令後から10分毎の仙台港内における避難船舶の緊急出航の様子である。図中の矢印は船舶とその船首方位を示す(赤:タンカー, 青:貨物船, ピンク:客船)。また、矢印に付随した数値は上が船速, 下が船長を示す。さらに、破線は5分間の航跡を示す。図2(a)は大津波警報発令から10分後の港内の様子である。同港内において、入港時に向かって右手側(図中の赤矢印で示すタンカー船が多く停泊している地域)に石油コンビナートが存在しており、これらのタンカー船は港内入り口近くの大規模タンカー船以外は出船着積の状態での停泊していたことが確認できる。また、青矢印で示す貨物船については、7隻中4隻(160m以上の大型貨物船2隻を含む)が出船着積で3隻が入船着積状態で停泊していた。加えて、同港内奥にフェリーターミナルが存在しており、震災当時1隻のフェリーが入船着積状態で停泊していた。この着積状態の違いは緊急出航の際に如実に時間差が出た。というのも入船着積状態から出航する際は、船体を180度回転させる必要があるため出船着積時と比べてより多くの時間を要する。大津波警報発令から10分後の状況では、図中中央の1隻のタンカーはすでに出航していたため、そのまま港外へ向かった。図2(b)～図2(d)の30分間で港内のほとんどの船舶が避難のために緊急出航を開始しており、特に出船着積状態の船舶群は円滑に順序良く船間距離を保ちながら港外に出港したことが確認された。大津波警報発令から50分後には港内に停泊していたタンカーは港外に避難を完了していた。また港内奥のフェリーターミナルに停泊していたフェリーも港湾出口付近まで避難を完了していたことが確認された(図2(e))。

しかし、この時間帯に同港内には津波の最大波が押し寄せていた。図2(f)は、その最大波の押し波の影響を受けて、港外にもう少しで出港できそうであった大型貨物船が津波の影響で港内に押し戻されている様子である。同船舶は出船着積であったが荷役作業中であったため、その作業を停止し避難するまでに時間を要したことが原因だと考えられる。この時点までに港外避難ができなかった船舶は、津波の影響を受け港内で漂流したことが確認された。避難が遅れた船舶の中には船長100m以内の船舶(通常の入出航においてタグボートなどの支援を受けることなく自船で出港可能)も含まれていたが、入り船状態で着積していたために出航のためには旋回しなければならず、このような緊急状態かつ出航のために港内も混雑した状況では容易に旋回ができず、津波の最大波の流入により操船困難となり漂流した。運良く津波の引き

Table. 1 Component of AIS data

Kind	Contents
Static data	IMO number, call sign & name, length and beam, type of ship, location of antenna,
Dynamic data	Position, time in UTC(Universal Time, Coordinated), COG(course over ground), SOG(speed over ground), heading, navigation status(manual input), rate of turn(if available), angel of heel(optional, if available), pitch and roll(optional, if available)
Voyage related data	Draught, hazardous cargo type, destination and ETA, route plan(optional)

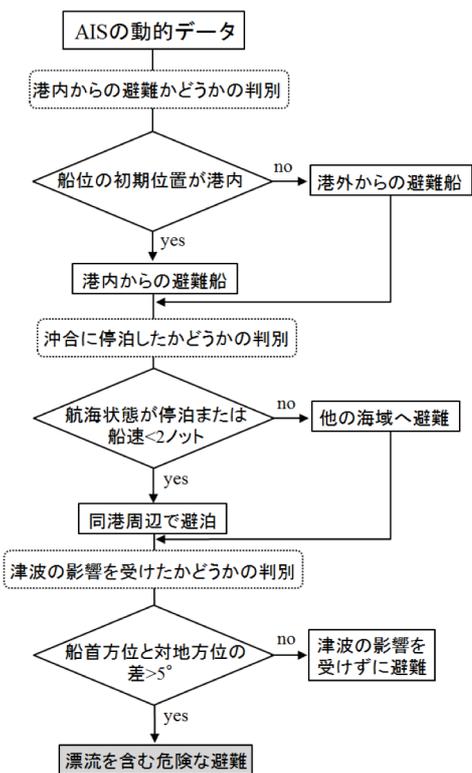


Fig.1 Flow-chart of the extract of evacuation ship

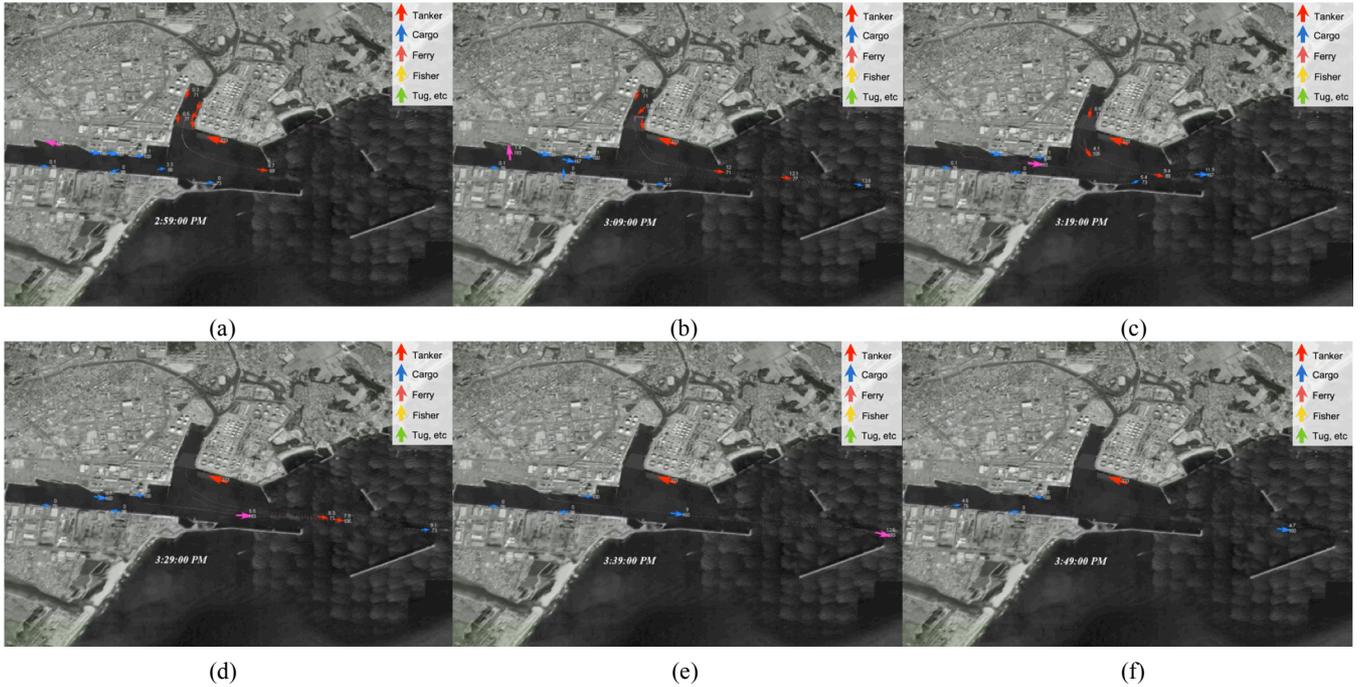


Fig.2 Status of ship evacuation at Sendai port

波の影響で港外に流れ出した船舶も確認されたが、自船の思い通りの操船での出航ではないために、他の船舶や港湾施設にも被害を与えかねない非常に危険な状態である。また、津波による漂流を止めようと港内でアンカーを使用した避難対策をとった船舶も確認されたが、この対策は他船の避難阻害や巻き込んでの被災の恐れもあるため、状況によっては危険な対応であることが確認された。

2.2 避難海域の船舶密度分布の把握と危険エリアの抽出

船舶がどの海域に避泊したのかを把握することは、今後の津波防災・減災を考慮する上で非常に重要となる。そこで、避泊海域の分布を把握するために海域の密度解析を行った。ここでは、L換算密度手法を用いた。この手法は、海上交通工学において定量的な船舶の評価手法として多く用いられており^{4),5)}、Lは船舶の全長を意味する。船舶の位置のみを考慮し算出される密度ではなく、船体の長さを基準として、海域の輻輳度を評価したものである。本研究では、対象海域を500×500[m]のメッシュで等分割し、L換算密度手法により解析を行った。ここで、この解析の基となるAISデータは航行状況により送信間隔が異なるため、データを統一するために1秒間隔で線形補間を行った。その後、30秒毎にデータを抽出し、L換算密度手法により船舶数を各メッシュにカウントした。本研究の対象期間内での船舶の全長の平均長さは108mであり、その値をL換算係数とした。解析結果を地理情報システム上で統合マッピング表示した結果を図3に示す。解析は大津波警報発令後の15時から20時までの時間帯で行い、避泊船舶の密度分布を色分けにより表示・把握した。図中、黄色から赤色で示す部分が船舶の輻輳海域を示し、赤色部分は避泊船舶の輻輳度が高い海域を示す。震災時に仙台港周辺海域に存在していた船舶のほとんどは、港出入口付近の海

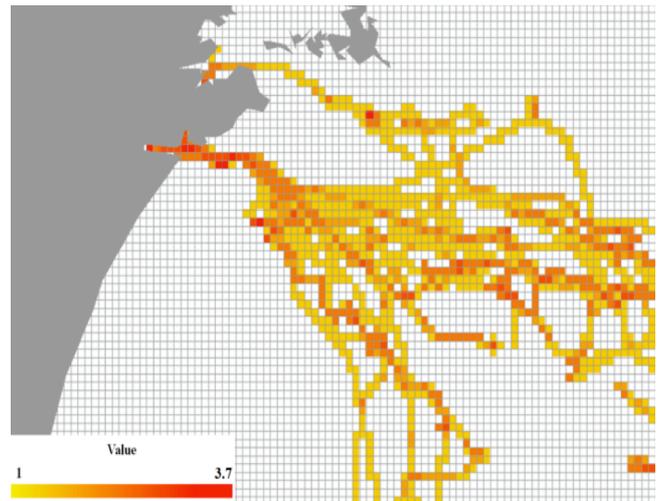


Fig.3 Result of the density analysis of all ships

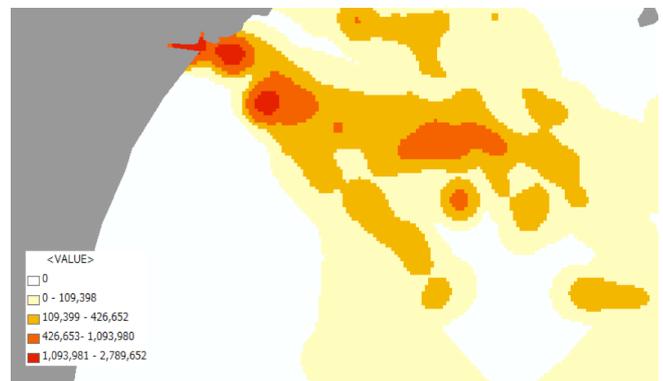


Fig.4 Result of the Kernel density analysis of refuge ships by the distance of ship to ship

域に避泊しており、この海域が最も船舶密度が高くなった。しかし、避泊船舶以外の船舶の海域占有密度が広範囲で高いことが確認された。

次に、同海域において船舶間距離に基づきカーネル密度推定解析を行った。カーネル密度推定は少数の参照点から点の集中度を推定するため、それらを全体の中の分布として把握することが可能である。本研究において、カーネル密度推定の参照点は避難船舶の航跡とした。これらを中心として通航する各船舶について、長さ 300m を半径とした円を設定した。この円内に含まれるすべての参照点に対して、円の中心からそれぞれの地点までの距離を算出し、近いものほど重み付けしそれらを合計して密度推定値とした。解析結果を図 4 に示す。この結果から、船舶間距離が 600m 以内となる密接海域である危険エリアが把握された。これらの結果から、津波来襲中の仙台港周辺海域については、特に、港出入り口付近で避難船舶を含む船舶が高密度な危険海域が存在したことが確認された。この海域は防波堤の影響もあり特に津波の引き波の影響が大きくなるため、出港避難時の操船について最も気を付ける必要がある。また、避難後の待避海域としては妥当でないため、避難出港後は他船と十分な距離が確保できるような海域への待避まで想定した避難方法や避難誘導も安全避難の面からは考慮すべきである。

3 結言

本報告では船舶自動識別装置 (AIS) の取得データを用いて、巨大自然災害時における防災・減災対策に関する船舶避難対応策の構築を目指し、大津波来襲時の仙台港周辺の AIS 搭載船舶の避難状況解析を行った。その結果、港内にいたほとんどの船舶は大津波警報発令後約 10 分後には避難行動を開始し、そのほとんどが 50 分後には沖合で避泊していたことが確認された。また、津波の引き波が船舶に危険な影響を及ぼすことが判明した。特に、操船中に後方からの引き波を受けると船体に予期せぬ状況を招くために操船困難に陥りやすく非常に危険であることが確認された。さらに、港外避難後の港湾付近の船舶の安全な避難場所を検討するための基礎的解析として、L 換算密度解析を行い周辺海域における船舶高密度海域を把握した。さらに、避難の際の船舶の船間距離に基づきカーネル密度推定解析を行い、避難時の船舶距離が密接する危険エリアを把握した。

今後の研究課題として、これまでの通例とされている津波時の船舶の対応が必ずしも安全に繋がるとは言いえないことが確認され、それらについて再検討する必要があることが判明した。つまり、津波時の沖出しや大型船舶の係留強化による港内停泊は、座礁や岸壁、防波堤への衝突などの予期せぬ 2 次災害を招きかねない。実際に今回の解析結果においても、通例に従えば港内待機をとるのが妥当と思われる船舶が、予期せぬ状況により緊急出航し座礁や他船への衝突や避難阻害といった状況に陥る可能性がある事象を確認した。また、沖出しについても出航のタイミングや港内の状況によっては多重衝突事故を起こすことや、防波堤や港湾施設の倒壊などにより港外退避の際に通航できなくなる危険性が考えられる。そのため、今後は各港に適した災害時の避難指針を早急に検討・作成する必要がある

参考文献

- 1) Analysis of Ship Refuge Action in Tsunami Using AIS Data: Case of the 2011 East Japan Earthquake and Tsunami, Hidenari Makino, Journal of Shipping and Ocean Engineering 2, pp.380-385, 2012.
- 2) AISデータを用いた津波の早期検知・通報システムの構築に関する研究 -船舶挙動解析による津波の検知-。牧野秀成, 土木学会論文集B3 (海洋開発), Vol.70, No.2, I_984-I_989, 2014.
- 3) International Maritime Organization: Guidelines for The Installation of A Shipborne Automatic Identification System (AIS), <http://www.imo.org/OurWork/Safety/Navigation/Documents/227.pdf>, 2003.
- 4) 丹羽康之, 木本久也: AIS 情報による関門海峡の交通解析, NAVIGATION(研究・調査), pp.82-87, 2010.
- 5) 田中隆博,長澤明, 山田多津人, 山本淳: AIS による海上交通評価に関する研究 - 来島海峡周辺における搭載船の実態とデータの解析, 日本航海学会論文集 (111), 219-224, 2004.