

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：85406

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510265

研究課題名(和文)津波発生時における適切な船舶退避の方法及び乗員の非常呼集計画に関する研究

研究課題名(英文) Study of the behavior of ships' evacuation and ships' crew call at the time of the tsunami.

研究代表者

松浦 義則 (Matsuura, Yoshinori)

海上保安大学校(国際海洋政策研究センター)・その他部局等・教授

研究者番号：80285436

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：東日本大震災における仙台塩竈港での船舶AISデータを利用し、船舶が津波から退避するシミュレーションを実行した。AISの搭載船舶は目視の数倍の精度で周囲の船舶の状態を監視し、事故を減少させる。一般に船舶は津波が予想される場合、港外に退避するか退避不可能な場合は岸壁に強く固縛する。シミュレーションでは船舶による被害を軽減するために、危険物の搭載船舶は津波の到達時間に関係なく、必ず港内から退避させる条件とした。その結果、危険物の搭載船舶は地震発生から30分以内に港外の安全な場所に向けて出港すべきであることを確認した。また、迅速な出港準備のために上陸した乗組員の行動指針が重要であることが分かった。

研究成果の概要(英文)：In this research, we simulated the ship's evacuation from tsunami at the Sendai-Shiogama port using the AIS data of the Great East Japan Earthquake. With the AIS installed, ships are able to monitor the movement of a multiple number of ships simultaneously regardless of visibility, thereby dramatically reducing the ship collision. If an earthquake occurred, ships must evacuate from port, or ship's crew must strongly moored their ship at a pier. In our simulation, the ship carrying dangerous goods must depart for the evacuation point regardless of the arrival time of tsunami in order to reduce the damage of facilities. By the result of this simulation, the ship carrying dangerous goods in the port should depart for the evacuation point for their safety within 30 minutes after the earthquake. In addition, to make preparation to leave port quickly, the guidelines for behavior of the crew who landed is important.

研究分野：計算科学

キーワード：津波 船舶退避 マルチエージェントシミュレーション

### 1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では、港湾内の多くの船舶が津波により陸上に流された。船舶そのものの被害もさることながら、船舶やその積み荷が凶器となり陸上の構造物を破壊し、燃料や積み荷の石油などが大規模な火災の要因となった。津波だけではなく、台風来襲時など高波が予想された場合、一般的に船舶は沖合に退避すれば被害が軽減されることは知られている。しかし、津波の場合は台風の場合と異なり、到達までの予想時間が比較的小さいため船舶の退避はより迅速に行われなければならない。また、津波時の船舶退避について特化された文献はなく、今後の被害軽減のために、短時間に多くの船舶を港外に退避させる方法に関する研究は重要であると考えられる。

### 2. 研究の目的

津波の到達が予測される場合、停泊中の船舶のほとんどは被害を避けるため沖合に退避する。しかし、防波堤等で狭い港湾の出口に多くの船舶が同時期に殺到した場合、効率の良い沖合退避は不可能である。本研究では、船舶の大きさや機関の種類、さらに積み荷の危険度や非常呼集に応じる運航乗組員の呼集と乗船に要する時間を条件として、港湾内から多くの船舶を安全な海域に退避させるアルゴリズムを求めることを目的とする。その手法としてシミュレーションと 2011 年 3 月に発生した東日本大震災時の船舶 AIS (Automatic Identification System) データを用いる。

### 3. 研究の方法

(1) 2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災で発生した大規模津波が到達した仙台塩竈港に停泊していた船舶の状況入手する。AIS とは、船舶の識別符号、種類、位置、針路、速力、航行状態及びその他の安全に関する情報を自動的に送受信し、船舶相互間及び船舶と陸上の航行援助施設等との間で情報の交換を行うシステムのことであり、VHF 帯デジタル無線機器と対応ソフトウェアがあれば受信したデータを電子海図上やレーダー画面上に表示することができる。AIS 搭載船の状況はこの装置が発信したデータを解析することで再現可能である。また、AIS を搭載していない比較的小型の船舶の状況は各海上保安署等が聞き取り調査した状況を入手するとともに、現地の自治体や漁業関係者に聞き取り調査を実施する。

(2) 入手した情報から船舶の退避行動を検証し、問題点を洗い出すと同時に作成するシミュレータの設計に活用する。開発用ツール “artisoc” を用いて、マルチエージェントの手法により開発を進める。港内停泊中の船舶 1 隻毎に、船名、位置、針路、速力等をパラメータとして持つエージェント(船舶の論理

モデル)を定義し、東日本大震災での状況を再現する。

(3) 港湾近郊の陸上部分に避難住民のエージェント(避難住民の論理モデル)と港湾に集合する乗組員、自治体職員等のエージェント(乗組員の論理モデル)を設定し、避難住民の心理的要因を取り入れ、混雑が発生する状況をシミュレーションする。

(4) 港湾データの入力 of 簡単化、入港/停泊中の船舶データの AIS を利用した自動取得、陸上部の避難経路の入力の簡単化、関係機関へ配布する形式およびマニュアルの作成等、現場での実用化に向けた研究を遂行する。

### 4. 研究成果

(1) 東日本大震災において、仙台塩竈港に停泊中の船舶が沖合の退避場所までに退避するのに要した時間と津波到達時間を実際の AIS データから解析した。またその AIS データを基に、マルチエージェントのツールを用いて仙台塩竈港における船舶退避のシミュレータを開発した。AIS を搭載することが義務づけられている船舶は、国際航海に従事する 300 総トン以上の全ての船舶及び国際航海に従事する全ての旅客船、国際航海に従事しない 500 総トン以上の全ての船舶となっており、全ての船舶に搭載されているわけではない。地震発生から 30 分後の仙台塩竈港の AIS データを図 1 に示す。三角形が船舶を示し、その先の線分が速度及び針路を示している。このデータより、震災後多くの船舶が急いで出港していることがわかる。津波の第一波は地震発生後約 1 時間で仙台塩竈港に到達した。東日本大震災時に仙台塩竈港内に停泊していた AIS 搭載船舶は 15 隻であった。



図 1 東日本大震災時の AIS データ(地震発生から 30 分後)

AIS データによると、15 隻のうち津波到達時間までに沖合まで退避完了できた船舶は 10 隻、津波と衝突した船舶は 5 隻、その中で津波に衝突し航行不能となった船舶は 2 隻であることが分かった。(図 2) また、地震発生から約 30 分以内に出港した船舶は津波の被害を受けることなく、沖合に退避できてい

たことが分かった。

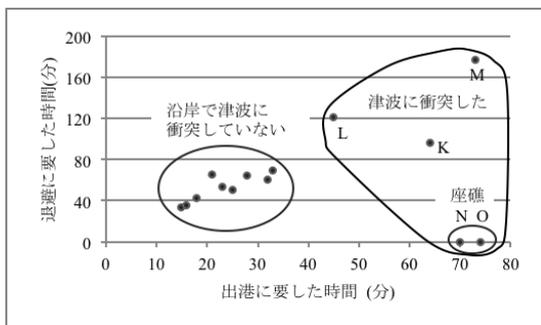


図2 出港に要した時間と退避時間の関係

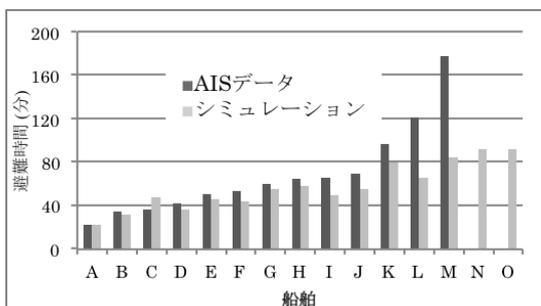


図3 AISデータとシミュレーションの比較

他方、開発したシミュレータに当時の仙台塩竈港に停泊していた AIS を搭載した船舶のデータを入力し実験したところ、図3に示すように仙台塩竈港の様子を近似し再現できた。ただし、図3の船舶Nと船舶Oは航行不能になった船舶であるので、AIS データでの退避時間は無い。

(2) 第二管区海上保安本部より入手した東日本大震災時の船舶の状況を示す船舶 AIS データ等の解析をしたところ、当時の仙台塩竈港にはタンカー等の危険物を搭載した船舶とその他の船舶が混在していたことや岸壁で荷役に関連する作業を実施していた者が死傷する事案があったことが分かった。したがって、最初の段階で開発したマルチエージェントシミュレータによる東日本大震災時の仙台塩竈港の船舶の動向を再現するプログラムを発展させ、危険物搭載船とその他船舶が入力できるようにして、シミュレーション結果と実データを比較し検討をした。研究計画にも記載したように、船舶が陸上施設を破壊することは避けなければならないが、乗上げる船舶が危険物を搭載した船舶である場合には、その被害は甚大になる。危険物を搭載した船舶は必ず退避する必要があると仮定してシミュレーションを実施し、被害から免れるためには概ね津波到達時刻の30分前までには出港準備が完了している状態であるという結果を導いた。

(3) 船舶が港に停泊している場合、一部の

乗組員が外出していることが考えられる。このような時に災害が発生した場合、乗組員が徒歩で船舶に帰船するまでに要する時間と乗組員が帰船した後に船舶を出港させて船舶が沖合に退避するまでの時間をシミュレーションし分析した。



図4 シミュレーションの実行

図4は住民、船舶乗組員、船舶の3種類のエージェントを取り入れたシミュレーションを実行している様子である。

表1 シミュレーション結果(10試行)

住民		乗組員		船舶	
エージェント	エージェント	エージェント	エージェント	エージェント	エージェント
平均	標準	平均	標準	平均	標準
(分)	偏差	(分)	偏差	(分)	偏差
244.9	40.0	191.0	24.5	215.3	26.2

表1に示すシミュレーション結果では、乗組員が帰船した後に船舶が出港した場合、船舶エージェントの沖合までの退避完了に要する時間は約3時間半であり、このうち約3時間は乗組員エージェントが帰船に要する時間である。地震発生時の混乱の中で、乗組員の徒歩による帰船を待ってからの船舶退避は現実的ではないことが分かる。乗組員の帰船を待たずに出港できる体制を整えるか、あるいは外出する乗組員の緊急時の移動手段を確保する何らかの方策が必要であることがこのシミュレーションから分かった。

#### <参考文献>

- 広瀬弘忠、人はなぜ逃げおくれるのか、集英社、2004
- NHK スペシャル取材班、巨大津波<その時ひとはどう動いたか>、岩波書店、2013
- 山影進、人工社会構築指南 - artisoc によるマルチエージェントシミュレーション入門 -、書籍工房早山、200
- 吉井博明、2003年十勝沖地震における津波危険地区住民の避難行動実態、2003年十勝沖地震に関する緊急調査、津波に対する避難行動調査グループ調査報告集、2004
- Stefano Mambretti、Tsunami From Fundamentals to Damage Mitigation、WITPRESS、2013

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

Yoshinori Matsuura, Saori Iwanaga,  
Simulation of the Evacuation of Ships  
Carrying Dangerous Goods from Tsunami,  
World Academy of Science, Engineering  
and Technology International Journal of  
Computer, Control, Quantum and  
Information Engineering 9(2) 378-381,  
2015年

Saori Iwanaga, Yoshinori Matsuura,  
Safety of ships' evacuation from tsunami:  
survey unit of the Great East Japan  
earthquake  
Artificial Life and Robotics 17(1) 168-171,  
2012年

〔学会発表〕(計3件)

S. Iwanaga, Y. Matsuura  
Considering Psychological Conditions in a  
Tsunami Evacuation Simulation  
Proceedings of 15th International  
Conference on Information Processing and  
Management of Uncertainty in  
Knowledge-Based Systems (IPMU'2014  
Montpellier, France) 437-446, 2014年7月  
15日

Yoshinori Matsuura, Saori Iwanaga  
Simulation of the Ship's Evacuation in  
Sendai-Shiogama Port of the Great East  
Japan Earthquake  
ESHIA Winter Workshop 2013  
-Towards Large Multiscale Simulations of  
Complex Socio-Economic Systems with  
Heterogeneous Interacting Agents-,  
2013年11月18日

Saori Iwanaga, Yoshinori Matsuura,  
Behavior of Ships after the Great East  
Japan Earthquake.  
Intelligent Autonomous Systems 2012,  
Proceedings of the 12th International  
Conference IAS-12, Volume 2, 785-793,  
Jeju Island, Korea, 2012年6月29日  
DOI:10.1007/978-3-642-33932-5

6. 研究組織

(1)研究代表者

松浦 義則 (Yoshinori MATSUURA)  
海上保安大学校・海上安全学講座・教授  
研究者番号：80285436

(2)研究分担者

岩永 佐織 (Saori IWANAGA)  
海上保安大学校・海上安全学講座・教授  
研究者番号：00559239