

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 19 日現在

機関番号：53203

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24710193

研究課題名(和文)大阪湾における津波来襲時の避難船舶の危険度評価に関する研究

研究課題名(英文)A Risk Evaluation of Evacuation Ships under the Tsunami Attack in Osaka Bay.

## 研究代表者

村山 雅子(MURAYAMA, MASAKO)

富山高等専門学校・国際ビジネス学科・准教授

研究者番号：60369965

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：日本の南海トラフ沖を震源とする大規模地震の発生が懸念されており、この地震により発生する津波は、太平洋沿岸地域の広い範囲に襲撃することが予想されている。本研究では大阪湾を対象に、津波警報発令時に航行中の船舶および港内の船舶が安全な海域まで避難できるか動的シミュレーションを用いて検討した。大阪湾において津波下で船舶が安全に避難し、避難想定海域において津波をやりこすための船舶の避難行動の指針となる指標を示した。

研究成果の概要(英文)：There is a concern about the occurrence of huge earthquakes along the Nankai Trough, in the near future. Tsunamis are to be generated by these earthquakes occurring off the coast of Japan. In this research, with the aim of confirming the safe evacuating of ships during tsunami attack, several types of simulations of ship evacuations under the tsunami attack in Osaka Bay were carried out. This research suggests an evacuation scenario of ships due to the tsunami attack in Osaka Bay.

研究分野：海上交通工学

キーワード：津波 防災 シミュレーション AIS データベース

### 1. 研究開始当初の背景

先の東北地方太平洋沖地震では、複数の船舶が津波により陸上への乗揚げ、岸壁への衝突などにより甚大な被害があった。また、日本国内において、南海トラフ上での大規模地震の発生が予想されており、この地震に伴い広い範囲に津波が来襲し、大阪湾には紀伊水道、友ヶ島水道から浸入するとされている。

津波が来襲すると、浸水や船舶の乗揚げなどにより沿岸地域に深刻な被害を及ぼすことがある。地震および地震に伴う津波発生時の対策については、陸上を対象とした研究は多く行われており、ハザードマップの作成や避難マニュアルが整備されてきたが、港湾および海上交通を対象とした研究はほとんどない。しかし、太平洋沿岸地域および大阪湾・瀬戸内海の沿岸地域には多くの工業関連施設があり、ここに原料を輸送するために多くの危険物運搬船が航行しており、避難が遅れると船舶同士の衝突や積載貨物の流出などにより深刻な二次災害を引き起こす危険性も考えられる。

大阪湾は後背地に工業地帯や商業施設を有していることから、大型船を含め船舶が多数航行、停泊する海域である。津波来襲時には、船舶は港外避難することになるが、大阪湾は水深が浅いところが多く航行水域が限られており、船舶が一斉に避難すると船舶同士の衝突の危険が生じるなど海上交通に混乱が生じることが考えられる。また、地震および津波流により大量の土砂が流入し航路が埋没することにより大型船舶の航行が困難になることも考えられる。

### 2. 研究の目的

津波警報発令時に航行中の船舶および港内の船舶が避難することを想定し、避難船舶の危険度について動的シミュレーションを用いて検討する。本研究では大阪湾を検討対象とする。

津波来襲時に複数の船舶が一斉に避難を開始した時、(1)航路において輻輳し衝突などの危険が発生しないか。(2)港内の船舶が港外避難し、沖合に避泊しようとする時、港口付近で混雑し、待ち時間が発生することも考えられるが津波来襲までに避難が完了できるか。(3)津波来襲までに避難が完了できない時、津波の影響を受けながら安全に避泊地まで移動できるか。(4)避泊地において船舶が津波を安全にやり過ごすことができるか。について検討することを本研究の目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では津波来襲時の避難船舶の交通流および危険度について動的シミュレーションを用いて検討する。

まず、避難船舶の検討にあたり海上交通量を把握するため、統計資料と合わせてAIS受信データを用いることにより、船舶の位置情

報や船型等のより詳細な情報を把握することが可能である。

次に、外乱として津波流および潮流を加える。大阪湾における潮流データは先行研究で用いた手法により計算し、津波流データは先行研究における計算結果を整備して使用する。

また、シミュレーション実施にあたり、先行研究において開発されているプログラムを用いるが、計算の初期条件は大阪湾におけるAIS受信データの分析結果を基に設定し、計算を行う。計算結果を分析し、交通流および危険度を評価する。必要があればプログラムの機能追加を行う。

具体的に、年度ごとに以下の研究を行う。  
(平成24年度)

(1)統計資料、およびAIS(船舶自動識別装置)受信データを用いて大阪湾における海上交通量を把握する。AISデータを分析することにより、統計資料からは得られない船舶の詳細な情報や日付別・時間帯別の交通量を把握することが可能となる。

(2)AIS受信データを整理するためのデータベースを整備する。

(3)統計分析ソフトウェアを用いてデータ分析を行う。

(4)上記(2)で構築したデータベースを用いて、平成23年3月の東北地方太平洋沖地震に伴う津波警報発令時に、大阪湾における船舶の避難行動について分析する。

(5)大阪湾の潮流について資料調査し、流速が大きい日の潮流データを計算し、潮流データを整備する。潮流の計算は、先行研究[1]で用いたPOM(Princeton Ocean Model Version pom2K)を使用し、開境界での潮位は、NAO.99潮汐予測システムを用いる。

(平成25年度)

(1)避難海域の安全性について検討する。

海図を基に、安全に津波をやり過ごすことができる海域を想定する。次に、想定した避難海域において錨泊船舶が津波をやり過ごすことができるか、船舶の挙動シミュレーションを行い検討する。この時、津波流は先の研究で用いた大阪湾の津波計算結果データを用いる。さらに、避難海域の地形を海図を基に調査し、何隻程度の船舶を受入れ可能か想定する。

(2)避難経路を設定する。

AIS受信データを分析し、通航実態から避難経路を設定する。次に、避難経路の安全性について検討する。津波流・潮流下の影響を受けながら、船舶が設定した避難経路を通り、避難海域まで安全に航行できるかシミュレーションを行い検討する。シミュレーションプログラムは先の研究で用いたものを使用する。潮流は平成24年度に整備したものをを用いる。

(平成26年度)

(1)港外避難シミュレーションを実施する。

平成24年度に行うAIS受信データ分析か

ら港内にある船舶数を把握し、船型、出航または入港に要する時間など船舶の詳細な情報をシミュレーションの初期条件として設定する。

また、港外避難時には港口付近で混雑することが考えられるため、待ち行列モデルを用いて船舶の出航順序を設定する。

さらに、津波流・潮流データを外乱として与え、複数船舶の港外避難について動的シミュレーションプログラムを用いて計算を行う。

(2) 航行船舶の避難シミュレーションを実施する。上記(1)の港外避難船舶についての検討と同様に、航行船舶について津波流・潮流データを外乱として与え、避難シミュレーションを行う。

(3) 避難船舶の危険度評価を行う。上記(1)(2)のシミュレーション結果を分析し、避難船舶の危険度について船舶同士の衝突の危険性、交通流の輻輳の状況などから評価する。

#### 4. 研究成果

(平成 24 年度)

海上交通量を把握するため、統計資料、および AIS(船舶自動識別装置) 受信データを用いて大阪湾における海上交通量を調査した。

AIS データを分析することにより、統計資料からは得られない船舶の詳細な情報や日付別・時間帯別の交通量を把握することが可能となるため、AIS 受信データを整理するためのデータベース構築における条件を整理した。

次に、緊急時に船舶が避難し、安全に津波をやり過ごすことができる海域（以下避難想定海域）を、海図を基に想定した。大阪湾の主要港である阪神港大阪港区・堺泉北港区・神戸港区の出入港資料を基に、指定錨地から大阪湾北部の避難想定海域として設定した。避難想定海域を図 1 の①から⑨に示す。



図 1. 避難想定海域

さらに、設定した避難想定海域と、AIS 受信データを基に確認した船舶の通航実態から避難経路を設定した。

また、津波流データについて、2011 年 3 月に発生した東北大震災を踏まえて、「南海トラフの巨大地震モデル検討会」において新たにマグニチュード 9 クラスの巨大地震を想

定した検討が行われ、その結果が平成 24 年 8 月に発表されたことから、この新想定の大南海・南海地震の津波波源モデルに基づき計算し、津波流データを整備した。図 2 に計算結果の一例として、図 1 に示した避難想定海域④の水位および水平流速の時刻変化を示す。

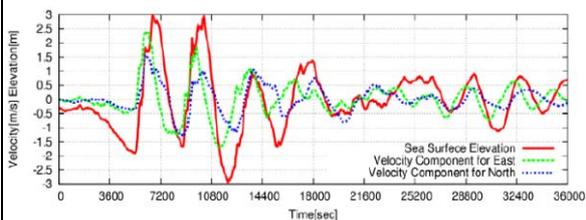


図 2. 避難想定海域④における津波の時刻変化

(平成 25 年度)

前年度に収集した AIS(船舶自動識別装置) 受信データを整理するためにデータベースを整備し、大阪湾の海上交通量を把握した。

次に、平成 24 年度に想定した船舶の避難海域の安全性について検討した。緊急時に船舶が避難し安全に津波をやり過ごすことができると想定した避難海域（以下避難想定海域）に錨泊した船舶の挙動について、動的シミュレーションを用いて計算した。表 1 に計算時に使用した船型モデルの船舶緒元を、表 2 に錨及び錨鎖の要目を示す。

表 1. 計算時の船型モデル

船型	船長	船幅	喫水
499GT	61.1m	10.4m	4.6m
3,000GT	106.6m	16.1m	6.7m
10,000GT	162.0m	23.1m	7.8m
160,000GT	325.5m	58.0m	10.4m*

\*160,000GT の船舶は軽貨状態とする

表 2. 錨及び錨鎖要目

船型モデル [GT]	錨鎖の呼径 [mm]	錨鎖の質量 [kg/m]	大錨の質量 [kg]
499	32	22.43	1,200
3,000	50	54.7	3,000
10,000	70	107.3	6,450
160,000	137	411	23,000

シミュレーション結果から、一部の海域を除き、津波下で避難想定海域に船舶が錨泊し津波をやり過ごすことができることを示した。津波流は、平成 24 年度に整備した大阪湾の津波計算結果データを用いた。一部の船舶の振れ回りが大きい避難想定海域、走錨の危険がある避難想定海域については海域の再検討を行った。

各避難想定海域において、投錨後からの錨泊船舶の挙動シミュレーションを 4 つの船型モデルについて行った結果得られた船舶の挙動の一例を図 3、図 4 に示す。

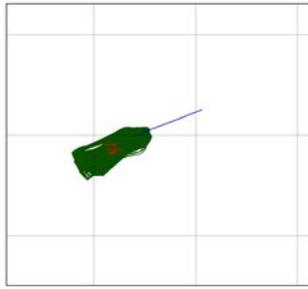


図 3. 海域⑧における船舶の挙動  
(160, 000GT)

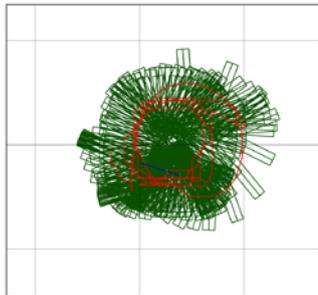


図 4. 海域④における船舶の挙動  
(160, 000GT)

次に、船舶の避難経路の安全性について検討した。津波下で避難経路を通り船舶が安全に避難できるかについてシミュレーションを行い検討した。

(平成 26 年度)

大阪湾の潮流データを整備した。大阪湾の潮流について資料調査し、水位変動が大きい日の潮流データを計算した。計算には POM (Princeton Ocean Model Version pom2K) を使用し、開境界での潮位は、気象庁の観測データを用いた。

図 5 に計算結果の一例として、明石海峡における潮流の水位と流速の時刻変化を示す。

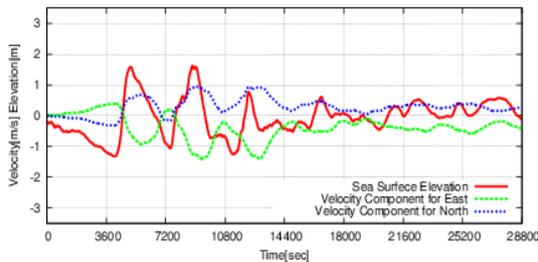


図 5. 明石海峡における潮流の水位と流速の時刻変化

整備した潮流データと、平成 24 年度に整備した大阪湾の津波計算結果データを用いて、津波来襲時に大阪湾を航行中の船舶が津波流と潮流の影響を受けながら避難海域まで安全に航行できるかシミュレーションを行い検討した。大阪湾の中でも特に潮位変化

が大きい明石海峡を通過する経路を対象とし、より厳しい条件下での検討を行うため、津波と潮流の各々の水平方向の流速が最大となる時間を基準に足し合わせたデータを用いてシミュレーションを行った。図 6 に津波と潮流を足し合わせた水位と流速の時刻変化を示す。また、図 7 にシミュレーション結果の一例として、堺泉北港から明石海峡西側海域へ避難した 10, 000GT の船舶の避難航跡を示す。

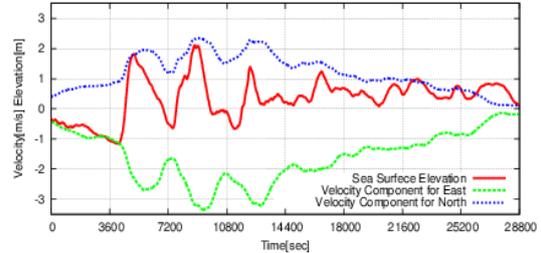


図 6. 明石海峡における津波と潮流の水位と流速の時刻変化

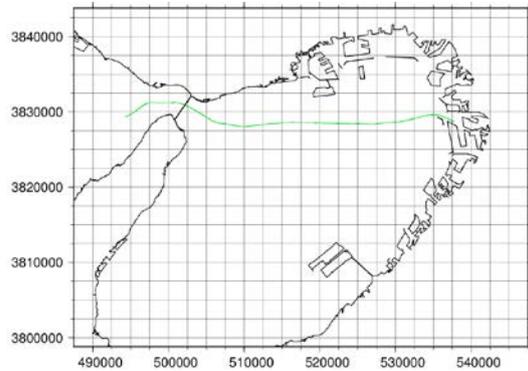


図 7. 船舶の避難航跡の一例 (10, 000GT)

また、船舶の港外避難シミュレーションを行った。大阪湾の主要な港である堺泉北港を対象に、平成 24 年度に収集し、平成 25 年度に整備したデータベースを用いて AIS 受信データを分析して港内の船舶数を把握し、船型を含む船舶の詳細な情報をシミュレーションの初期条件として設定した。避難時には港口付近で混雑することが考えられるため、船舶の出港順序及び出港間隔を設定した。出港間隔は、閉塞領域の考え方(図 8)を参考に、表 3 に示す値を設定した。

津波警報発令時に港内の船舶が港外に緊急避難することを想定し、船舶が安全に避難できるかシミュレーションを行い検討した。

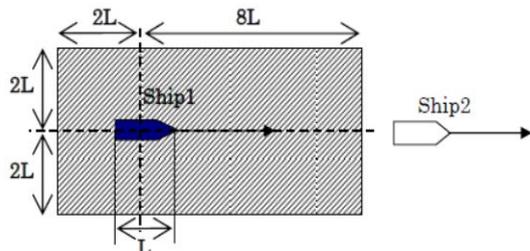


図 8. 船舶の閉塞領域

表3. 港口における船舶の出港間隔

船型モデル	船長	出港間隔(秒)
499GT	65.5m	85
3,000GT	110m	143
10,000GT	173.5m	225
160,000GT	332m	430

(平成 27 年度)

複数の船舶が津波警報発令時に一斉に避難する時、大阪湾の中でも特に潮流の流速が速い明石海峡を通過し、より広い海域に移動できるか動的シミュレーションを行い検討した。また、前年度に大阪湾の主要な港である堺泉北港を対象に実施した船舶の港外避難シミュレーションを、対象とする港を追加し再検討した。AIS 受信データを用いて大阪湾の港内の船舶数を把握し、船型による船舶の出港順序および出港間隔を港ごとに設定し、待ち時間の長短による津波下での避難船舶の安全性に変化が生じるか検討した。

これまでの成果をふまえて、大阪湾において津波来襲時に複数の船舶が一斉に避難を開始した時、1) 航路において輻輳し衝突などの危険が発生しないか、2) 港内の船舶が港外避難し沖合に避泊しようとする時、船舶が津波来襲までに避難が完了できるか、3) 津波来襲までに避難が完了できない時、津波の影響を受けながら避泊地まで移動できるか、4) 避泊地において船舶が津波を安全にやり過ごすことができるか。について検討した。

その結果、一部海域において津波下で船舶の挙動が大きくなり衝突の危険が増えるものの、シミュレーション結果を基に提案した船舶間の距離を取るにより津波を安全にやり過ごすことができることを示した。また、シミュレーション結果から港口において避難時に船舶の待ち時間が生じても津波下と潮流下で避難海域まで移動できることを示した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

①村山雅子, 小林英一, 谷口裕樹, 越村俊一: 明石海峡における津波来襲時の海上交通流について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 21 号, 2015

②村山雅子, 小林英一, 谷口裕樹, 越村俊一: 大阪湾における新想定津波下での船舶の港外避難について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 20 号, 2015

③村山雅子, 小林英一, 谷口裕樹, 越村俊一: 新想定津波下での明石海峡における船舶の避難について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 19 号, 2014

④村山雅子, 小林英一, 谷口裕樹, 越村俊一: 新想定津波下での大阪湾における船舶の避難海域について, 日本船舶海洋工学会講演会

論文集, 第 18 号, 2014

⑤村山雅子, 小林英一, 谷口裕樹, 越村俊一: 新想定津波下での大阪湾における錨泊船舶の挙動について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 17 号, 2013

⑥村山雅子, 小林英一, 谷口裕樹, 越村俊一: 大阪湾における津波来襲時の海上交通流について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 16 号, 2013

[学会発表] (計 8 件)

①村山雅子, 小林英一, 谷口裕樹, 越村俊一: 明石海峡における津波来襲時の海上交通流について, 日本船舶海洋工学会平成 27 年秋季講演会, 2015 年 11 月 17 日, 東京大学生産技術研究所 (東京都目黒区)

②村山雅子, 小林英一, 谷口裕樹, 越村俊一: 大阪湾における新想定津波下での船舶の港外避難について, 日本船舶海洋工学会平成 27 年春季講演会, 2015 年 5 月 26 日, 神戸国際会議場 (兵庫県神戸市)

③村山雅子, 小林英一, 谷口裕樹, 越村俊一: 輻輳海域における津波来襲時の船舶避難について, 第 3 回国連防災世界会議パブリックフォーラム, 2015 年 3 月 16 日, 仙台市民会館 (宮城県仙台市)

④村山雅子, 小林英一, 谷口裕樹, 越村俊一: 新想定津波下での明石海峡における船舶の避難について, 日本船舶海洋工学会平成 26 年秋季講演会, 2014 年 11 月 20 日, 長崎ブリックホール (長崎県長崎市)

⑤Masako Murayama, Eiichi Kobayashi, Yuki Taniguchi, Shunich Koshimura: A Fundamental Consideration on the Safety Space of Anchored Ships under the Newly Assumed Tsunami Attack in Osaka Bay, OCEANS' 14 MTS/IEEE, September 17, 2014, St. John's (Canada)

⑥村山雅子, 小林英一, 谷口裕樹, 越村俊一: 新想定津波下での大阪湾における船舶の避難海域について, 日本船舶海洋工学会平成 26 年春季講演会, 2014 年 5 月 27 日, 仙台国際センター (宮城県仙台市)

⑦村山雅子, 小林英一, 谷口裕樹, 越村俊一: 新想定津波下での大阪湾における錨泊船舶の挙動について, 日本船舶海洋工学会平成 25 年秋季講演会, 2013 年 11 月 22 日, 大阪府立大学 I-site なんば (大阪府大阪市)

⑧村山雅子, 小林英一, 谷口裕樹, 越村俊一: 大阪湾における津波来襲時の海上交通流について, 日本船舶海洋工学会平成 25 年春季講演会, 2013 年 5 月 28 日, 広島国際会議場 (広島県広島市)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

村山 雅子 (Murayama Masako)

富山高等専門学校・国際ビジネス学科・准教授

研究者番号: 60369965