

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24651200

研究課題名(和文)世界初のAIS津波早期予測システムの開発

研究課題名(英文)Development for the early forecasting of tsunami by AIS data of the first in the world

研究代表者

塩谷 茂明(Shiotani, Shigeaki)

神戸大学・自然科学系先端融合研究環・教授

研究者番号：00105363

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：東北及び関東地方に、巨大地震が発生した。同時に、未曾有の大津波が発生し、津波予測の不備から、避難が遅れ、大被害を被った。一般に、津波の予報は、国土交通省の全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)で行っている。しかし、当時の波高計は大津波のため機能を発揮しなかった。それにもかかわらず、今後数千万円もする海面設置型のGPS式波浪計の増設等が検討されている。本研究では、対象船舶に搭載が義務づけられている、AIS(船舶自動識別装置)からの情報を利用し、津波の早期伝搬予測ができる、世界初の津波予測計を開発する。これらを今後システム化することにより、安価でかつ強力な、津波早期予報システムを構築する。

研究成果の概要(英文)：The entire Pacific coastal region of the Tohoku was widely affected by the Great East Japan Earthquake that occurred on March 11, 2011. The maximum magnitude recorded in the history of earthquakes is 9.0. In the coastal areas, a historically unparalleled tsunami generated because of this earthquake, causing extensive damage. As the caution of extensive damage, it is considered that the early forecasting of tsunami was delayed. If the early forecasting of the propagation of tsunami becomes possible, it is considered that the extensive damage is reduced.

The object of this study is to discuss about the early forecasting of tsunami by AIS data obtained from many sailing ships in coastal sea area. This study is the first in the world and very original. The conclusion obtained in the present study is that AIS data is possible to offer the early forecasting of propagation of tsunami.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：津波伝搬 船体運動 AISデータ

### 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日、東北及び関東地方に、1000年に一度とも言われる巨大地震が発生した。それに伴い、太平洋沿岸の全域に大津波警報、津波警報及び津波注意報が、次々と発令された。今回の地震の特色は、震源地が沿岸近くで発生し、短時間で、三陸沖に大津波が伝搬した。津波の早期予測の不備から、避難対策が遅れた結果、住民や、家屋などが大被害を被った。

一般に、地震の震源地等の予測は、海底に設置された地震計で行う。津波の伝搬予測は、国土交通省の全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)として、全国に72カ所に、海岸から概ね3km以内、水深30~50mの海底に設置の波高計で行っている。波高計のほとんどが設置型の海象計(超音波ドップラー式波浪計及び超音波式波高計)である。さらに、12ヶ所に、海岸から概ね、10~20km、水深100~300mの海面に、GPSを搭載したブイを、海底から係留索で係留したGPS式波浪計がある。しかし、これらの波浪計は、今回の地震では、未曾有の巨大津波のため、観測不能となり、津波の予測に関し、十分に役立たなかった。

本申請者は、かねてから沿岸域における、船舶の安心・安全向上を目的に、様々な航海情報の提供手法の研究を行ってきた。その中で、AIS情報の活用研究にも携わってきた。今回の津波による船舶被害状況及び大津波警報発令時の航行・停泊船舶の避航法の確立の研究を実施している。津波遭遇時の船舶の運動をAISデータから解析する中で、大津波に遭遇時の船舶が特異な船体運動を行うことに、気付いた。複数船舶に対し、同様の調査を行い、多数の船舶のAIS情報を解析すると、船舶の津波遭遇時間が解り、津波伝搬の早期予測ができることを確信した。急遽、この研究を進め、早期津波伝搬予測のシステム構築の研究を提案した。

### 2. 研究の目的

東北及び関東地方に、巨大地震が発生した。同時に、未曾有の大津波が発生し、津波予測の不備から、避難が遅れ、大被害を被った。一般に、津波の予報は、国土交通省の全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)で行っている。しかし、当時の波高計は大津波のため機能を発揮しなかった。それにもかかわらず、今後数千万円もする海面設置型のGPS式波浪計の増設等が検討されている。本研究では、対象船舶に搭載が義務づけられている、AIS(船舶自動識別装置)からの情報を利用し、津波の早期伝搬予測ができる、世界初の津波予測計を開発する。これらを今後システム化することにより、GPS式波高計の開発費用の無駄を削減し、安価でかつ強力な、津波早期予報システムを構築する。

### 3. 研究の方法

津波の被害が甚大であった、東北及び関東の東日本沿岸域を、海域毎に分けて、その海域を航行中の船舶からのAISデータを収集する。各船舶が津波を遭遇した際の、時刻、船体運動を詳細に解析し、津波の伝搬特性を推定する。津波到達等時間線等を図示することにより、津波の伝搬過程を場で表現する。陸岸に到達する時間の予測などを行う。

現実に津波が到来した時間の調査、津波の伝搬の数値シミュレーション結果などとの比較検証から、AIS波高計で得られた結果の精度検証を行う。

東日本全域、太平洋岸一帯の海域など、大津波警報、津波警報、津波注意報が発令された海域でのAISデータの解析を行い、広い海域での有効性を検討する。

AIS波高計による津波伝搬予測システムを構築する。

### 4. 研究成果

本研究では、対象船舶に搭載が義務づけられた、AIS(船舶自動識別装置)からの情報を利用し、津波の早期伝搬予測ができる、世界初の津波予測計を開発して、これらをシステム化することが最終の研究目的である。

その第一歩として、以下の項目を可能な限り実施する。津波の被害が甚大であった海域を分けて、海域毎に航行中の船舶からのAISデータを収集し、各船舶が津波に遭遇した際の、時刻、船体運動を詳細に解析し、津波の伝搬特性を推定する。津波到達等時間差曲線の図示から、津波の伝搬過程を場で表現する。現実に津波が到来した時間の調査、津波伝搬の数値シミュレーション結果等との比較検証から、AIS波高計から得られた結果の精度検証を行う。東日本全域、太平洋岸一帯の海域など、大津波警報、津波警報、津波注意報が発令された海域でのAISデータの解析を行い、広い海域での有効性を検討する。最後に、AIS波高計による津波伝搬予測システムを構築する。

研究機関の二年間で以下の項目を実施した。

(1) 海域毎に、多数の船舶からのAISデータを収集した。特に、青森県南部から岩手県北部の沿岸域航行船舶を中心に実施した。

(2) 従来のAISデータは直接解読できないので、デコードしてエクセルファイルでデータが見られ、解析できる形式に変換した。

(2) AISデータを整理、解析し、各船舶が津波に遭遇した時の、時刻を定め、津波により影響を受けた各船舶の船体運動を把握した。

(3) 津波に遭遇した船舶から、津波の伝搬方向、周期、波高等を推定した。波高の推定は、現状では困難であるので、今後の課題とした。

(4) 船舶が津波に遭遇した時間をプロットし、津波の到達等時間差曲線を図示し、津波の伝搬を推定した。

(5)各地で津波の到来時間を推定し、警報を発令する。これはまだ実施していないので、今後の課題とする。

本申請者は、これまでに、AISを用いた津波到来時の船舶の動向に関する研究を実施していた。これらの研究結果から、津波に遭遇時の船舶が、通常と異なる特異な船体運動を発生し、その特異現象を、AISデータから抽出できることを解明した。そして津波到来の早期予測に適用したことによる。その結果、第一段階としてAISデータの利用により、津波の早期予測が可能であることを記す。

航海中に、大津波が船舶に遭遇した際、解析したAISデータの中で、船位については長浅水波である津波の伝搬と共に船舶は津波の波向の方向に沿って移動し、急遽漂流する。その横流れ量は津波の規模に比例し、大きいことが予想される。一般に外洋を航行中、航行船舶は航路を急に変更しないで、およそ直線の軌跡を示す。そのため、津波に遭遇する時間頃にAISデータから航行船舶の航跡(船位)が急に変化する地点が津波の到達時刻と断定できる可能性は大きい。

対地針路(COG)は針路とともに変化するが、外洋の航海ではオートパイロット使用のため、概ね一定である。津波遭遇時に、船首方向に対する津波の相対伝搬方向によって影響度が異なるが、船首が津波に対し、大きく変化することが予想される。大津波の場合、波によって船首方向が大きく変化するので、対地針路の変化も津波到達時刻の予測の目安になると思われる。

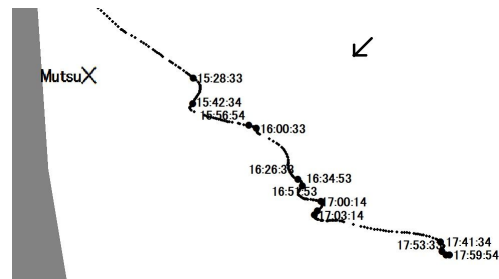
航行船舶が津波の遭遇時に、対地速度(SOG)は、船舶の進行方向に対する津波の相対伝搬方向によって変化するが、漂流時に急激な変化が予想される。一般に、沖合を航行の船舶では、回転数を一定にして、ほとんど回転数を変えた減速をすることはほとんどない。そのため、船舶の漂流に起因した対地速度の大きな変化から津波の到達時刻の予測が可能であると思われる。

図1に岩手県北部から青森県南部の調査海域を航海中の某貨物船(A船)(全長76m、全幅12m)が、津波の第一波に遭遇したと思われる時間帯の、AISデータの解析結果を示す。

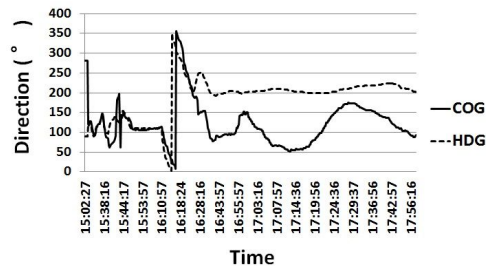
(a)図は津波に遭遇したであろうと思われる時間帯を航行中の船舶の航跡を示す。船舶は図左上の北西から右下の南東に向かって航行している。航跡図において、時刻15時28分33秒から15時42分34秒の間で、最初に航跡は大きく変化している。図中の矢印は、津波の数値シミュレーションから想定した津波の大雑把な伝搬方向を「目視によると、岩手県北部の調査海域内の航行船舶に対し、津波は東～北東の方位から西方に向かって伝搬するものと思われる。」との判断から記入した。今回は数値シミュレーションの精度検証ができていないので、シミュレーション結果の図から、正確な波向は確定できないが、津波は航行船舶に対し船首左斜め前方のお

よそ北東方向から到来している。これにより、津波遭遇時に船舶は津波により大きな横流れを起こし、津波の伝搬方向の南西から南南西側に流されたものと考えられる。

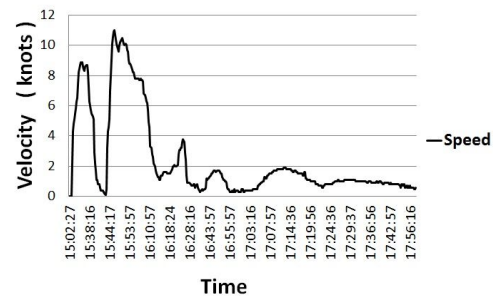
(b)図に船舶の対地針路(COG)および船首



(a) 船位と航跡



(b) 対地針路と船首方位



(c) 対地速度

図1 津波遭遇時の原子力用燃料運搬船のAISデータの解析

方位(HDG)の時系列を示す。横軸は時刻、縦軸は対地針路および船首方位を角度(°)で示す。津波による漂流力により対地針路および船首方位は津波伝搬方向に偏向し、急速に角度が増加している。そして、津波の通過後に、船舶は体制を整え、従来の船首方位に操舵したと思われる。この場合、対地針路および船首方位が急に変化した時刻を津波に遭遇時と断定した。

(c)図に対地速度(SOG)を示す。横軸は時刻、縦軸は対地速度をノット(knots)で示す。船速は津波に遭遇する前に既に9knotsから2knotsに減速し、津波遭遇に対処したと思われる。一般に、このように外洋を航海中に減速することはほとんどないので、これは、

大津波警報の情報により、津波対策として、事前に減速、待機などの対処を行った可能性が高い。津波遭遇時は船速が 2knots まで減速した時刻の頃である。

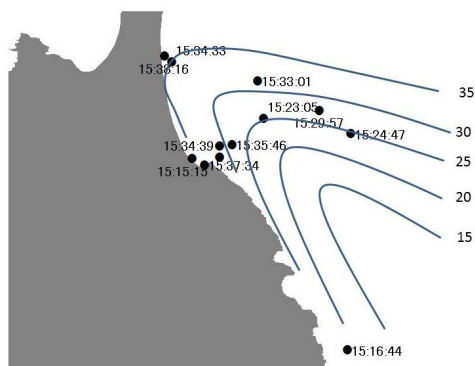


図 2 津波伝搬の等時間差曲線

図 2 に今回対象の 12 隻の各船舶が津波の第一波に遭遇したと判断した時刻および船位を印でプロットした。これらのデータから、短時間に津波の伝搬の等時間曲線が図示できると、津波の早期伝搬予測が可能になる。

もし、船舶からの AIS データを多数収集でき、対象海域内で、船舶の船位が一樣に散布していると、自動的に精度の良い等時間曲線が図示できる。さらに、過去の津波伝搬情報などのデータベースがあれば、地震の震源地から津波の伝搬方向などの予測が精度よく得られると、より正確な等時間曲線が図示できると思われる。

著者らは AIS データを用いた世界で初めての津波伝搬予測の可能性の試みと問題点の抽出を行った。その結果、以下の結論を得た。

- 1) 航行船舶の津波遭遇時の AIS データから、津波遭遇時刻を断定し、津波伝搬の等時間曲線を描くことが可能である。
- 2) 津波伝搬の等時間曲線を即座に作成できると、津波の早期予測が可能が、可能である。
- 3) 沿岸航行船舶が搭載の AIS データは十分沖合の海域から収集可能であるため、津波が海岸に到達する前に、早期予測が可能である。
- 4) 現時点で AIS データからの予測は津波の伝搬情報のみであり、波高の予測は可能でない。しかし、津波遭遇時の船舶の上下運動の計測から、津波の高さ方向の予測も可能になる。
- 5) 陸上の AIS データ受信局において、地震に伴う停電に対し、常時データ受信を可能にする補助電源の確保が必要である。
- 6) 今後、船舶の増加に伴い、AIS データの受信量が増加し、場として多点の津波予測データの収集が見込まれ、解析精度の向上に繋がると思われる。

今回の研究では、津波伝搬の等時間曲線は数値シミュレーション結果を利用した大雑把な伝搬方向などを加味し、フリーハンドで図示したので、必ずしも正確でない。今後、津波の数値シミュレーションを実際に行い、正確な津波伝搬方向に基づいた津波伝搬予

測を行い、AIS データによる津波伝搬予測の精度の向上を図る所存である。さらに、津波遭遇時の航行船舶の上下運動(Heaving など)から津波の高さの予測の手法の開発も実施する。また、停電時でも、常時 AIS データ収集が可能なシステムの構築も実施する予定である。

## 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 8 件)

Shigeaki Shiotani, Measurements of Sea-Shocks Response of a Sailing Ship in Japan, 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2014, 2014, 1-9, CD-ROM, 査読有

Shigeaki Shiotani, Kenji Sasa, Nobukazu Wakabayashi, Daisuke Terada, Measurement of Sea-Shocks Response of a Sailing Ship in Japan, ISOPE2013 (International Ocean (Offshore) and Polar Engineering Conference), 2013, 1-7, CD-ROM, 査読有

塩谷茂明, 柳馨竹、陳辰、AIS データによる早期津波伝播予測の可能性に関する研究、沿岸域学会誌 Vol.26 No.3、2013、129-140、査読有

塩谷茂明, 笹健児、航行船舶が捉えた東日本震災時の海震の計測、沿岸域学会誌 Vol.26 No.3、2013、117-128、査読有

塩谷茂明, 東日本大震災による青森県・岩手県北部主要港湾施設及び船舶の津波被害復旧の実態調査、NAVIGATION、第 183 号、2012、88-96、査読有

塩谷茂明, 東日本大震災による宮城県主要港湾施設及び船舶の津波被害復旧の実態調査、NAVIGATION、第 183 号、2012、79-87、査読有

塩谷茂明, 若林伸和、笹健児、寺田大介、航行船舶が遭遇した地震動の解析、第 23 回海洋工学シンポジウム、2012、CD-ROM 1-6、査読有

Shigeaki SHIOTANI, Hidenari MAKINO, ANALYSIS OF SHIP EVACUATION IN TSUNAMI USING AIS DATA, Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, 2012, 475-482、査読有

[学会発表](計 4 件)

塩谷茂明, 航行船舶が捉えた東日本震災時の海震の計測、沿岸域学会講演会、2014.7.25、清水市

Shigeaki Shiotani, Measurements of Sea-Shocks Response of a Sailing Ship in Japan, OMAE2014, July, 2014, 6, 10,

San Francisco, USA  
Shigeaki Shiotani, Measurement of  
Sea-Shocks Response of a Sailing Ship  
in Japan, ISOPE2013 (International  
Ocean (Offshore) and Polar Engineering  
Conference), July, 2013,7.2 , Alaska,  
USA

塩谷茂明、航行船舶が遭遇した地震動の  
解析、第 23 回海洋工学シンポジウム、  
2012.8.3、東京

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

塩谷 茂明 (SHIOTANI Shigeaki)

神戸大学・自然科学系先端融合研究環・教  
授

研究者番号：00105363