

令和 3 年 4 月 20 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04654

研究課題名（和文）沖合を航行する船舶のAISデータを転用する巨大津波の流速の計測とリアルタイム予測

研究課題名（英文）Measuring mega-tsunami current using AIS data of offshore navigating ships, and its application to real-time tsunami forecast

研究代表者

稲津 大祐（Inazu, Daisuke）

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：30462170

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、不特定多数の船舶に基づくAISデータが、現状の枠組みにおいてそのまま沖合の津波センサーとして使い得ることを示した。その際、船体の運動方程式を検討することで、津波流れに対する船体の応答様式を評価し、逆に津波流れも精密に評価することができた。得られた津波流れデータは、その津波を発生させた地震の波源の評価、および、津波即時予測に利用可能な品質を有することも示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

沖合での津波計測は、沿岸に到達する前の情報を含むため、津波の予測の観点で重要性が高い。沖合の津波モニタリングの方法として、GPSブイや海底圧力観測に基づく観測網が、日米を中心に展開されてきている。本研究は、不特定多数の船舶に基づくAISデータが、現状の枠組みにおいてそのまま沖合の津波センサーとして使い得ることを示した。学術的な意義として、運動方程式に基づく検討により、津波流れに対する船体の応答様式を評価でき、逆に津波流れも精密に評価することができた。社会的な意義として、現状のAISがそのまま使えることで、津波予測システムの構築に利用するための追加コストがほとんど必要ない点は特筆すべきである。

研究成果の概要（英文）：This project showed that shipborne AIS data collected according to an IMO regulation can be utilized as offshore tsunami current meters from multiple unspecified vessels. We investigated an equation of ship motion, verified the ship response to tsunami current, and estimated tsunami current from the ship response. Extracted tsunami current information were valuable to successfully estimate earthquake source of the tsunami, and to forecast tsunami heights at coasts.

研究分野：地球物理学

キーワード：自動船舶識別装置（AIS） 航行船舶 津波 流れ 即時予測

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

水位変動あるいは流れを計測することで津波を検知することができる。沖合の計測であれば、津波を発生させた地震の規模の推定に加え、沿岸への即時予測への展望まで描けるため、重要性がより高い。2004年12月のインドネシアや2011年3月の日本などで発生したマグニチュード9レベルの巨大地震に伴う大津波を経て、沖合の海底圧力やGPSブイなどによる津波計測システムが開発・展開されてきている。こうした専用のシステムでは、安定で高品質なデータを取得・予測ができる一方、その設置・維持コストが重くのしかかる。何らかの持続可能な代替案を持っている方が望ましい。本研究では、沖合を航行する多数の船舶が発信する自動船舶識別装置(AIS)の情報を利用した津波の検知と即時予測への適用性を開拓したいと考えた。

### 2. 研究の目的

現行のAISデータに含まれる位置情報はGPSによって得られるが、水平位置のみが含まれる。その測位精度については、概ね数mの誤差を含むレベルである。このAISデータを詳細に解析し、津波に伴う流速がどれほど定量的に抽出できるかを調査する。そして、抽出された津波の流速が、津波を発生させた地震の規模・波源の推定、および、沿岸の波高予測にどれほど貢献できるかを調査する。これらを本研究の目的とする。

### 3. 研究の方法

AISデータを発信する船舶は年々増え続けている。利用可能なデータが集まってきた近年において発生した大津波の1つが、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴う津波である。まず、この地震・津波の震源近傍を航行していた船舶のAISデータを入手した(図1)。沖合の航行船舶は基本的に前進するため、特に、船首方位に直交する方向のドリフト成分をAISデータから抽出した(図2)。抽出されたドリフト成分を、津波のシミュレーションや船体の運動方程式を考慮することで詳細に評価した。運動方程式を考察・評価し、津波の流れに対する船体の応答、および、船体の応答から逆に津波の流れを推定した。AISデータから推定した津波の流速と、それと独立に実施した津波シミュレーションの結果と比較することで、推定の妥当性を検証した。推定された津波の流速の情報をを用いて、津波を発生させた地震の波源の推定、および、沿岸での波高の即時予測の実験を行った。

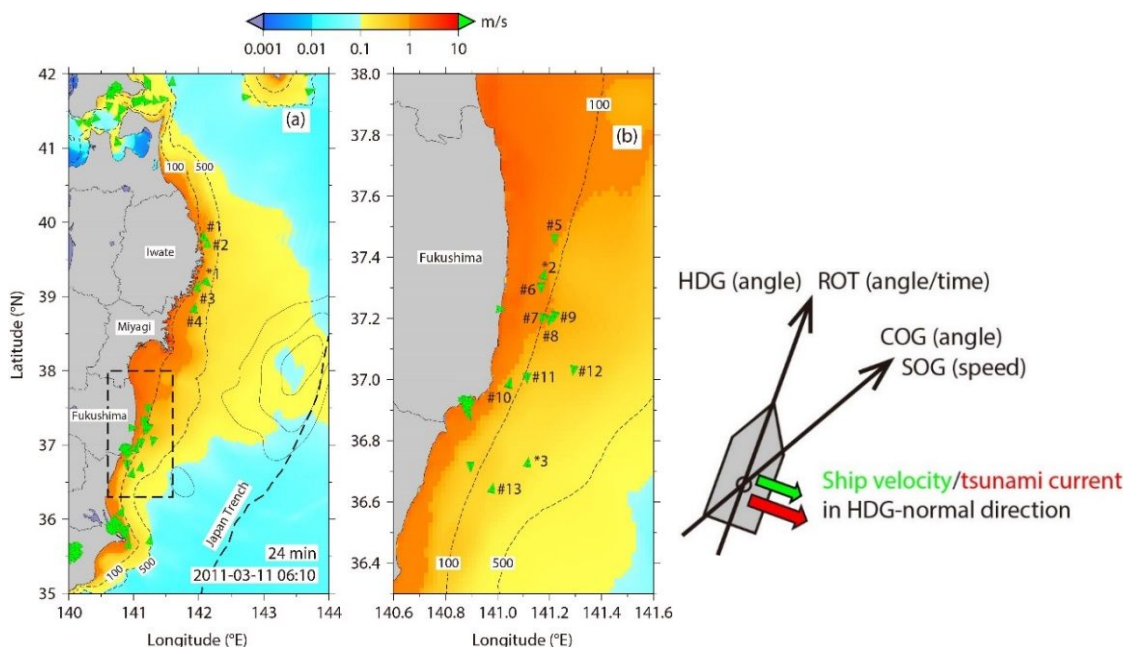


図1：2011年の東北地方太平洋沖地震発生時にAISで認識された航行船舶。カラーは、津波シミュレーションに基づいて計算された津波の最大流速である。

図2：船首方位(HDG)に直交する方向の成分のドリフトと津波の流速成分の概念図。対地方位(COG)、対地速度(SOG)および、回頭角速度(ROT)とともに示している。

### 4. 研究成果

船首方位に直交する方向のドリフト成分を計算した。これは、船首方位(HDG)と対地方位(実際の進行方向)(COG)との差と、対地速度(SOG)から算出できた。回頭角速度(ROT)も考慮することで、見かけ上のドリフト速度を効果的に補正することができた。さらに、補正されたドリフト速度について、船体の運動方程式を考察することで、津波の流速を数値的に算出するこ

とができた。これと独立に実施した津波の流体シミュレーションに基づく津波流速と、AIS から算出・推定した津波流速とを比較したところ、非常によい一致を得ることができた（図3）。津波シミュレーションについては、過去に妥当なものとして検証されたものを用いた。したがって、図3の結果は、本研究で得た、AIS から算出・推定した津波流速が妥当なものであることを示している。推定した AIS 由来の津波流速を用いて、津波を発生させた地震の波源・規模の推定、および、沿岸波高の即時予測の実験を実施した（図4）。その結果は、過去に用いられた標準的な地震・津波データによる波源推定・即時予測の結果と比べ、それほど遜色のないものであった。これらの結果は、現行の AIS データが津波の計測にかなり有効なツールとして用いることができることを示している。これらの成果は、Inazu et al. 2018 PEPS、Inazu et al. 2020 EPS などの査読付き論文で公表した他、Inazu 2019 RO の記事でも公表された。

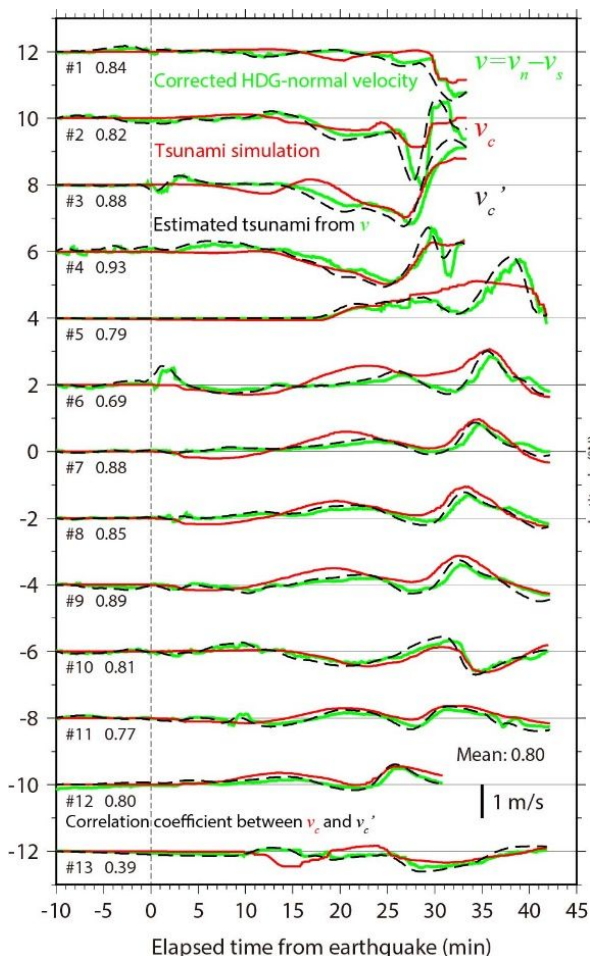


図3：地震前後における、船体に直交する方向の津波流速の時系列。緑：AISのみから算出した船首方位に直交する方向のドリフト成分、赤：津波シミュレーション、黒：緑線から運動方程式を考慮し推定した津波流速。それぞれの時系列は、図1の地図の船舶に対応する。

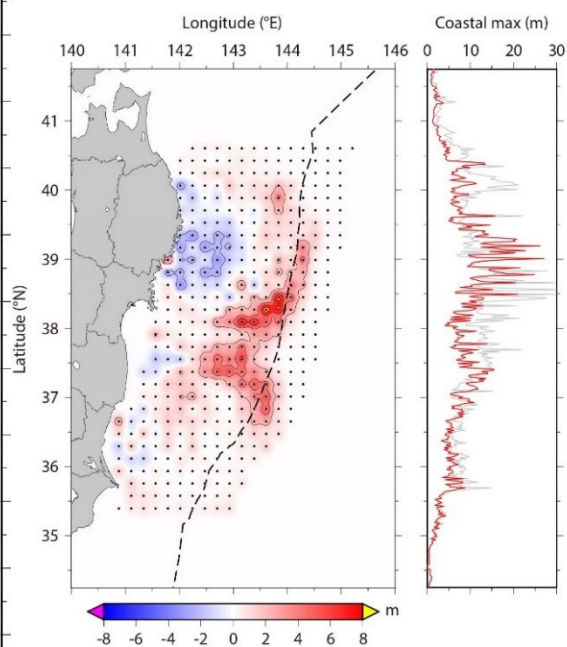


図4：推定された津波流速を用いて実施した（左）津波波源の推定、および、（右）沿岸波高の予測。

< 引用文献 >

- D. Inazu, T. Ikeya, T. Waseda, T. Hibiya, Y. Shigihara (2018) Measuring offshore tsunami currents using ship navigation records. *Progress in Earth and Planetary Science*, 5, 38.
- D. Inazu, T. Ikeya, T. Iseki, T. Waseda (2020) Extracting clearer tsunami currents from shipborne Automatic Identification System data using ship yaw and equation of ship response. *Earth, Planets and Space*, 72, 41.
- D. Inazu (2019) Forecasting tsunamis using ship navigation records. *Research OUTREACH*, 106, 22-25.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 D. Inazu, T. Ikeya, T. Iseki, T. Waseda	4. 巻 72
2. 論文標題 Extracting clearer tsunami currents from shipborne Automatic Identification System data using ship yaw and equation of ship response	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 41
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-020-01165-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 D. Inazu, T. Ikeya, T. Waseda, T. Hibiya, Y. Shigihara	4. 巻 5
2. 論文標題 Measuring offshore tsunami currents using ship navigation records	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40645-018-0194-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 D. Inazu	4. 巻 106
2. 論文標題 Forecasting tsunamis using ship navigation records	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Research OUTREACH	6. 最初と最後の頁 22-25
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.32907/R0-106-2225	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 F. Kitamura, D. Inazu, T. Ikeya, A. Okayasu	4. 巻 45
2. 論文標題 An allocating method of tsunami evacuation routes and refuges for minimizing expected casualties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Disaster Risk Reduction	6. 最初と最後の頁 101519
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ijdr.2020.101519	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Y. Dobashi, D. Inazu	4. 巻 8
2. 論文標題 Improving detectability of seafloor deformation from bottom pressure observations using numerical ocean models	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science	6. 最初と最後の頁 598270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/feart.2020.598270	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件(うち招待講演 1件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 稲津大祐・池谷毅・井関俊夫・早稲田卓爾
2. 発表標題 船舶の航海データ(AIS)で津波の流速を計測することについて
3. 学会等名 日本測地学会第132回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Inazu, T. Ikeya, T. Iseki, and T. Waseda
2. 発表標題 Offshore tsunami current meters using navigation records (AIS) from multiple unspecified ships
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲津大祐・池谷毅・早稲田卓爾・日比谷紀之・鳴原良典
2. 発表標題 船舶航行データから見る津波の水平流速
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2018年大会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Inazu, T. Ikeya, T. Waseda, T. Hibiya, Y. Shigihara
2. 発表標題 Offshore tsunami currents found in navigating ship records
3. 学会等名 10th ACES International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Inazu, T. Ikeya, T. Iseki, T. Waseda
2. 発表標題 Estimating tsunami currents from shipborne Automatic Identification System data
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関