

# AISデータによる早期津波伝搬予測の可能性に関する研究 Study on an Applicability of Early Estimation of Tsunami Propagation Using AIS Data

塩谷 茂明\*・柳 馨竹\*\*・陳 辰\*\*  
Shigeaki SHIOTANI, Shinchiku RYU and Chen CHEN

**要旨:** 平成23年3月11日14時46分に、東日本大震災が発生した。国内観測史上最大規模の地震であり、マグニチュード9.0を記録した。三陸沿岸部では地震に伴う未曾有の大津波に遭遇し、多数の尊い人命が犠牲になり、また陸上だけでなく、海上の船舶や港湾施設等に甚大な被害を与えた。被害増大の一要因として、想定外の大津波であったため、津波伝搬の早期予測が遅れたことによる。もし、津波伝搬の早期予測が可能であれば、早期避難により、被害は軽減されたものと思われる。

本研究は、これまで誰も試みたことがない船舶が搭載のAISのデータから、津波の伝搬予測を行うことである。さらに、津波の早期予測をより確実なものにするための問題点を抽出し、今後の研究発展に処する。AISデータから津波の伝搬予測を行った研究はこれまでになく、世界で初めての先駆的かつ独創的な研究である。今回はその第一報である。

**キーワード:** 津波伝搬, AIS, 地震, 船舶, 防災

## 1. はじめに

平成23年3月11日14時46分に三陸沖(震源は男鹿半島の東南東約130kmで、北緯38.1度、東経142.9度)、深さは約24km、震源域は長さ約450km、幅約200km、すべり量は最大で約20m~30m、マグニチュード9.0の観測史上最大の海溝型地震が発生した<sup>1)</sup>。869年7月9日に三陸沖東方で、マグニチュード8.3以上の地震があったと古文書に記録された貞観大地震以来の、1000年に一度の大地震と言われている。地震は、東日本大震災と呼ばれ、青森県から茨城県に至る、東北地方の太平洋岸全域にわたり、広く被災した。特に沿岸部では地震に伴う未曾有の大津波に遭遇

し、甚大な被害を被った。平成24年7月25日時点で死者は15,867名、行方不明者は2,904名である<sup>2)</sup>。

地震発生後、北は北海道から南は九州に至る、太平洋沿岸の全域に大津波警報、津波警報および津波注意報が次々と発令された。震源地附近の岩手、宮城、福島県がある東北地方の太平洋岸全域には、地震発生から3分後の14時49分に、すでに大津波警報が発令された。震源地が沿岸に近いことが被害を大きくした。続いて、東京湾では15時17分に津波注意報が発令され、15時32分に津波警報に変更された。僅か約1時間で、大津波警報が関東地方まで拡大している。さらに16

\* 正会員 神戸大学 自然科学系先端融合研究環, \*\* 非会員 神戸大学 大学院海事科学研究科

時 13 分には、東京湾口房総半島、三浦半島に大津波警報が緊急発令された。

他方、関西地方の大阪湾では、15 時 32 分に津波注意報が発令され、大阪湾の入り口である和歌山県の沿岸と徳島県の沿岸域では、16 時 22 分に大津波警報が発令された。このように、約 2 時間程度で、遙か遠州灘および四国に至る太平洋岸の広い海域で大津波警報が発令されている。

現在、地震の震源地の予測は気象庁により、各地に設置された地震計から、実施されている。さらに、津波警報は、地震の状況から約 10 万ケースにわたる津波の波高をデータベース化して、地震発生の震源、地震の強さなどから、それに見合った津波をデータベースから抽出し、地域毎に津波の波高および到達時間を予測し発令している。

他方、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 カ所の波高計が設置されている。これらの観測データに基づき、気象庁予測の津波の波高などを修正して、再度発表している<sup>3)</sup>。しかし、ナウファスの波高計のほとんどが海底設置型の海象計と称された超音波ドップラー式波浪計及び超音波式波高計である。その結果、海岸近くの概ね 3km 以内の範囲、水深 30~50m の比較的浅い位置に設置されている。さらに、これらの海底設置型の海象計以外の 12 ヶ所に、海底に係留された海面設置型の GPS 式波浪計がある。GPS 波浪計は、係留索を通じて海底に係留されているので、海底設置型の海象計より沖合の、海岸から概ね 10~20km の範囲、水深 100~300m の海面に設置されている。GPS 搭載のブイであり、波浪の上下動の変位を計測するものである。このように、津波到来の予測が可能な波浪計は、比較的沿岸に近い浅瀬に設置されているので、津波が波浪計に到達して、ようやく津波の波高などの修正予報が可能になる。そのため、状況次第では、沿岸部に到達後に、津波の伝搬予報

が遅れることもあり得る。

安田ら<sup>4)</sup>は、この気象庁の予報を補完する目的で、ナウファスなどの観測波形を入力値として、インバージョン解析から、初期津波波源および沿岸への到達津波高さを再予測する手法を開発した。

また、間瀬ら<sup>5)</sup>は、ニューラルネットワーク理論を応用して、ナウファスなどで得られた津波波形に基づき、沿岸に到達する津波の水位の最大上昇量と最小低下量を予測する方法も開発した。これらの方法は、解析に要する時間に差があるが、比較的短時間で精度よく予測できる。

波浪計以外に、陸上に設置の短波レーダによる、津波の予測手法も開発されている。波浪計による予測が、1 地点における観測であり、数 10km~数 100km の規模である津波の全体像の把握は困難である。それに対し、短波レーダは津波の場的観測が可能であり、広範囲の情報提供が可能である。しかし、短波レーダは陸地に設置されるため、観測範囲は陸上の設置場所から 1.5km~50km 程度の沖合までであり、それより沖合の津波の早期予測は困難である<sup>6)</sup>。これら以外に、津波の予報として、東日本大震災以降、リモートセンシングによる方法も研究されている<sup>7)</sup>。衛星軌道で得られた海面高度計データから津波成分の抽出手法の開発を行っている。しかし、海況変化に起因の海面高度変化のノイズの影響が解析結果に大きく影響するなど、まだ十分に利用できるとは限らない。

地震発生後、もし津波伝搬の早期予測が可能になると、津波到来時まで、住民の避難や、いろいろな被害軽減の対策を講じることができる。東日本大震災では、地震発生の 3 分後に第 1 報として、地震規模はマグニチュード 7.9、津波の高さはデータベースから、津波を過小評価して津波警報が発令された。その後、ナウファスが津波を捉え、津波が異常な大きさであることを確認し、約 50 分後に津波高さを更新して再度警報が発令さ

れた。その結果、津波の過小評価の発令により、安心して逃げ遅れた住民もいたと言われている。さらに、再警報が発令された際も、停電により、住民への伝達が周知徹底できなかつたことも、被害が増大した一因であると思われる。

特に、沿岸近くで発生 of 海底地震の場合は、津波早期予測が被害軽減に奏を抗すると思われる。もし、波浪計が設置できない深海のはるか沖合で、津波の到来予測が可能となれば、津波の早期予測に繋がると思われるが、現在適切な計測装置は見当たらない。

著者らは、航行船舶が搭載の AIS データに着目し、これらを解析することにより、新しい津波伝搬の早期予測法を発見した。AIS とは、Automatic Identification System の略称で、船舶自動識別装置である。本研究は、船舶搭載の AIS データから船体運動を解析することにより、遙か沖合からの津波伝搬の早期予測を行った。このような研究は世界初の試みであり、先駆的研究である。研究の着目点は、著者ら<sup>8)9)10)</sup>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、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。本研究は、AIS データを用いた津波予測に関する第一段階の研究である。

## 2. AIS の概略

AIS は、放送型自動従属監視の一種である。従来は、航行船舶に気象・海象および他船の航行状況などの海況情報などを提供する遭難・安全通信システム(全世界海上遭難安全システム, GMDSS)があり、このシステムはもし遭難が発生した場合、

捜索救助を行うことを目的に利用されていた。この遭難・安全通信のためのシステムに加えて、海上衝突防止と海上交通管制を目的とした電波航法関連の装置が必要であるとの要望から IMO (International Maritime Organization, 国際海事機関)で審議され、1990 年代から船舶の航行安全について制定された SOLAS 条約 (International Convention for Safety of Life at Sea, 海上における人命の安全のための国際条約) に則り、2000 年 12 月の MSC73 (Maritime Safety Committee73, 第 73 回海上安全委員会) において特定の船舶に 2002 年から AIS の搭載義務が決められた<sup>11)</sup>。

AIS は船舶の船位、船速、針路など航海中の航行状況および停泊状況などの船舶の動向に関する情報を、VHF で一定時間間隔毎に送信する装置である。同時に、他船から送信された同様の船舶状況に関する情報を常時受信し、他船の航行状況も把握できる。これにより、本船の周辺海域の全ての AIS 搭載船舶の挙動が常時把握出来るようになった。具体的には、AIS を電子海図やレーダなどと連結することにより、電子海図上に、他船の航行状況を画像として重ね合わせる。これにより、衝突の危険性を回避することに役立つ。

また、海上交通管制センターでは、個々の船舶の航行状況に関する情報を、自動的にかつリアルタイムに入手ができるので、船舶の動向の把握が可能になる。これにより、関門海峡や明石海峡などの狭水道での安全航行への情報を詳細に各船舶に提供できる<sup>12)</sup>。

AIS 搭載が義務付けられた特定の船舶は、全ての客船、国際航海に従事する 300 トン以上の船舶および国際航海に従事しない 500 トン以上の船舶である。搭載義務のほか、近年非搭載義務である漁船、プレジャーボートなどの小型船向けの簡易型 AIS である Class B も次々と搭載されるように

なった。

AIS で送受信される情報は、静的情報、動的情報及び航海関連情報に分けられ、以下の情報である。

1) 静的情報（6分毎、データが修正された時及び要求に応じて提供される）

- ・ I M O 番号（利用可能な場合）：海上移動業務識別 MMSI 番号
- ・ 呼出符号と船名
- ・ 船の長さと同幅(m)
- ・ 船の種類（貨物船、タンカー、客船など）
- ・ 使用中の測位アンテナの船上での位置（船首からの位置(m)と中心線からの右舷または左舷位置(m)）

2) 動的情報（逐次変化する情報である）

- ・ 船舶位置（緯度経度）1/10000 分の単位
- ・ 協定世界標準時(UTC) (s)
- ・ 対地針路(COG)：1/10°
- ・ 対地速度(SOG)：1/10knots
- ・ 船首方位：0-360°
- ・ 航行状況（操船不能(NUC)、投錨中、航行中、制限運航状態、その他があり、手動入力される）
- ・ 回頭角速度（° /s：利用可能な場合）

3) 航海関連情報（6分毎、データが修正された時及び要求に応じて提供される）

- ・ 船の喫水
- ・ 危険貨物（種類；搭載の場合に権限のある当局により要求される）
- ・ 仕向地と到着予定時刻（船長の裁量による）

表 1 に AIS 情報の通報更新間隔を示す<sup>13)</sup>。接岸中の停泊船舶には AIS 情報の送信義務はない。錨泊船舶は送信義務があり、更新間隔は航行時より長い。航行船舶の場合、船速により異なり、高速時は更新間隔が短くなる。また、通常の直進航行と針路変更時では更新間隔が後者の方が長くなる。

表 1 AIS 情報の通報更新間隔

船舶の動向	報告間隔
接岸停泊船	報告義務なし
錨泊船	3分
0～14ノットの船舶	12秒
0～14ノットの船舶で針路変更中	4秒
14～23ノットの船舶	6秒
14～23ノットの船舶で針路変更中	2秒
23ノット以上の船舶	3秒

このように、船速および変針時によって更新間隔が異なるので、航行船舶の航跡、針路及び速力等の変化を詳細に把握することが可能である。

以上により、航行船舶が津波に遭遇した時、津波の影響により、船舶の針路、船速、船首方位および航跡等が急激に変化する状況を AIS データからリアルタイムで時々刻々と正確に収集できる。これにより、船舶の動向の変化から、逆に、各船舶の位置における津波の到達時間を求め、それらを追跡することにより津波の伝搬方向などの推定が可能になる。

### 3. AIS データによる津波伝搬解析

今回は、東北太平洋沿岸において、岩手県北部から青森県南部に至る北部の海域を調査対象とし

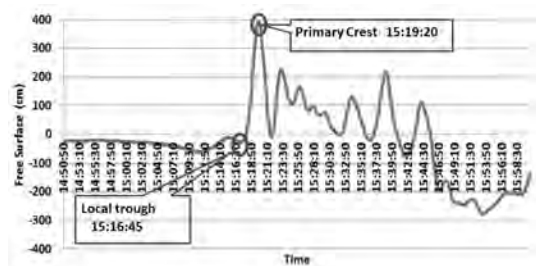


図 1 AIS データによる航行船舶の航跡

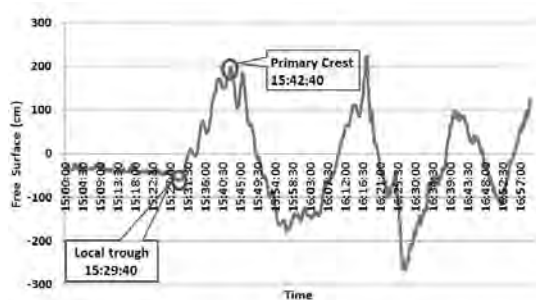
た. 調査海域は東経 140.75° ~143.20° , 北緯 38.00° ~41.00° である.

図 1 に大津波に遭遇した時間帯に, 対象海域付近を航行中の AIS 搭載船舶の航跡を示す. 各航行船舶の航跡は, 各船舶からの AIS データを GIS で作成の地図上にプロットして図示した. 丸印は東日本大震災時の震源地である. 震源地は三陸沖で男鹿半島の東南東 130km 付近であると推定されている. これによると, AIS データの収集範囲は, 沿岸近くだけでなく, はるか沖合のおよそ 150 ~200km にわたり航行船舶の航海状況が把握できることがわかるので, AIS による津波の伝搬予測が可能であれば, 他の津波伝搬予測法と比較して, 最も沖合から, かなり広範囲の海域で予測が可能であることがわかる.

本研究では, 対象海域内を航行中の AIS 搭載の



(a) 岩手県北部沖



(b) むつ小川原港

図 2 ナウファスによる岩手県および青森県の津波時系列

対象船舶が 12 隻であったので, これらの全船舶を対象に, 詳細に AIS データから, 各船舶の挙動について調査した. 第 2 章で示した AIS データの中から, 時刻により逐次変化する動的情報を調査した. 航行船舶が大津波遭遇時に, 船舶が最も影響を受け, 変化する AIS データは, 船位, 対地針路, 対地速力, 船首方位であるので, 特に, これらについて詳細に解析した.

図 2 (a) にナウファスによる岩手県北部および (b)にむつ小川原港沖の津波の時系列を図示した. 横軸は時間(s), 縦軸は津波の変位(cm)である. (a) 図の観測地点は北緯 39° 37' 38" , 東経 142° 11' 12" , 水深は 200m である. 地震発生の 14h46m から 14 分後の 15h00m 頃に引き波が始まり, 15h12m 頃に最低水位偏差の約-0.45m を記録した. さらに, この地点における津波の第一波の最大波は 15h16m45s に到着し, 波高は約 4m に達している. (b)図のむつ小川原では 15h29m に第一波が到来し, 最大波は 2.2m に, さらに第二波は 16h04m 頃に到達している. このように, 大津波は震源地から三陸海岸の各地に向けて, 高波高で伝搬したと思われる.

図 3 に津波の第一波が岩手北部に到着時の数値シミュレーション(動画)結果を示す<sup>14)</sup>. この図では, 岩手南部および宮城県沿岸では津波が海岸にすでに到達し, 地形による波高の変形および引き波の影響で複雑に変化している. 岩手北部では, 地震発生後 55m50s 経過後の 15h41m50s における津波の伝搬を示す. 震源地の宮城県沖合から津波は放射状に伝搬していると思われるが, 岩手県中部の陸岸で遮蔽さるので, 直接伝搬されず波の回折により, 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.

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



図3 津波の数値シミュレーション<sup>14)</sup>

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。

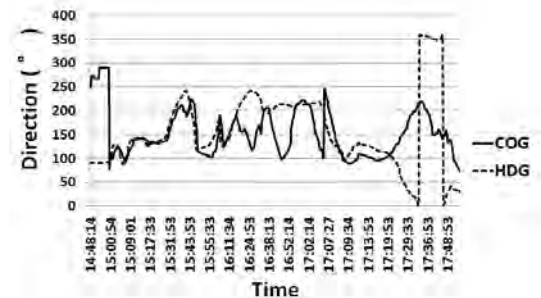
航行船舶が津波の遭遇時に、対地速度(SOG)は、船舶の進行方向に対する津波の相対伝搬方向によって変化するが、漂流時に急な変化が予想される。一般に、沖合を航行の船舶では、回転数を一定にして、ほとんど回転数を変えた減速をすることは

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。

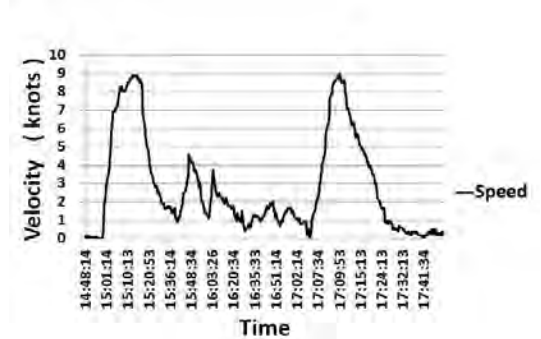
図4に調査海域を航海中の某貨物船(A船)(全長76m, 全幅12m)が、津波の第一波に遭遇したと思われる時間帯の、AISデータの解析結果を示す。(a)図は津波に遭遇したであろうと思われる時間



(a) 航跡



(b) 対地針路と船首方位



(c) 対地速度

図4 津波遭遇時の貨物船(A)のAISデータの解析

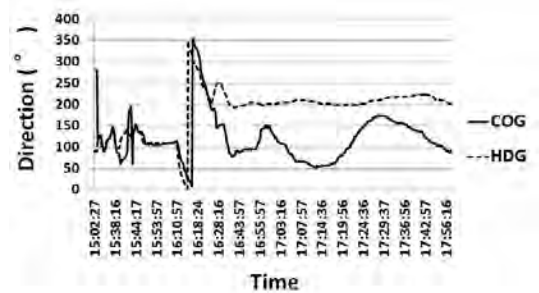
帯を航行中の船舶の航跡を示す。船舶は図左上の北西から右下の南東に向かって航行している。航跡図において、時刻 15 時 28 分 33 秒から 15 時 42 分 34 秒の間で、最初に航跡は大きく変化している。図中の矢印は、図 3 で示した津波のシミュレーションから想定した津波の大雑把な伝搬方向を「目視によると、岩手県北部の調査海域内の航行船舶に対し、津波は東～北東の方位から西方に向かって伝搬するものと思われる。」との判断から記入した。図 3 の数値シミュレーションの精度検証ができていないので、シミュレーション結果の図から、正確な波向は確定できないが、津波は航行船舶に対し船首左斜め前方のおよそ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。

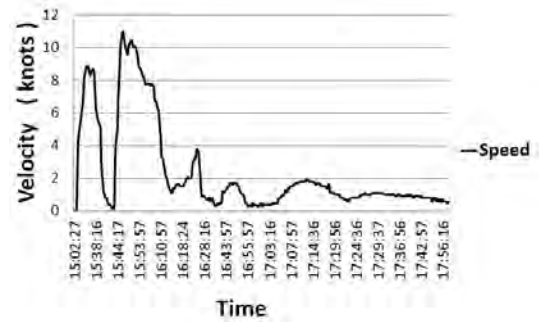
図 5 に調査海域を航海中の某原子力用燃料運搬



(a) 航跡



(b) 対地針路と船首方位



(c) 対地速度

図 5 津波遭遇時の原子力用燃料運搬船 (B) の AIS データの解析

船(Nuclear fuel carrier)(B 船)(全長 100m, 全幅 16m, 総トン数 40,530 トン)が、津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)図はむつ小川原港を出港後、南東に航海中の航跡を示す。出港後間もなくの 15:37 頃に津波の第 1 波に遭遇したであろうと思われる航跡に小

さなキックが見られる。さらに、16:10 頃の円弧を描いた航跡部分前の時刻が概ね津波の第二波の時間帯に一致する。(b)図に船舶の対地針路(COG)および船首方位(HDG)の時系列を示す。第一波到来時に、COG は  $150^\circ$  から  $60^\circ$  に大きく変化している。また HDG も  $140^\circ$  から  $90^\circ$  に変化している。第二波到来時の COG は  $150^\circ$  から反時計回りに一回頭している。HDG は  $60^\circ$  から  $200^\circ$  に変化している。(c)図に対地速度(SOG)を示す。船速が津波に遭遇する前に既に約 9knots から 1knots 以下に減速し、津波遭遇に対処したものとされる。

図 4 および 5 から、COG, HDG および船速の大きな変化から、津波の到来時刻の予測が可能であることが解った。今回対象の 12 隻の AIS データを全て同様に解析し、各船舶に到来した津波の時刻を予測した。

図 6 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。しかし、船舶数が少なく、船舶が特定の領域に分布したので、正確に自動的に曲線を描画できなかった。そこで、フリー

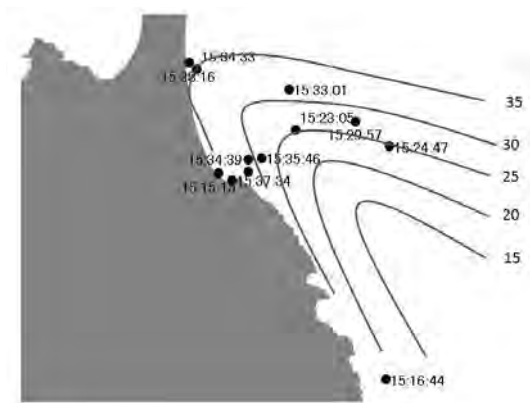


図 6 津波伝搬の等時間差曲線

ハンドであるが、等時間曲線の描画を試行した。描画方法は、最初に図 3 に示した数値シミュレーション結果から、対象海域内の津波の伝搬方向をおよそ推定した。次に、各船舶の船位および津波の到達時間のプロット値から、線形補間して等時間曲線を 5 分間隔で描いた。現時点では、厳密には正確でないが、津波は北西方向に伝搬していることがわかる。図 3 の数値シミュレーションから数値計算の検定が実施されていないので、津波の伝搬方向の検証が正確にできていない。伝搬方向をシミュレーション結果から、ある程度予測して等時間曲線を図示したので、今後正確に図示するために、独自に津波の伝搬の数値シミュレーションを行い、伝搬方向の精度検証を行う所存である。また、津波により船舶が流され偏位すると思われるので、今後詳細な解析により、船舶の移動による津波の伝搬方向の推定も検討する所存である。

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。これらについては、今後の課題である。

#### 4. AIS データによる津波伝搬予測の問題点

図 6 で示す AIS データを用いた津波の伝搬の等時間曲線が即座に表示できると、津波の早期予測が可能であることがわかった。

本手法の長所として、以下の項目が挙げられる。

ナウファス等の波浪計による予測は、1 点観測であり、その時点のデータしか取得できない。AIS データは AIS 搭載船舶が海上に点在するので、多点での観測であり、場として津波の情報が得られ



るので、収集データ量は多い。特に、大阪湾、伊勢湾および東京湾などの船舶の輻輳度が多い海域では、多数（数十から数百）のデータが収集可能である。また、今後わが国だけでなく世界経済の発展により、船舶建造量は増加することが予測されるので、それに比例して情報量は増加する。さらに、2章で記述のAIS搭載が義務付けられた特定の船舶以外にも、近年、漁船、プレジャーボート、各種小型船舶の他、様々なAIS搭載が義務付けられていない各種船舶も、小型船向けの簡易型Class BのAISも次々と搭載されているので、AIS情報の提供は今後急速に増加すると思われる。

AISの受信範囲は、広範囲であり、陸地から約200マイル程度の範囲まで収集できる。レーダでは最大50マイル程度沖合が限度であるため、収集可能な海域は相当広く、津波の早期発見に貢献できると思われる。

しかし、本手法の現時点における短所としては以下の項目が計上される。

全ての船舶は、独自に発電機を搭載するため、航海計器および各種機器の稼働および電源の確保などは問題ない。そのため、船舶は常時AISデータの送受信が可能である。しかし、陸上AIS受信局では、地震に伴う停電により、各船舶からのAISデータの受信が不可能となる。今回の地震の場合も、東北地方の沿岸部において、地震発生後ほとんどの地域で、停電し、AISデータは停電後受信できなかった。AISデータの収集ができなくなると、本手法の津波伝搬予測は不可能となる。その対策として、地震発生後、停電となった場合、その数時間後の各種船舶が津波の影響を受けた数時間だけでも、AISデータ収集可能な補助電源の確保が必要である。解決策の1案として、太陽発電やその他のバックアップ電源などにより、停電後数時間の電源確保が必要である。今後、AISデータから津波の早期予測の実現を図るためには、常

時AIS受信機の電源確保は重要な課題である。

今回の津波早期発見法は津波の伝搬の予測であり、津波の波高の推定はできない。AISデータの船位、船速などは船舶に搭載のGPSによるデータである。本来GPSは緯度、経度の水平面の変位だけでなく、高さ方向の変位の計測も可能である。高さ方向の変位の計測を行い、AISデータに加えると、津波に遭遇時の波高の計測は可能である。このように、AISデータに高さ方向の変位を加えるか、あるいは高さ方向の船体の変位を計測する変位計を付加し、AISデータに加えると津波の高さの予測も可能になると思われる。

## 5. 結論

平成23年3月11日14時46分に三陸沖で、マグニチュード9.0の観測史上最大の地震が発生した。特に沿岸部では地震に伴う未曾有の大津波に遭遇し、甚大な被害を被り、多数の死者および行方不明者がでた。もし、津波の正確な早期予測が可能であれば、被害も軽減されたといわれている。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。

最後に、本研究は文部科学省科学研究費（挑戦的萌芽研究 24651200 代表者 塩谷茂明）の補助を受けたことを記し、関係各位に謝意を表す。

## 引用・参考文献

- 1) 気象庁：「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」について（第 28 報），  
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/256b/kaisetsu201103251730.pdf>
- 2) 警察庁：<http://www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/higaijokyo.Pdf>, 2011
- 3) 永井紀彦：ナウファスによる津波観測の歴史と現状，一海象計および GPS 波浪計による津波の観測およびナウファスが捉えた 2011 年東日本大震災に伴う津波波形記録一，日本航海学会，東日本大震災検討会議講演資料集，p.10-17, 2013.
- 4) 安田誠宏，高山知司，川村健太，間瀬肇：沖合観測情報を用いたインバージョン法によりリアルタイム津波予測，海岸工学論文集，第 54 巻，pp.196-200, 2007
- 5) 間瀬肇，安田誠宏，高山知司：ニューラルネットワークを用いた大阪湾への来襲津波のリアルタイム予測に関する研究，海岸工学論文集，第 54 巻，pp.201-205, 2007
- 6) 日向博文，藤良太郎，藤井智文，藤田祐一，花土弘，片岡智哉，水谷雅裕，高橋智幸：紀伊水道における短波海洋レーダを用いた津波・副振動観測，海岸工学論文集，第 68 巻，pp.196-200, 2012
- 7) 林豊，碓氷典久，蒲地 政文，越村俊一：宇宙からのリアルタイム津波検出は可能か？—衛星海面高度計による 2010 年 2 月チリ中部地震津波の観測値を用いた検討リモートセンシング，日本地球惑星科学連合大会 2010 予稿集，CD-ROM (Session M-IS050 )，2010
- 8) Shigeaki Shiotani1, Hidenari Makino and Daisuke Terada: ANALYSIS OF SHIP BEHAVIOR IN TSUNAMI USING AIS DATA, Proceedings of International Sessions in Coastal Engineering, JSCE, Vol.2, pp.-, 2011
- 9) Shigeaki SHIOTANI, Hidenari MAKINO: ANALYSIS OF SHIP EVACUATION IN TSUNAMI USING AIS DATA, One Year after the 2011 Great East Japan Earthquake, International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake, March, 1-4, 2012, Tokyo Japan, CD-ROM, pp.1-8, 2012
- 10) 塩谷茂明，牧野秀成，寺田大介：AIS 情報を用いた津波来襲時の船舶の挙動解析，土木学会第 66 回年次学術講演会，pp.449-450, 2011
- 11) 海上保安庁交通部：AIS を活用した航行支援システム，[http://www.kaiho.mlit.go.jp/syoukai/soshiki/toudai/ais/ais\\_index.htm](http://www.kaiho.mlit.go.jp/syoukai/soshiki/toudai/ais/ais_index.htm), 2009.

12) 高 欣佳, 塩谷 茂明: AIS を用いた大阪湾の船舶航行実態解析に関する研究, 土木学会 (海洋開発論文集), 2013, 印刷中

13) 塩谷茂明, 瀧林佑哉, 高欣佳, 若林 伸和: AIS を用いた航行船舶の入出港時の航路遵守に関する調査, 土木学会 (海洋開発論文集), 2013, 印刷中

14) 国際航業ホールディングス株式会社: 東北地方太平洋沖地震 津波シミュレーション, [http://www.kk-grp.jp/csr/disaster/201103\\_touhoku-taiheiyo/CG.html](http://www.kk-grp.jp/csr/disaster/201103_touhoku-taiheiyo/CG.html), 2012

木学会, 他 11 学会会員.  
E-mail: shiotani@maritime.kobe-u.ac.jp

柳 馨竹 (非会員)

神戸大学大学院海事科学研究科博士後期課程学生 (神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

陳 辰 (非会員)

神戸大学大学院海事科学研究科博士後期課程学生 (神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

#### 著者紹介

塩谷 茂明 (正会員)

神戸大学自然科学系先端融合研究環 (神戸市東灘区深江南町 5-1-1), 昭和 25 年生まれ, 昭和 51 年 3 月神戸商船大学商船学研究科修士課程 (航海学専攻) 修了, 同年 4 月同年広島商船高等専門学校助手, 平成 3 年長崎大学水産学部准教授, 現在神戸大学教授, 工学博士, 日本航海学会, 日本船舶海洋工学会, 日本土



## Study on an Applicability of Early Estimation of Tsunami Propagation Using AIS Data

Shigeaki SHIOTANI, Shinchiku RYU and Chen CHEN

**ABSTRACT :** 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 paper 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.

**KEYWORDS :** *Propagation of tsunami, AIS, earthquake, ship, prevention of disaster*