

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：82102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02104

研究課題名（和文）津波情報の即時伝達のための水中音響伝送手法の開発

研究課題名（英文）Development of acoustic data transmission for real-time tsunami observation

研究代表者

高橋 成実（Takahashi, Narumi）

国立研究開発法人防災科学技術研究所・地震津波火山ネットワークセンター・上席研究員

研究者番号：70359131

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、海底津波観測データをリアルタイムで伝送する手法の開発を行った。それは、海底ケーブルのインフラがない海域でもリアルタイム津波観測が困難であることが背景にある。低消費電力による長期観測を念頭に、海底水圧データをダブルパルス幅に変換、耐ノイズ性能を高めて音響信号を用いて伝送する。海面にブイを係留するケースと、海底間を音響中継しながら伝送するケースを想定し、この手法は複数の観測点データを伝送する機能を持つ。使用する周波数と水中伝送時の受信精度や反射波や散乱波の影響評価を田沢湖や海域で調査を繰り返し、水中音響伝送技術として確立した。深海での音響素子の信頼性は、解決すべき課題である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リアルタイムの津波観測は、海底ケーブルのインフラが整備された海域で実施されてきた。これらのデータを用いて、津波警報・注意報（気象庁）や津波即時予測システムが実装されてきている。しかし、海底ケーブルは設置されない海域もあり、リアルタイムの津波観測ができない状態に置かれている。この音響通信技術が使用できれば、ブイのプラットフォームを用いて、どの海域でもリアルタイムの津波観測が可能になる。また、このシステムは移動できるため、上記インフラが整備されれば、他の海域に移せばよい。本研究の成果は、どの海域でも柔軟にリアルタイム津波観測を実施できるようにするための技術である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed acoustic transmission for sea bottom pressure data in real-time. It is difficult for real-time tsunami observation around Japan without an infrastructure like ocean bottom cable as the background. Considering long term observation by super low electric consumption, the digital data is converted to a length between double pulses and sent by acoustic transmission adding improved noise resistance performance. Assuming that sea bottom pressure data is sent to buoy on sea surface and/or after relay among some equipment, it has a function to send some stations data. Here, we established underwater acoustic transmission technology by repeating experiments in Lake Tazawa and sea trials to evaluate data transmission accuracy using the adopted frequency and noises like reflected or scattered signals. Reliability of element used for acoustic transmission at deep ocean is to be resolved in the future.

研究分野：海洋地震学・津波

キーワード：水中音響通信 津波観測 リアルタイム伝送

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

リアルタイムの津波観測は、海底ケーブルのインフラが整備された海域で実施されてきた。これらのデータを用いて、気象庁は津波警報・注意報を発表している。また、和歌山県、三重県、千葉県、中部電力ではこれらのデータを用いた津波即時予測システムを開発し、実装してきた。これにより、津波の到達時間、高さ、浸水分布等が即時的に可視化されている。しかし、日本海側や鹿児島から沖縄まで南西諸島海溝域には海底ケーブルは設置されておらず、リアルタイムの津波観測ができない状態に置かれている。この音響通信技術が使用できれば、ブイのプラットフォームを用いて、どの海域でもリアルタイムの津波観測が可能になる。また、このシステムは独立しているため、上記インフラが整備された場合には容易に他の海域に移すことが可能である。本研究の成果は、どの海域でも柔軟にリアルタイム津波観測を実施できるようにするための技術である。

### 2. 研究の目的

本研究では、海底で観測された水圧データをリアルタイムで音響伝送する技術を確立することである。これは、海面にブイを係留するケースと、海底間を音響中継しながら伝送するケースを想定したもので、複数の観測点データを伝送する機能も持つこととした。

### 3. 研究の方法

本研究では、以下の3つの手順を経て開発を進めた。(1) コンセプトの整理、(2) 送信機、受信機、中継機の製作と田沢湖実験 (3) 海域試験、の3つである。

#### (1) コンセプトの整理

リアルタイム観測、津波観測、複数データ伝送がコンセプトになる。リアルタイム伝送を念頭に、伝送したい観測項目、観測伝送間隔、係留継続期間、ノイズ混入時の扱い、設置環境がシステム全体の系を決める要素となる。

#### (2) 送信機、受信機、中継機の製作と田沢湖実験

これまで実施してきた海域試験での課題を念頭に、システムの最小化を検討した。これまでのシステムでは、ブイの直下の水深1000mに吊下局をオンラインで設置していたが、ブイの回転や周囲の漁業活動により、ラインがダメージを受けやすいことが課題であった。この課題を解決すべく、吊下局の撤廃と海底間での通信を念頭に設計することとした。また、海域での試験は経費がかかるため、湖底水深が深い田沢湖で実験を行い、一定の品質を確認した上で海域試験を行うこととした。

#### (3) 海域試験

ブイを用いた海域試験は、ブイ・係留索・数トンのアンカー・海底局の回収機構の準備など、経費がかかるため、4000m程度のワイヤーに送信機、受信機、中継機を取り付けて、船上から投入して実験する方針とした。船舶を海流にのせて動かすことで、ブイ係留時の観測ジオメトリを再現する。

### 4. 研究成果

3章で示した、以下の3つの手順(1) コンセプトの整理、(2) 送信機、受信機、中継機の製作と田沢湖実験 (3) 海域試験、のそれぞれについて、下記に成果をまとめる。

#### (1) コンセプトの整理

全体の観測構成として、上記の通り、海面にブイを係留するケースと、海底間を音響中継しながら伝送するケースを想定している(図1)。これにより、ブイ係留の場所の選択肢が広がり、航路上や漁業活動海域を避けることができる。また、津波即時予測システムに組み込み、海底ケーブルデータと組み合わせることを考慮し、リアルタイムで伝送できることが必要になる。但し、津波の波長を考慮し、時刻の管理は音響伝送の時刻を測定して補正する形をとることとした。海底局では15秒間隔でデータを記録することとし、伝送は通常1分間隔、津波検知時は15秒間隔とした。海底で水圧データを観測する際、地震に伴う津波なのか、海底地すべりによる影響であるのかを判別できるようにするため、温度データも合わせて伝送できるように考えた。

海面にブイを係留するケースでは、水深によっては、係留索に中継器を取り付けて海底水圧データを中継しながらブイまで伝送する。設置水深が2km以下であれば、中継器は不要で、そのままブイまで伝送することができる。

海底水圧観測の地点にブイが係留できない場合は、海底の複数個所に中継器を設置、データを中継しながらブイが設置できるところで、海面までデータを伝送する。あるいは

は、海底間の通信のまま、港湾部まで伝送するケースにも対応する。海底に複数の中継機を設置する場合には、圧力センサーを取り付ければ、複数の圧力データを伝送できるようにすることとした。

長期間の連続観測を実現することは、全体の経費の削減に大きく貢献するため、低消費電力を実現することが何より必要である。デジタルデータを数値として伝送することも可能であるが、観測値をダブルパルスの時間差に変換して、その時間差を受信機で読み取ることで観測値に変換する方式を採用した。これにより、2つのパルスだけでデータを伝送することが可能になる。しかし、単純なダブルパルスではノイズの混入により数値が正しく伝送されないリスクがあるため、パルスのコードを符号化することで耐ノイズ性能を高めることとした。これにより、出力するパルス数を最低限にすることができ、消費電力を下げるができる。

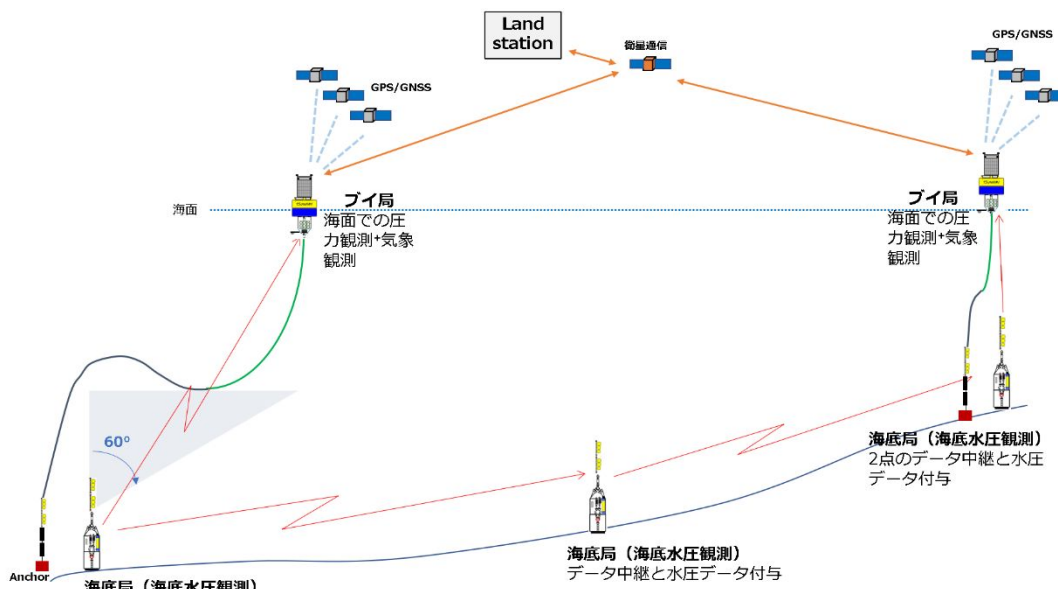


図1 想定している音響通信を用いたリアルタイム津波観測システムの想定

(2) 送信機、受信機、中継機の製作と田沢湖実験

まず、水圧計からの入力データを伝送する送信機、伝送されてきたデータを受信して送波し直しながら水圧計からのデータも入力できる中継機、伝送されたデータを復調してからある一定の閾値以上の信号を抽出する受信システムを準備した(図2)。使用する周波数帯域は31kHz帯で、送信機では31ビットのゴールドコードを使用し、位相変調して伝送している。田沢湖実験で使用している送信機と中継機の耐圧性能は600mと700mである。実験にあたっては、水中の温度構造に伝送路が大きく影響を受けることを考え、田沢湖全体の温度構造を測定した。数年観測してデータを検証したところ、田沢湖では実験水域において水平方向の不均質性はあまりないことを確認した。しかし、季節によって鉛直方向の温度構造は大きく変化する。

実験では、伝送データの品質評価試験、指向性確認試験、起伏地形上での伝送試験を繰り返し実施してきた。送信機を湖底水深430mに設置し、受信機を移動させながら、送信機からの直接伝送と中継機経由の伝送を受信し、データ伝送の安定性を確認した。中継機は湖底の送信機に近いところに設置した場合、送信機から一定距離離れた場合で実験を繰り返し、データ伝送の再現性を確認した。送信機から受信機の直接伝送は95~100%のデータ伝送成功率、中継機を経由した場合は90%程度となる。伝送距離は最大2500mまでの伝送が可能であった。但し、45-60度の角度で受信成功率が10%程度下がり、送信機に指向性があることを確認した。これは翌年の田沢湖での追試験でも同様の結果であった。起伏地形上での伝送試験は、特に急激に浅くなってからの成功率は急激に下がったが、これらの結果は、最終的に音響データ伝送路の設計で解決すべき課題であることを意味している。湖底もしくは海面からの反射波や周囲の物体からの散乱波については、特に水面からの反射波が大きく影響することを確認した。これは、受信機の設置深度の調整で解決した。

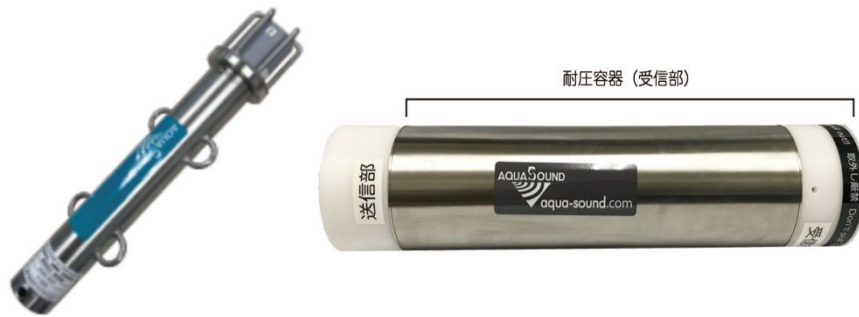


図2 製作した送信機（左）と中継機（右）。

(3) 海域試験

これまでの田沢湖実験では、送信機の設置水深が浅く、主として水平方向のデータ伝送が中心であったが、東京海洋大学の神鷹丸を用いた海域試験では、深海用ワイヤーに送信機、中継機を取り付け、受信機でのデータ伝送の安定性を確認した（図3）。送信機からの信号を確認しながら、ワイヤーを巻き出し、中継機を取り付けた後からは、直接伝送と中継機経由の伝送でその安定性を確認した。送信機の耐压性能を4000mまで上げたが、音響素子の耐压性能に問題があり、深海でのデータ伝送に課題が残った。送信機が浅い範囲においては、送波に必要な音圧レベルや受信できる音圧の閾値について、田沢湖実験と同等の成果を得て、音響伝送自体の再現には成功した。

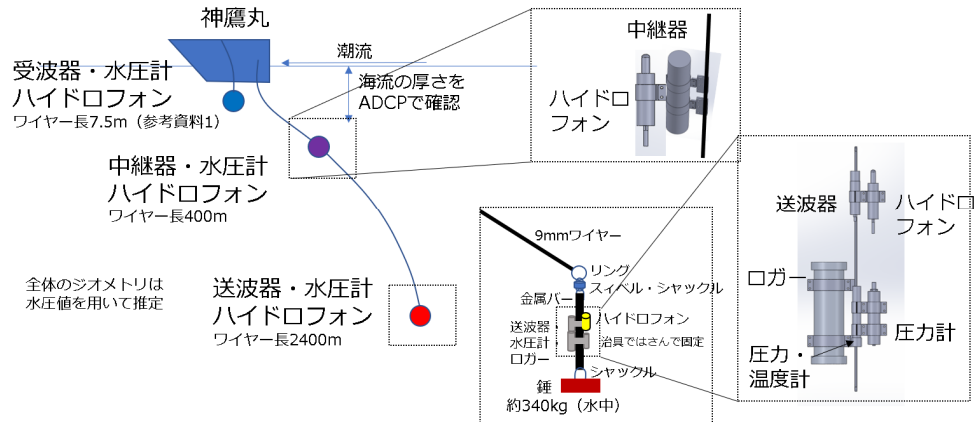


図3 海域試験の概要。ワイヤーに問い付けて船舶を微速で移動することにより、パイ係留索に取り付けた場合と同等なジオメトリを再現する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 強潮流対応型海底観測情報伝送システム	発明者 福田、今井、越智、石原、高橋、木戸、太田、田口	権利者 JAMSTEC、NIED、東北大学、マリン・
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-029698	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究分担者	木戸 元之  (Kido Motoyuki)  (10400235)	東北大学・災害科学国際研究所・教授    (11301)	
研究分担者	今井 健太郎  (Imai Kentaro)  (20554497)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門(地震津波予測研究開発センター)・グループリーダー代理    (82706)	
研究分担者	越智 寛  (Ochi Hiroshi)  (30359137)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・研究プラットフォーム運用開発部門・調査役    (82706)	
研究分担者	石原 靖久  (Ishihara Yasuhisa)  (30443336)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・研究プラットフォーム運用開発部門・グループリーダー    (82706)	
研究分担者	太田 雄策  (Ohta Yusaku)  (50451513)	東北大学・理学研究科・准教授    (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	福田 達也  (Fukuda Tatsuya)  (50608370)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・研究プラットフォーム 運用開発部門・技術副主幹    (82706)	
研究分担者	近貞 直孝  (Chikasada Naotaka)  (90318197)	国立研究開発法人防災科学技術研究所・地震津波防災研究部 門・主任研究員    (82102)	
研究分担者	中東 和夫  (Nakahigashi Kazuo)  (90709346)	東京海洋大学・学術研究院・准教授    (12614)	

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