

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K18948

研究課題名（和文）海中音圧アレイと地震津波モニタリング

研究課題名（英文）Hydroacoustic observation and earthquake monitoring

研究代表者

山田 知朗（Yamada, Tomoaki）

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：40323654

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：海中発破などの水中音波および海底地震記録を利用し、信号受信強度と信号到来方向を調査した。海中音波アレイは、太平洋を横断する長距離にわたって信号を受信することができることが確認された。3次元伝搬シミュレーションとの比較から、経路上の比高の高まりによる伝達損失と、回折効果により信号強度低下と走時遅れが説明できることが明らかになった。また、環太平洋の縁辺域や、海洋島での反射波が多数存在する。海底地震記録は、受信強度は位置関係で大きく異なり、特に設置水深により大きな差がある。地震計3成分を利用した単点での到来方向推定では、通常地震の解析では利用しない高周波域を利用が効果的である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水中音波観測の有効な場所を示すと同時に、機動海底地震観測時に併用できる音波観測システムを開発した。また、本研究で利用した水中音波観測データは、包括的核実験条約機関準備委員会が、国際監視制度（IMS）の一つとして、海中における核実験監視のために整備を行い、取得されたものである。整備が進められて以降、公になっている海中での核実験は存在しないが、本研究では既知の海中発破データを用いることで、実データに基づく水中音波観測点の検知能力を示した。

研究成果の概要（英文）：We investigate signal intensity and arrival directions based on hydroacoustic stations, which are operated by CTBTO, and ocean bottom seismometers and hydrophones. Hydroacoustic data show received signals over long distances across the Pacific Ocean, and comparison with 3D propagation simulations revealed that transmission losses due to seamounts on the path and diffraction effects explain the received signal reduction and delayed travel time based on a standard 1D structure. Furthermore, there are many reflected waves from marginal areas of the Pacific Rim and oceanic islands. The received signals on ocean bottom instruments varies greatly with location, especially with the depth of the installation.

研究分野：地震学

キーワード：水中音波 海中観測 海底観測 海中発破

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

一般に海域における観測は、陸域に較べて困難であり、海域下で発生する地震やそれに伴う諸現象を詳細に調べることは容易ではない。しかしながら研究開始当初の状況として、従来から行われてきた機動的な地震観測データの蓄積に加え、海底ケーブルを利用した日本海溝海底地震津波観測網の運用が防災科学技術研究所により始められようとしていたこと、また包括的核実験禁止条約機関準備委員会が国際監視制度施設の一つとして整備を進めている海中音波観測網データの科学的利用が可能になってきていた。

2. 研究の目的

海中音波観測データを利用した地震津波減災と、地震津波モニタリングのための効率的な観測システムの開発・展開の可能性をにらみながら、海中および海底観測データに基づく実証的研究を実施する。

3. 研究の方法

海底地震観測により得られるデータに加え、包括的核実験禁止条約機関国際監視制度の一環で取得されている水中音波データの収集を行う。地震・津波や海域での制御震源情報に基づき記録を抽出し、水中音波記録の受信信号のタイミング、周波数特性、強度などについて調査する。また地震や津波のモニタリングするための方法として、既存の海底地震観測システムを活用しながら水中音波観測システムの可能性を検討する。

4. 研究成果

(1) 日本近海や北西太平洋で実施された海中発破や海中エアガン発振の海中音波および海底地震記録を利用し、信号受信強度の分布と受信信号に基づく信号到来方向を調査した。SOFAR チャネル内に設置されている海中音波アレイは、太平洋を横断する長距離にわたって信号を受信することができることが確認された。また、送信点と受信点を結ぶ大円経路上に島などがある場合は、受信強度に加え、到来方向や観測走時に一次元構造を仮定した際の理論値とのずれが生じている。3次元伝搬シミュレーションとの比較から、経路上の比高の高まりによる伝達損失と、回折効果により信号強度低下と走時遅れが説明できることが明らかになった。また、到来方向と走時解析から、環太平洋の縁辺域や、海洋島での反射波が多数存在するがわかった。一方、海底地震記録は、受信強度は送信、受信の位置関係で大きく異なるが、受信点については特に設置水深により大きな差がみられ、概ね水深2キロメートル程度で相対的に受信強度が高くなる。地震計についてはアレイ解析のほか、3成分を利用した単点での到来方向推定が可能であり、通常地震の解析では利用しない高周波域を利用することで、直下の堆積層の影響を低減した推定ができることが示された。

(2) 日本海溝海底地震津波観測網に代表される近年の海底地震観測網の整備や、これまで実施してきた機動的な海底地震観測によるデータ取得により、海底における地震データは比較的多数存在するが、利用可能な海中音波データ点は極めて限定的である。そのため機動的な海底地震観測の機会を利用して、音波データ点を増やすため、稍広帯域のハイドロフォンを機動的な海底地震計に付加するための技術開発を行った。制御震源を用いた構造探査実験を利用し、制御震源記録を実地で受信するとともに、従来型海底地震計との比較を行い、良好な記録が得られることを確認した。

(3) 光ファイバー自体をセンサーとして利用する分散型音響センシングによる計測では、100キロメートル超にわたり、数メートル間隔の高空間密度、数千ヘルツの時間間隔でケーブル方向のひずみデータを取得することができる。東京大学地震研究所が1996年に敷設した三陸沖海底地震津波観測ケーブルシステム内の予備光ファイバーを利用し、従来の地震計・津波計の観測と並行して、沖合100km超にわたる光ファイバーに沿って、分散型音響センシングデータを取得した。分散型音響センシングデータの解析によると、1Hz以上の高周波帯域におけるノイズレベルは、ハイノイズレベルモデルより低く、三陸沖海底地震津波観測ケーブルシステムで採用しているサーボ型加速度計とほぼ同等であった。また、平面波近似を用いたシステム内の加速度計記録との比較から、音響センシングデータは地震計データと高い相関を持つことが明らかになった。また、高空間密度である音響センシングデータは、直下の堆積層構造推定にも適用可能である。一方、津波相当などの長周期帯については、ノイズレベルが高く、利用するためには今後ノイズ

低減のための技術開発が不可欠であることが示された。また、そもそも低頻度現象である津波そのものについては、これまでに実データを取得することはできておらず、計測期間の長期化ないしは連続運用による評価が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Shinohara Masanao, Yamada Tomoaki, Akuhara Takeshi, Mochizuki Kimihiro, Sakai Shin'ichi	4. 巻 9
2. 論文標題 Performance of Seismic Observation by Distributed Acoustic Sensing Technology Using a Seafloor Cable Off Sanriku, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fmars.2022.844506	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 Fukushima Shun, Shinohara Masanao, Nishida Kiwamu, Takeo Akiko, Yamada Tomoaki, Yomogida Kiyoshi	4. 巻 74
2. 論文標題 Detailed S-wave velocity structure of sediment and crust off Sanriku, Japan by a new analysis method for distributed acoustic sensing data using a seafloor cable and seismic interferometry	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-022-01652-z	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 Viens Loïc, Bonilla Luis Fabian, Spica Zack J., Nishida Kiwamu, Yamada Tomoaki, Shinohara Masanao	4. 巻 49
2. 論文標題 Nonlinear Earthquake Response of Marine Sediments With Distributed Acoustic Sensing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2022GL100122	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 該当する

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Tomoaki Yamada, Kenji Uehira, Masanao Shinohara
2. 発表標題 Seafloor seismic observatories along the Japan Trench and their data
3. 学会等名 International Hydroacoustics Workshop
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoaki Yamada, Georgios Haralabus, Mario Zampolli, Kevin Heaney
2. 発表標題 Hydroacoustic signals from controlled underwater seismic survey sources in the Pacific
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoaki Yamada, Masanao Shinohara
2. 発表標題 Hydroacoustic records from non-tsunamigenic events and tsunamigenic earthquakes in the Pacific Ocean
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoaki Yamada, Georgios Haralabus, Mario Zampolli, Kevin Heaney
2. 発表標題 Long-range underwater acoustic propagation from controlled underwater sources received at IMS hydroacoustic stations
3. 学会等名 Joint Scientific Assembly of the International Association of Geodesy and the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoaki Yamada, Masanao Shinohara, Gou Fujie, Masashi Mochizuki, Kenji Uehira
2. 発表標題 Underwater acoustic records from underwater controlled sources and earthquakes on the Japan Trench seismic network
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017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			
オーストリア	CTBT0			