

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03693

研究課題名（和文）点から線・面へ：次世代の地震・津波観測データに対する革新的な解析法の開発

研究課題名（英文）Points to lines/surface: Development of innovative analytical methods for next-generation seismic/tsunami data

研究代表者

蓬田 清 (Yomogida, Kiyoshi)

北海道大学・理学研究院・名誉教授

研究者番号：70230844

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）： DASと海底水圧計という最先端観測システムのデータに対する解析法を開発し、地震・津波現象のより定量的解明を示した。空間的に連続なDASでは、高分解能の浅部S波不均質構造が得られ、既存のP波との比較からその物性・構成物質も言及可能になった。従来の合成波形逆問題に比べ、海底水圧計網の記録から直接に高精度の震源過程を推定できた。

また、トンガ火山の噴火で、大気・海洋の相互作用という新現象の解明に貢献した。さらに、陸上の高周波地震波の稠密データから火山フロント前後での強い不均質性による散乱・減衰の検出を、海嶺軸付近の海底地震観測網の10年以上のデータの時間変化と地震活動との関連性が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

観測点数の少なさが制約の地震・津波研究は、1990年代からの観測網の整備に続き、光ファイバーを用いたDASや海底水圧計など最新の計測技術により、空間的に連続なデータや時間変化の検出が可能となってきた。従来と異なる複雑な処理過程を排した解析法の開発により、海底浅部の不均質構造や津波励起の海底地震の震源過程について、より高分解能・高信頼度の結果を本研究は可能とした。

稠密観測網は陸海両地域で今後一層展開され、さらに大量データが供給されるはずで、本研究での新しい視点が地震・津波研究で普及すれば、その解明に飛躍的發展するだけでなく、新たな有効な観測計画の構築立案にも貢献が期待される。

研究成果の概要（英文）： Seismic and tsunami records have been point-like in space, but recent technological advances start providing us with line-like or two-dimensional data, or no longer time-series but pictures or even videos. In this project, we have developed new approaches for such new data of high quality and vast quantity.

Using optical cable DAS data, a shallow marine structure of S-wave velocity was obtained of high resolution. Together with previous P-wave results, we can discuss its physical properties and constitutive materials for the first time. With ocean-bottom pressure data, we estimated detail fault motions of a marine earthquake that excited tsunamis, using a projection method of records, which is superior to conventional waveform inversions. In addition, a new atmosphere-ocean coupled event was identified and simulated for the 2022 Tonga volcanic eruption. We also monitored temporal variations of shallow seismic activities near a trench axis with continuous OBS records over 10 years.

研究分野：地震学

キーワード：次世代高密度地震津波観測網 DAS 海底光ケーブル 海底水圧計 表面波 浅部S波構造 津波励起過程 高密度アレイ記録

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 従来の地震計はその地点での地震動の波形記録という時系列データであり、現在でも高周波成分については、走時の読み取りと最大振幅の測定のみが中心で、コーダ波部分のエンベロープの時空間変化を用いた微細不均質性の研究が行われている程度である。0.1Hz 以下の低周波成分については、震源・伝搬効果は比較的単純なので、合成波形を求めた上で観測波形との比較からの逆問題が主流となってきた。1990 年代から陸上では密度の高い観測点網が設置され始め、観測点数の少なさという大きな障害が徐々に解消されてきたものの、高周波成分については未だに不十分な観測点の密度であった。波形記録の重合といった高密度な観測点の設定から多くの情報を得てきた物理探査の分野に比べ、地震学においては得られる構造・震源過程の空間分解能は大きく劣っていた。

(2) 地震学では固体地球の応力・歪みの状態、構成物質とその物性を対象として扱うため、また空間的な不均質性が極めて大きいことから、時間変動は研究の対象外であった。これは地球の大気・海洋やマグマの移動が関与する火山の研究との決定的な違いであった。しかし、雑微動のように定常的に信号が活用され、かつ励起源が大きく変動しないと仮定できる現象に対して、近年になって震源付近や地震直後の地盤といった地下構造の微弱な時間変化が徐々に検出され始めているが、その信頼性はまだ不十分であった。

(3) 津波データは古典的な潮位計のみであったが、湾の地形・海底深度の複雑な変化などの影響を大きく受けるため、津波励起源の詳細な研究は困難だった。沖合の海底水圧計が設置され始めたことで、かつての長周期地震波記録と同程度に大まかな震源過程の推定がルーチン化する段階までようやく達した。そして、約 10 年前から日本近海では世界で初めて超密度の水圧計観測網が設置・稼働が始まり、より詳細な解析が可能な背景となってきた。また、稠密な津波観測網によって従来では検知されなかった新しい現象の解明も期待されている。

2. 研究の目的

(1) 地震計の波形記録という時系列データとは異なり、稠密観測網や空間的に連続な DAS のような次世代の地震学のデータ (Li et al., 2022) に対して、有効な新しい解析手法を開発し、利用可能となり始めた実際の観測データに適用し、これまでのデータと処理法からの結果と比較し、全面的に観測データの質が大転換する時代に沿った、全く新しい分析手法の基礎的指針を提案する。

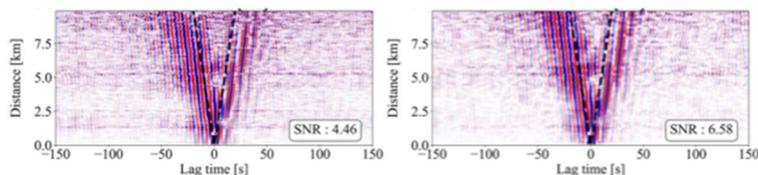
(2) 水の移動により地震波速度が大きく、そして頻繁に変動すると予想される地震データの時間変化として、海溝軸付近の堆積層の速度を例として、近接する海底地震観測網の雑微動データから 10 年以上の長期にわたる同じ多点記録から、従来よりも決定的な信頼性の高い結果を求める。

(3) 海底水圧計の観測網からのデータを用いて、津波を励起する海底地震の震源過程について、新しいデータの質の利点を活かし、より簡便で分解能の高い解析手法を開発する。また、稠密な観測点から、これまで検出できなかった新しい地学現象を検出できないかを検討する。

(4) 陸上の稠密地震観測点の波形記録のうち、また十分活用されていない 1Hz 以上の高周波成分を用いて、地下の微細不均質性による散乱・減衰の空間分布を求める。特に、火山フロント付近は大きな変動があることが知られており、この複雑な分布を解明する。また、陸上の観測網から高周波地震波に対する日本列島の地盤応答・サイト特性の分布・周波数依存性が詳しく求まったように、海底の観測網から海底面のサイト特性を調べ、陸上の結果と比較・その原因を考察する。

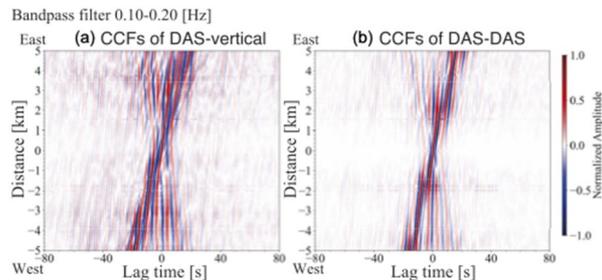
3. 研究の方法

(1) 地震計の波形記録が単一の時系列データであるのに対し、DAS データはその側線に沿って連続的な波形記録となるので、時空間の 2 次元データ、すなわち画像データとみなすことができる。図は、三陸沿岸から日本海溝に向かって設置された海底光ケーブルによる雑微動の DAS データである。地震など特定のイベントにない時間帯におけるケーブルの 2 点間の記録の相互関係波形を、縦軸を観測点間の距離、横方向に時間として表したものである。沿岸から 68km での記録を基準として、0.1-0.25Hz のバンドパスフィルタをかけている。この図の

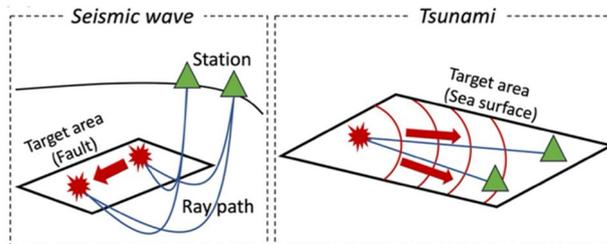


距離ゼロから両側に伝わる信号は海底面に沿っての表面波、特に Rayleigh 波と考えられる（破線は位相速度 0.5 km/s の成分）。左は元の相関波形を並べたもので、これを画像とみなして 2 次元フィルタをかけたものが右であり、主要な位相として伝搬する箇所が強調される改善が確認される。このようなフィルタは従来の地震記録では時間軸（周波数 f ）と空間軸（波数 k ）からなる FK ファイタと呼ばれてきたが、従来は空間方向はまばらで十分な分解能・ファイタ効率が高かったが、DAS データでは時間軸と同レベルで扱えるため、フィルタ効果が格段に向上している。

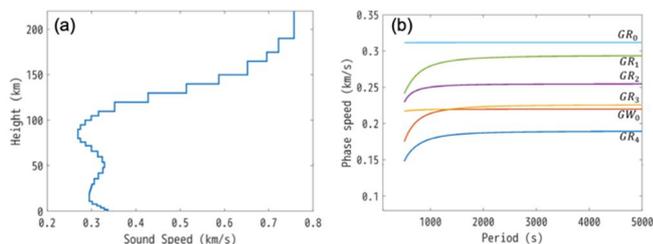
(2) DAS は光ケーブル・側線に沿った歪み速度成分を記録するので、その感度には大きな異方向性がある。雑微動で観測される表面波には Rayleigh 波と Love 波の 2 種類あり、伝搬方向と振動方向が同じ Rayleigh 波が DAS の感度が大きいと、これのみ含まれとしても大まかには正しい。しかし、速度が極端に遅い海底堆積層では Love 波成分は大きい場合が多く、DAS の感度が弱くともその影響が無視できない可能性がある。地震計の鉛直成分は Love 波は含まれないので、側線上の 1 点の地震計記録と DAS 記録との相互相関を取ることで Love 波を完全に取り除くことが可能である。その理論をまとめ、実際のデータに適用したのが図で、それまでの DAS 記録どうしの場合と比較する。後者には特定の方向に伝搬する Love 波と推定される鋭い波群の影響が大きいが、地震計記録と DAS の相関ではその影響が見られず、Rayleigh 波のみが記録されている。



(3) 潮位計やこれまでのまばらな海底水圧計の波形記録を用いる場合、与えられた震源断層の海底変動から励起される津波の合成波形と比較して、その逆問題として断層パラメータを推定する手法が広く使われてきた。正しい地下構造が未知の地震波と異なり、津波では途中の伝搬効果は海底地形から正確に推定できるので、沿岸地形の影響がなく、稠密な海底水圧計の観測網ならば観測波形を震源付近に逆投影させることで、波源の時空間変化を直接推定できる可能性がある。図のように、遠地 P 波波形では長周期成分ならば途中のマントル構造が単純なので、断層面が大きい巨大地震に対して逆投影法が有効であることが知られている。津波は海面を伝搬する 2 次元的な投影法でその励起過程を同様に推定できるはずである。



(4) 2022 年 1 月のトンガ海底火山の大噴火は、地球を何周もする大気の大気衝撃波の伝搬が観測されただけでなく、日本列島のような遠方にも顕著な津波の到達が観測され、防災面でも高い関心が寄せられた。大気と海洋が相互作用した波動は 1 世紀前から知られていたが、S-net や DONET のような海底水圧計の観測網と日本列島内の気圧計観測網により、その特徴が初めて詳細に論じられたが、伝搬過程は複雑であり、大きな初動は Lamb 波と判明したものの、その他にも多くの未知の位相が観測された。それらの理解には、大気と海洋の相互作用を完全に取り入れ、かつ海洋・陸上の水平方向の不均質性の影響も大きいので無視できない。これを正確に扱うには膨大な 3 次元モデルの計算となるが、爆発過程や大気情報は不十分なので、観測データとの比較が困難である。そこで、各地点での波動は大気と海洋にわたるモード解（表面波のような鉛直方向の固有関数の伝搬）と表現し（図は大気モデルと深さ 5 km の海洋との固有関数からの位相速度の分散曲線）これが海洋深度で決まる伝搬速度が変動する水平な 2 次元モデルでの伝搬を差分法で解く形式のハイブリッド法を適用する。すなわち、図(b)の大気モード GR_0 や津波 GW_0 などの各モードが対応する位相速度マップに従って水平方向に伝搬するとして、観測波形記録の説明を試みる。



(5) 陸上の稠密な地震観測網の記録のうち、火山フロント付近では数 Hz 以上の高周波波形記録において、非常に強く立ち上がり明瞭な後続波が系統的に観測される。これは地下の強い微細不均質性からの散乱波であり、多点の波形記録の到来時間のずれから散乱源の位置を推定できる。ただし、この地域は非弾性減衰率も大きく変動するので、その効果を取り入れる必要がある。

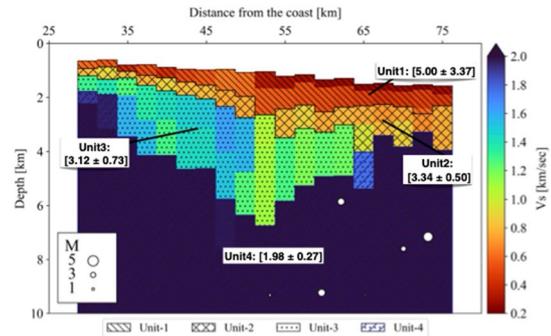
また、コーダ正規化法によって、沿岸から海溝軸を挟む深海までの海底観測点での地盤応答、

すなわちサイト特性が広帯域にわたり、初めて系統的に計測できる。さらに、DONET 観測点では 10 年以上にわたる観測が継続されたので、記録された雑微動の観測点間の相互相関波形からその付近の地下構造の微細な時間変化を詳しく、かつ従来より遥かに高い信頼度で得ることができる。

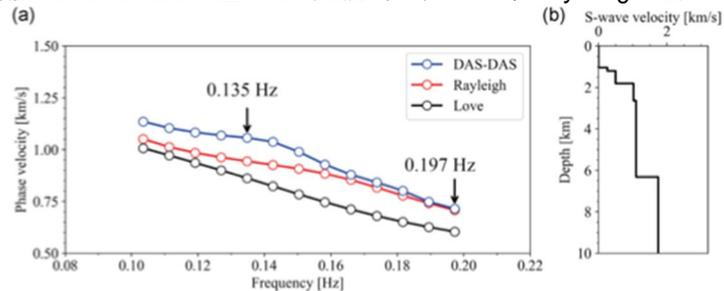
4. 研究成果

(1) 「研究方法(1)」で示した FK フィルタの効果により、DAS では位相速度の分散曲線(周波数依存性)が高精度で求められる。さらに、空間的に連続に位相速度を計測できるので、横方向(側線に沿って)の速度構造の変動が、従来の地震計の稠密観測網に比べてもはるかに高分解能で求められる。図はこうして求めた三陸沖の沿岸から海溝に向かっての S 波速度構造である。観測点間ごとの波線に沿っていくつかのセルに地下部分を分けてそれぞれの速度を逆問題として求める形式の地震波トモグラフィーが従来の手法だったが、ここでは各点の速度構造が独立にほぼ連続的に推定できるので、分解能が格段に向上した。

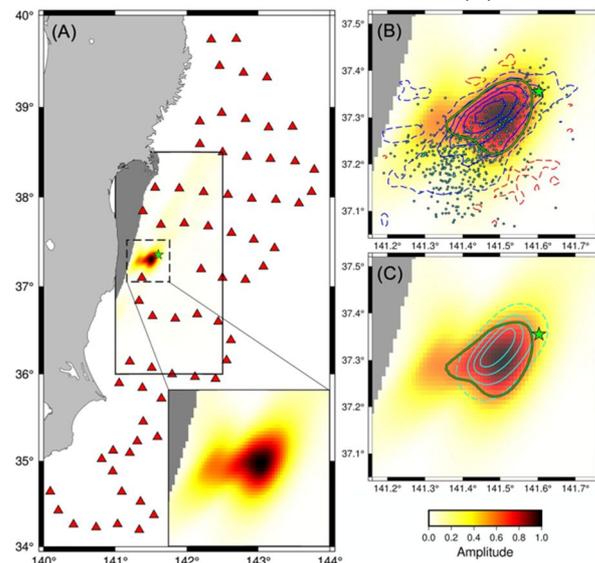
深海に向かって海底面付近の堆積物が厚く、低速度に変化する様子だけでなく、海洋地殻上部の厚さ・速度の複雑な変化も検出された。従来の海底地震計の探査では P 波速度構造が得られてきたが、この結果と合わせることで、堆積物や地殻の物性や構成物質への言及も可能となった。



(2) 図はこれまでの DAS の 2 点からの記録から推定された位相速度の分散曲線を青線で、Love 波を含まない地震計の鉛直成分との相関から得た Rayleigh 波のみの結果を赤線で示す。この分散曲線が得られる S 波速度構造を右に示し、そこからの理論的な Love 波の位相曲線を黒線で比較した。相互相関は観測点間の距離によってゼロに近づく周波数帯域があり、Rayleigh 波についてはこの構造では 0.135 Hz 付近がその帯域となるため、DAS のみの結果では Love 波の混入の影響が大きくなっていることがわかる。今後、DAS のみがいられる状況も多いことから、その結果に対して精度が落ちる帯域をこうして見積もることが可能となった。

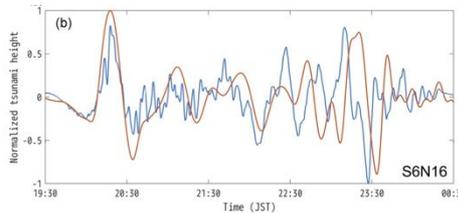


(3) 2016 年福島沖地震は、稠密な S-net の海底水圧計観測網内で発生し、初めて顕著な津波が観測された事象である。図(A)は S-net の多数の観測波形記録を、水深分布から決まる津波伝搬速度によって震源付近に単純に逆投影して重ね合わせた結果である。拡大した(B)での実線は逆投影イメージの最大値の 6 割の領域を示し、破線は従来の合成波形との逆問題から複雑な断層面を模索して最終的に推定された分布である(実線が 0.5m 沈降、破線が 0.1m)。余震分布を点で示す。(C)は単純な 1 枚の断層面とした場合の逆問題での結果で(B)と同様な線で、逆投影法の結果と比較する。(B)と(C)のように従来の波形比較の逆問題では、先験的に仮定した断層面モデルによって結果が変わり、優越の判定が難しいが、逆投影法では波形をそのまま重ねるだけで信頼度が高く、また逆問題と比べても高分解能の津波励起の過程が得られることがわかった。つまり、データの単純な処理のみで、津波の即時予測にも将来有望であることも確認された。

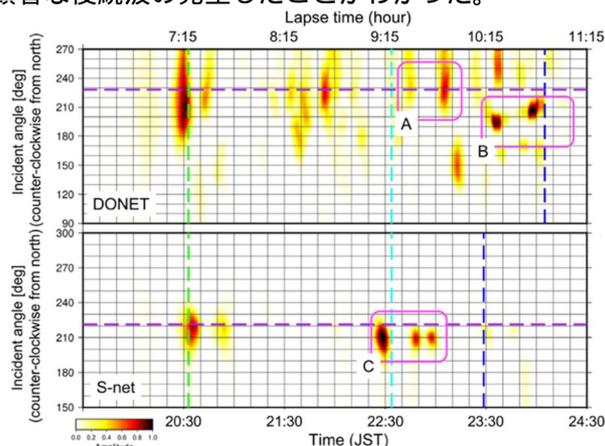


(4) 図はトンガ火山噴火後の S-net のある観測点での水圧計記録(青線)と「研究方法(4)」で示した大気と海洋の相互作用と水平方向の変動をハイブリッド法で計算した合成波形(赤色)

である。大きな初動は大気が主体の GR_0 モードで Lamb 波として、観測直後から多くの研究によって同定されたが、水圧計記録では 23:30 頃にほぼ同じ強さの顕著な後続波が認められる。海洋のみの津波 GW_0 の海底深度による不均質性の伝搬効果、またはこれとほぼ同速度である大気と相互作用した GR_3 のような海洋での伝搬では、観測波形の到達時刻と一致する位相は現れるが、振幅が足りない。モード解の不均質な海洋モデルでの伝搬を扱ったハイブリッド法なら、図の合成波形のように観測された大きな振幅が説明できる。すなわち、津波 GW_0 とほぼ同じ分散曲線の GR_3 という大気・海洋の相互作用で強く励起された波が海底深度の不均質性の影響で日本付近ではさらに大きくなって、観測された顕著な後続波の発生したことがわかった。



水圧計の稠密観測網では地震計観測網と同様に、観測波形記録の重ね合わせによって、観測される特定の位相の到来方向と見かけ速度を推定することができる。図は深度 2 km 以下の観測点に対して、2つの観測網の記録から得たそのような vespagram という表示である。個別の波形記録でも明瞭な 20:30 付近の初動の他に幾つかの後続波が同定でき、それぞれが先の例と同様に、特定の固有関数と水深変動による伝搬の擾乱とが組み合わさって生じたことがわかり、今後、同様な現象が詳細に検出可能であることがわかった。



(5) 東北日本の火山フロント付近の Hinet 観測網の地震波形記録から火山フロント前弧側の深さ 30-80 km 付近で数 Hz の強い散乱波を励起する微細不均質性が強い領域が同定された。これは火山フロントより背弧側の非弾性減衰率が突然大きくなるマンテルウェッジと接しており沈み込むプレートの上面から浅い部分に当たる。

S-net 各観測点のサイト特性を 1-24 Hz の広い周波数帯域において、コーダ正規化法より推定した。陸上では観測点間で 10 倍以上も異なる場合が多く、周波数依存性も非常に複雑だが、海底の S-net 観測点ではほぼ 2 倍の範囲内で変動し、周波数依存性もほとんど見られない。また、初期の S 波部分を用いたサイト特性の推定とコーダ部からの結果との比較は、陸上では大きく異なるが、S-net では大差がなかった。これは海底観測点ではすぐ下にある厚い低速度の堆積層で強く散乱された波が観測波形で支配的であり、散乱波の伝搬領域が陸上の観測点のように直下に限定されず、不均質性の強さゆえにある程度の広がりを持つ範囲であり、S 波到着の直後からそのような平均化された散乱波が観測記録を占めていることが示唆される。

従って、海底での高周波地震波形記録は浅部の散乱効果の影響が非常に強く、震源過程の特徴を陸上記録のように見出しえない。火山性微動は位相の読み取りが難しく震源決定ですら困難であり、また地下構造の不均質性が強いと、震源過程の推定すら難しい。これらを逆に用いて、波形の振幅から火山性微動の震源を決定する手法を開発してきた。海底での地震波形記録、とりわけ海溝軸付近の堆積物中の浅い地震・スリップにおいて、上の研究で明らかになった波形記録の特徴から、振幅を用いた震源決定の手法がここでも重要となることが示唆された。

DONET 海底地震観測網の雑微動に対する記録から、地震波速度や相互相関波形の 10 年以上にわたる時間変化が得られ、永年的変動に加えて、数年に 1 度程度に不連続な変動を検出した。近くの南海トラフの海溝軸付近の浅い堆積物中でスロー地震が観測されているが、その発生パターンとの関連が見られ、また東部と西部ではその遅延時間が系統的に異なった。これは両地域での堆積物中の間隙水圧の違いに起因するものと推測された。

< 引用文献 >

Y. Li, M. Karrenbach, J. Ajo-Franklin (editors), Distributed Acoustic Sensing in Geophysics and Applications, Geophysical Monograph 268, pp.301, American Geophysical Union, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Fukushima Shun, Shinohara Masanao, Nishida Kiwamu, Takeo Akiko, Yamada Tomoaki, Yomogida Kiyoshi	4. 巻 237
2. 論文標題 Retrieval and precise phase-velocity estimation of Rayleigh waves by the spatial autocorrelation method between distributed acoustic sensing and seismometer data	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 1174 ~ 1188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/gji/ggae103	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 Mizutani Ayumu, Yomogida Kiyoshi	4. 巻 234
2. 論文標題 Source estimation of the tsunami later phases associated with the 2022 Hunga Tonga volcanic eruption	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 1885 ~ 1902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/gji/ggad174	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 1-11
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 Mizutani Ayumu, Yomogida Kiyoshi	4. 巻 127
2. 論文標題 Back Projection Imaging of a Tsunami Excitation Area With Ocean Bottom Pressure Gauge Array Data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022JC018480	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tonegawa, T., S. Takemura, S. Yabe and K. Yomogida	4. 巻 127
2. 論文標題 Fluid migration before and during slow earthquakes in the shallow Nankai subduction zone	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Geophys. Res. Solid Earth	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JB023583	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 Shiina Takahiro, Katsumata Kei, Yomogida Kiyoshi, Kato Aitaro	4. 巻 73
2. 論文標題 Attenuation contrast in mantle wedge across the volcanic front of northeastern Japan that controls propagations of high-frequency S-wave later phases	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 29: 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01361-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 Ogiso Masashi, Yomogida Kiyoshi	4. 巻 73
2. 論文標題 Estimation of relative source locations from seismic amplitude: application to earthquakes and tremors at Meakandake volcano, eastern Hokkaido, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 33 : 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01366-8	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18件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 逢田清、井上翔
2. 発表標題 海底地震観測網S-net観測点のサイト増幅特性の推定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ayumu Mizutani and Kiyoshi Yomogida
2. 発表標題 Numerical modeling of the significant tsunami later phase associated with the 2020 Tonga volcanic eruption
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2023年大会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福島駿、篠原雅尚、山田知郎、西田究、竹尾明子、蓬田清
2. 発表標題 DASと3成分地震計によるspatial autocorrelationの定式化とLove波のDAS地震波干渉法への影響
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2023年大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 水谷歩、Diego Delgar、蓬田清
2. 発表標題 断層近傍の海底地震計・水圧計記録を用いた地震時変位波形の推定
3. 学会等名 日本地震学会 2023年度秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ayumu Mizutani, Diego Delgar and Kiyoshi Yomogida
2. 発表標題 Estimation of coseismic seafloor displacement waveforms using collocated ocean-bottom pressure gauges and seismometers
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 水谷 歩、蓬田 清
2. 発表標題 DONET・S-net水圧計を用いた津波バックプロジェクション解析:2022年1月15日のフンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山噴火への適用
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福島 駿、篠原 雅尚、西田 究、竹尾 明子、山田 知朗、蓬田 清
2. 発表標題 Development of seismic interferometry analysis for DAS data on a seafloor cable to determine shallow S-wave velocity structure with spatially high resolution
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 蓬田 清
2. 発表標題 補助関数を用いた非線形問題のパラメータ最適化:波形インバージョンなどへの応用
3. 学会等名 日本地震学会 2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水谷 歩、蓬田 清
2. 発表標題 2022年トンガ火山噴火に伴う津波の後続波:海底水圧計記録のレイ解析による励起源の推定
3. 学会等名 日本地震学会 2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福島 駿、篠原 雅尚、山田 知朗、西田 究、竹尾 明子、蓬田 清
2. 発表標題 DASと3成分地震計によるspatial autocorrelationの定式化と三陸沖海底 ケーブルデータへの適用
3. 学会等名 日本地震学会 2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 A. Mizutani and K. Yomogida
2. 発表標題 Source estimation of the tsunami later phases associated with the 2022 Tonga volcanic eruption
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Fukushima, M. Shinohara, K. Nishida, A. Takeo, T. Yamada, and K. Yomogida
2. 発表標題 Extension of Seismic Interferometry for Marine DAS Data - Application of FK Filter and Formularization of SPAC Between DAS and Seismometer
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 蓬田清、益田英勝、椎名高裕、勝俣啓
2. 発表標題 北海道の火山フロント周辺における地震波散乱・減衰構造の局所的変動
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahiro Shiina, Kei Katsumata, Kiyoshi Yomogida, and Aitaro Kato
2. 発表標題 Attenuation contrast in mantle wedge across the volcanic front of NE Japan that controls propagations of high-frequency S-wave later phases
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2021年大会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ayumu Mizutani and Kiyoshi Yomogida
2. 発表標題 Real-time estimation of displacement, velocity and tsunami height with ocean-bottom pressure data using a Kalman filter and an Ensemble Empirical Mode Decomposition
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2021年大会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 蓬田清
2. 発表標題 沈み込み帯の超巨大地震のalong-dipセグメントの要因
3. 学会等名 日本地震学会 2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水谷歩、蓬田清
2. 発表標題 S-net海底水圧記録を用いたバックプロジェクション法による津波波源の推定
3. 学会等名 日本地震学会 2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福島駿、篠原雅尚、山田知郎、西田究、竹尾明子、蓬田清
2. 発表標題 三陸沖光ケーブル観測システムのDistributed Acoustic Sensing データを用いたレイリー波位相速度の計測
3. 学会等名 日本地震学会 2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

北海道大学理学研究院・地球惑星ダイナミクス分野・地震学研究室
<https://www.sci.hokudai.ac.jp/seismolab/>

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		
米国	オレゴン大学		