

令和 2 年 6 月 25 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14386

研究課題名(和文) 動的応力変化による地震の誘発されやすさの定量的評価

研究課題名(英文) Quantitative Evaluation of Earthquake Triggerability by Dynamic Stress Perturbation

研究代表者

内出 崇彦(Uchide, Takahiko)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員

研究者番号：80713049

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：動的誘発地震の検出を目指して地震波可聴化システムを構築した。2011年東北地方太平洋沖地震による飛騨地方での動的誘発地震は聴取できたが、微小地震の聴取が困難であり、動的誘発地震の検出能力は限定的であると結論付けざるを得ない。東北地方太平洋沖地震によって誘発されたと考えられる、茨城県北部で2011年(2回)と2016年に発生した地震について、破壊過程と応力蓄積過程を調べた。測地データから推定した2011年から2016年までの間の応力蓄積は、同じ場所で地震を再発させるには微小であった。これらの地震は、応力解放域がややずれており、単純な繰り返しというよりは、隣接領域での破壊が続いたものと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、地震波可聴化によって地震研究を進める試みであり、音響学者との共同研究を進めることができた。また、地震波を可聴化しやすくなったことで地震波形データを一般の方々に示しやすくなった。茨城県北部の研究については、ほぼ同一の場所で発生した、一見繰り返しに見えるような地震であっても、実際は異なる破壊過程をたどるといふ一例を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：Aiming the detection of dynamic triggering earthquakes, we developed a seismic sonification system. We could hear a characteristic sonified sound from an event in the Hida area during the seismic shaking due to the 2011 Tohoku-oki earthquake. However, we found it hard to hear microearthquakes, which suggests that it is generally difficult to detect dynamic triggering events by the seismic sonification. In addition, I studied earthquakes in the northern Ibaraki prefecture area in 2011 (twice) and 2016, which were probably triggered by the 2011 Tohoku-oki earthquake. The stress accumulation between 2011 and 2016 inferred from the geodetic observation was not enough to trigger another earthquake in the same location. The stress release areas by these earthquakes were slightly shifted, which suggests that these earthquakes were successive ruptures in neighboring areas rather than a repetition of similar earthquakes.

研究分野：震源地震学

キーワード：地震学 動的誘発地震 可聴化 茨城県北部 応力蓄積過程

# 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

動的誘発地震とは、別の場所で発生した地震(以下、「誘発元」)からの地震波によって誘発される地震のことであり、以下の2種類がある。

- 即発型: 地震波が通過している最中に発生する動的誘発地震。誘発元からの地震波による応力変化の最中に断層強度を超えて、断層の破壊が始まったことによると考えられる。
- 遅発型: 地震波の通過から時間遅れを以って発生する動的誘発地震。即発型の余震として発生するほか、動的応力変化によって生じた亀裂が地下水の流動を引き起こし、それが断層を潤滑にして地震を誘発すると考えられる。

我が国でも、2011年東北地方太平洋沖地震の際に全国で即発型動的誘発地震が確認された。2016年熊本地震では大分県内で M6 台半ばの大規模な即発型動的誘発地震が発生しており、地震災害予測の観点からも重要な現象として注目されている。

応力変化のどのような性質が地震誘発の成否を決めるのかという点については、整理する必要がある。応力変化の最大値にもよると考えられる一方、応力変化の最大値が極めて低い場合でも地震が誘発された例がある。特に即発型は、微小なものまで広範囲(例えば日本全国)にわたって系統的に調べた例はなく、誘発されなかった例も含めて限なく偏りなく実態を調べるための基礎情報が不足している。

## 2. 研究の目的

本研究では、我が国における動的誘発地震の発生状況を限なく偏りなく把握することを目指した。これによって、動的誘発現象の成否が応力変化のどのような性質(最大振幅・変化の波長・継続時間、方向など)によって決まるかを調べることができるようになる。動的誘発地震の検出には地震波可聴化(音声変換)の技術も動員して行う。また、断層における応力蓄積過程の理解を深めることを目指す。

## 3. 研究の方法

動的誘発地震の検出には、全世界の大地震による誘発の可能性を考慮し、該当する時間帯の全国のデータを用いる。このような大量のデータから動的誘発地震を検出するには、地震波形解析、地震活動解析に加えて地震波可聴化(音声変換)の技術も用いる。

これに加えて、2011年東北地方太平洋沖地震によって誘発されたと考えられる2011年・2016年茨城県北部の地震について、断層破壊過程と応力蓄積過程を調べる。

## 4. 研究成果

### (1) 地震波可聴化システムの構築

まず、地震波可聴化システムの仕様を定め、音響分野でよく用いられる SuperCollider 上で動作するシステムを外注により作成した。地震波形データは、地震研究で広く用いられている SAC 形式を使用する。データ用ディレクトリの指定、データの前処理などは CUI で行った後(図1)、GUIによって観測点や再生速度などを指定して可聴化できるようにした(図2)。各波形データについて、ずれ動く時間窓について振幅と代表的な周波数の情報を抽出し、それに基づいて音の割り当てを行う。ここで、代表的な周波数は零交差によって簡易的に算出した。

研究代表者も参画した Matsubara et al. (2016) で用いた手法以外にも、可聴化音の割り当てを複数設定できるようにした。可聴化の際の再生速度も任意に指定できるようにし、動的誘発地震聴取に適した再生速度を探ることができるようにした。さらに、聞き取りやすい音への変換、処理の並列化、サンプリングレートが様でないデータセットへの対応を中心とするシステム改修を施し、より多数の地震波形データを同時に可聴化することが可能にした。

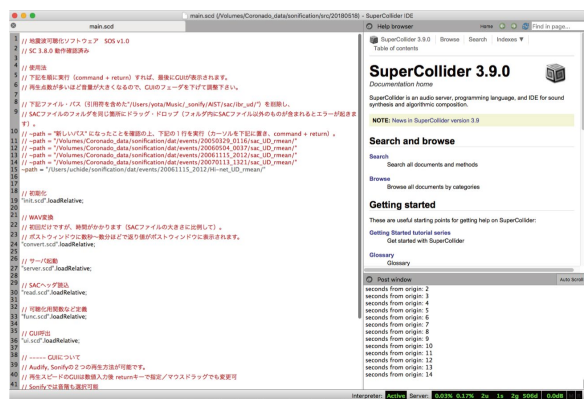


図1 地震波可聴化システムの CUI。

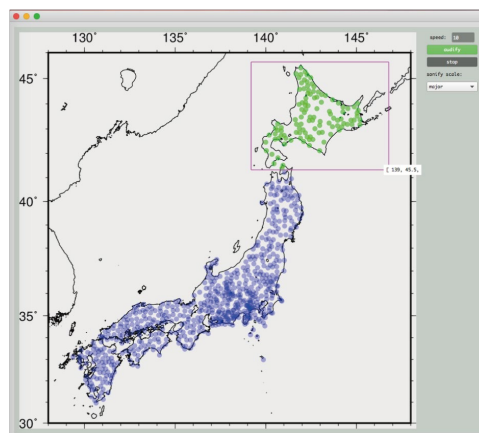


図2 地震波可聴化システムの GUI。地震観測点を矩形領域で選択できる。

## (2) 地震波可聴化による動的誘発地震検出の試み

2004 年以降に世界で発生したマグニチュード 7 以上の地震の際の日本における地震観測データ (Hi-net, 大学, その他研究機関等の速度波形データ) を収集し、順次可聴化を行い、可聴化システムの動作を確認した。また、研究期間中に発生した 2018 年北海道胆振東部地震については、地震波形データを即時、可聴化したが、2011 年東北地方太平洋沖地震で聴取できたような明確な動的誘発地震は確認できなかった。

そこで、地震波可聴化による動的誘発地震が可能であるかどうかを確認するため、マグニチュード (M) 2.0, 3.0, 4.0 の単独で発生した地震の波形を可聴化して、その聴取を試みた。いずれも北海道で発生した地震で、北海道の Hi-net 観測点の地震波形データを用いた。その結果、M 2.0 については聴取が困難であることがわかった。残念ながら、動的誘発地震の検出ツールとして、地震波可聴化の効果が限定的であると結論付けざるを得ない。

## (3) 測地データ及び地震活動データによる巨大地震後の応力蓄積過程の解明

2011 年・2016 年茨城県北部の地震を題材にした研究を通じて習得した。同地震は 2011 年東北地方太平洋沖地震による誘発地震であると考えられるが、同地震による地震時及び地震後の応力載荷を定量的に調べるために、ETAS モデルを利用した。解析には、etas\_solve (Kasahara et al., 2016) を利用した。国土地理院の GNSS 観測網 GEONET を用いた地表歪推定の結果 (図 3) と比較しながら慎重に結果を検討した結果、ETAS モデルの background seismicity rate が地震発生層における応力蓄積速度をよく表していると結論付けた。このような応力蓄積は、東北地方太平洋沖地震の余効変動や周囲の粘弾性変形に起因すると考えられるが、今後、詳しい研究が必要である。

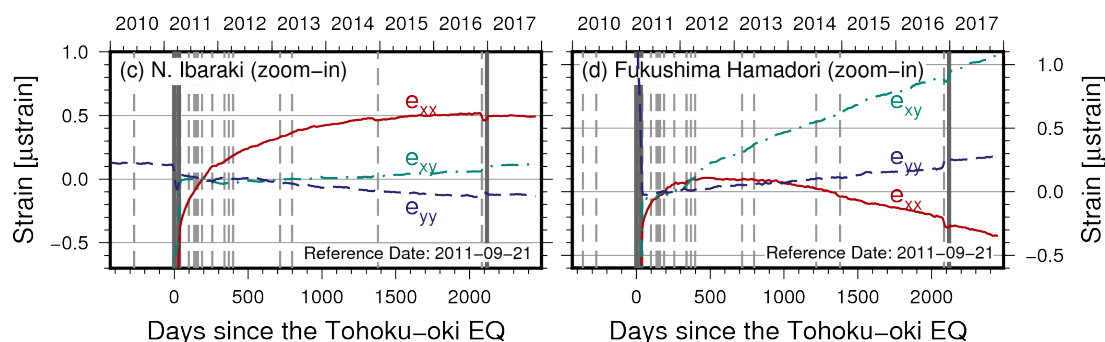
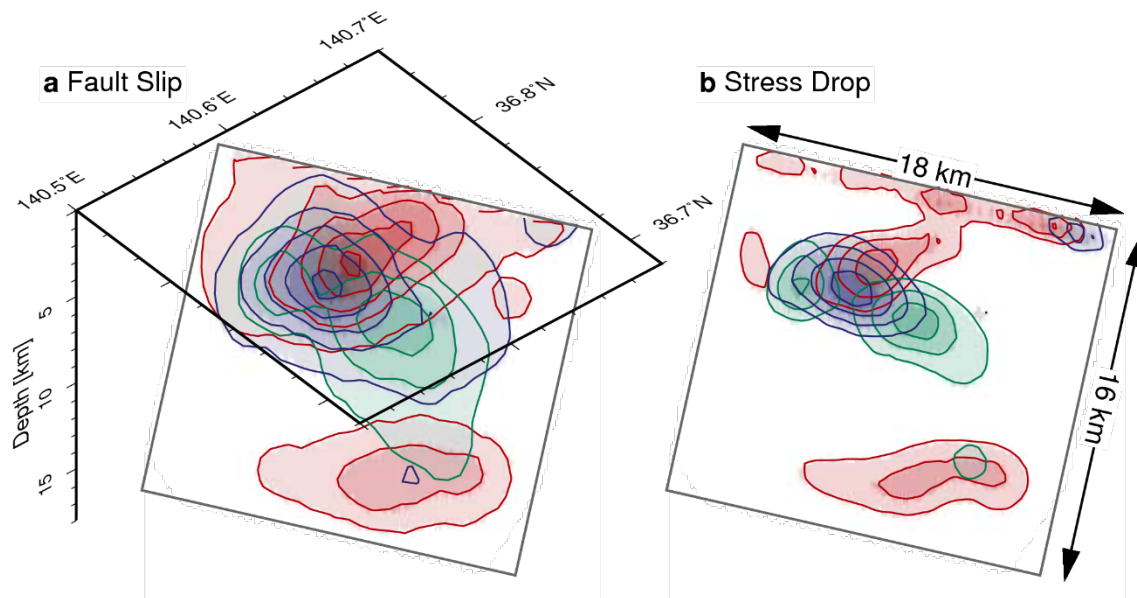


図 3

国土地理院 GNSS 観測網 GEONET のデータを用いて、2016 年茨城県北部の地震 (左) と 2011 年福島県浜通りの地震 (右) の震央における地表歪の変化。x 軸は東西方向、y 軸は南北方向に対応する。

## (4) 2011 年東北地方太平洋沖地震による茨城県北部の地震の誘発

2011 年東北地方太平洋沖地震によって静的に誘発された地震であると考えられる 2011 年・2016 年茨城県北部の地震について、6 年程度の極めて短い間隔でほぼ同一の断層を壊した可能性について検討した。余震分布からは、2011 年と 2016 年に破壊された主たる断層は同一であることが確認された。地震波形データを用いた断層滑りインバージョン解析の結果、2011 年 (2 回) と 2016 年の断層滑り領域、応力解放領域はほぼ相補的な関係にあることが明らかになった (図 4)。また、GNSS データ解析によって、2011 年から 2016 年までの間に断層面にかかったと考えられる応力は、M6 級の地震を再発させるにはあまりに微小であると推定された。したがって、2011 年 (2 回) と 2016 年の地震は、いわゆる繰り返し地震ではなく、同一断層上の異なる領域に蓄積した弾性エネルギーによって発生したと結論付けた。



**図 4**  
 2011 年 (2 回)・2016 年の茨城県北部の地震の (左) 断層滑り分布 (等値線間隔: 0.2 m) と (右) 応力降下量分布 (等値線は 1 MPa 以上について 1 MPa 間隔)。赤、緑は 2011 年に発生した 2 回の地震、青は 2016 年に発生した地震のものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 内出 崇彦
2. 発表標題 地震波可聴化による動的誘発地震の探索
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiko Uchide, Makiko Ohtani, Miki Takahshi, Kazutoshi Imanishi
2. 発表標題 Stress Loading in the Northern Ibaraki Prefecture, Northeast Japan, Inferred from Geodetic and Seismicity Data
3. 学会等名 米国地球物理学連合2018年秋季大会（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内出 崇彦, 森本 洋太, 松原 正樹
2. 発表標題 動的誘発地震の探索のための地震波可聴化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018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