

令和 3 年 2 月 11 日

1. 報告者

氏名（フリガナ）	吉田 圭佑（ヨシダ ケイスケ）
生年月日（年齢）	昭和 61 年 7 月 29 日（ 34 歳）
所属機関名	東北大学

※年齢は令和 3 年 3 月 11 日現在

2. 研究内容

研究テーマ	2011 年東北地方太平洋沖地震の誘発地震の解析に基づく地震の発生機構の研究
研究分野	地震
研究概要（要約）	
東北地方太平洋沖地震後に日本列島で相次いだ誘発地震活動の解析により地震の発生機構に関する情報の抽出を試みてきた。解析により，(1) 東北地方太平洋沖地震の誘発地震活動が本震後にプレート内応力場が強められた地域に集中して発生していたことがわかった。(2) 地殻深部から上昇してきた流体が断層強度を下げ地震を生じさせながら更に浅部へ移動を続けていることを示す明瞭な結果を得た。(3) 地震を発生させる応力の大きさが従来考えられていたより非常に小さいことを示唆する結果を得た。	
研究の背景	
東北地方太平洋沖地震が日本列島に生じさせた大規模な誘発地震活動には地震発生に関する従来のシンプルなモデルでは理解し難い奇妙な特徴がみられた。例えば誘発された断層運動の向きが従来のものと大きく異なることや、地殻応力が減少したにも拘らず地震が活発化した等の特徴である。これらの問題を丹念に調べることにより、地震発生機構の理解のために不可欠である地震発生応力および断層強度情報の時間発展に関する情報の抽出を試みた。	

具体的内容

地震の発生には断層上の応力増加と断層面の強度低下の 2 つの効果が重要な役割を果たす。通常、このどちらの効果がより強く影響したかを区別できない。従来の大地震後の余震・誘発地震の発生機構の研究には大地震による応力変化に注目した解析が行われてきた。実際の余震・誘発地震の発生には大地震による応力変化だけでなく、大地震発生前に蓄えられた応力(背景応力場)や断層強度変化も重要な要素であるが、それらは多くの場合に無視されてきた。

東北地方太平洋沖地震に誘発された大規模な地震活動には、この従来の考えでは理解し難い奇妙な特徴が幾つも見られた。誘発された地震の断層運動の向きがそれまでのものと大きく異なることや、応力が減少したにも拘らず地震が活発化したこと等の特徴が挙げられる。本研究では、観測されたそれらの奇妙な特徴に注目し、詳細な地震データ解析により以下のことを明らかにした。

- (1) 背景応力場の空間変化が東北地方太平洋沖地震の誘発地震活動の発生場所を規定していることを示した (図 1)。具体的には、東北日本において背景応力場が典型的な東西圧縮場と異なっているところで応力が局所的に増加し、地震が発生したことを見出した。
- (2) 東北地方太平洋沖地震後に応力が減少しているにも拘らず発生した地震活動を詳細に調べることで、地球内部での流体移動が地震発生に与える影響を抽出することに成功した。地殻深部に存在していた流体が、東北地方太平洋沖地震に伴う変形により移動を開始し、断層面を通して地震を生じさせながら上昇している様子も捉えられた (図 2)。

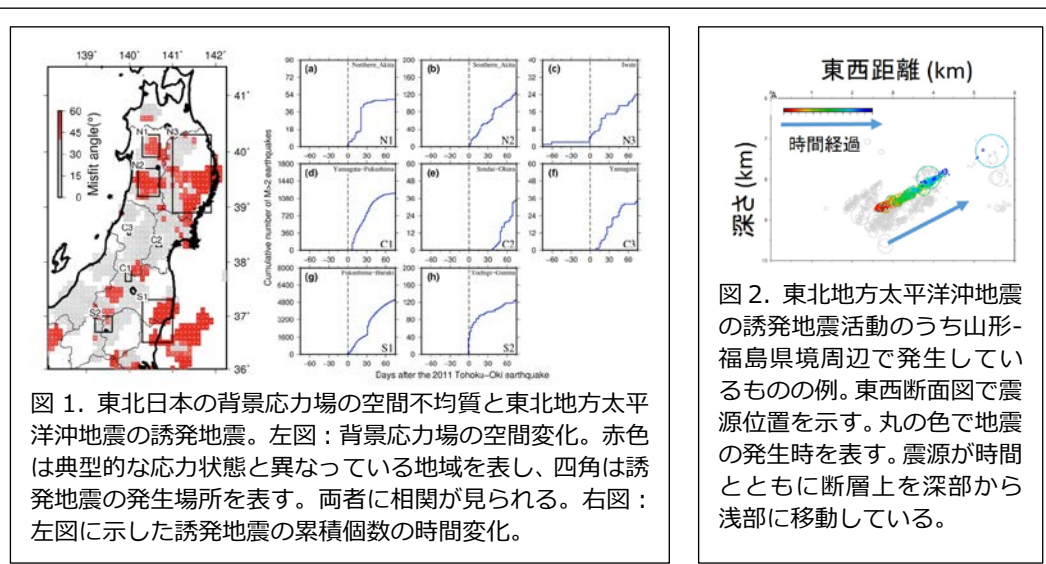


図 1. 東北日本の背景応力場の空間不均質と東北地方太平洋沖地震の誘発地震。左図：背景応力場の空間変化。赤色は典型的な応力状態と異なっている地域を表し、四角は誘発地震の発生場所を表す。両者に相関が見られる。右図：左図に示した誘発地震の累積個数の時間変化。

図 2. 東北地方太平洋沖地震の誘発地震活動のうち山形・福島県境周辺で発生しているものの例。東西断面図で震源位置を示す。丸の色で地震の発生時を表す。震源が時間とともに断層上を深部から浅部に移動している。

すなわち、背景応力場の空間不均質および流体移動による断層強度の時間変化を考慮することにより、上記の奇妙な観測事実を整合的に説明することができることを示した。更に、一般の地震発生の理解にも極めて重要な背景応力場の大きさと流体移動に関する新たな情報を得ることに成功した。

期待される効果

日本列島では今後も大地震の発生が見込まれる。本研究では、東北地方太平洋沖地震の誘発地震活動の例を詳細に調べることで、将来の大地震およびその余震・誘発地震発生の理解・予測に重要な知見を得ることができた。具体的には、大地震後の誘発地震活動の発生場所についての情報が、プレート内の背景応力場の空間変化の情報から得られることがわかったので、この知見を将来の大地震に適用することができる。また本研究で推定に成功した地震発生場の応力の大きさの情報は地震発生シミュレーションに活用されていくことが期待される。

更に、本研究成果は地殻内での流体移動が地震の発生に与える影響の重要性を示している。流体が実際に地殻深部から地震発生域を通して浅部に移動していく様子も見えるようになってきており、「地殻内部の流体挙動を明らかにすることにより地震の発生要因の情報が得られてくる」道筋が明瞭になってきた。従来、地殻内の流体分布は、地震波トモグラフィーと呼ばれる手法や地球電磁気学的手法により調べられてきたが、これらの方法で得られる時空間解像度は地震発生過程の理解に必要なレベルに届かない。一方、本研究は、地殻内流体の移動や圧力などの情報を微小地震活動の詳細な解析から従来より高時空間解像度で抽出することができる可能性を示している。同種の解析により地殻内部の流体挙動が地震発生に与える影響をモニターできるようになってくることが期待される。

補足資料

1. 吉田圭佑, 松澤 暢. 近年の地震観測により得られた東北日本の応力場の不均質性と断層強度および地震発生機構の関係. 地学雑誌 **129**, 451–471 (2020).
2. Yoshida, K., Hasegawa, A., Yoshida, T. & Matsuzawa, T. Heterogeneities in Stress and Strength in Tohoku and Its Relationship with Earthquake Sequences Triggered by the 2011 M9 Tohoku-Oki Earthquake. *Pure Appl Geophys* **176**, 1–21 (2019).
3. Yoshida, K. & Hasegawa, A. Hypocenter Migration and Seismicity Pattern Change in the Yamagata - Fukushima Border, NE Japan, Caused by Fluid Movement and Pore Pressure Variation. *J Geophys Res Solid Earth* **123**, 5000–5017 (2018).
4. Yoshida, K., Saito, T., Urata, Y., Asano, Y. & Hasegawa, A. Temporal Changes in Stress Drop, Frictional Strength, and Earthquake Size Distribution in the 2011 Yamagata - Fukushima, NE Japan, Earthquake Swarm, Caused by Fluid Migration. *J Geophys Res Solid Earth* **122**, 10,379–10,397 (2017).
5. Yoshida, K. *et al.* Stress before and after the 2011 great Tohoku-oki earthquake and induced earthquakes in inland areas of eastern Japan. *Geophys Res Lett* **39** (2012).