

能登半島北東部の地震活動(2012-2024 年)と遠地地震による誘発度との比較
Comparison of the seismicity in the Northeastern Noto Peninsula from 2012 to 2024 and the
triggering intensity estimated by teleseismic earthquakes

○松尾 凌・宮澤 理稔

○Ryo MATSUO, Masatoshi MIYAZAWA

Dynamic triggering (far-field triggering) of earthquakes is a natural phenomenon in which large surface waves from large earthquakes remotely trigger other earthquakes due to stress perturbations. We use the triggering intensity n (van der Elst & Brodsky, 2010) to quantitatively evaluate the changes in the seismicity rate associated with teleseismic earthquakes. This triggerability is called the n -value. In some cases, the dynamic triggering correlates to seismogenic field. Large n -values were found in regions that experienced significant earthquakes and volcanic eruptions and in geothermal regions, which could show the stress state in Japan (Matsuo & Miyazawa, 2024). In this study, we compare the seismicity in the Northeastern Noto Peninsula from 2012 to 2024 with the triggering intensity estimated by teleseismic earthquakes. Temporal changes in the n -values showed that they were relatively large in 2014 and in 2021. From December 2020 to July 2021, when the seismic swarm activity increases, n -values are likely to reflect the state of the seismogenic field, while in 2014 unlikely to do (165 words).

地震の誘発とは、応力変化等の擾乱が場に作用することや、断層に流体が入ることによる断層強度低下といった、外部からの影響によって地震が発生する現象である。力学的側面から、ある地震に伴い誘発される別の地震の発生の過程は大きく分けて3種類に区別することができる。地震発生時に断層の永久変位によって生じる静的歪み変化が地震を誘発する静的誘発と、上記の静的歪み変化(地震時変形)が粘弾性緩和によってゆっくりと時間をかけて空間的に広く伝わり地震を誘発する準静的誘発、比較的大規模な地震による表面波などが応力擾乱をもたらしながら伝播することにより地震波の通過する遠地で別の地震を誘発する動的誘発(遠地誘発)である。本研究では動的誘発(遠地誘発)に着目する。静的応力変化量に比べて地震波伝播に伴う動的な応力変化量は、遠方まで伝わることから遠地で地震を誘発することができ、動的誘発により発生する地震のことを動的誘発地震(遠地誘発地震)と呼ぶ。近年、世界規模で地震観測網が密になったことにより動的誘発に関する事例が数多く報告されているが、そのメカニズムは十分に解明されておらず動的誘発に伴う地震活動の変化に関する定量的な研究は十分に進んでいない。動的誘発のされやすさと、地震発生場との間には関係が認められる場合がある。例えば、誘発

のされやすさの指標を示す triggerability (van der Elst & Brodsky, 2010) を日本列島の地震活動に対して調査したところ、大規模な地震や火山活動、地熱地帯であるという地域性の影響が大きいことが確認され(図 1)、地下の応力状態を示す可能性が示唆された(松尾・宮澤, 2024)。

本研究では、能登半島北東部における地震活動と遠地地震による誘発度を比較し、群発地震発生中の応力の状態の変化について推察することを目指す。この遠地地震の誘発度は n 値として表され、誘発の原因となると考えられる遠地地震の表面波到達の前後の地震活動度 λ の変化比で定義される。 n 値が正のときは遠地地震の発生後に地震活動が活発化したことを示し、0 のときは地震活動の変化が無いことを意味し、負の時は遠地地震の発生後に地震活動が静穏化したことを示す。通常 λ を求めるには十分な観測期間が必要だが、地震間の時間の比を用いる事で統計学的に n 値を求めることができる(van der Elst&Brodsky, 2010)。本研究で用いた遠地地震は、ANSS の地震カタログ記載の M6 以上で深さ 60km 以浅の地震である。能登半島北東部の地震活動には気象庁一元化处理震源(深さ 30km 以浅かつ M_c を考慮)を用いた。さらに、Peak Ground Velocity(PGV)と n 値との対応を調べることで、地震の揺れの大きさと地震の誘

発のされやすさとの関係を調べた。解析期間については、2011 年東北地方太平洋沖地震地震 (Mw9.0) が大地震であり、規模の大きな余震が数多く発生して小地震の検出率が下がっており遠地の大地震の誘発の影響の評価に影響を与えらるることと、2020 年 12 月以降、能登半島東北部で群発地震活動の活発化が始まったことを考慮し、2012 年から 2024 年までとした。

1290 個の遠地地震に対して、各年の能登半島北東部における n 値およびそれに対応する PGV を求め、解析期間の 1 年ごとの n 値の時間変化を調べると図 2 のような結果を得た。2012 年から 2024 年 6 月までの各年で求めた能登半島北東部における n の平均値は 0.0339 となり、遠地地震によって一時的に 3.4% 程地震活動が活発化することを意味する結果となった。解析期間内で比較的大きな n 値が確認されたのは、2014 年と群発地震活動が活発化し始めた 2021 年であり、それぞれ 1.2757 と 0.5313 であった。一方で、群発地震活動がより活発化した 2022 年と 2023 年の n 値はそれぞれ -0.0178、-0.1084、群発地震活動が静穏化し始めた 2024 年の上半期の n 値は、-0.1735 であり、解析期間を通じた中でも地震活動の変化が比較的に見られないことを示す値となった。

ここで、2012 年から 2024 年 6 月までの能登半島北東部の PGV に対する n 値の依存性は全体では確認されなかったが、時間変化があるかもしれないことを考慮して、PGV が 1.0×10^{-4} (m/s) 以上と地震の揺れが比較的大きいときの PGV に対する n 値の時間変化を調べた。このときの時間変化(図 3)は、2012 年から 2015 年まで、2016 年から 2018 年まで、2022 年から 2024 年 6 月までは図 2 と同様の变化となり、両者とも 2014 年で n 値が比較的大きくなった。一方、2015 年から 2016 年まで、2018 年から 2022 年まででは時間変化が異なり、図 2 では 2021 年で n 値が比較的大きいが図 3 では 2022 年で n 値が比較的大きくなった。遠地地震は 113 個で n 値の平均値は 0.5089 となり、遠地地震によって一時的に 50.9% 程地震活動が活発化することを意味する。

群発地震活動が活発化する 2020 年 12 月以降の非定常 ETAS 解析結果の背景地震活動度 $\mu(t)$ は、2020 年 7 月から 2021 年 7 月までは上昇しているがそれ以降は高止まりの状態となり 2024 年にかけて下降しているが(図 4)、図 2 のこの期間の n 値の増加と減少との対応が考えられる。よって、

群発地震活動が活発化する 2020 年 12 月から 2021 年 7 月までおよび群発地震活動が静穏化する 2024 年は n 値が地震発生の際の状態を反映していると考えられる。一方で、2014 年能登半島北東部で観測された地震の分布は図 5 のようになった。観測された震源の数はわずか 3 個であり、 n 値が地震発生の際の状態を反映しているとは考えにくい。

より詳細な時間変化を見るために本研究では 2012 年から 2024 年までの全期間内で半年ごとに n 値を求め更なる時間変化を調べる。

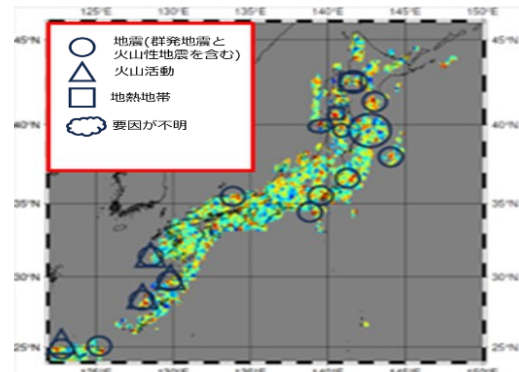


図 1：2012 年から 2021 年までの n 値が統計学的に有意に大きな主な地域について

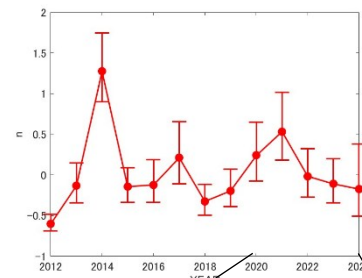


図 2：2012 年から 2024 年 6 月までの能登半島北東部の n 値の時間変化

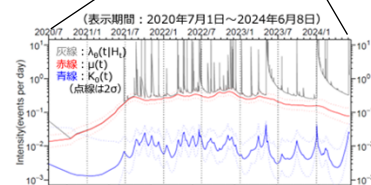


図 4：能登半島地震の非定常 ETAS 解析の結果(気象庁資料, 2024 年 6 月)

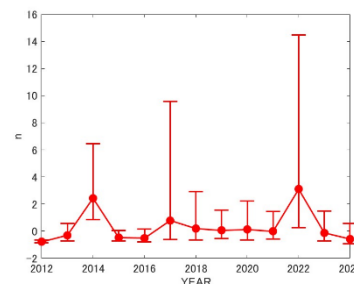


図 3：PGV が 1.0×10^{-4} (m/s) 以上のときの 2012 年から 2024 年 6 月までの能登半島北東部の n 値の時間変化

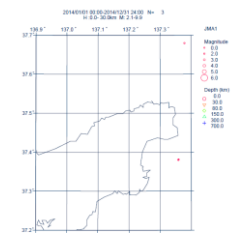


図 5：2014 年の能登半島北東部で観測された地震 (TSEIS 利用)