

遠地地震による日本における地震活動の変化にもとづく動的誘発の定量的研究  
Quantitative study on dynamic triggering based on changes in seismic activity in Japan triggered  
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 by passing surface waves. The dynamic triggering of earthquakes due to many large earthquakes has been reported by previous studies, but further investigation into quantitative analyses on the dynamic triggering is required to elucidate the triggering mechanism. In this study, changes in seismicity rate in the Japanese Islands associated with distant earthquakes are quantitatively evaluated using the triggering intensity  $n$  (van der Elst & Brodsky, 2010). We divide the entire Japanese Islands into a  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  grid for each period from 1997 to 2010 and from 2012 to 2021, and calculated the  $n$ -value for every grid area based on the method by van der Elst & Brodsky (2010). We, then, examined the correspondence between peak ground velocity and the  $n$ -values. Our study shows that there is no correlation in the spatial distribution of  $n$ -values between the two periods across Japanese islands and that the  $n$ -value is bigger when peak ground velocity is higher.

動的誘発に関する定性的な研究の事例は、多数報告されている。日本の研究では、2003年9月26日の2003年十勝沖地震(Mw8.3)による北海道中部から1000km以上離れた場所での深部低周波微動の動的誘発を観測した研究や(Miyazawa & Mori, 2004)、2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の4日後に発生した静岡県東部地震(Mj6.4)の誘発過程を調査し、静岡県東部地震で地震周期が約10~100年早まり遅れ誘発が発生した可能性があると提唱した研究(田村・宮澤, 2017)、2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)前後に日本列島の地震活動の活発化する領域が表面波が周りに伝わるのにつれて広がっていくことを示した即時遠地誘発の研究(Miyazawa, M., 2011)、2016年4月16日に発生したの熊本地震(Mw 7.0)が地熱地帯である大分県由布院の地下浅くでマグニチュード5.9の別の地震を引き起こしたことを明らかにした研究(Miyazawa, 2016)、遠地で発生する地震の表面波によって動的誘発される深部低周波微動を西南日本海溝帯で観測した研究(Kurihara et al., 2018)などが存在する。

地球規模の動的誘発地震の例を示す先行研究については、地球規模での大地震のラブ波到達前後の

多数の地震活動を調べた統計学的な研究が存在する(Velasco et al., 2008)。このように近年、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多く報告されているが、定量的な研究は十分に進んでおらず、誘発の現象そのもののメカニズムを解明するためには必要不可欠である。動的誘発地震の定量的な研究例は、地球規模に分布するマグニチュード5.5以上の地震について地球潮汐による応力と地震発生との時間的相関を調べ、逆断層型の地震の場合、応力成分のせん断応力と非常に高い相関が現れること、横ずれ型の地震の場合は相関関係ないこと、正断層型の地震の場合は浅くて大きな地震では応力成分である断層上の応力テンソルとの有意な相関がみられないことを明らかにした地球潮汐による動的誘発に関する研究(Tanaka et al., 2002)や、1992年ランダース地震(M7.3)によって数週間米国西部の大部分を含む広い範囲で誘発された地震活動が、時間とともに減衰する微小地震の発生レートの上昇から構成される5年周期の変動の始まりを示し、その変動が、短期的な誘発が観測された熱水地域または火山地域と関係していることを明らかにした研究(Gao et al., 2000)などが存在する。しかし、これらの研究は、地震活動の変化に

もとづいた定量的な研究ではない。そこで本研究では、地震活動の活発度合いを示す指標である triggering intensity (n 値) (van der Elst & Brodsky, 2010) を用いて地震活動の度合いを数値化し誘発のされやすさを求めることで、動的誘発地震の特徴を定量的に調べる。n 値を調べた主要な研究は現状、南カリフォルニアでの研究に限定されるのが実情であるが、動的誘発地震が多く観測されている日本でどのような n 値を持つのかを調べることで日本全域の地震活動の変化を調べ、大規模な遠地の地震による動的誘発を定量的に評価する。日本での地震活動を使って研究する主な利点には、高品質な気象庁一元化震源カタログによって地震活動の変化を調べるもととなるデータの精度が高く数が多くなるという点、日本全体で大規模な地震が数多く発生しているという点がある。n 値の計算は、1997 年から 2010 年までと 2012 年から 2021 年までの各期間で、日本列島全体を  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  のグリッドに区切り、マグニチュードが  $M_c$  (completeness magnitude) 以上の地震について行う。遠地地震には ANSS の地震カタログ記載の  $M6$  以上で深さ 30km 以浅の地震を選び、動的誘発を調べる日本列島の地震活動に対しては気象庁一元化処理震源(深さ 30km 以浅かつマグニチュードの下限が  $M_c$ )を用いた。また、n 値の大小が統計学的に有意かを確かめるためにグリッ

ドごとの p 値を求め、Peak Ground Velocity (PGV) と n 値との対応を調べることにより、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。本研究から、各期間に p 値が 0.05 以下となる領域と各期間に n 値が大きな領域と概ね対応していることが分かった。また日本列島全体で見ると 2 つの期間の間に n 値の空間分布に相関が無いことが示された。n 値が大きく、かつ、p 値が 0.05 以下となる主な地域についての考察を行うと、大規模な地震や噴火活動、地熱地帯であるという地域性の影響が大きいことを確認した。n 値と PGV の関係については、ピーク地盤速度が高いほど n 値が大きいことがわかった。

また、南カリフォルニアでは PGV が小さいと地震が誘発されにくく、PGV が大きいと地震が誘発されやすくなるという傾向が顕著であるのに対し、日本列島では、1997 年から 2010 年までについては、n 値が、式  $n \approx 0.398 \times (PGV)^{0.368}$  で表される冪乗則に従って増加するものの誘発自体が顕著ではなく、2012 年から 2021 年にかけては n 値の変化が明確ではなく冪乗則に従わないことが示された。つまり、南カリフォルニアは、地震の揺れが大きいほど地震活動度が高くなり地震が動的誘発されやすくなるが、日本については、1997-2010 年はその傾向があるものの顕著では無く、2012-2022 については明確な傾向が確認できなかった。