

12-4 外的要因による地震の誘発作用

Triggering of earthquakes by external factors

宮澤 理稔 (京都大学防災研究所)

Masatoshi Miyazawa (Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

1. はじめに

地震の誘発とは、応力変化等の擾乱が場に作用することで地震が発生するような現象のことを言う。このような現象については昔から多くの研究が行われてきており、地震学の中でも一つの分野として位置づけられている^{1),2)}。誘発に至る過程にも、大きく分けて二つの場合がある。即ち、元々地震発生準備ができていた場において、些細な応力擾乱により地震が誘発されてしまう場合と、殆ど地震活動がない場所において、地震を発生させるに十分な差応力が生じることにより地震が誘発される場合である。ここでは前者の場合における誘発作用のうち、特に地震の発生そのものが別の地震を誘発する現象について紹介する (第1図)。

2. 地震発生にともなう地震の誘発

地震が発生すると、断層の永久変位により静的歪み変化が周囲に生じる。この変化によって地震が誘発される事があり、静的誘発とよばれている。例えば大地震後に断層面とは一致しない場所で余震が発生することも、静的応力変化により理論的に説明されており、その先駆的研究には山科³⁾やDas & Scholz⁴⁾がある。断層運動の解明が進むにつれ、本震発生に伴う静的 ΔCFF の分布を計算することにより余震分布を説明することが試みられ⁵⁾、これまでに数多くの研究がされている。

一方で、余震のメカニズム解に対する本震発生に伴う静的 ΔCFF を計算し、統計的に検討した研究^{6,7)}によると、静的 ΔCFF ではそれらの余震活動を誘発したと説明するには必ずしも統計的に有意ではない場合があることも知られている。

地震の発生に伴い広がっていく地震波は、それ自体地下における歪み・応力変化の伝播であるので、地震波の通過する場所では他の地震を動的に誘発する可能性がある。しかし地震を誘発する静的応力変化量に比べて、特に遠地地震波による応力変化量は数桁の小ささで小さいため、誘発の可能性自体懐疑的に考えられていた頃もあり、また地震発生の偶然性を排除することができず、動的誘発の明瞭な発見に至るに時間を要した。先駆的研究として、1983年日本海中部地震の表面波によって丹後地方の地震活動が活発化したことの報告が挙げられる⁸⁾。より明確な遠地誘発地震活動はHill et al.⁹⁾によって発見されたが、近年、大地震からの表面波の到達以降に世界規模で地震活動が活発化することも確認された¹⁰⁾。2011年東北地方太平洋沖地震の際には、日本列島の地震活動の活発化が表面波の伝播につれ広がっていくという、地震の誘発前線が観測された¹¹⁾。このような地震の動的誘発の発見には、日本のみならず世界規模で地震観測網が密になったことが大きく貢献している。

3. 余震活動に関する議論

地震の動的誘発の存在が明らかになると、余震自体は本震の発生に伴う静的応力変化で発生しているのか、あるいは動的応力変化で発生しているのかという疑問が生まれた。余震密度と応力変化の距離減衰の関係から、余震活動が主として動的誘発作用によるものであるという研究が発

表された¹²⁾。一方で、この研究は余震カタログの解析方法に問題があり、実際は静的誘発作用によるものであるという反証論文も発表されている¹³⁾。また動的誘発のみを考えては地震活動の静穏化は説明しにくいという考えの基、本震後の断層近傍の地震活動の静穏化は静的応力変化で説明できるため、動的応力変化よりも静的応力変化が断層近傍の地震活動の変化に強く働いているとも言われている¹⁴⁾。

4. 時間遅れを伴う誘発

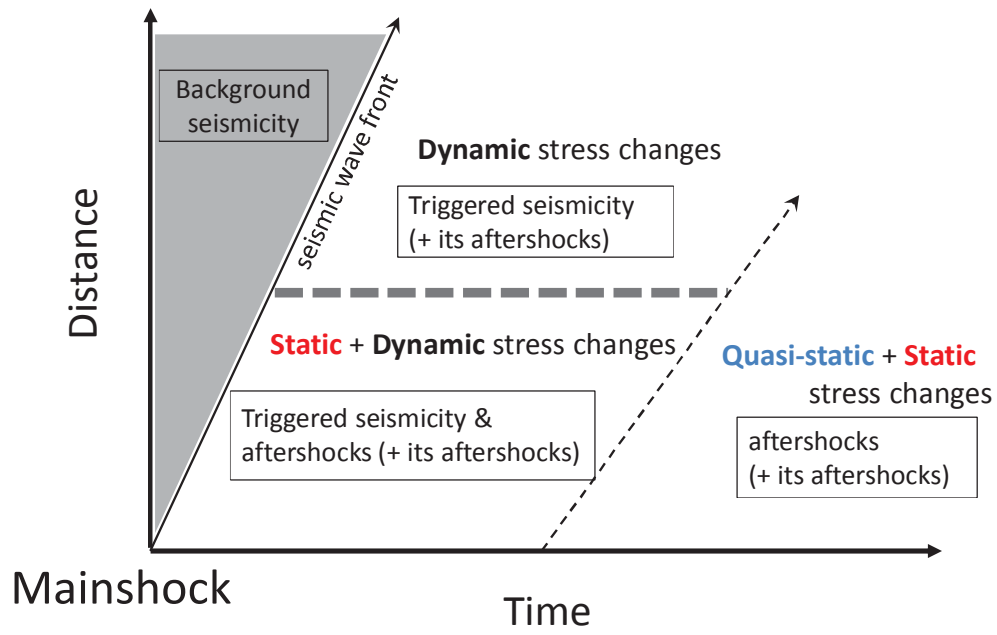
応力変化が与えられてから、実際に地震が誘発されるまでに時間の遅延を伴うことがある。静的応力変化や粘弾性を考慮した準静的応力変化の場合、応力変化量が残存しているため誘発までの遅延は比較的説明がしやすい。一方で動的応力変化は地震波の通過に伴う一過性のものであり、従って地震波が通過している時のみに応力変化が存在し、その後は零となるために、時間遅れを伴う動的誘発作用は働きにくいと思われるかもしれない。しかし静的誘発作用が働かない程十分遠地で、そのような遅延を伴う動的誘発が実際に観測されている。このような現象を説明するために、clock advance モデル¹⁵⁾やクリープの遠地誘発を介した地震誘発モデル¹⁶⁾などが提案されている。

5. まとめ

载荷された固着断層での繰り返し摩擦滑りによる地震の繰り返し発生モデルは、遠方からの寄与が無視可能な放射条件を満たす様な単純な系においては、地震性滑りの予測を可能とするかもしれない。しかし同一の系においても地震間の相互作用を考慮した場合、複雑な振る舞いをする事は本重点課題「震源核」の通りよく知られている。更に現実の地球では系の外からの影響は誘発作用として働くことがあり、必ずしも無視することができない要因である。

参考文献

- 1) 宇津徳治 (1999). 地震活動総説, pp896.
- 2) Kanamori, H. (ed.) (2007). Earthquake Seismology, In Schubert, G. (ed.) Treatise on Geophysics, Elsevier, Vol. 4.
- 3) 山科健一郎 (1980). 地震を起こす応力, 月間地球, 2, 656-662.
- 4) Das, S and C. H. Scholz (1981). Off-fault aftershock clusters caused by shear stress increase?, Bull. Seism. Soc. Am., 71, 1669-1675.
- 5) Stein, R. S. et al. (1992). Change in failure stress on the southern San Andreas Fault system caused by the 1992 magnitude = 7.4 Landers earthquake, Science, 258, 1328-1332.
- 6) Hardebeck, J. L. et al. (1998). The static stress change triggering model: Constraints from two southern California aftershock sequence, J. Geophys. Res., 103, 24,427-24,437.
- 7) Kato, M. (2006). Static Coulomb failure function and aftershocks of 1995 Kobe earthquake: A statistical test, Geophys. Res. Lett., 33, L17313.
- 8) 尾池和夫・松村一男 (1985). 地震発生のトリガー, 月刊地球, 67, 15-19.
- 9) Hill, D. P. (1993). Seismicity remotely triggered by the magnitude 7.3 Landers, California, earthquake, Science, 260, 1617-1623.
- 10) Velasco, A. A. et al. (2008). Global ubiquity of dynamic earthquake triggering Nature Geoscience, 1, 375-379.
- 11) Miyazawa, M. (2011). Propagation of an earthquake triggering front from the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Geophys. Res. Lett., 38, L23307.
- 12) Felzer, K. R. & E. E. Brodsky (2006). Decay of aftershock density with distance indicates triggering by dynamic stress, Nature, 441, 735-738.
- 13) Richards-Dinger, K. et al. (2010). Decay of aftershock density with distance does not indicate triggering by dynamic stress, Nature, 467, 583-586.
- 14) Toda, S. (2012). Aftershocks halted by static stress shadows, Nature Geo., 5, 410-413.
- 15) Gombert, J. et al. (1997). Transient triggering of near and distant earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 87, 294-309.
- 16) Shelly, D. R. (2011). Triggered creep as a possible mechanism for delayed dynamic triggering of tremor and earthquakes, Nature Geo., 4, 384-388.



第1図 大地震による地震の誘発
 Fig. 1 Earthquake triggering by a large earthquake.