

地震発生への水の役割

加藤愛太郎（東京大学地震研究所）

地震の発生と水との関連性については、長年にわたって議論がおこなわれてきています（e.g., Mogi, 1989; Hainzl and Fischer, 2002; Shapiro et al., 2002; Miller et al., 2004; Vidale et al., 2006）。水がどのような仕組みで地震の発生を促進しているのか、という地震発生過程を考える上で根本的な課題について、下記の3つの観点から議論を進めます。

一つ目は、震源断層への応力载荷過程などの長期的な時間スケールにおける水の役割です。これまでの多くの先行研究により、内陸地震の震源域の深部延長には、水などの流体が存在する可能性が指摘されています（e.g., Iio et al., 2002）。もし流体が震源断層域の深部延長に局在化している場合、その近傍の岩石の変形強度が周囲よりも低下することで変形が進み、その上部に位置する既存断層への応力（ひずみ）集中をもたらすことが考えられます。たとえば、日本海拡大時に形成されたリフト内（上部地殻）の既存断層の深部には、地震波速度が遅い領域や低比抵抗体が存在しており、応力载荷過程において流体が重要な役割を担っている可能性が指摘されています（e.g., Kato et al., 2009）。

短期的な時間スケールにおいては、間隙水圧の一時的な増加による断層強度の低下に関連した地震活動が挙げられます。たとえば、2011年東北地方太平洋沖地震の発生直後には、東北日本の内陸部において活発な地震活動が発生しました（Okada et al., 2015）。いくつかの地震活動においては、時間とともに地震活動域が拡散様式に従って拡大する現象が確認されています。また、震源域の深部には、地震波が低速度で高い電気伝導度の領域が存在しており、水などの流体の関与が考えられことが指摘されています（e.g., Kato et al., 2013; Okada et al., 2015; Umeada et al., 2015）。これらの誘発地震活動は、東北地方太平洋沖地震による静的な応力変化に加えて、地下深部からの流体移動により間隙水圧が一時的に上昇し、断層強度が低下することで活発化したと解釈されます。また、海外のドイツ南部の山岳地域においては、降雨量と地表付近の地震活動度に良い相関がみられることが報告されています。降雨の地下への浸透により、震源域において間隙水圧がわずかに増加（約1 kPa：地球潮汐による応力変化程度）することで、地震活動が活発化するという数理モデルが提案されており、降雨量等の関数として地震活動の予測実験も試行されています（e.g., Hainzl et al., 2006; 2013）。

上記に加えて、地下水の汲み上げや融雪にともなう地表付近の荷重変化により、震源域への応力変化が引き起こされ、地震活動度に季節変動性が見られることが近年報告されています。たとえば、スペインにおいては約50年間の地下水の汲み上げにより、2011年にM5.1の地震が発生したと指摘されています。地下水の汲み上げに伴う震源断層面上における応力変化は、約10 kPaと推定されています

（González et al., 2012）。さらに、アメリカ合衆国の西部においても、灌漑用水の利用や融雪等による表層荷重の変化が、震源断層上に約1 kPaの応力変動を生み出すことにより、夏から秋にかけて地震活動が高まる傾向にあることが解釈されています（e.g., Johnson et al., 2017）。

以上3つの観点から議論しましたが、長期的時間スケールにおいては、応力载荷過程に対する水の効果に関するより定量的な評価を進める必要があります。また、短期的な時間スケールにおいては、わずかな間隙水圧や表層荷重変化により地震活動度が影響を受けている可能性が考えられ、今後の継続的な研究が重要な段階です。