

Repeating earthquakes and aseismic slip: Toward unified understanding of seismogenesis

*Junichi NAKAJIMA¹, Akira Hasegawa²

1. EPS Department, Tokyo Tech, 2. Graduate School of Science, Tohoku University

内陸地殻やスラブ内における地震の発生には高間隙圧流体の存在とそれによる有効法線応力の低下が深く関与しているとの指摘がある一方で、プレート境界における繰り返し地震の発生には孤立したアスペリティパッチの周囲の準静的すべり（非地震性すべり）が不可欠であると考えられている。内陸地殻においても大地震の前震の中の繰り返し地震活動や前震のマイグレーションなどから非地震性すべりの存在が示唆されているが、非地震性すべりが普遍的に存在するかどうかはよくわかっていない。そこで本研究では、Igarashi (2020)の相似地震・繰り返し地震カタログに含まれる地震を用いて、日本列島下における繰り返し地震の分布およびその時間的特徴を系統的に調査した。まず、相似地震カタログに含まれる2003年～2017年に発生した地震を内陸地殻、太平洋プレートの上部境界面、および太平洋プレート・フィリピン海プレート内部（スラブ内部）の3つの領域に分け、地殻内とスラブ内の地震については波形相関を用いた震源決定(hypoDD)を行い、震源の重なりから繰り返し地震かどうかを判定した。断層半径の計算には応力降下量は3MPa（内陸地殻）、10MPa（スラブ内）を仮定し、断層が平面および深さ方向とも70%以上重なっている場合を繰り返し地震と判定した。このようにして選ばれた繰り返し地震は地殻内が1333グループ、スラブ内が79グループであった。これらの繰り返し地震は発生間隔が短い（数分から数ヶ月）ものがほとんどであり、いわゆるバースト型の繰り返し地震（Igarashi et al. 2003）である。なお、プレート境界の繰り返し地震についてはこれまでも多くの研究がなされているため、Igarashi (2020)の繰り返し地震カタログをそのまま利用した。本研究の結果、繰り返し地震は従来その発生が確認されていたプレート境界だけではなく、内陸地殻やスラブ内でも広く発生していることが明らかになった。特に、M6.5以上の大地震余震域や群発地震が活発な地域で繰り返し地震が多く発生しているという特徴がある。また、発生の時間的特徴から、平均発生間隔と発生レートがべき乗則の関係にあることも示された。この特徴は繰り返し地震の発生場所（内陸地殻、プレート境界、スラブ内）、またはその発生時期（定常的な活動か大地震の余効すべりに伴って発生かなど）によらず、すべての繰り返し地震グループで共通であり、改良大森公式のp値は概ね0.7-1.0の範囲になる。これらの結果は、繰り返し地震はどこでも起こりうること、またその発生メカニズムは場所によらず同じであることを強く示唆している。つまり、周囲の準静的すべりにより孤立したパッチが破壊することで繰り返し地震が発生するというプレート境界で考えられてきたモデルは、すべての繰り返し地震に適用できると考えられる。繰り返し地震の発生メカニズムをより詳細に調べるため、2011年東北沖地震に誘発され、その地震活動の詳細な解析から間隙流体圧の時間変化が明らかにされた福島・山形県境の群発地震（Yoshida and Hasegawa, 2018）の震源域内で起こっている繰り返し地震の時空間変化を分析した。その結果、1) 繰り返し地震は背景地震と同じ断層面上で発生していること、2) 間隙圧が高い活動初期に繰り返し地震の発生割合が高いこと、3) 繰り返し地震の発生間隔は間隙圧が高い活動初期に短いことが明らかになった。結果1)は繰り返し地震の発生は通常地震（背景地震）と同じメカニズム（既存断層面上でのすべり）であることを示している。さらに、プレート境界での繰り返し地震の解釈を援用し、結果2), 3)も考慮すると、断層面上での間隙流体圧が大きいつきに非地震性すべりのすべりレートが大きいつき、そのすべりに伴って繰り返し地震が発生することが強く示唆される。なお、繰り返し地震として認識されるためには、周囲のパッチと相互作用のない孤立したパッチが観測期間内に複数回すべることが必要であり、この条件が満たされない場合には、繰り返し地震ではないいわゆる普通の地震として観測されることになる。今回の観測事実とこれまでにわかっている知見を総合的に解釈すると、すべての地震は、A) 間隙圧の上昇によって既存断層面の強度が低下し、B)そこで非地震性すべりが発生し、C) その中のアスペリティパッチがすべることによって発生すると結論づけられるのではないだろうか。これまでは地震発生にはA)のメカニズムが本質であると考えられてきたが、全ての地震の背後には非地震性すべりがあると考えると、プレート境界地震も含めすべての地震を統一的に理解できる。