## 12-3 地震・非地震性すべりの加速過程 Accelerating process of seismic and aseismic slip

## 東京大学地震研究所 Earthquake Research Institute, university of Tokyo

エピソディックな非地震性すべりの発生機構はいくつか提案されているが、断層面上のすべり速 度弱化領域の大きさが不安定すべり発生に必要な臨界長にほぼ等しい場合に発生する非地震性すべ りを扱ったモデルが多い<sup>1,2,3,4,5)</sup>.底面ですべり速度・状態依存摩擦則に従う摩擦がはたらく剛体ブ ロックをバネを介して引っ張ったときに、不安定すべりの発生の有無はバネの強さと摩擦特性で決 まり、バネ定数が臨界値kcの時にはエピソディックな非地震性すべりが発生する<sup>67</sup>. 断層面の摩擦 がすべり速度・状態依存則に従う場合、一定速度 / ですべりが続いている時の定常的摩擦係数は山。 =  $\mu_0+(a-b)\ln(V/V_*)$ と書くことができる.ここで、a, bは摩擦の速度依存性を支配するパラメター、 μ₀と V\*は定数である. a-b<0のとき, 速度が大きくなると定常的摩擦係数は低下(速度弱化)する ために不安定すべり(地震)が発生する場合がある.1つの剛体ブロックをバネで引っ張る場合を 考えると、不安定すべりが発生する条件はバネ定数が臨界値k=(b-a) σ,/L よりも小さいことである <sup>6)</sup>. ここで、σ<sub>n</sub>は摩擦面にはたらく法線応力、Lは特徴的すべり量である. この考えを弾性体に拡張 する場合、断層でのすべりと応力変化の比がバネ定数に相当すると考えればよい、円形断層を考え た場合,不安定すべりが発生するためには,断層の半径がr<sub>c</sub>=7πGL/[24(b-a)σ<sub>0</sub>]よりも大きい必要 がある. 速度弱化の摩擦特性を示す断層の半径が r. に近いときにはエピソディックな非地震性すべ りが発生する.図1は、平面断層面上の半径 r の速度弱化域の周囲に速度強化域が広がっている場 合のすべり過程のシミュレーション結果で,発生するエピソディックすべりの継続時間を r/r.の関 数として示してある<sup>2)</sup>. r/r<sub>c</sub> > 1 では,すべりの継続時間は r/r<sub>c</sub>によらずほぼ一定で通常の地震が発 生するが、r/r。<1では、r/r。が小さくなるほどすべりの継続時間が長い非地震性すべりが発生する. r/r。«1では安定すべりが発生する.

断層面上の速度弱化域がreよりも十分に大きければ、速度弱化域内に破壊核が形成され不安定な すべりが発生するが、速度弱化域がrcよりも小さい場合には不安定すべりを発生させるために十分 な応力集中を速度弱化域内に形成できないと考えることができる.途中までのすべり過程は両者で 大きな違いはなく、地震の前駆的すべりとエピソディックな非地震性すべりのすべり発展は互いに よく似ていることが予想される. これを確かめるために数値シミュレーションを行った. 図2に断 層面上のA-B (=  $(a-b)\sigma_n$ )の分布の例を示す.速度弱化域内のA-Bの平均値とLの値を固定し、速 度弱化域の半径を変えてシミュレーションを行った、速度弱化域の摩擦特性がr.=2.75kmの場合の、 速度弱化域の半径r=5.0kmとr=2.6kmのときに発生したエピソディックすべりのモーメント解放率 時間関数を、それぞれ図3、4に示す.r/r。>1の場合は、すべりの継続時間が10秒程度の地震性 すべりが発生するが(図3), r/r\_<1の場合は、すべりの継続時間が数時間の非地震性すべりが発 生する (図4). これらの性質の異なる2つのイベントについて、イベント発生前約4年と約4日の モーメント解放率時間関数を、それぞれ図5、6に示す.地震性すべりが発生するr=5.0kmと非地 震性すべりが発生するr=2.6kmの場合とでモーメント解放率時間関数はよく似ており、両者の識別 は簡単ではない.これは、地震性すべりも非地震性すべりも、速度弱化域の摩擦特性が同じであれ ば、破壊核形成過程は途中まではよく似ていることによる.規模(マグニチュード)が異なる地震 性すべりについて比較してみても、規模の違いが摩擦特性の違いによるのではなく、速度弱化域の

大きさだけによるのであれば、それらの前駆すべり過程には大きな違いはないと考えられる.

次に、複数の速度弱化域(アスペリティ)が連鎖的に破壊されて規模が異なる地震が発生する場合を考えてみる<sup>8)</sup>. 図7のように、特徴的すべり量Lと大きさが異なる2つの速度弱化域 (patch 1, 2)を断層面上に仮定する. patch 1 ではLが小さく破壊されやすいため、patch 1 のみが破壊される比較的小さい地震(EQ1,  $M_w$ =5.8)と、patch 1 から破壊が始まり patch 2 も破壊される比較的大きい地震

(EQ2,  $M_w = 6.9$ ) とが発生する. EQ1 と EQ2 発生前約5時間のモーメント時間関数を図8に示す. EQ1 と EQ2 ではともに前駆すべりは patch 1 で発生するため、両者の前駆すべりのモーメント解放 曲線はほとんど同じになる.この結果から、複数の速度弱化域が連鎖的に破壊される場合、前駆す べりの発生過程は地震の規模に依存しない場合があることがわかる.

なお、ここで扱ったモデルとは別のエピソディックな非地震性すべりのモデルとして、定常摩擦 の速度依存性が低速域で速度弱化、高速域で速度強化と仮定することによるものがある<sup>9,10</sup>. 臨界 速度まではすべりが加速するが、臨界速度を超える速度域ではすべりが減速するために、やや不安 定なすべりは発生するが地震波を放射するほどの速度には達しない. このモデルでは、臨界速度が その場の摩擦特性としてきまっているために、地震性すべりが発生する場所とエピソディックな非 地震性すべりが発生する場所とが分かれている. エピソディックな非地震性すべりと地震の前駆的 なすべり過程の類似性の議論はあてはまらない(加藤尚之).

## 参考文献

- Kato, N. and T. Hirasawa, 1999, The variation of stresses due to aseismic sliding and its effect on seismic activity, Pure Appl. Geophys., 155, 425-442.
- Kato, N., 2003, Repeating slip events at a circular asperity: Numerical simulation with a rate- and state-dependent friction law, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 78, 151-166.
- Liu, Y. and J. R. Rice, 2005. Aseismic slip transients emerge apontaneously in three-dimensional rate and state modeling of subduction earthquake sequences, J. Geophys. Res., 110, B08307, doi:10.1029/2004JB003424J.
- Kato, N., 2004, Interaction of slip on asperities: Numerical simulation of seismic cycles on a two-dimensional planar fault with nonuniform frictional property, J. Geophys. Res., 109, B12306, doi:10.1029/2004JB003001.
- 5) Mitsui, N. and K. Hirahara, 2006. Slow slip events controlled by the slab dip and its lateral change along a trench, Earth Planet. Sci. Lett., **245**, 344-358.
- 6) Ruina, A., 1983. Slip instability and state variable friction laws, J. Geophys. Res., 88, 359-370.
- Yoshida, S. and N. Kato, 2003, Episodic aseismic slip in a two-degree-of-freedom block-spring model, Geophys. Res. Lett., 30, 1681, doi:10.1029/2003GL017439.
- 8) 吉田真吾・加藤尚之,2005,前駆すべりと地震の最終的サイズとの関係,地震,第2輯,58,231-246.
- Shibazaki, B. and Y. Iio, 2003. On the physical mechanism of silent slip events along the deeper part of the seismogenic zone, Geophys. Res. Lett., 30, doi:10.1029/2003GL017047.
- Kato, N., 2003, A possible model for large preseismic slip on a deeper extension of a seismic rupture plane, Earth Planet. Sci. Lett., 216, 17-25.



- 図1 半径rの円形速度弱化域で発生したエピ ソディックすべりの継続時間.r。は摩擦 パラメターから決まる不安定すべり発 生に必要な領域の臨界半径.
- Fig.1 The duration of simulated episodic slip events in a circular area of radius r with velocity-weakening frictional properties.  $r_c$ denotes the critical radius for the occurrence of unstable slip.



- 図3 半径 r=5.0km の円形速度弱化域で発生し たエピソディックすべりのモーメント解 放率時間関数. r<sub>c</sub>=2.75km.
- Fig.3 Moment release rate function for a simulated episodic slip event at a circular velocity-weakening region of radius r = 5.0km in the case of  $r_c=2.75$ km.



図2 モデル断層面上の*A-B*の分布の例. Fig.2 An example of distribution of *A-B* on a model fault plane.



- 図4 半径 r=2.6kmの円形速度弱化域で発生し たエピソディックすべりのモーメント解 放率時間関数. r<sub>c</sub>=2.75km.
- Fig.4 Moment release rate function for a simulated episodic slip event at a circular velocity-weakening region of radius r = 2.6km in the case of  $r_c=2.75$ km.



- 図5 半径 r=2.6km と 5.0km の円形速度弱化域 でのエピソディックすべり発生前約4 年間でのモーメント解放率時間関数. r<sub>c</sub>=2.75km.
- Fig.5 Moment time functions for simulated episodic slip events at circular velocity-weakening regions of radius r = 2.6km and r = 5.0 km. In both cases  $r_c=2.75$ km.



- 図7 大きさと摩擦特性が異なる2つのアス ペリティ (patch-1,2) を仮定した断層 モデル.
- Fig.7 A fault model for two asperities (velocity-weakening regions) with different frictional properties.



- 図6 半径 r=2.6km と 5.0km の円形速度弱化 域でのエピソディックすべり発生前 約4日間でのモーメント解放率時間 関数. r<sub>c</sub>=2.75km.
- Fig.6 Moment release rate functions for simulated episodic slip events at circular velocity-weakening regions of radius r =2.6 km and r = 5.0 km. In both cases  $r_c =$  2.75 km.



- 図8 図7のモデルを用いたシミュレーション結果.patch-1のみが破壊された地震 (灰色)と patch-1,2両方が破壊された 地震(黒)の発生前約5時間のモーメント時間関数.
- Fig.8 Moment time functions before simulated earthquakes for the model shown in Fig. 7. Black and gray curves are for the earthquakes that break patches 1 and 2 and only patch 1,