

## 破壊エネルギーの不均質によるプレート境界固着すべりの多様性のモデル化

### Various slip pattern in earthquake generation cycle modeled with heterogeneous fracture energy distribution

# 堀 高峰 [1]; 宮崎 真一 [2]

# Takane Hori[1]; Shin'ichi Miyazaki[2]

[1] IFREE, JAMSTEC; [2] 地震研

[1] IFREE, JAMSTEC; [2] ERI

プレート境界では、発生間隔や規模が様々に変化しながら地震が発生したり、間欠的なゆっくりすべりや余効すべりが発生したりするなど、固着すべり状態が非常に多様な様相を示す。従来こうした固着すべり状態の多様性は、岩石実験にもとづいて求められたすべり速度-状態依存摩擦則における速度依存性の不均質によって説明されることが多かった(Rice, 1993; Kato, 2004 など)。しかし Nakatani(2001) が示したようにこの摩擦則は、ある面の状態(強度)に対して、与える応力によってすべり速度がいくつになるかを規定する破壊構成則と、強度がどのように変化するか(すべり弱体化と強度回復)を規定する強度発展則からなると解釈できる。このため強度発展則を規定するパラメータ  $b$  と  $L$  が、破壊伝播問題における破壊エネルギーを規定するパラメータに相当するといえる。

地震時の破壊伝播の多様性や地震のスケール依存性をモデル化するために、Ide and Aochi(2005) や Ide(2007) は、スケール依存量であるすべり弱体化距離に不均質を与えている。我々もそれに従い、アスペリティをすべり弱体化距離に關係する  $L$  の不均質で表現する。できるだけ単純なモデルにするため、アスペリティは同程度のサイズもの2つのみとし、それらがより大きな  $L$  をもつバックグランドの中に存在すると仮定する。摩擦係数の速度依存性 ( $a-b$  が正か負か) は深さ方向にのみ変化すると仮定する(このような摩擦パラメータの不均質の与え方は Hillers et al., 2006; 2007 ですすでに試みられているが、導入した理由や注目する現象が異なる)。

地震発生サイクルシミュレーションの計算は、Hori et al.(2004) と基本的に同じ手法を用いる。断層サイズは  $600\text{km} \times 240\text{km}$  とし、 $4\text{km}$  四方に分割した小断層についてのすべり応答関数(半無限均質弾性体)を用いる。すべりの向きは dip 方向のみで固定し、プレート収束速度は  $5\text{cm/yr}$  で一定とする。アスペリティを長径約  $90\text{--}100\text{km}$ 、短径約  $86\text{km}$  の楕円で表し、内部の  $L$  は  $0.2\text{--}0.25\text{m}$ 、バックグランドは  $2.5\text{m}$  とする。 $(a-b)$  は地震発生層(深さ  $10\text{km}\text{--}25\text{km}$ ) では  $-0.2\text{MPa}$ 、 $35\text{km}$  以深は  $a-b$  正、その間が  $a-b$  負から正への transition zone とする。

まず地震の起こり方を見ると、地震発生層がほぼ全域にわたって破壊する超巨大地震と、アスペリティとして設定した領域での規模の一回り小さな巨大地震が交互に発生する。アスペリティの中心でのすべり量を見ると、超巨大地震の際には  $30\text{m}$  以上すべるのに対して、アスペリティ部分のみで破壊する場合には  $10\text{m}$  以下のすべり量となる。また地震の再来間隔は、超巨大地震の後が巨大地震の後に比べて倍程度と大きく変化する。

また、地震後の余効すべりに注目すると、アスペリティ部分のみが破壊する場合には、顕著な余効すべりがアスペリティ周辺に発生する。従来余効すべりを起こす領域は速度強化域 ( $a-b$  正) で表現されてきた。今回のモデルでは、アスペリティの周囲は  $a-b$  負で、アスペリティよりも破壊エネルギーの大きな領域であり、それでも余効すべりが表現できる。従来のモデルと今回のモデルの一番の違いは、前者は地震サイクル毎に振る舞いが変化せず、アスペリティの周囲は常に余効すべりしか起こせないのに対して、今回のモデルでは余効すべりを起こした領域が、超巨大地震の際には地震性すべり領域になるという点にある。

さらに、巨大地震発生後の顕著な余効すべりが終わり、次の超巨大地震に至る準備過程では、アスペリティの深部付近で時間スケールの長い間欠的なゆっくりすべりが発生する。このゆっくりすべりは、アスペリティの一端(モデル領域の端に近い側)から始まって、アスペリティの下限に沿うように伝播する。二度目のゆっくりすべりの際には、すべりの加速が生じて地震(全域が破壊する超巨大地震)に至る。

以上のように、破壊エネルギーの不均質、中でもすべり弱体化距離の不均質に寄与する摩擦パラメータ  $L$  の不均質を仮定した地震発生サイクルのシミュレーションによって、プレート境界における固着すべりの多様性が定性的によく再現できることがわかる。近年様々なデータから、地震発生サイクル毎に破壊様式が変化する可能性が示されているが、今回の結果は、そのようなサイクル毎の変化に対して、パラメータ一定でモデル化できる可能性を示している。このことは、最近起きた地震の余効すべりや間欠的なゆっくりすべりの詳細なデータが、サイクルを超えた挙動に対する拘束も与える可能性があることを示しており、巨大地震の連動性の変化等を考える上でも重要であると言える。さらに、今回のモデルは破壊伝播モデルと整合した断層面の不均質の与え方なので、地震時の破壊伝播の起こり方の複雑さと地震発生サイクルにおける固着すべり様式の複雑さを統一した観点で議論するための土台になると期待される。