

## 12-11 アスペリティの階層構造とすべりの多様性

### Hierarchical structure of asperity and variety in slip pattern

海洋研究開発機構

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

アスペリティは一つの地震の震源域内部の複雑さ（すべりの不均質等）を説明するために導入されたもので、アスペリティそのものの内部構造はほとんど議論されてこなかった。しかし、1つのアスペリティの破壊によって規則的な地震を繰り返すと考えられてきた釜石沖のM~5の地震の震源域内で、地震間にM~3の地震が繰り返し発生することが最近明らかにされた<sup>1)</sup>。ここで重要な点は、単にアスペリティが内部構造を持ったより複雑なものであるということではなく、内部で地震が発生するにも関わらず、アスペリティ全体ではすべり分布まで含めてほぼ同じ地震を規則的に繰り返すことにある。つまり細かい構造を内包しつつ、全体として1つのアスペリティとして整合的な振る舞いをする必要がある。また、M~3の地震は余震のようにM~5地震の直後に発生するのではなく、M~5の繰り返しの後半に発生することも特徴的である。さらに、M~5の地震はサイズミックカップリングが0.44~0.72と推定され、アスペリティ内部で非地震性すべりが地震間に発生していると考えられる。そこで、このような地震の起こり方の特徴を満たす一つのモデルを提案する<sup>2)</sup>とともに、このモデルを大地震に適用した場合に予想される問題について指摘する<sup>3)</sup>。

前述の特徴を満たすには、少なくとも以下のような性質が満たされる必要がある。(1) M~5のアスペリティ（以下、大アスペリティ）の内部にM~3のアスペリティ（以下、小アスペリティ）が存在。(2) 大アスペリティの破壊エネルギーが、小アスペリティよりも十分大きい（小アスペリティの破壊で大アスペリティが必ずしも誘発されない）。(3) 大アスペリティの破壊核サイズ（すべりが安定的に広がる限界のサイズ）が大アスペリティのサイズと同程度（大アスペリティ内部で非地震性すべりが発生）。この性質を、すべり速度・状態依存摩擦則で表現し、地震発生サイクルの数値シミュレーションで前述の地震の起こり方の特徴を再現する。

すべり速度・状態依存摩擦則においては、破壊エネルギーと破壊核サイズが共に大きいということは、摩擦パラメタの特徴的すべり量Lが大きいということによって表せる。そこで、図1のような摩擦パラメタの分布を仮定した。すなわち、小アスペリティは大アスペリティ内のLの不均質としてモデル化されている。また大アスペリティとその外側は、それぞれすべり速度弱化、強化の性質を持つとしている。

シミュレーションの結果として得られたすべりの積算の時間変化と地震時のすべり分布を図2・3にそれぞれ示す。モーメントマグニチュード(Mw) 4.9の地震が6.6年で地震を繰り返し、その地震間の後半にMw3.4の地震が起こる。またMw4.9の地震の平均すべり量から推定したサイズミックカップリングは66%であり、観測と調和的な非地震性すべりの発生のもとで、規則的な地震の繰り返しと地震間での小地震発生が再現された。

このモデルの特徴は、小アスペリティの外側（図1aのC）のすべり方にある。ここは大アスペリティの破壊時には地震性すべりをするが、地震後に固着し、その後ゆっくりしたすべりが生じ始める。さらに、小アスペリティで破壊が起きると余効すべりが発生する。つまり、地震性すべり・固着・ゆっくりすべり・余効すべりというあらゆる速度のすべりが、同じ摩擦パラメタを持った場所で起きることになる。

上記のすべりの多様性は、このモデルを大地震に適用した場合に、従来のアスペリティモデルから

は予想できかった問題を提起する。普段ゆっくりすべりが起きていて、近傍で M7 の地震が発生すると余効すべりが起こる場所があるとする。従来のアスペリティモデルに従えば、そのような場所より大きな地震が起こるとは考えない。しかし上記のモデルが適用でき、大地震の繰り返し間隔が非常に長く（数百年程度）、その地震間の後半に現在あるとすると、観測事実と矛盾せずに、そこで M が 1~2 大きな地震が近い将来起こる可能性が出てくる。今後は、大地震でのこのモデルの妥当性を検証すると共に、適用すべき場所がないかを調べる必要がある。

(堀 高峰)

#### 参 考 文 献

- 1) Uchida, N., T. Matsuzawa, W. L. Ellsworth, K. Imanishi, T. Okada, and A. Hasegawa, 2007, Source parameters of a M4.8 and its accompanying repeating earthquakes off Kamaishi, NE Japan: Implications for the hierarchical structure of asperities and earthquake cycle, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L20313, doi:10.1029/2007GL031263.
- 2) Hori, T., and S. Miyazaki, 2010, Hierarchical asperity model for multiscale characteristic earthquakes: A numerical study for the off - Kamaishi earthquake sequence in the NE Japan subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L10304, doi:10.1029/2010GL042669.
- 3) Hori, T., S. Miyazaki, and N. Mitsui, 2009, A model of earthquake-generation cycle with scale-dependent frictional property - preliminary results and research plan for a project of evaluation for coming Tokai, Tonankai, and Nankai earthquakes, *J. Disaster Res.*, 4, 2, 111-117.

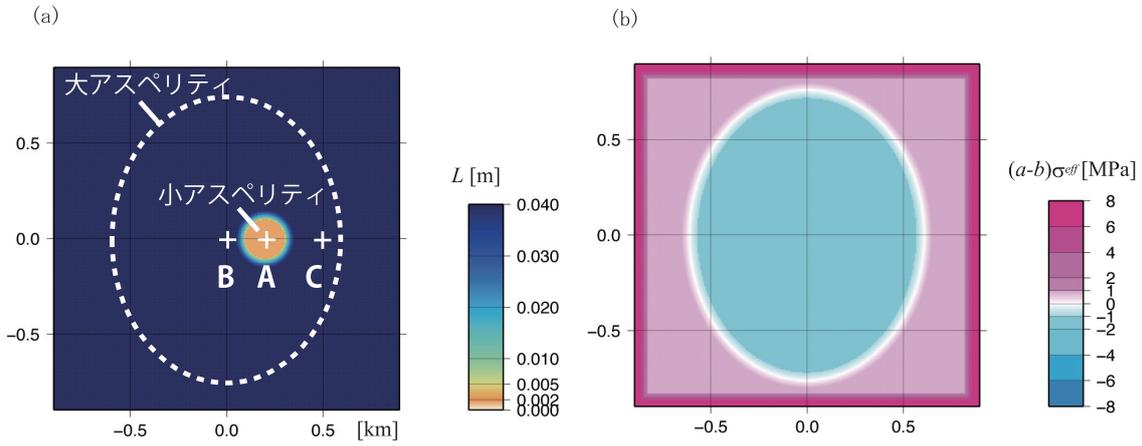


図1 摩擦パラメタの分布. (a) 特徴的すべり量  $L$ . A, B, C は図2ですべりの積算を示す位置. (b) すべり速度依存性に関するパラメタ  $(a-b)\sigma_{eff}$ .  
 Figure 1 Distribution of frictional parameters. (a) Characteristic slip distance  $L$ . A, B, and C indicate the locations where cumulative slip is shown in Figure 2. (b) Parameters related to velocity dependence of friction,  $(a-b)\sigma_{eff}$ .

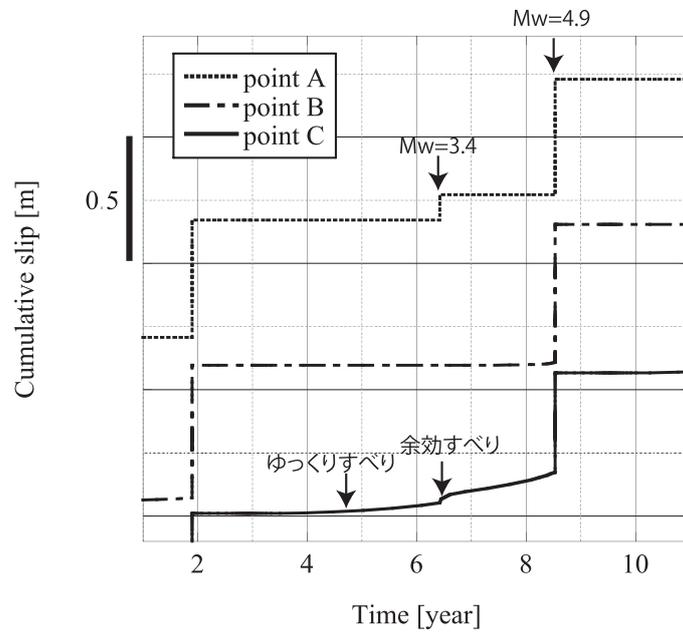


図2 図1 (a) の3点でのすべりの積算の時間変化.  
 Figure 2 Temporal variation in cumulative slip amount at the points shown in Figure 1(a).

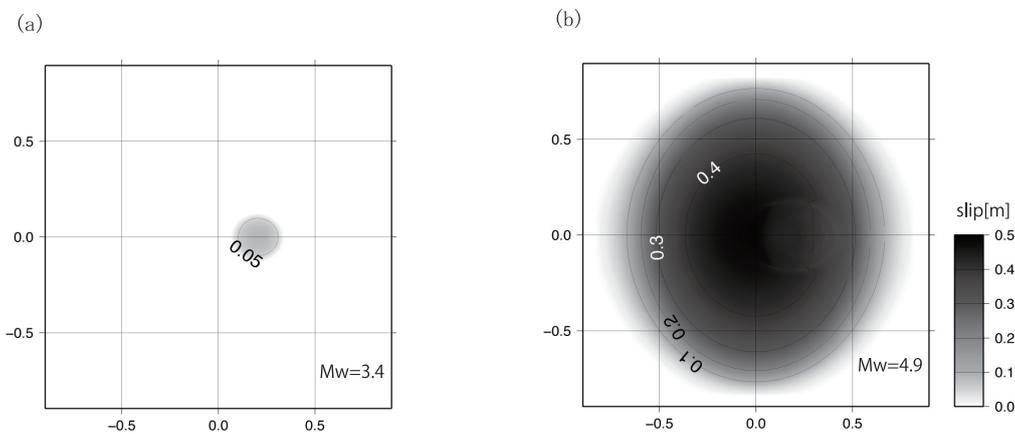


図3 地震時のすべり分布 (すべり速度  $V$  が 1cm/s 以上).  
 Figure 3 Coseismic slip distribution (slip rate  $V \geq 1\text{cm/s}$ ).