

地震の動的破壊過程と破壊エネルギーのスケール依存性 - 階層的破壊過程解明に向けて -

東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻 井出哲

これまでに地震波解析によって様々な地震のマクロなパラメーターが決定されてきた。これらパラメーターのサイズ依存性は基本的に幾何学的相似で説明できる。相似関係は地震発生層のような明瞭な特徴的サイズがあれば破綻するが、このような特徴的サイズは小さいスケールでは発見されていない。例えば地震波エネルギーと地震モーメントの比はマグニチュード 1 から 7 の範囲(地震モーメントで 12 桁)で急激に変化することはない(図 1)。幾何学的相似は平均的な応力降下量が一定であることを意味するので、このサイズ範囲での平均的な応力降下量は一桁程度しか変わらないことになる。

マクロな見かけは似ていても詳細に破壊過程を調べれば大きな地震は複雑で小さな地震は単純とされていた時期もあった。しかし現在では M 1 級の小地震でも十分分解能をあげれば破壊過程は複雑で大地震との系統的な差を見つけるのは難しいことがわかっている。特にサイズによらない共通の特徴として破壊伝播速度は S 波の 7-8 割といわれている。これに平均的な応力降下量が一定という条件を加えると破壊エネルギーのスケール依存が示唆される。実際に不均質断層モデルから破壊エネルギーを計算してみると M5 から M7 の範囲で破壊エネルギーは地震モーメントの 1/3 乗。つまり破壊のリニアスケールに依存する。

このような破壊エネルギー増加の物理的背景は動的な断層の分岐やマイクロクラックの成長等によるエネルギー散逸の増加に違いない。そうであれば動的破壊の初期段階と後半では破壊エネルギーは異なるだろう。残念ながら現在の地震断層モデルではこの議論に十分答えられない。しかし現実的な断層運動を動的なクラックモデルで説明する試みでは破壊エネルギーを破壊開始点からの距離に比例させて破壊伝播速度を S 波以下に抑えることに成功している。

多くの地震モデルでは破壊エネルギーは場に固有である程度均一なものと考えられてきた。その結果として場に固有の破壊核が存在すると信じられ、さらには破壊核でのプレスリップの地震予知への利用可能性が検討されてきた。単層モデルともいべきこの見方は否定されたわけではない。しかしそれと同じくらいの重みでスケールによって変化する破壊エネルギーとそれに基づく広いスケール範囲での階層的な動的破壊過程のモデルが検討されるべきである。そのためにも、これまでとは違った見方で演繹的なシミュレーションと帰納的なデータ解析の研究を進めていく必要がある。

例えば不均質な D_c の分布を仮定したクラックの動的破壊過程シミュレーションはようやく計算可能なレベルに到達した。断層面の凹凸に対応した D_c の分布を考え、繰り込みの手法を用いると M1 から M6 程度までの不均質な破壊の成長が計算できる(図 2)。このような場では均一な応力場でも苦労して破壊を停止させる必要はなく、平均破壊伝播速度が S

波速度を超えるようなことも起こりにくい。但しマイクロスケールでの物理との対応や、応力蓄積過程の研究など、今後の課題は山積みである。

データ解析では初期フェーズの長さや地震サイズとの関係などが良く議論されてきた。現在ではかなりの地震について地震サイズにつれて長くなる初期フェーズが存在するというコンセンサスが得られているようである。しかし定義に曖昧さが残るのでこの結果は階層性を考慮してもしなくても説明できる。階層性の検証は今後の課題である。また初期フェーズのみを対象とした地震波形インバージョンも行われている。これは地震波形からでも領域を限れば広いスケールでの階層的破壊過程を解明出来ることを意味する。

現実的には地震発生場が階層構造を持つとしてもその中に階層性の破れが存在してそれを我々はアスペリティなどと認識しているのかもしれない。その場合の地震活動予測は単一アスペリティだけを考えるものとは異なるだろう。そのような可能性を考えることも重要ではないだろうか。

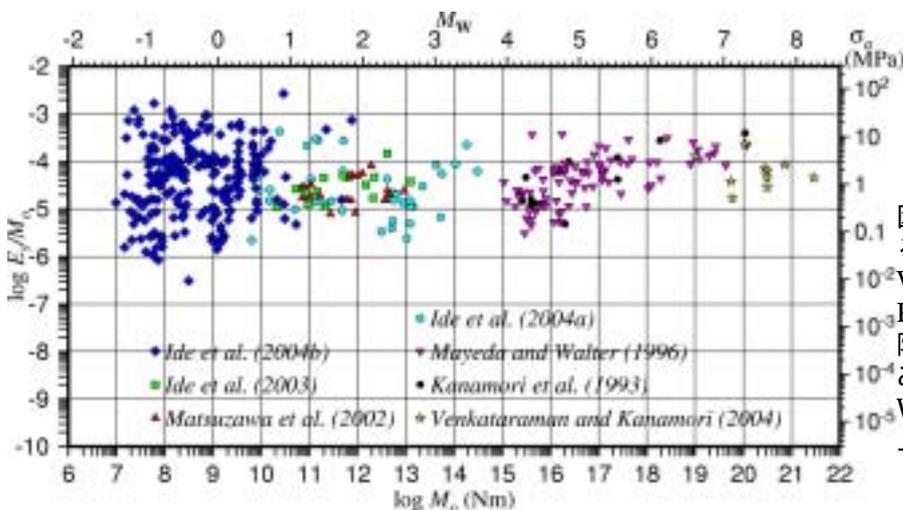


図1：様々な研究による E_s/M_0 の比較。Venkataraman and Kanamori (2004)は内陸とスラブ内地震のみ、Mayeda and Walter (1996)はM4以上のみ示す。

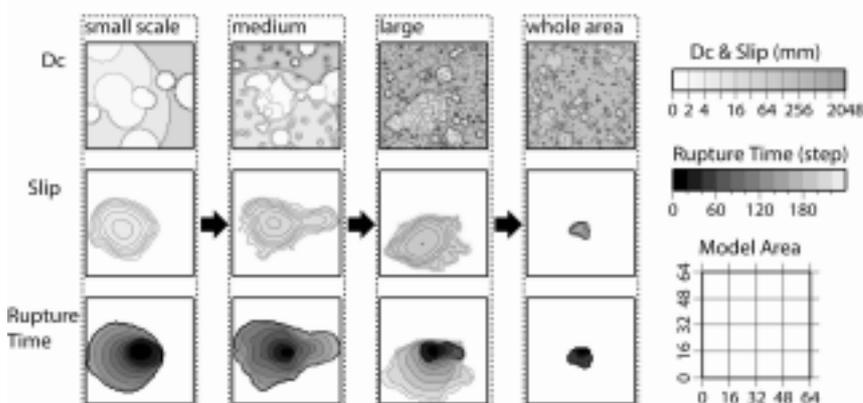


図2：不均質パッチモデル上の破壊伝播の様子。各段階ですべり速度分布に線り込みを用いてスケール変換を行う