

クリープモデルと Weak zone model

The creep model and the Weak zone model

飯尾 能久 [1]
Yoshihisa Iio[1]

[1] 京大・防災研
[1] DPRI, Kyoto Univ.

1. クリープモデル

Jin and Aki(1989) は、その後の一連の研究とともに (Jin and Aki, 1993; Aki, 1995; 1996), コーダー Q の時間変化は、脆性-延性遷移領域における多数の断層帯の地震波に対するレスポンスを反映していると考えた(クリープモデル)。そして、Aki(2004) は、上記の研究等に基づき、脆性領域内に限られた小規模の地震破壊はフラクタルであり予測不可能性を持つものに対して、脆性-延性遷移領域に断層運動がおよぶ大地震は、脆性-延性遷移領域の変動をとらえることにより予測可能であると考えた。脆性-延性遷移領域では非常に複雑なプロセスが起こっていると予想されるが、色々なアプローチを総合することにより、大地震の予測は可能であると期待されている。以下においては、内陸地震の発生過程に関する近年の進歩を review して、クリープモデルの理論的・観測的な背景を整理してみる。

2. 内陸地震の基本的な発生の仕組みと Weak zone model

少し以前までは、内陸地震の発生過程を考えると、下部地殻を無視してしまうことが多かった。微小地震の震源が地殻の上半部に限られることから(小林, 1977), それ以深の領域(以下ではこの領域を下部地殻と呼ぶ)は、高温のため強度が非常に小さい(粘性が小さい)と考えられてきた。しかし、大地震の予効変動に関する研究から、以前の常識とは異なり、下部地殻は最上部マントルより強度が大きいことが明らかになってきた(例えば, Pollitz et al., 2001; Ueda et al., 2003; Nishimura and Thatcher, 2003)。粘性係数の精度良い見積もりは難しいが、内陸地震の発生間隔程度の時間スケールでは、基本的には、地殻全体を弾性体と見なして良いと推定されている(Iio et al., 2004)。

重要な点は、地殻の深部で地震活動が無くなったとしても、それは、媒質の強度が急激に小さくなることを意味していないことである(ここで、媒質の強度とは、断層帯を除いた、いわゆる matrix としての媒質としての強度のことを指す)。地震発生域の下限は、断層における摩擦特性の深さ(温度)変化に関係している可能性が指摘されている(例えば, Tse and Rice, 1986)。摩擦特性が、速度弱体化から速度強化へ変わったとしても、それは、摩擦の速度依存性が変わったのであり、そこで絶対的な強度が急激に減少することを意味するのではない。また、脆性から延性への移り変わりには遷移領域が存在することも、急激な強度低下を支持しない知見である(例えば, Scholz, 1988)。

このように、内陸地震の発生を考えると、下部地殻の強度を無視することはできないため、その役割を正しく評価する必要がある。地震発生域は主に断層運動により変形するが、その下の下部地殻もそれに見合う量だけ変形するはずである。下部地殻の媒質の強度は大きいので、断層帯がその分の変形を主に担うことになる。上部地殻との違いは、断層運動が準静的なものであることである。

この物理学的な推定は、下部地殻を構成する岩石に関する地質学的な知見から支持される。日本列島の下部地殻における温度圧力条件では、鉱物粒界のぬれ角が大きいので、平衡状態では間隙が連結できないと推定されている(例えば, 芳野, 1998)。よって、下部地殻において、水は、断層帯など平衡状態ではないところに主に存在する(Kronenberg et al., 1990)。水の存在下では岩石の粘性は小さくなるので、下部地殻において、変形は断層帯に局所化することになる。実際に、かつて下部地殻に存在した断層帯の観察により、下部地殻では変形が断層帯に局所化していることが明確に示されている(例えば, Sibson, 1982)。

以上のように、下部地殻においては変形は断層帯に局所化していると考えられる。下部地殻の断層帯と地震発生域の断層が一続きであることが自然であり、下部地殻における準静的な断層運動が内陸地震を起こす断層に応力を蓄積すると考えられる。

下部地殻において地質構造が複雑である場合、そこでは多数の断層帯がほぼ平行して存在することが見出されている(Tanaka et al., 2004; Shimada et al., 2004)。新潟神戸歪集中帯(Sagiya et al., 2000)の直下の下部地殻に強度が弱い領域(Weak zone)が存在すると推定されている(Iio et al., 2002)、上記の地質学的な知見に基づくと、weak zone は、多数の断層帯からなるものと推定される。

3. おわりに

このように、クリープモデルと Weak zone model は、どちらも、地震発生域の下に多数の断層帯が存在し、それが地震波の減衰や大地震の発生をコントロールしていると考えられる。Weak zone model は、地球物理的な観測結果から確認されたわけではなく、概念的なモデルであるが、今後鋭意検証を行ってゆきたい。