

研究紹介

地殻のストレス変化の検知：ETAS モデルで測る地震活動の静穏化と活発化

モデリング研究系教授
予測発見戦略研究センター教授(兼) 尾形 良彦

大地震の後の余震はだんだんに減っていきます。余震の起こり方は大森・宇津の公式という関数で表されます。Epidemic Type Aftershock Sequence (ETAS) モデルはこれを拡張・発展させて、余震だけでなく、各地の地震の発生率を細かく予測します。この予測と実際の地震発生頻度の相違を測ることが、地震活動の変化を検出する物指しとして重要な役割をはたします。そして、このことが広域のストレス変化の鋭敏なセンサーとなりそうです。大きな地震や非地震性のすべりが起ると、断層運動による急激なストレスの変化が伝わり、その時を境に近辺の地域での地震や余震の活動度が、予測されたものから系統的に外れることがよくあります。予測より有意に少なくなる場合と多くなる場合があります。

その変化が地震や余震活動に働くクーロン破壊応力 (CFS) ^{脚注参照} の減少や増大と整合的に対応する事例を最近の活動に多く見出しました。この様にして非地震性のすべりの所在をつきとめることは、もしそれが比較的直前の前駆的すべりであれば、大地震の発生の確率予測の実効率を上げるのに役立ちそうです。

いったい、なぜ余震の経験則をもとに構成した統計的 ETAS モデルが必要なのでしょうか。それは余震を細かく予測する物理的モデルを構成するのが難しいためです。たとえば余震発生の連鎖性・集中性は断層内の破壊に伴う急激で局所的なストレス変化による誘発のためですが、目に見えない地殻内の余震の断層群がフラクタル的で複雑

なため膨大な数の小断層破壊の物理的記述は難しいのです。このような対象は、統計力学の様にマクロなアプローチをとる事が有効です。かくして、データに合わせた ETAS モデルによって余震誘発の効果を取り込んで、その領域に適合した地震活動を予測します。そして、この局所的な影響を取り外すことによって、たとえば領域外の断層中の前駆的なすべりが原因となる広域的なストレス変化を見易くするからです。

下図はその可能性の一例を示しています。2004年新潟県中越地震の断層すべりモデル(国土地理院)による、周辺部の地震の最頻断層角度のクーロン破壊ストレス (CFS) の変化量です。中越地震断層の中または深部で仮に前駆的にすべりが起きたとすると、断層の近地を除いてほぼ同様の CFS の変化パターンになります。ごく小さい変化ですが、これによって理論的に地震活動が抑制されるべき青色領域と促進されるべき赤色領域を示しています。これによって分けられた4つの領域 N, S, E, W について、それぞれの1997年10月以降の時期の地震データ (M ≥ 2.0) に ETAS モデルをあてはめました。全ての領域で、地震活動に変化があったとする場合の当てはまりが良く、E と W の領域では地震活動が予測されたものより静穏化を示し、S と N の領域では予測された地震活動より活発化しており、それぞれの領域での CFS の増・減のパターンと一致しています。

脚注。Coulomb Failure Stress = (せん断応力) + (摩擦係数) × (法線応力)。摩擦係数一定のもとで、断層面にかかるせん断応力と法線応力(断層から離れる方向に正)が増加すれば CFS は増加し、断層運動が促進もしくはトリガーされる。逆に CFS が減少すれば、断層運動が抑制される。

