

上部地殻中の脆性 塑性転移帯における変形過程・機構の再検討プロジェクト

A project to re-evaluate the deformation processes and mechanisms in the brittle-ductile transition zone of upper crust

竹下 徹 [1]; El-Fakharani Abdel-Hamid[2]; 森 政蔵 [3]

Toru Takeshita[1]; Abdel-Hamid El-Fakharani[2]; Seizo Mori[3]

[1] 北大・理・自然史科学; [2] 広大・理・地球; [3] 北大・理・自然史

[1] Dept. Natural History Sci., Hokkaido Univ.; [2] Earth system, Hiroshima Univ.; [3] Natural History Sciences, Hokkaido Univ.

日本列島で頻発する内陸地震については、上部地殻の流動が石英のそれに支配されるとした時の脆性 塑性転移点の深さが震源の下限を決めるとされ、概ね天然の事実と調和的であると信じられている。しかし一方で、実際に実験値を用いて計算された脆性 塑性転移点における差応力は大きくなりすぎるという問題点がある（例えば、間隙水圧が静水圧で逆断層を仮定した時のそれは、深さ 13 km で 480 MPa）。このような高い差応力は地球物理学的にも地質学的にも観測されていない。また、Beaumont et al. (2004, JGR) は、ヒマラヤの変成岩（中部地殻）の上昇について、脆性強度を実験値から推定されるものより 1/3 以下に下げないと、中部地殻の硬い上部地殻への突入（thrust extrusion）は起こらないとした。したがって、強度が最も高くなる脆性 塑性転移点の強度は、実験値を用いて推定される値よりも大幅に低い可能性がある。

これらの問題を考える上で、我々は 2 つの重要な発見を三波川変成岩の上昇テクトニクスの研究を通じて得た。1 つは、破壊強度そのものが Byerlee の法則から推定されたものよりも相当低いことを示唆する発見である。我々は最近、四国中央部三波川変成岩が、上昇時の D2 時相に著しい正断層活動を被っていることを発見した（Takeshita and Yagi, 2004, GS London, Special Pub.; El-Fakharani and Takeshita, in review）。これらの正断層は確かに脆性破壊によるが、その共役断層の剪断面角が 90 から 120 度に及びいわゆる低角正断層である。低角正断層は近年、変成コアコンプレックスの研究以来再び注目を集めているが（例えば Collettini et al., 2006, JSG）、その形成メカニズムおよび強度は今なお解明されていない（例えば Zheng et al., 2004, JSG）。さらに、断層面に沿う摩擦係数は、間隙流体圧、岩石の種類、断層表面の状態等に大きく左右される。特に、三波川変成岩中でも認められるが、断層破砕帯が蛇紋岩（あるいはそれが変成したアクチノライト岩）等の粘土鉱物で構成される場合は、摩擦係数が相当下がること推察される。また、我々は同様に D2 シェアバンドに沿って、緑泥石とフェンジャイトがすじの様に成長しているのを認めた。このような雲母・粘土鉱物の断層に沿う成長も摩擦係数を下げるだろう。

もう 1 つは、脆性 塑性転移点付近における圧力溶解 沈殿クリープ（or solution mass transfer, SMT）の重要性である。強度断面ではあたかも破壊強度がその部分の強度を示す様に描かれるが、実際は破壊が生じると応力降下が起こる。重要なことは、低応力状態で変形は SMT で進行することである。Gratier et al. (1999, JSG) や Gratier and Gueydan (2007, Tectonic Faults, MIT press) は、SMT は拡散距離に強く依存するため、クラック密度が高くなると SMT の速度が著しく速くなると結論した。したがって、破壊による強いダメージを受けた岩石では SMT が優勢になり、破壊強度を保持していない。実際、三波川変成帯産の石英片岩で、上昇時の D2 時相に脆性 塑性転移点の条件（約 $T=300$ °C）で SMT が著しく進行したと考えられる試料が発見された。これらの石英片岩中では D1 時相に形成された強いタイプ I クロスガードル c 軸ファブリックが SMT クリープによって弱くなっているか、場合によっては完全にランダムになっている。SMT が優勢に作用したことは、c 軸ファブリックが残されている試料では、再結晶石英中で転位クリープを示す波動消光や粒界移動による入り組んだ粒界組織が見られるが、ランダムな c 軸ファブリックを示す試料では、波動消光は見られず、正常粒成長を示す直線的な粒界が認められることでも示される。

以上、脆性 塑性転移点の変形機構と差応力の問題は古くから議論されて来たが、今なお十分解決されていない。この問題は、広く大陸のテクトニクス、特に内陸地震の準備過程とも関連する、レオロジー学における第 1 級の問題である。