

脆性 塑性転移帯に形成された断層を通過した大量の流体： 三波川変成岩を地殻上部に上昇させた正断層からの証拠

A large amount of fluid percolates along faults formed at brittle-ductile transition zones

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.

日本列島やカリフォルニア等の変動帯においては、内陸地震は 10-15 km の深度で最も頻発しており、それ以深では殆ど起こっていないことが知られている。上部地殻の流動が石英のそれに支配されるとした時、地温勾配の高い変動帯の脆性 塑性転移 (brittle-ductile transition, 以下 B-D 転移) 点の深さは 10-15 km (温度 300 °C) にあることが岩石の変形実験から予想される。したがって、内陸地震の震源の下限は予想される脆性 塑性転移点の深さと良く合っており、内陸地震は脆性領域の基底部 (この部分をここでは脆性 塑性転移帯と呼ぶ) で頻発していると推察される。

最近になって、B-D 転移帯における断層帯 (剪断帯) 形成および断層帯の軟化に興味が集まって来たが、いくつかの研究では“弱い”断層を直接高い間隙水圧と結び付けている (Faulkner et al., 2006, Nature)。実際近年、活断層下の内陸地震の震源近傍に大量の流体が存在していることが電気伝導度 (比抵抗) 等の観測から判明して来た。一方、これまで、上昇削はくされた地質時代の地殻深部の流体移動については多数研究が行われて来たが、B-D 転移点付近の断層帯について行われた研究はそれほど多くないかも知れない。

筆者らが研究している三波川変成岩の高変成度部は、30 km の深さで形成され、15 km 程度の深さにある B-D 転移点まで上昇して来る間に大歪の塑性変形を被った (D1 フェーズ)。しかし、最近我々は、三波川変成岩が B-D 転移点を越えて上昇して来る時、D2 フェーズ著しい正断層活動を被ったことを明らかにした (Takeshita and Yagi, 2004, GS London, Special Pub.; El-Fakharani and Takeshita, 2008, J. Asian Earth Sciences)。これらの正断層が B-D 転移点付近の条件で形成されたことは、正断層に伴う石英脈が微小破壊しているばかりでなく低温条件の塑性変形を被っていることや、しばしば断層岩を構成しているアクチノライト岩は鉱物組み合わせ (アクチノライト + タルク + 緑泥石) に基づき、かんらん岩が準緑色片岩相の条件で後退変成作用を被った結果形成されたものであることなどから判断される。

1つの重要な事実は、メソスコピックな正断層が多数発達している部分においては、高い密度で微小正断層 (シェアバンド) が発達している事実である。つまり、正断層群はかなり厚いダメージゾーンを伴っている。シェアバンドは、それに沿って新期のフェンジャイトや緑泥石が大量に成長しているほか、シェアバンドに沿って石英が細粒化しており全体としてある幅を持った微小剪断帯となっている。試料スケールで網目状にシェアバンドに沿ってフェンジャイトや緑泥石が流体から沈澱していることは、流体移動が浸透的であったことを示す。特に緑泥石は、化学式が $(\text{Mg, Fe})_{10}\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}(\text{OH})_{16} = 10(\text{Mg, Fe})\text{O} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ と表され、結晶構造中に 10-13 重量% の水を含む含水鉱物である。ダメージゾーンの塩基性片岩中にはアスペクト比が場合によっては 10 を越える緑泥石や石英から構成される歪プリンジが高い密度で発達しているほか、マトリックスを構成していた角閃石やエピドートが殆ど緑泥石に置換されている場合がある (緑泥石岩)。後者の岩石では、単純に考えて約 5% の水が岩石に添加したことになるが、もちろん岩石中を流れた流体量はこの量をはるかに越えると考えられる。また、緑泥石岩の形成の場合には、大量の Ca, Si が抜け、Fe, Mg が岩石に添加するというメタソマティズムを考える必要がある。

以上、B-D 転移点付近の断層帯では、浸透的な流体移動が生じており、その量が膨大である可能性がある。今後、流体移動と変形機構・過程の間連を解析し、流体移動が内陸地震発生にどのような意味を持っているのか解明する必要がある。