

岩石は変形の進行とともにどこまで軟らかくなれるのか? : 破壊—溶解反応—物質移動—沈殿クリープ
To what degree can rocks become weak during deformation?: Fracturing-dissolution-mass transfer-precipitation creep

竹下 徹^{1*}; 岡本 あゆみ¹
TAKESHITA, Toru^{1*}; OKAMOTO, Ayumi¹

¹ 北海道大学
¹ Hokkaido University

地震後に1000年に一度生じることが判明したM9クラスの地震である東日本太平洋沖地震が生じた結果、日本列島の地殻ダイナミクスについて新たな事実が明らかとなって来た。その一つは、地殻の差応力問題に重要な示唆がもたらされたことである。東日本太平洋沖地震後には、普段地震が生じない場所で、従来とは型の異なる地震が生じた。その典型例がいわき市付近で生じた正断層型の大地震（福島県浜通り地震）であるが、この地域では巨大地震前には弱い東西圧縮の場にあったが、地震後には東西伸張の応力場に変化した。Yoshida et al. (2012)らは東日本太平洋沖地震による応力変化を推定し、地震前後の応力場を説明する差応力の最適値を計算した。その結果、地震前後で地殻中の差応力値はともに1MPa程度であることが推定された。

本講演では、この極めて低い差応力値が妥当であるとした場合、日本列島の地殻ダイナミクスについて浮上する新たな問題点、および岩石はこのような極低応力で変形出来るのか議論する。もし地殻中の差応力値が1MPaであるとする、地殻岩石の弾性定数は 10^{11} Paであるので、東北日本地殻中で発生する弾性歪は 10^{-5} 程度である。一方、Sagiya et al. (2000)によるGPS測定により東北日本の歪速度は 10^{-7} /yr程度と求められているので、活断層の再来周期として1000-10000年を採用すると、地震間に活断層近辺で 10^{-4} - 10^{-3} の歪が生じていることになる。ここで、上記の弾性歪の値が妥当であると仮定すると、地震間の全歪の内、弾性歪の割合は1-10%にすぎず、全歪のほとんどは塑性歪として生じていることになる。したがって、岩石のレオロジーの問題として、岩石は1MPaの差応力のもとで、 10^{-7} /yr (10^{-15} /s)オーダーの歪速度を発生出来るほど十分軟らかいかが大きな問題として浮上する。

我々は、地殻上部の差応力を支配していると考えられる脆性塑性転移点付近の変形過程・機構を隆起・剝削により露出した天然の変形岩・断層岩中の微細構造解析を通じて研究している。脆性塑性転移点付近の岩石の変形挙動は、地殻の深いレベルで形成され、上昇してきた変成岩に良く見て取れる。なぜなら、変成岩は上昇過程で塑性領域から脆性領域へ脆性塑性転移点を通過して上昇するからである。例えば、白亜紀に形成された三波川変成岩の石英片岩では、岩石が脆性塑性転移点で変形したことが準脆性的な微小断層の形成として記録されている。ここでは、石英層は断層で切れているにも拘わらず、極微細な動的再結晶粒子が断層に沿って形成されており、変形が塑性変形の成分も持つことを示す。動的再結晶粒子間には微細な白雲母粒子も形成されていて、流体が断層に沿って浸透したことを示唆する。変形量が増加すると、断層密度が高くなるほか、微細粒動的再結晶石英粒子と白雲母粒子からなる微細せん断帯の幅が増加し、レンズ状に残される非変形部分の体積分率が減少していく。おそらく、せん断帯の部分では圧力溶解沈殿クリープが極めて低応力で生じており、非変形レンズ部に応力集中が生じて新たな微細断層が生じると推察される。微細せん断帯の体積分率の増加に伴って、岩石は一方的に歪軟化すると考えられる。

やはり、同様の白亜紀の高圧変成岩である北海道神居古潭変成岩の脆性塑性転移点付近の条件で変形した変砂岩試料中では、伸張割目が形成され、破砕片が隔離した石英碎屑粒子が観察される。破砕片間では、石英のファイバー状粒子の成長（沈殿）が空隙を埋めるために生じているが、これはあたかも破砕された石英粒子を修復する作用のように見える。一方で、石英粒子と白雲母粒子境界では、石英粒子側に湾入が見られ、顕著な石英の溶解が両粒子境界で生じている。さらに、白亜紀に脆性塑性転移点付近の条件で形成された中央構造線カクレーサイトでも、破砕片の間は流体から沈殿した鉱物で埋められている。また、破砕作用の程度の増加とともに、流体を介した著しい元素移動が生じていることが判明してきた。結局のところ、脆性塑性転移点付近の変形は破壊—反応—物質移動—沈殿により生じており、この変形様式により著しい強度低下が生じると予想される。

キーワード: 地殻上部の差応力, 歪軟化, 微小破壊, 溶解反応, 物質移動, 鉱物の沈殿

Keywords: differential stress in the upper part of crust, strain softening, micro-fracturing, dissolution, mass transfer, precipitation of minerals