

内陸地震震源域の条件（準緑色片岩相）における差応力値の見積もりと強度低下メカニズム

Paleostress estimate for the inland hypocentral regions at subgreenschist conditions and strain-softening mechanisms

竹下 徹[1], 西川 治[2], 安東 淳一[3], 金川 久一[4]

Toru Takeshita[1], Osamu Nishikawa[2], Jun-ichi Ando[3], Kyuichi Kanagawa[4]

[1] 広大・理・地球惑星システム, [2] 岡大固体地球, [3] 広大・理・地球惑星, [4] 千葉大・理・地球科学

[1] Dept. Earth and Planet. Sys. Sci., Hiroshima Univ, [2] ISEI, [3] Earth and Planetary Systems Sci., Hiroshima Univ.,

[4] Dept. Earth Sci., Chiba Univ.

日本やカリフォルニアなどの変動帯では、内陸地震が 10-15 km の深さで最も高い割合で生じている。変動帯域の地温勾配は 20-30 度/km であるので、地震が頻発する震源域の温度は、200-450 度の範囲にあると見積もられる。この 300 度前後の温度は、準緑色片岩相に相当し、また、天然の条件で、大陸地殻上部の主要構成鉱物である石英が、転位クリープによって塑性変形を開始する温度でもある。この大陸地殻上部の、脆性 塑性転移点におけるピークの差応力は、含水石英の流動構成方程式に基づき、また天然の歪速度を $10^{*-15}/s$ 仮定して算出すると約 2 kb となる。この差応力値は、地震時の応力降下から見積もられている差応力値（数百 bars）より有意に高い。さらに、剪断熱による地殻熱流量の異常が観測されないことに基づき、巨大地震断層であるサンアンドレアス断層について見積もられた剪断応力値（200 bars 以下）に比べて 1 桁高い。本研究で我々は、大陸地殻上部が、脆性 塑性転移点付近の条件で、果たしてどれだけの差応力を支えることができるのかを、天然の準緑色片岩相で変形した石英中の微細構造（転位密度および再結晶粒径）から見積もった。さらに、実際の地震断層では、どのような強度低下メカニズムが作用しているのかを考察した。

本研究では、2つの産地からの変形石英が解析された。1つは、高知県北部三波川帯 秩父北帯産の石英脈中のものである。この変形石英中の微細構造は、Nishikawa and Takeshita (1999, 2000)で詳しく述べたので、ここでは要点を述べる。変形石英中には、サブペーサル変形ラメラ、キंकバンドおよびヒールドマイクロクラックが顕著に発達している。キंकバンドには2つのタイプが認められる。タイプ I は、共役で幅の狭い（1.5-10 ミクロン）ものであり、石英の(0001)すべり面が、最大圧縮主応力軸と平行な方位でのみ形成されている。タイプ II は、単斜型で幅の広い（10-80 ミクロン）ものであり、(0001)面が最大主応力軸と斜めの方位を向く時に形成されている。TEM を用いて決定した変形石英中の転位密度は、 $1-2 \cdot 10^{*9} /cm^{*2}$ であった。興味深いことは、タイプ I キंकバンド中のみ、微細粒（平均粒径 1.3 ミクロン）の再結晶粒子が形成されていることである。もう1つの試料は、北海道日高主衝上断層沿いから得られたプロトマイロナイト中の変形石英である。本岩石は、黒雲母片麻岩を源岩とするが、斜長石中では白雲母（セリサイト）化が進行し、黒雲母は劈開に沿って緑泥石化している。変形石英中には、上記の試料と同様の微細構造が発達している。本試料中では、タイプ I キंकバンドの幅は、5-10 ミクロン、タイプ II のそれは、50-100 ミクロンであった。一方、変形石英中の転位密度は、 $0.6-3 \cdot 10^{*9} /cm^{*2}$ であった。また同様に、タイプ I キंकバンド内のみ、微細粒（平均粒径 1.0 ミクロン）の再結晶粒子が認められた。今回解析された、変形石英中の転位密度およびタイプ I キंकバンド中の再結晶粒径は、上記の2つの試料でほぼ等しい値を持ち、差応力計を適用すると、それぞれ 2 kb および 5 kb の値が得られた。

準緑色片岩相で変形した石英中の差応力（2-5 kb）は、実験の流動則から予想される脆性 塑性転移点の差応力値と良く合っていると見える。ここで注意すべきことは、タイプ I キंकバンドは、歪硬化によって(0001)すべりに不都合に向けた粒子中にも結晶内すべりが生じたことを示唆しており、その高い差応力値（5 kb）は歪硬化時のそれを示していると考えられることである（Nishikawa and Takeshita, 1999）。それでは、何故本来この様な、歪硬化を伴う様な高応力条件の震源域で、サンアンドレアス断層の様な地震断層には、大きな差応力が作用していないのであろうか。実は、準緑色片岩相の条件では、変形とともに水を介した著しい変質作用が生じており、粗粒の岩石は、雲母・粘土鉱物を大量に含む細粒岩石に転化させられている。岩石が細粒になると、変形機構は転位クリープから、粒界拡散クリープ（低温では圧力溶解 沈殿クリープ）に変化する。粒界拡散クリープはニュートン流体クリープであり、また、差応力が粒径の3乗に比例するので、粒径が1/10になると、定歪速度のもとでは、差応力は1/1000になる。従って、実際の震源域の岩石中では、ピークの差応力を被った後には、歪（時間）の経過とともに、変質作用による細粒化によって歪軟化が進行していると考えられる。このため、成熟した震源域では、低応力で変形が加速し、地震の発生に繋がっていると考えられる。