

剪断変形による低温域における石英単結晶のLPO発達

LPO development of single crystals of wet synthetic quartz sheared at low temperature

金子 英亮^{1*}, 武藤 潤¹, 長濱 裕幸¹KANEKO, Hideaki^{1*}, MUTO, Jun¹, NAGAHAMA, Hiroyuki¹¹ 東北大・理・地圏¹ Inst. Geol. Paleontol., Tohoku Univ.

剪断帯は岩石の変形の進行に伴うひずみ軟化によって発達し、そのメカニズムの一つに、結晶がより変化しやすいすべり系に向きを変える幾何学的軟化がある (Takeshita and Wenk, 1988 Tectonophysics)。幾何学的軟化は、格子定向配列 (Lattice Preferred Orientation: LPO) の発達を伴い起こり、LPO の発達は動的再結晶に密接に関わっている。

地殻を構成する主要構成鉱物である石英の動的再結晶機構は、温度の上昇とひずみ速度の低下に伴って regime1-3 に分けられる (Hirth and Tullis, 1992 JSG)。石英の c 軸 LPO は温度の上昇、ひずみの増加に伴って、クロスガードル LPO (basal<a>すべりが卓越) から Y 集中 LPO (prism<a>すべりが卓越) に変化する (Toy et al., 2008 JSG; Heilbronner and Tullis, 2006 JGR; Muto et al., 2011 JGR)。

Heilbronner and Tullis (2002 GSL Spec. Publ.) は Hirth and Tullis (1992) の regime1-3 の範囲で剪断変形を行い、各々の regime での LPO の変化を調べた。regime1 での c 軸 LPO は幅の広い非対称の一極集中を示し、わずかに剪断センスと逆に回転している。regime2 での c 軸 LPO は非対称の一極集中を示し、剪断センスと同じ方向に回転している。regime3 のうち、小歪での c 軸 LPO は剪断センスに沿って円周部に集中しており、大歪での c 軸 LPO は Y 軸への一極集中を示す。

Heilbronner and Tullis (2006) は、Regime 3 に相当する高温域での剪断変形実験から、動的再結晶させ、剪断ひずみの増加と再結晶度合いの増加に伴う c 軸 LPO の変化について調べた。c 軸 LPO は basal<a>すべりに対応する歪楕円の Z 軸集中から、prism<a>すべりに対応する Y 集中 LPO へと発達する。

Muto et al. (2011) は、動的再結晶による LPO の発達と、LPO の発達が石英の流動強度に与える影響を詳細に調べるために、含水量の高い人工石英単結晶を用いて剪断変形実験を行った。石英単結晶を用いることで異なる 3 つすべり系 (basal<a>, prism<a>, prism[c]) を任意で活動させることができ、ひずみ量の増加につれてすべり系の活動と動的再結晶の経過を評価した。石英の全てのすべり系において、中から高ひずみにおいて、いずれの方位でも完全に再結晶し、再結晶粒の c 軸 LPO は Y 集中 LPO を示した。この実験条件下では一番強度が弱いのは prism<a>すべり系である。Y 集中 LPO が幾何学的軟化をもたらすと結論づけた。

Heilbronner and Tullis. (2002, 2006) は天然の石英岩の変形で regime1-3 の各領域をカバーする変形実験を行い、Muto et al. (2011) は人工石英を用いて regime3 の領域に注目して変形実験を行なっている。多結晶体を用いた変形実験では再結晶のプロセスがわかりづらい。石英単結晶を用いることで実験開始時に試料の結晶方位を設定でき、開始時の方位と再結晶粒の方位の関係を詳細に決定できる。本研究ではこれまで行われておらず天然の緑色片岩相の変形岩に見られる歪結晶粒回転が優勢な再結晶機構条件において、人工石英単結晶を用いて、Griggs 試験機で剪断変形実験を行う。

実験は東北大学設置の Griggs 試験機を用い、封圧 1.5GPa, 温度 600~700℃, 剪断ひずみ速度 10-5/s の条件で定ひずみ速度実験を行なっている。試料は basal<a>, prism<a>, prism[c] を活動させるようにコアを抜き、1.5mm 厚にカットした石英単結晶を用いる。試料を主応力軸に対し 45° に切断したアルミナピストンに挟み、剪断変形させる。変形前に FTIR を用いて含水量を測定し、含水量は 400~1300ppm H/Si である。変形後の試料の XZ 面を薄片にして、微細構造観察と EBSD を用いた方位測定を行なう。basal<a>, prism<a>, prism[c] 試料のひずみ量を系統的に変化させた場合、ひずみの増加に伴ってどのように LPO が発達していくか調べる。

差応力 140MPa, 剪断歪 $\gamma \sim 0.7$ まで変形した初期方位 basal<a> 試料は、再結晶せず、非再結晶部の c 軸 LPO は、剪断センスと同じ方向に 35° 回転する。差応力 550MPa, $\gamma \sim 2.5$ まで変形した初期方位 basal<a> 試料は、 $\gamma \sim 1$ で降伏後も $\gamma \sim 2.5$ までひずみ硬化を示した。非再結晶部の c 軸 LPO は、剪断センスと同じ方向に Z 軸上から 90° 回転し、X 軸上まで円周部に分布している。これは、剪断に伴い結晶格子が 90 度回転することにより、basal<a> と直交する prism[c] にも剪断応力がかかり、ひずみ硬化したとすると調和的である。 $\gamma \sim 2.5$ まで変形した prism<a> 試料は $\gamma \sim 0.5$ で降伏後、歪硬化せず、差応力 300MPa で定常流動状態を示した。発表では prism[c] を含む 3 方位のひずみ量を系統的に変化させた場合、ひずみ量と強度、LPO の変化の関係を示す。