

動的再結晶における粒径変化と力学的挙動：理論と数値シミュレーション

Grain size evolution and mechanical behaviors of rocks during dynamic recrystallization: Theory and numerical simulation

清水 以知子[1]

Ichiko Shimizu[1]

[1] 東大・理・地質

[1] Geological Inst., Univ. Tokyo

鉱物の高温塑性変形と、これに伴う動的再結晶による粒径分布の変化を数値的に解析した。転位の集積による歪硬化と核生成・粒界移動による軟化をモデル化し、動的再結晶における粒径の変動を調べた。結晶粒径をクラス分けし、さらに各粒径クラスを成長しつつある「新しい」粒子群と、消滅しつつある「古い」粒子群に分け、各々の占める体積分率(または粒子数)と蓄積エネルギーの変化を追った。塑性変形-核生成-成長サイクルに対応して、流動応力の振動がみられた。

鉱物の高温塑性変形による再結晶粒径は、応力に強く依存することが実験的に知られている。Shimizu (1997, 1998) は、Avrami-type の核生成-成長理論を用いて、動的再結晶粒径分布が定常状態において、対数正規分布に近くなること、および平均粒径が応力・温度とユニバーサルな関係にあることを予測した。しかし、剪断帯やマントル対流過程における再結晶の影響を評価するためには、定常状態のみならず、遷移クリープ状態における再結晶組織の発達と力学的挙動を考えることが重要である。最近の方解石・マグネシウム合金についての実験データ、および天然の石英・オリビン・方解石の再結晶組織についてのいくつかのデータは、おおむね Avrami-type モデルの結果を支持している。しかしながら、実験および天然系での粒径分布における分散巾は、理論から予測されている巾より有為に大きい。その原因として、(1) 核生成サイトが空間的にランダムではなかった、(2) モデルでは歪硬化による粒界移動速度の時間変化が考慮されていない、などの原因が考えられる。そこで数値シミュレーションによって、転位の集積による歪硬化と核生成・粒界移動による軟化をモデル化し、動的再結晶における粒径の変動を調べた。粒子数変動をあつかうために、結晶粒径をクラス分けし、さらに各粒径クラスを成長しつつある「新しい」粒子群と、消滅しつつある「古い」粒子群に分け、各々の占める体積分率 w (または粒子数 n) と蓄積エネルギー E の変化を追った。塑性変形によって粒子内部に蓄積されるエネルギーは、自由転位エネルギーと亜粒界エネルギーの和で表わされる。前者は応力の2乗に、後者は応力に比例する。粒子内部の回復過程が進むにつれ、後者の比重が増大する。ここではパラメータ m を用いて、蓄積エネルギー E が、差応力の m 乗 ($m = 1 \sim 2$) に比例すると仮定する。亜結晶粒子回転による核生成の速度は、転位の上昇速度 u 、亜結晶粒径 d の3乗、自由転位密度 ρ に比例し、 u と d とはそれぞれ差応力の関数として表わされる。差応力、ひいては蓄積エネルギーが大きい粒子ほど、核生成速度が大きくなる。粒界移動速度は、隣り合う粒子の蓄積エネルギーの差を駆動力とする。それぞれの粒子クラスの接触面積は、ステレオロジカルな関係から導くことができる。粒界移動のあとは、転位により、結晶内部の転位密度はただちに平均化されると仮定する。予察的な結果から、塑性変形-核生成-成長サイクルに対応して、流動応力の振動がみられた。