

## 天然石英岩における転位クリープから圧力溶解 沈殿クリープへの転移の物理条件

### Physical conditions for transition from dislocation to dissolution-precipitation creep in natural quartzite

# 竹下 徹[1]

# Toru Takeshita[1]

[1] 広大・理・地球惑星システム

[1] Dept. Earth and Planet. Sys. Sci., Hiroshima Univ

天然石英岩における，粒径減少による転位クリープから圧力溶解 沈殿クリープへの転移の物理条件を，それぞれのクリープの構成方程式を用いて検討した．粒界拡散係数は，実際の高圧下では粒界が閉まるので，常圧下の実験値をそのまま適用することは出来ず，逆に天然では 300 oC の温度でクリープ機構転移が生じていることを拘束条件にして求めた．計算の結果，クリープ機構転移は，天然のありそうな歪速度では比較的高温下でも粒径 10-100 ミクロンの間で起こることが示された．したがって，岩石が變成反応や動的再結晶によって細粒化すれば，天然で比較的高温下でも圧力溶解 沈殿クリープが優勢になり，歪が集中することが予想される．

岩石流動（レオロジー）の構成方程式や微細構造（特に結晶格子選択配向）の形成機構を議論する際は，一般に一相の鉱物からなる多結晶（単相鉱物岩）を対象にする場合が多い．しかし，現実の地球内部は殆どが多相系の多結晶（多相系岩石）より構成されている．多相系岩石のレオロジーは未知の部分が多く，また，その変形微細構造も十分検討されていない．地殻内の多相系岩石は，石英や斜長石といった比較的流動変形しやすい（塑性強度の低い）鉱物の他に，塑性強度の高い鉱物（例えば雲母，角閃石）をかなりの割合で含んでいる．例えば，本論文で対象とする三波川変成帯のエピドート - 角閃岩も，造岩鉱物では最も硬い鉱物の部類に入るエピドートと角閃石を，体積分率にして合わせて 70%以上含んでいる．例えば，角閃石単結晶は，天然の条件では 900 oC 以上の温度でないと塑性変形しないが，本エピドート - 角閃岩は，400-500 oC の温度条件で，岩石全体としては著しく塑性変形している．本岩石が大歪を被っていることは，露頭で観察される閉じた褶曲や，構成鉱物であるエピドートや角閃石の強い格子選択配向の発達で示される．それでは，何故本来硬い多相系岩石が 顕著に流動出来るのであろうか．答えは，本岩石は転位クリープではなく，流体存在下で圧力溶解 沈殿クリープによって変形したからである．その事実は，モードで 10-20 %含まれている石英の格子選択配向がランダムなことによって証明される．

本論文では，天然石英岩の圧力溶解 沈殿クリープの物理条件および転位クリープへの転移の物理条件を見積もり，その見積もりが 天然多相系岩石の圧力溶解 沈殿クリープによる流動をうまく説明しうるかを考察する．また，細粒多相系岩石における歪の集中の可能性を検討する．圧力 溶解沈殿クリープの構成方程式は，コブルクリープ（粒界拡散クリープ）の形で表現される．

$$de/dt = (12Va \cdot d \cdot Db) / (R \cdot T \cdot h^3) \cdot s \quad (1)$$

ここで， $de/dt$ ， $s$  および  $T$  は，歪速度，差応力および絶対温度である． $d$ ， $Db$  および  $h$  は，粒子境界の幅，粒界拡散係数および粒径である． $Va$  および  $R$  は，活性化体積およびガス定数である．これらの変数の中で良くわかっていないのは，粒界拡散係数 ( $Db$ ) であるが，今，Nakashima et al. (1995) が常温・常圧で求めた値 ( $5 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$ ) を使って， $T=400 \text{ oC}$ ， $s=10 \text{ Mpa}$  における歪速度を計算すると， $10^{-8}/\text{s}$  となる．ここで用いた他のパラメーターの値は， $Va=10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$ ， $d=1 \text{ nm}$  および  $h=10^{-4} \text{ m}$  である．この歪速度の値は，三波川帯の上昇時変形で推定されている歪速度 ( $10^{-15}/\text{s}$ ) に比べて桁違いに高い．誤りが生じた理由は，実際の高圧下では粒子境界が閉まっており，粒界拡散係数は常圧のそれよりはるかに低いことによるためと考えられる．一方，天然の歪速度の条件 ( $10^{-15}/\text{s}$ ) では，石英岩中の転位クリープから，圧力溶解 沈殿クリープへの転移は，約 300 oC で生じることがわかっている．そこで逆に，この拘束条件を用いて，300 oC における粒界拡散係数を見積もった所， $2 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2/\text{s}$  と算出された．この仮想的な粒界拡散係数の値を用いて， $T=400 \text{ oC}$  において，歪速度= $10^{-13} - 10^{-16}/\text{s}$  の時の，圧力溶解 沈殿クリープの差応力を粒径 ( $h$ ) の関数として計算した．一方，石英岩の転位クリープは  $s = (de/dt / A_0) \cdot \exp(E/nRT)$  の形で表され，物性定数 ( $A_0$ ， $E$  および  $n$ ) の値は良くわかっている．石英岩の転位クリープについても，歪速度= $10^{-13} - 10^{-16}/\text{s}$  の時の差応力を計算した．なお，転位クリープの差応力は粒径に依存しない．この2つのクリープの計算結果より，粒径減少による転位クリープから圧力溶解 沈殿クリープへの転移の時の粒径は，歪速度= $10^{-13}$ ， $10^{-14}$ ， $10^{-15}$  および  $10^{-16}/\text{s}$  の時，それぞれ 28，45，72 および 117 ミクロンと算出された．

高圧下における粒界拡散係数を仮定し，天然でありそうな歪速度に対して求められたクリープ機構転移の粒径は，10-100 ミクロンの狭い範囲に収まっているが，これらの粒径は天然で普通に観察される粒径である．したがって，變成反応（結晶核形成）や動的再結晶によって，変形岩石の細粒化が起これば，天然の条件で比較的高温

下でも、転位クリープから圧力溶解 沈殿クリープへの転移は十分起こりえると考えられる。さらに、このクリープ機構転移により、岩石の塑性強度が著しく低下し、歪が圧力溶解 沈殿クリープにより集中することは、十分ありそうなことであると結論される。