

## 論文審査の結果の要旨

### Quantitative examinations of mass transfer by pressure solution and fluid flow in natural deformation zones

(圧力溶解・流体流入による変形帯物質移動の定量的考察)

川端訓代

本論文は4章からなる。

第1章はイントロダクションで、本論文の学問的位置づけが述べられている。流体を介した岩石の物質移動については多くの研究がなされてきたが、複雑な重複変形により変形と物質移動の関係が明瞭に示された例は少ない。本研究では単純な重複変形がほとんど確認されない変形帯の解析対象としてマイロナイト剪断帯と付加体変形帯に着目した。マイロナイト剪断帯では多量の流体流入による岩石-流体反応、付加体岩石では圧力溶解機構による岩石-流体反応による物質移動について調査を行った。両者の物質移動の定量化を行うと共に、物質移動の進行における天然の変形帯での不均質化過程の解明を試みた。

第2章では流体流入によるマイロナイト剪断帯の物質移動について述べられている。マイロナイト周辺に分布する断層岩の詳細な観察、分析から断層岩の発達過程を考察し、各断層岩の化学組成変化、鉱物組成変化、質量変化を定量的に明らかにした。また石英の溶解-沈殿反応の反応速度論を導入して断層の凝着時間を推定する方法を提案した。

重複変形の少ない剪断帯として領家古期花崗岩中に発達する小剪断帯を用いて解析を行った。露頭観察の結果、領家帯に発達するマイロナイト帯中に大規模な石英脈が観察され、多量の流体が剪断帯に流入したことが示された。また断層帯に沿ってプロトマイロナイトからウルトラマイロナイトまでマイロナイト化の程度が異なる断層岩が不均質に分布していることが示された。鉱物間の挙動の違いから剪断帯が脆性-塑性遷移領域で、 $250^{\circ}\text{C}$ ~ $400^{\circ}\text{C}$ の温度領域で変形したと考えられる。各マイロナイトは断層帯近傍のみで著しく質量が減少していることが明らかとなり、それらの質量減少は石英の増減トレンドと一致していた。変形時の応力場と質量変化の比較から、引張場で著しい質量損失が見られ、応力場と質量損失が関係する可能性が示唆された。一連の結果から変形の初期段階では断層近傍のみ不均質化が促進され、その不均質は鉱物種の違いでなく石英-流体反応による石英量変化によって生じていることが明らかとなった。流体の流入量は変形時の応力場によって変化し、溶解量もその量に応じて変化している可能性が考えられる。

石英脈中に含まれる全石英モル量を推定することにより、クラックの凝着時間の検討を試みた。単純な閉鎖系を仮定し、石英の溶解・沈殿反応速度論をもとにパラメータスタディを行い、凝着時間に与える影響を検討したところ、表面積/体積比と冷却速度が最も影響

を与えることが明らかとなった。最も早く沈殿する場合で、 $10^4$ ~ $10^5$  年の時間がクラックの凝着に必要であるとする結果を得た。

第3章では圧力溶解機構による物質移動を天然の岩石から定量化している。本研究により、初めて天然の岩石で圧力溶解変形の程度を定量化する方法が検討され、その発達度を用いて天然における圧力溶解の温度依存性を検討し、また律速過程を推定している。

四国東部の徳島県牟岐町から高知県室戸岬までの海岸線に露出する黒色頁岩を採取し、それぞれのサンプルを変形構造によって coherent type、type I mélange、type II mélange と分類した。微細構造観察から coherent type では圧密によって圧力溶解シーム (pressure solution seams: PSS) が発達しており、type II mélange では剪断変形によって PSS が発達している。Type I mélange では PSS は殆ど観察されない。PSS 内の化学組成分析の結果、PSS には難溶性元素である Ti が濃集しており、PSS が溶解時の残留物であることが示された。また PSS は全岩化学組成分析で得られた  $TiO_2$  濃度と正の相関を示し、 $SiO_2$  濃度と負の相関を示した。これらの相関は PSS の増加は溶解物質 ( $SiO_2$ ) の減少と溶解残留物 ( $TiO_2$ ) の増加を伴う事を意味しており、PSS の量が圧力溶解変形と関連し、変形発達度の指標となり得ることを示している。

これまでに室内実験から圧力溶解変形の歪速度に温度依存性があることが知られている。そこで PSS の温度依存性について検討したところ、古地温と PSS density の相関から四万十帯の圧力溶解変形が温度に依存して発達したことが示唆された。天然の岩石において圧力溶解変形の温度依存性が確認されたのは本研究が初めてである。この温度依存性から PSS 発達の活性化エネルギーを求めることができた。室内実験によって求められた活性化エネルギーとの比較から変形、物質移動が進行する時の律速過程を推定する事ができ、type II mélange、coherent type とも拡散律速である可能性が高いと考えられる。拡散によって律速されている場合は、PSS の発達する粒界であると考えられる。

第4章では、第2章と第3章で得られた結果と議論についてまとめている。

なお、本論文第3章の前半は木村学、田中秀実との共著論文として既に出版されており、第3章の後半は田中秀実との共著論文として投稿の予定であるが、いずれも論文提出者の寄与が十分であると判断できる。

本研究は、天然試料を丹念に観察することにより、化学反応速度と熱力学的な考察を行い、圧力溶解・流体流入による変形帯物質移動を定量的に議論することが可能であることを示した挑戦的な研究で、そのオリジナリティを審査委員会一同で高く評価した。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。