

氏名(本籍)	お <small>ざわ</small> か <small>な</small> 佳奈(埼玉県)			
学位の種類	博士(理学)			
学位記番号	博甲第6277号			
学位授与年月日	平成24年4月30日			
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当			
審査研究科	生命環境科学研究科			
学位論文題目	<b>Amorphization and Characteristics of Shapes of Comminuted Particles Formed in Comminution Process that Accompanied Fault Movement : An Approach by Comminution Experiments</b> (断層運動に伴う粉碎過程で生成する粉碎粒子のアモルファス化と形状特徴：粉碎実験によるアプローチ)			
主査	査	筑波大学教授	理学博士	木股三善
副査	査	筑波大学教授	理学博士	荒川洋二
副査	査	筑波大学准教授	博士(理学)	八木勇治
副査	査	筑波大学准教授	博士(理学)	氏家恒太郎
副査	査	筑波大学講師	理学博士	滝沢茂

### 論文の内容の要旨

地震断層を含む断層運動は弾性歪みエネルギーの解放現象である。このエネルギーの散逸機構として熱エネルギー、破壊エネルギー、弾性波動エネルギーが定説である。しかし、近年の巨大地震で生成された断層ガウジの表面エネルギー量や、脆性実験で生成された粉碎粒子の表面エネルギー量は、破壊エネルギー量に比較して極めて小さく、破壊エネルギーの全容を把握するに至らず、いまだ想定外とも言える散逸機構があると指摘されている。本論文は、破壊エネルギーの散逸機構を解明するために、断層岩の組織や粉碎粒子をナノ次元まで記載・解析をすると共に、粉碎実験による断層ガウジの再現を検証も遂行して、想定外のエネルギー散逸機構を指摘した研究である。

研究対象の断層岩は、長野県下に発達する大きな活断層の1つの飯田—松川断層に多産する粉碎起源のシュードタキライトで、シュードタキライトは“地震の化石”と呼ばれている。当該のシュードタキライトは主にサブミクロンサイズの粒子から構成されているため、この断層岩の組織や粉碎粒子の研究は、高分解能電子顕微鏡を用いて粒子形状を観察し、さらに分析電子顕微鏡や粉末X線解析(XRD)を使用して元素分析や結晶化度の解析を行った。その結果、このシュードタキライトは花崗岩を原岩とすること、さらにその花崗岩を構成した黒雲母が溶融形状を示すことなく、サブミクロン次元で非晶質化したことが観察された。この非晶質化した粒子は多角形状と細長い形状の2種類で特徴づけられることも明らかにされた。シュードタキライトに関するこれらの新知見は国内外を通じて初めての報告である。

上述した新知見が断層運動で生成されたか否を検証する目的で、自動乳鉢による黒雲母の摩砕実験(乾燥、室温条件下)を行った。その結果、黒雲母は加えた機械的エネルギーの増加に伴い非晶質化度を増加させてアモルファスに至ることを、XRD分析およびTEMによる電子線回折で検証した。しかし、この摩砕実験では天然の断層岩に産出するアモルファス化した粒子の形状とは異なるために、さらに断層の1方向運動の特

徴を反映したすべり運動の実験を行った。実験条件は乾燥、室温条件下で高速すべり (> 10mm/s) と低速すべり (10mm/30min) で変位量は 10mm である。その結果、サブミクロンサイズにおける粉碎粒子の形状は、高速すべりでは細長い形状を呈し、低速すべりでは丸みをおびた形状から多角形状を呈した粉碎粒子を生成することが明白になった。また、粒子形状が異なっても 100nm 以下の粉碎粒子は非晶質化していることも判明した。更に、石英粒子や花崗岩を用いたすべり実験 (変位量が 5cm、他の条件は黒雲母のすべり実験と同じ) でも、黒雲母のすべり実験と同様な粉碎粒子形状を呈することが明らかにされた。

上記の粉碎実験の成果を基にして、当該のシュードタキライト脈に発達するせん断面を次のように解析された。同脈の一般走行にほぼ平行に発達する Y シアーの面上には、細長いサブミクロンサイズの粉碎粒子が集合していることから、この Y シアーは高速すべり条件下で形成された。また Y シアーに低角度で斜行する R シアーの面上には、丸みを帯びたサブミクロン粒子が集合していることから、この R シアーは低速すべり条件下で形成された。よって、この飯田—松川断層中に産出するシュードタキライトは地震性断層すべりで粉碎起源により生成されたことが証明された。また地震性断層すべりは速度が変化すると指摘と調和することも解明された。非晶質化した黒雲母の成因については、機械的エネルギーを加えると非晶質化することが実験で検証されたことに基づき、当該の非晶質化した黒雲母は、断層運動に伴う脆性破壊—すべり運動過程で機械的エネルギーにより、熔融することなく非晶質化するメカノケミカル効果を受けたと推定した。この新知見は、断層運動に伴う破壊エネルギーの散逸機構として、粉碎物質の非晶質化に破壊エネルギーが変換されているとして、新たなエネルギー散逸機構を提案した。

## 審査の結果の要旨

本研究は、地震断層によって生成されたとされるシュードタキライトの起源を、その観察と再現実験から、岩石及び鉱物次元で解析した研究である。その起源の花崗岩を構成した黒雲母は溶融形状を示すことなく、サブミクロン次元で非晶質化したことが解析され、しかもその形状に 2 種類あることが観察された。その黒雲母の形状は、再現実験から、地震時に発生するせん断すべりの発生速度に由来することが立証され、シュードタキライトの生成機構の解明に大きく貢献した。特に脆性破壊時の破壊エネルギー (ブレイクダウン エネルギー) の散逸機構として、粉碎粒子の非晶質化に破壊エネルギーが消費されていることを初めて明らかにした画期的な研究で、国際的な評価がなされた学術誌に公表された。

当該の博士論文は、造岩鉱物の破壊過程から天然の断層運動に伴う破壊エネルギー散逸機構を解明するための新たな道標を示したもので、地球物質科学における重要な研究成果である。

平成 24 年 2 月 27 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士 (理学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。