

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540485

研究課題名(和文)断層内の微細粒子の成因と地震学的意義

研究課題名(英文)Formation of nano-particles in fault zones and its significance in seismogenesis

研究代表者

藤本 光一郎 (FUJIMOTO, KOICHIRO)

東京学芸大学・教育学部・准教授

研究者番号：80181395

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：変形や変質の集中する断層コアに存在する微細粒子は断層の力学的挙動に大きく影響を与えている。本研究は断層物質の解析と粘土鉱物の粉碎実験の両面から微細粒子の性質の解明を進めた。天然断層物質の解析から粉碎の指標として粒径分布のフラクタル次元の有効性が確認されたほか、中央構造線では低温で形成された変質帯ほど断層コアに向かって分布が狭くなっていくことがわかった。粉碎実験では主として水の有無による違いを調べ、層間水を有するモンモリロナイトについて塑性限界を超える水を含むと粉碎や非晶質化が進みにくいことがわかった。また鉱物粒子の形状などは実験と天然の断層が似ていることも確認された。

研究成果の概要(英文)：Displacement and alteration are highly concentrated within fault core. Nano-particles in the fault core play important roles in fault activity. This study aims at characterization of the nano-particles in the fault core both from analysis of natural fault materials and pulverization experiments. Analysis on grain size distributions revealed that the fractal dimension is potentially a good indicator of degree of pulverization. Mineral analysis through the MTL fault zone revealed that the hydrothermally altered zone along MTL becomes narrower with decreasing temperature probably resulting from cooling of the granitic body and regional uplift. As for the pulverization experiments using planetary ball mill, water inhibits both pulverization and amorphization. In particular, montmorillonite, which has interlayer water, are not pulverized effectively in wet conditions. The shape and size of the grains are similar between field samples and run products.

研究分野：地質学

キーワード：断層物質 地震 粘土鉱物 粉碎 非晶質化 水

1. 研究開始当初の背景

断層の変形は多くの場合断層コアと呼ばれる破碎帯の中の限られた領域に集中する。そこにはミクロン～サブミクロンスケールの微細粒子を主体とする断層ガウジあるいはウルトラカタクレースイトと呼ばれる断層岩が分布している。これらには母岩の機械的な粉碎物に加え、熱水変質によって生じた粘土鉱物などの変質鉱物、摩擦発熱やメカノケミカルプロセスなどで形成される非晶質物質などが含まれる。

断層コアの物質や物性は、断層のすべり特性や弱化プロセスなどに大きな影響を与えている。また、地震発生時には、地震動としての放射エネルギーに加え、岩石の破壊エネルギー、摩擦発熱による熱エネルギーなどが放出されるが、それらの定量的評価は地震学的にも大きな課題となっている。破壊のエネルギーは断層岩の粒径分布など破碎の解析から、また熱エネルギーは摩擦発熱で溶融したメルトの痕跡や流体包有物や炭質物など断層内に含まれる物質解析から直接的な評価が行われており、断層物質の解析は極めて重要である。

しかしながら、このような断層コアを構成する物質、とりわけ微細粒子について系統的に研究した例は十分とは言えない。また、エネルギーを評価するための基礎となるデータも十分に揃っていない。

2. 研究の目的

申請者は今まで野島断層など大地震を起こした活断層のほか、かつての震源域が隆起して露出している畑川破碎帯などの解析を進め、それぞれの断層岩の特徴や断層帯の発達過程などを明らかにしてきた。

本研究はそれらの成果に基づき、断層コアの構成物質、とりわけ微細な粒子について、化学組成や鉱物種、粒度などについて系統的に解析するとともに、エネルギー評価のための粉碎実験や加熱実験を併せて実施し、両者を統合して断層内の微細粒子の成因とその地震学的な意義を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は天然の断層物質の解析と実験および、それらの統合の3つの部分からなる。天然の断層物質の解析によって断層内微細粒子の特性を明らかにし、実験によって生成環境や条件を見積もる。両者を結び付けて微細粒子の成因を明らかにするとともに、地震学的意義を考察する。それぞれの目標を以下に記す。

(1)天然の断層物質の解析

破碎帯の構造や断層岩の性質のわかっている断層を対象として以下の事項を明らかにする。

微細粒子の鉱物種(非晶質物質も含む)や粒径、熱的性質などを中心にその産状と特性

を記載し、最高到達温度や変質作用の温度などの熱履歴、熱水との相互作用などを明らかにする。

粒径分布や鉱物種から断層形成に要する破壊エネルギーを見積もる。

(2)実験

断層コアではメカノケミカル反応や熱水変質が進行して層状ケイ酸塩鉱物が多く分布する。本研究ではすべり特性にとっても重要な層状ケイ酸塩鉱物に着目して以下の実験を行う。

粉碎、加熱実験などを通じて、非晶質化の条件や活性化エネルギーを見積もる。

組織観察、ポジトロニウムを用いるナノ空孔解析、X線粉末回折、熱分析、赤外分光などの手法を併用して非晶質化の速度やメカニズムを評価する。

(3)統合

天然と実験生成物の粒径分布や産状を比較検討し、天然の断層内微細粒子の生成条件と成因を解明する。

4. 研究成果

研究方法に即して研究結果について述べる。

(1)天然の断層物質の解析

兵庫県の野島断層：粒度解析を系統的に実施し、破碎が十分進んでいるとされるフラクタル次元が2以上を示す深度は、岩相の記載から破碎帯と認定した深度とよく一致した。また、破碎エネルギーとフラクタル次元の間には強い相関が見られ、地震活動の累積に伴いフラクタル次元もべき乗則に従って増加する可能性が示唆された。

三重県の中央構造線：詳細な記載がされていない三峰山南方の断層露頭を調査し、下盤の三波川変成岩と上盤の領家帯との物質境界に固結したウルトラカタクレースイト帯を確認する一方、より下盤側強く破碎した断層ガウジ帯を確認した。また、上盤側の領家帯では厚さが1-2mの粘土化が著しいカタクレースイト帯が認められた。これは飯高赤穂の中央構造線を貫く坑井と似た特徴である。特に下盤のガウジからはスメクタイト系の粘土鉱物が見られ後のステージまで活動が及んでいたことが明らかになった。

(2)実験

粘土鉱物の加熱による非晶質化・結晶化
加熱によってカオリナイトは470 から1000 の間で80分から2分以内で非晶質化した。また、サポナイトの非晶質化にはそれより長い時間が必要であった。カオリナイトの非晶質化の活性化エネルギーは、98kJ/mol となった。また、非晶質化したカオリナイトを熱水条件で結晶化させたところ、活性化エネルギーとして91.3kJ/mol が得られ、非晶質化の活性化エネルギーや溶液中への溶解と同じ程度の値となった。また、これを天然

にあてはめるならば、地表条件では非晶質化したカオリナイトが結晶化するのにはほぼ3000年を要することになる。これは陸域の断層の再来周期と同程度であり、場合によってはカオリンの有無が陸域活断層の活動性の指標として使える可能性を示唆するものである。

粉碎実験による細粒化・非晶質化

遊星型ボールミルで様々な粘土鉱物を粉碎したが、カオリナイトはおよそ180分、サポナイトは540分でほぼ完全にピークが消え非晶質化した。粉碎容器内で発生する衝突エネルギーは近似的には5.3J/sと見積もられ、それがすべて非晶質化に用いられるとすれば、試料1kgの非晶質化に必要なエネルギーはカオリナイトは9550kJ/kg、サポナイトは28700kJ/kgと見積もられ、サポナイトの方がカオリナイトよりも非晶質化されにくいことが分かった。

上記の実験は無水条件で行ったが、水を加えた実験では非晶質化の進行が抑えられることが分かった。ただモンモリロナイトを用いた場合、含水比が25%までは非晶質化した。それ以上になると粉碎も進まず非晶質化されないことが分かった。海溝型の地震などモンモリロナイトを含む断層ガウジの摩擦特性を考える際には、含水比がかなり重要であると推定される。

粉碎による非晶質化メカニズム

粉碎したサポナイトを様々な手法で解析した結果、粉碎過程で層状構造が垂直方向に細断化されるとともに、内部の8面体シートのせん断剥離のプロセスが同時進行して非晶質化が進行していくことが示唆された。

(3)統合

実験後の粉碎粘土と天然の断層ガウジ中の粘土鉱物を電子顕微鏡観察したところ、比較的似たような粒子形状を示すことがわかった。六甲断層のような地表で活動した断層ガウジは、水を含む粘土の変形後と、中央構造線のようなかなり地下深部で活動したガウジは無水条件の変形後の粒子形態と似ていたことは非常に興味深い。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計13件)

Kiminori Sato, Kazuomi Numata, and Koichiro Fujimoto, Reduction of Local Stress Concentration on Nanosheet in Layered Nanoparticles with Water Molecules, *International Journal of Nanoscience*, 14, 2015, 1-4, DOI: 10.1142/S0219581X14600199

Kazuomi Numata, Kiminori Sato, Koichiro Fujimoto, Study of self-assembly for

mechanochemically-milled saponite nanoparticles, *JJAP Conference Proceedings*, 2, 2014, 1-7, DOI: 10.7567/JJAPCP.2.011203

沼田和臣, 佐藤公法, 藤本光一郎, 藤原一彦, サポナイトナノ粒子の破壊メカニズムに関する研究, *RADIOISOTOPES*, 63, 2014, 389-397 <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/radioisotopes/-char/ja/> DOI:10.3769/radioisotopes.63.389

越智翔士, 藤本光一郎, フラクタル次元を用いた断層破碎帯の破碎の程度の定量的評価, *東京学芸大学紀要 自然科学系*, 66, 2014, 61-74 <http://hdl.handle.net/2309/136933>

越智翔士, 藤本光一郎, 断層破碎帯の破碎の進行のシミュレーション, *東京学芸大学紀要 自然科学系*, 66, 2014, 75-79 <http://hdl.handle.net/2309/136937>

Rina Fukuchi, Koichiro Fujimoto, Jun Kameda, Mari Hamahashi, Asuka Yamaguchi, Gaku Kimura, Yohei Hamada, Yoshitaka Hashimoto, Yujin Kitamura and Saneatsu Saito, Changes in illite crystallinity within an ancient tectonic boundary thrust caused by thermal, mechanical, and hydrothermal effects: an example from the Nobeoka Thrust, southwest Japan, *Earth, Planets and Space*, 66, 2014, 1-12, DOI: 10.1186/1880-5981-66-116

K. Sato, K. Numata, and K. Fujimoto, Self-assembly of saponite nanoparticles originated from nano-layered structure, *MATEC Web of Conferences*, 5, 2013, 020021-020023 <http://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2013/03/contents/contents.html> DOI: 10.1051/mateconf/20130502002

Sato, K., Fujimoto, K., Kawamura, K., W. Dai and M. Hunger, Rheological mechanism of long-term self-assembly in saponite nanoparticles, *Journal of Physical Chemistry C*, 116, 2012, 22954-22959 DOI: 10.1021/jp307358d

[学会発表](計8件)

藤本光一郎, 田中伸明, 重松紀生, 村上貴教, 阿部多門, 紀伊半島東部の中央構造線の上盤と下盤の構成鉱物の比較, *日本地質学会大121年学術大会*, 2014年09月13日~2014年09月15日, 鹿児島市鹿児島大学

藤本光一郎, 福地 里菜, 粘土鉱物の湿式

および乾式粉碎による非晶質化，日本地球惑星科学連合 2014 年連合大会，2014 年 04 月 28 日～2014 年 05 月 02 日，横浜市パシフィコ横浜

越智翔士，藤本光一郎，フラクタル次元を用いた断層破碎帯の破碎の程度の定量的評価，日本地質学会第 120 年学術大会，2013 年 09 月 14 日～2013 年 09 月 16 日，仙台市東北大学

藤本光一郎，福地里菜，粘土鉱物のメカノケミカルな挙動，日本鉱物科学会 2013 年年会 2013 年 09 月 11 日～2013 年 09 月 13 日，つくば市筑波大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 光一郎 (FUJIMOTO Koichiro)

東京学芸大学・教育学部・准教授

研究者番号：80181395