

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23540527

研究課題名(和文)断層岩・マイロナイト形成のエネルギー - 地質学・物質地震学の新展開 -

研究課題名(英文)Formation energy of Fault rock and Mylonite, - evolution of geology and material seismology.

研究代表者

滝沢 茂 (TAKIZAWA, Shigeru)

筑波大学・生命環境系・講師

研究者番号：80114099

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：天然産の変斑レイ岩を使用して2軸摩擦すべり実験で生成された粉碎粒子の表面積と粉碎に要した仕事量の関係を明らかにして、天然の断層運動で生成された粉碎粒子の表面積から粉碎に要した仕事量の大小関係を推定する試みを行った。

摩擦すべり実験で生成された粉碎粒子の表面積と摩擦すべりを生じさせた仕事量の間には直線近似の相関があることが明らかになった。また粉碎粒子の重量が増加すると粉碎粒子の比表面積は減少することも明らかになった。また、本実験での変位速度が0.01mm/sと遅くとも、粉碎粒子が溶融することが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：We performed biaxial friction sliding tests to determine the relationship between the specific surface area of comminuted particles of metagabbro and the work energy applied to produce them. At a constant specific surface area of the particles decreased. The amount of work required to generate the comminuted particles was strongly positively correlated with their surface area. The comminuted particles melted at a low loading rate of 0.01 mm/s.

研究分野：構造地質学

キーワード：まさつすべり実験 粉碎粒子 粉碎粒子表面積 仕事量

1. 研究開始当初の背景

近年、世界各地で発生している巨大地震の破壊エネルギーに関する研究が進展した結果、従来のエネルギー散逸機構では説明できない散逸機構が存在していることが指摘され出した (Tanaka et al., 2006, 2007)。他方、破壊エネルギーの散逸機構として、粉碎粒子形成の表面エネルギー、摩擦エネルギー、弾性波動エネルギーで消費される他に、粉碎粒子の非晶質化、即ち非弾性変形エネルギーとして消費されることが古くから指摘されてきた (Paterson, 1978)。近年、滝沢・小澤 (2006) は日本列島を東西に分断する第1級の活断層である糸魚川 静岡構造線の断層ガウジから非晶質物質層を発見して、この非晶質物は断層運動で生成されたと推定した。

また当該の研究課題の研究代表者である滝沢は採択された基盤 A (平成 20 年 ~ 平成 22 年の期間) の研究課題で、断層運動で消費された非弾性変形エネルギーの実測を試みて、石英の粉碎粒子内で消費された非弾性変形エネルギーの測定に成功をしている。以上期記述した新知見は、弾性歪みエネルギーの解放で地震断層現象が発生し、従来のエネルギー散逸機構の理解では説明が出来ないことが明白となってきた。この事は地震断層のエネルギー解放機構の正確な把握に止まらず、地震断層の防災知識にも大きく貢献すると考えられる。

2. 研究の目的

地殻に生じた弾性歪みエネルギーの急激な解放現象として断層運動がある。この断層運動時に発生するエネルギー散逸機構の再構築を最終目的にして、以下に述べる研究を解明することを目的とする。

3. 研究の方法

当該の研究目的を遂行するために (1) から (5) の研究方法を用いたい。

(1) 岩石を用いた摩擦すべり実験

研磨した2つの面を重ねて、荷重状態ですべらせる。  
研磨した2つの面の間に粉碎粒子を挟み、荷重をかけた状態ですべらせる。

(2) 断層運動を推定した鉱物・岩石の圧縮破壊実験

(3) 天然の断層岩を構成するガウジの表面積や結晶化度 (非晶質化) の定量解析の為に、以下に述べる研究手法を用いた。

(4) 2種類の破壊実験で生成された粉碎粒子の表面積と粉碎に要した仕事量の関係を明らかにする。粉碎粒子の非晶質化 (非弾性エネルギー消費) を粉末 X-ray

解析装置、TEM 電子回折像でチェックした後に、マイクロカロリーメーターを使用して、粉碎粒子の溶解熱 (粉碎粒子内で消費された非弾性変形エネルギー) を測定する。

(5) 地震断層を想定した粉碎粒子生成実験で得た結果に基づき断層運動で消費された歪みエネルギー散逸機構、特に粉碎粒子形成の表面エネルギーや非弾性変形エネルギーの定量的な解明をする。

尚、実験に使用した試料は石英の単結晶、花崗岩、変ハンレイ岩である。

4. 研究成果

前述した研究方法には、ガス吸着装置による粉碎粒子の表面積測定、更にマイクロカロリーメーターを用いて、粉碎粒子内で消費された非弾性変形エネルギーの実測という、従来地球科学分野では皆無であった分析装置を導入して、地震断層運動を想定した実験で生成された粉碎粒子形成の表面エネルギー量や造岩鉱物の結晶の塑性変形 (非弾性変形エネルギー) エネルギーが実測された。以下に述べる研究成果はほぼ国内外を通じて初めての成果報告である。

(1) 軸破壊、摩擦すべりで生成された粉碎粒子の表面積と仕事量の間には、直線近似の関係があり (図 1)、粉碎粒子の表面エネルギーは仕事量に直線近似の勾配を掛けた値で表せる。変ハンレイ岩の研磨面を重ね合わせて荷重を加え、摩擦すべりで生成された粉碎粒子の表面積と変ハンレイ岩を研磨面にした面に変ハンレイ岩の粉碎粒子を挟み、摩擦すべりをさせて得た粉碎粒の表面積と仕事量の関係をグラフにしたのが図 2 である。両者の荷重条件、変位速度、摩擦すべり面上の条件はかなり異なるが、仕事量と表面積はほぼ直線近似しており、明らかに表面エネルギーは仕事量の何割に比例していることが明になった。

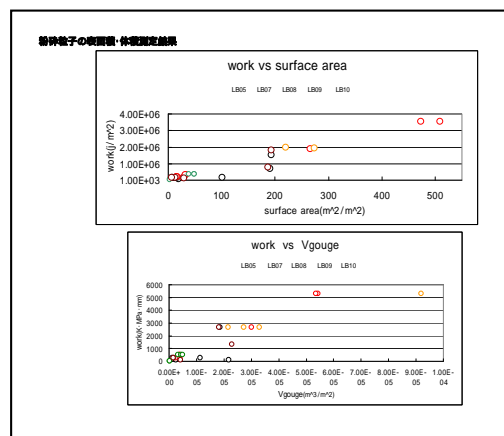


図 1 仕事量と粉碎粒子の表面積 (m<sup>2</sup>/g)

(上のグラフ)の関係、と仕事量とガウジ重量の関係(下のグラフ)。上と下のグラフ共に正の相関を示す。

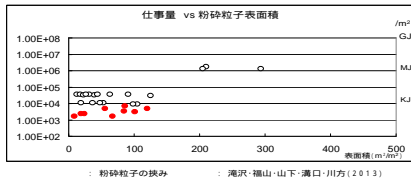


図2 変ハレ岩の粉碎粒を同岩石の研磨面に挟み、摩擦すべりを実施。仕事量と粉碎粒子の表面積の間には正の相関を示す。

図3は花崗岩の1軸圧縮破壊で生成されて粉碎粒子の比表面積と仕事量を密度に換算して、両者の関係を示したグラフである。両者間には正の相関があり、図1と図2の勾配を比較すると、図3の勾配が大きい。これは圧縮破壊の方が、摩擦すべり破壊よりも仕事量が多く消費されていることを示唆している。

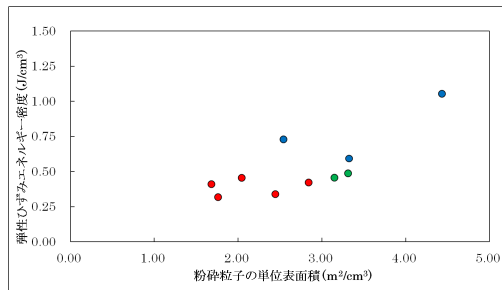


図3 花崗岩の1軸圧縮破壊で生成された粉碎粒子の比表面積と仕事密度の関係を示したグラフ。

上述した仕事量と表面積の関係から推定される粉碎粒子の表面エネルギーは仕事量の何分の1以下である。しかし、従来言われているような粉碎粒子の表面エネルギーは破壊エネルギーの1%にも及ばないと指摘されていたのは、明に間違いであることを示している。従来、表面エネルギー散逸は無視できるとしてきたが、本研究では無視出来ないことを証明した。

(2) 破壊を生じさせた弾性歪みエネルギーは、粉碎粒子の非晶質化(塑性変形)即ち非弾性変形エネルギーとして消費されことは自明である。

1軸破壊と摩擦すべりを比較すると、粉碎粒子内で消費される非弾性変形エネルギーは1軸破壊の方が大きいことが明になった。

現在、摩擦すべり実験で生成された粉碎粒子が消費した非弾性変形エネルギーはマイクロカロリーメーターを用いて溶解熱を測定中であり、現状のデータに基づくと、以下の予察の結果を得ている。

石英の単結晶の1軸破壊で生成された粉碎

粒子では、非弾性変形エネルギーは最大で仕事量の50%近くまで消費している。摩擦すべりでは、数%から20%前後の消費を示している。以上の事実から、粉碎粒子形成の表面エネルギー、非弾性変形エネルギー散逸機構は仕事量に対して、数%から数十%の消費率で、到底無視できないことが明になった。

(3) 低速度すべり下での溶融現象

シュードタキライトは、高速すべりをする地震断層の証拠として、地震の化石とも称されている。

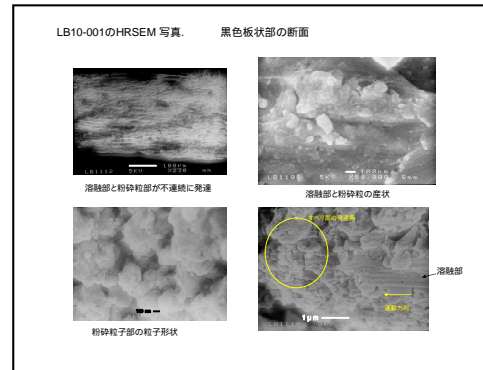


図4 低速すべりで生成された溶融物質ゾーンと粉碎粒子の産状のHESEM写真

図4は本実験の低速摩擦すべり(変位速度、0.01mm/s)で生成された溶融物質である。この溶融物質の産状は、地震断層(変位速度1000mm/s以上)時の主すべり面の発達規模が極めて小さく、高速摩擦すべりによる溶融機構とは明らかに異なっている。図5は変位速度が10mm/sと地震断層の変位速度よりも1/100以上遅い。

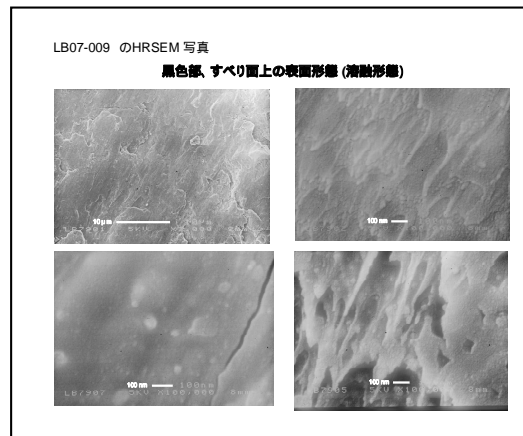


図5 摩擦すべりで溶融した粉碎粒子のHRSEM写真

この新知見は高速すべり以外でも粉碎粒子は溶融する条件があることを示しているが、その溶融機構は現時点では不明である。この溶融機構が解明されることにより、ガウジの溶融時の断層面上の物理的・化学的条件何か? その条件は断層運動にどのような東

縛条件を与えるか、等の問題解決に重要な役割を占めていることは明らかである。

以上述べたことは、破壊実験に基づいた従来のエネルギー散逸機構の基本的かつ根本的問題の未解決事項の明確化とその解明の道筋を指摘した。

また申請当初、地殻の延性的変形場の歪みエネルギーの研究対象に、福島県浪江町に分布するマイロナイトを計画していたが、放射汚染により、立現地調査と試料採集が出来なくなり、マイロナイト形成場のエネルギーを議論することが出来なかった。

#### <引用文献>

Griffith, A. A., 1920, The phenomena of rupture and flow in solid, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A221, 163-198.

Rittinger, P. R. v., 1867, *Lehrbuch der Aufbereitungskunde in ihrer neuesten Entwicklung und Ausbindung systematisch dargestellt*. Ernst und Kern, 595p.

Tanaka, H., Chen, W., Kawabata, K., and Urata, N. 2006, Frictional heat form faulting of the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake. *Geophysical Research Letters*, 33, L16316.

Tanaka, H., Chen, W., Kawabata, K., and Urata, N. 2007, Thermal properties across the Chelungpu fault zone and evaluations of positive thermal anomaly on the slip zones: Are these residuals of heat from faulting? *Geophysical Research Letters*, 34, L01309.

#### 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 4 件)

滝沢茂、大型二軸岩石摩擦試験機で生成されたガウジ：仕事量と粉碎粒子表面積および摩擦溶融物、日本地質学会、2014年9月13日、鹿児島大学（鹿児島県鹿児島市）

滝沢茂、巨大二軸型岩石摩擦試験機で生成されたガウジの物性特性、日本地質学会、2013年9月16日、東北大学（宮城県仙台市）

滝沢茂、弾性歪みエネルギーの散逸機構の再検討、日本地質学会、2012年9月17日、大阪府立大学（大阪府堺市）

滝沢茂、石英の粉碎粒子の形態・結晶化度・溶解熱に関する新知見とその意義、日本地質学会、2011年9月11日、茨城大学（茨城県水戸市）

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

#### 6 . 研究組織

##### (1) 研究代表者

滝沢 茂 (TAKIZAWA, Shigeru)

筑波大学・生命環境系・講師

研究者番号：80114099