

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2008 ~ 2010

課題番号：20244082

研究課題名(和文) 摩擦が作る超微粒子 - 物質地震学の新展開 -

研究課題名(英文) Ultrafine particle made by a friction
- new evolution of material seismology -

研究代表者

滝沢 茂 (TAKIZAWA SHIGERU)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・講師

研究者番号：80114099

研究成果の概要(和文):

地震断層を引き起こした地殻の歪みエネルギーは主に粉碎粒子の非晶質化に費やされると予測して、粉碎粒子内の非晶質化を示し溶解熱測定を行った。この溶解熱測定はフッカ水素酸液用の試料カプセルの開発に成功した。このカプセルは国内外を通じて例がない。

特殊なカプセルで溶解熱を測定した結果、石英結晶をアモルファス化するのに要した熱量は約 2000J/g であり、これをエネルギー量に換算すると 10^{11} erg オーダーとなる。この新知見に基づく地震断層時の破壊エネルギーは表面エネルギー、すべり摩擦熱エネルギーおよび波動エネルギーとして分配され、主に消費されるエネルギーはすべり摩擦熱エネルギーと波動エネルギーと考えられているが、本研究課題の結論は最も消費エネルギーの大きいのは、結晶内消費エネルギーで、この事は新知見で物質地震学の新展開となる。

研究成果の概要(英文):

For the measurement of energy within the crystal fragments, I have developed the capsule using in hydrofluoric acid. This capsule is the first in the world.

I have succeed in measurement of the heat of dissolution of quartz by using a microcalorimeter. On the bases of the heat of dissolution of amorphous SiO_2 , The heat of dissolution was about 2000J/g. The joule heat correspond with 10^{11} erg. On the basis of above menstion, energy partitioning during seismic slip is considered to be three types of energy as fracture surface energy, frictional heat energy and seismic wave energy and main consumptive energy is frictional heat and seismic wave energy, however, our results of the study shows that most consumption of fracture energy is the energy of the amorphization of crystal by the mechanical energy. This is new evidence and contribution for material seismology.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	18,800,000	5,640,000	24,440,000
2009年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2010年度	3,300,000	990,000	4,290,000
年度			
年度			
総計	25,900,000	7,770,000	33,670,000

研究分野：構造地質学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：テクトニクス

1. 研究開始当初の背景

地震は地殻に蓄積された弾性歪みエネルギーの開放で発生する。この開放されるエネルギーは主に摩擦エネルギー、表面エネルギーおよび波動エネルギーに分配されると考えられている。従来、波動エネルギーが最大の開放であり、表面エネルギーによる開放は極めて少ないとしていた。しかし、2005年に地震時衝撃で nm サイズまで粉碎された断層ガクジが Nature(Wilson et al., 2005)に報告された。この事は表面エネルギー量の再検討を指摘した。他方、本研究課題の代表である滝沢らは、天然の断層岩に非晶質物質の存在を報告した(滝沢・小澤, 2006, 小澤・滝沢, 2007)。これらの報告は地震断層で開放される歪みエネルギーの分配では説明できない新知見であり、脆性破壊・摩擦すべりによる結晶の非晶質化は歪みエネルギー解放と如何なる関わりがあるか。また、その評価が急務となってきた。

2. 研究の目的

前述した研究背景と、粉体工学分野では結晶に機械的エネルギーを加えると、結晶内で90%以上が消費され、その結果結晶の非晶質化が進むことが知られている。そこで、以下の事を解明する目的を設定した。

- (1) 磨砕実験で結晶の非晶質物質を生成する。
- (2) 圧縮破壊実験で得た粉碎粒子の形状、表面積、結晶格子の歪み・不定形など解析する。さらに粉碎粒子の溶解熱が粉碎時に結晶内で消費されたエネルギー量を求める。
- (3) 断層のすべり速度の違いが、粉碎粒の形状にどのように反映されるかを明らかにする。
- (4) 天然の断層岩に含まれている粉碎粒について、実験成果に対応した情報の観察、解析、測定を行う。

3. 研究の方法

- (1) 自動乳鉢で結晶に機械的エネルギーを加えて非晶質化させる。この過程で以下の観察、解析、測定を行い、得られた情報の変化過程を追跡する。

XRDによる格子反射面の歪み度を追跡する。

HRSEMによる形状変化を観察する。

TEMによる格子組織、格子の歪み状態を観察する。

表面積測定装置で磨砕粒子の表面積変化を測定する。

微量熱量測定装置で磨砕粒子の微量溶解熱を測定する。

- (2) 天然の断層岩に含まれる石英粒子を抽出して、(1)で得た成果に対応した観察、解析、測定を行う。

4. 研究成果

- (1) 研究課題の成果を得た最大のポイントは粉碎粒子内の微量熱量測定をフッカ素酸溶液中で測定可能にした、試料用プセル制作に成功したことである。このようなカプセルは測定装置制作メーカーでも作れなく、現時点では研究代表以外に制作可能な人は皆無である。
- (2) 石英の非晶質化過程 XRD 回折図形で変化を追跡して、粒子の表面積変化(図1)と微量熱量を測定して石英の非晶質化をジュール熱量変化で定量表現した(図2)。このような成果は本研究課題が最初である。

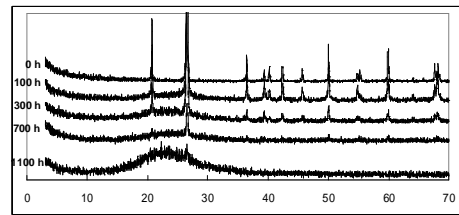


図1 XRD 回折図形、磨砕時間 0h ~ 1100h

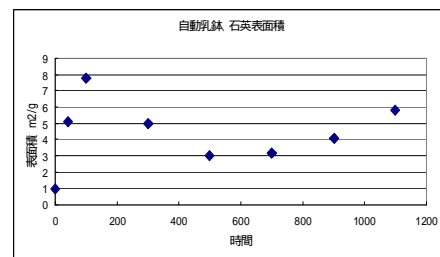


図2. 磨砕時間と表面積変化

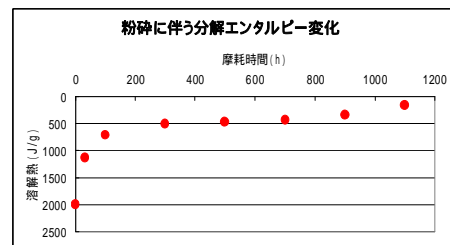


図3. 石英の溶解熱量変化

- (3) 磨砕粒子の表面積変化と溶解熱変化から表面エネルギーと結晶内で消費したエネルギー変化を明らかにした(図3)。

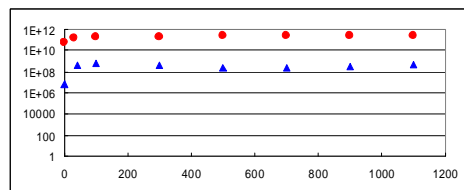


図4. 磨砕時間の変化に伴う表面エネルギーと結晶内消費エネルギー

- (4) 石英の圧縮破壊実験で、サブミクロンサイズの粉碎粒子の形状は、数 100nm オーダーでは花びら状の薄片状(図 4)に粉碎される。更に 50nm オーダーでは等粒状の粉碎粒子(図 5)が生成されている。これらの粉碎粒子は殆どが非晶質化している。石英このような形状と非晶質化は、これまでに認識・報告共に例をみない。

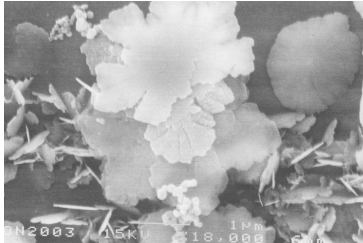


図 5. サブミクロンの粉碎石英、花びら状を呈する、HRSEM 写真

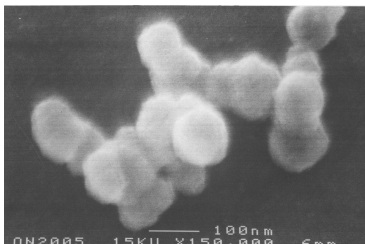


図 6. 粉碎で生成された石英の超微粒子、HRSEM 写真

- (5) (4)の粉碎粒子生成時のせん断は超せん断破壊と呼ばれるせん断破壊が起きている。
 (6) 低速すべりと高速すべり実験の結果、すべり速度が違うと、サブミクロン粒子の形状が異なることを明にした。

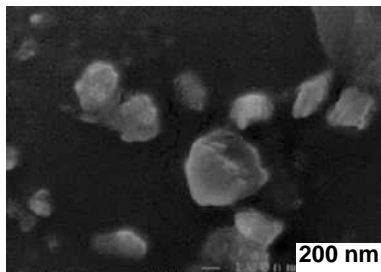


図 7. 低速すべりの粒子形状、SEM 写真

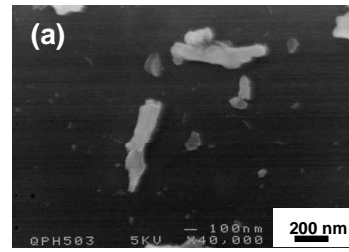


図 8. 高速すべりの粒子形状、HRSEM 写真

- (7) 天然の断層ガウジに発達する Y シアーと R シアーを構成する粉碎粒子に(6)で得た結果が適応できることが明らかになった。
 (8) 天然のカタクレサイト、断層ガウジに含まれる粉碎石英粒子(図 9,10)でサブミクロンサイズの形状は圧縮破壊で得た粒子形状と極めて類似していることから、実験の成果を用いて天然の破壊条件の推定に方向性を開いた。

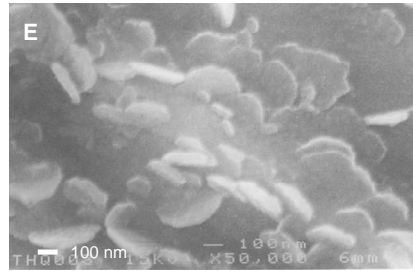


図 9. 断層ガウジ中の花びら状粉碎粒子、SEM 写真

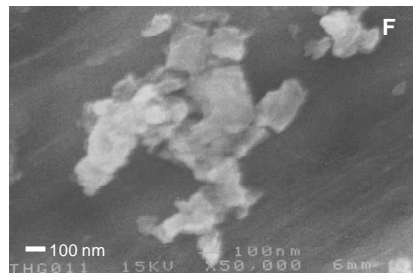


図 10. 断層ガウジ中の超微粒子 HRSEM 写真

以上述べた成果が得られた結果は過去に起きた地殻変動が岩石・地層に与えた変形運動をエネルギー量として把握できる事を可能とした画期的な研究手法である。本研究手法を用いることで、現在起きている地震断層を引き起こしている地殻の歪みエネルギーの絶対量を解明する為に、大きく貢献することは明らかである。

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22件)

Onuma, K., Muto, J., Nagahama, H., and Otsuki, K., Electric potential changes associated with nucleation of stick-slip of simulated gouges. *Tectonophysics*, 502, 308-314, (2011) 査読有

南須原美恵・鹿島雄介・中村隆志・山内常生・大槻憲四郎、宮城県沖大地震の前兆を捉えるための深層地下水変動観測研究：2004年6月～2007年12月の観測結果、地質学雑誌、117、63-78、(2011) 査読有

Inoue, A., Kurokawa, K., and Hatta, T., Application of chlorite geothermometry to hydrothermal alteration in Toyha Geothermal System, Southwestern Hokkaido, Japan. *Resource Geology*, 60, 52-70, (2010) 査読有

Matsui, T., Arakawa, Y., Kimata, M. Trace elements in anorthite megacrysts from West Japan volcanic belt, 6, 433, (2010) 査読有

T. Inamura, Y. Yamamoto, H. Hosoda, H.Y. Kim and S. Miyazaki, Crystallographic orientation and stress-amplitude dependence of damping in the martensite phase in textured Ti-Nb-Al shape memory alloy, 58, 2535-2544, (2010) 査読有

小澤佳奈・滝沢茂、透過型電子顕微鏡によるシュードタキライトに含まれるアモルファス物質の起源の識別、地質学雑誌、115、503-511、(2009) 査読有

Otsuki, K., et al., (7), Analyses of psudotachylyte from Hole-B of Taiwan Chelungpu Fault Drilling Project(TCDP); their implications for seismic slip behaviors during the 1999 Chi-Chi earthquake, *Tectonophysics*, 13-24, (2009) 査読有

[学会発表](計22件)

滝沢茂・清水雅浩・小澤佳奈、自動乳鉢による石英の非晶質化に働いた機械的エネルギー量、日本地質学会第117年学術大会、2010年9月18日、富山大学

西川治・武藤潤・大槻憲四郎、摩擦すべりによる人工水晶単結の粉碎と超せん断破壊の可能性、日本地球惑星科学連合2010年大会、2010年5月26日、幕張メッセ国際会議場

大槻憲四郎、固着すべり直前での模擬ガウジの変形、日本地球惑星科学連合2010年大会、2010年5月28日、幕張メッセ国際会議場

滝沢茂・小澤佳奈、分解エンタルピーに基づいたカオリナイト粒子内に働いた仕事

量、分解エンタルピーに基づいたカオリナイト粒子内に働いた仕事量、2009年9月6日、岡山理科大学

小澤佳奈・滝沢茂、粉碎起源シュードタキライトに発達する高速すべり面および低速すべり面の微細組織：サブミクロン粉碎粒子の形状に基づく判定、日本地質学会第116年学術大会、2009年9月6日、岡山理科大学

小澤佳奈・滝沢茂・斎藤直樹、異なるすべり速度条件下におけるせん断すべり実験で生成した粉碎粒子の形状、日本地球惑星科学連合2009年大会、2009年5月17日、千葉県幕張メッセ

6. 研究組織

(1) 研究代表者

滝沢茂 (TAKIZAWA SHIGERU)
筑波大学・大学院生命環境科学研究科・講師
研究者番号：80114099

(2) 研究分担者

大槻憲四郎 (OTUKI KENSHIRO)
東北大学・大学院理学研究科・名誉教授
研究者番号：70004497
宮崎修一 (MIYAZAKI SHUICHI)
筑波大学・大学院数理工学物質科学研究科・教授
研究者番号：50133038
田中秀実 (TANAKA HIDEMI)
東京大学・理学研究科・講師
研究者番号：40236625
西川修 (NISHIKAWA OSAMU)
秋田大学・工学資源学部・講師
研究者番号：90375220
松井智彰 (MATSUI TOMOAKI)
鹿児島大学・教育学部・准教授
研究者番号：40295233
八田珠朗 (HATTA TAMAO)
独立行政法人国際農林水産業研究センター・主任研究員
研究者番号：60164860

(3) 研究協力者

小澤佳奈 (OZAWA KANA)
筑波大学・生命科学研究所地球進化科学専攻・大学院生