

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23654159

研究課題名(和文) 衝撃圧縮実験による岩石の剪断溶融と深発地震の震源過程メカニズムの解明

研究課題名(英文) Shock compression experiment of rocks: shear melting and seismogenic processes in deep earthquakes

研究代表者

小畑 正明(OBATA, MASAOKI)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・名誉教授

研究者番号：20126486

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：衝撃圧縮回収実験によりかんらん石単結晶に剪断面を生じさせ、剪断面に沿って溶融を起こすことに成功した。また溶融に先立って粉砕が起こり、この一連の現象は剪断面が形成する際に剪断面先端部の高応力部で形成したことを見出した。またイタリアBalmucciaの超マフィックシュードタキライトの研究に於いて、超高温に達したことを示すスピネルのコロナ組織を見出し、従来成因について問題の多かったマイロナイトシュードタキライトも溶融起源であることを明らかにすることが出来た。加えて震源断層面がまさに発生した露頭を見出すことで、断層面核形成ステージの具体的なプロセスとメカニズムの解明を進めることが出来た。

研究成果の概要(英文)：We have succeeded in causing a frictional melting of olivine by shock compression experiment using single crystals of olivine. It was found that pulverization occurred before melting and this sequence of event occurred around a rupture front that was caused by a shock compression. We have also found a spinel corona that indicates a very high-temperature stage of pseudotachylyte of Balmuccia peridotite and demonstrated that problematical mylonitic pseudotachylyte has also a melting origin. By observing shear localizations in the field and microstructures, we also identified a very site where seismogenic fault had just nucleated and expanded, which made the study possible of the processes and mechanism of the initiation of a seismic rupture at the end of plastic deformation.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理

キーワード：地震 断層 シュードタキライト タキライト マントル オリビン イタリア Balmuccia 衝撃圧縮

1. 研究開始当初の背景

(1) 地震学において、震源過程のメカニズムについては、特に地震波解析と地震断層滑りの物理過程の理論的取り扱いについて過去20年間にわたって大きな進歩があった。

(2) また過去の地震によって形成されたとされる特殊な断層岩「シュードタキライト」の研究も進み、野外のデータから震源過程を読み取る努力が重ねられてきていた。特にマンツルの地震で起こったと考えられる超マフィックシュードタキライトの研究は筆者らの研究を中心に過去数年間で大きく進展していた(小畑・上田, 2010)。

(3) 一方実験室では、回転摩擦試験器による岩石の熔融と摩擦力学特性の研究は過去10数年間で大きく進歩してきたが、この方法では試料にかけられる垂直応力は数十MPaに限られており、地殻内の比較的浅い地震はともかく、マンツルの中～深部地震には摘要限界があった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、中、深部地震の震源過程のメカニズムを解明するため、新しい実験手法、衝撃圧縮回収実験を導入し、高封圧下で岩石に瞬間的に一軸圧縮を加えることで剪断破壊させ、剪断面に生じた組織的物質の変化を観察するものである。そして生成した微細構造を天然の超マフィックシュードタキライトと比較研究することで、地震時の断層面に生じる物質変化と地震学的手法で得られている断層面の力学特性との関連づけを行い、震源過程のメカニズム解明に資することが目的である。

3. 研究の方法

(1) かんらん岩及びかんらん石結晶に衝撃圧縮を加え、試料を回収して生じた微細構造を調べる。実験には熊本大学衝撃・極限環境研究センター(現在はパルスパワー科学研究所)の1段式火薬銃を用いる。回収試料の観察は京都大学のSEM, 広島大学のTEMを用いて行う。

(2) これと並行してイタリア Balmuccia 産の超マフィックシュードタキライトの野外調査と分析研究を進める。

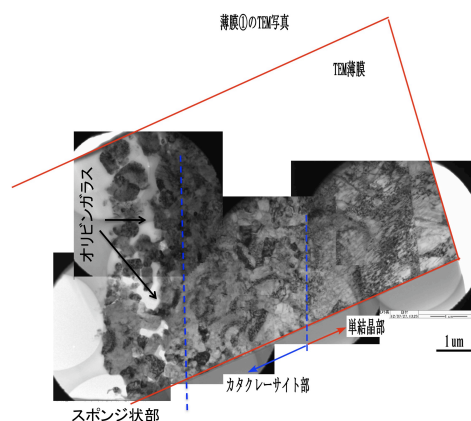
(3) 実験生成物と天然のシュードタキライトの観察を比較検討することで、時間、空間の広いダイナミックレンジに適用できる震源過程モデルを構築する。

4. 研究成果

(1) 衝撃圧縮実験: 熊本大学の1段式火薬銃を用いて計5回の衝撃圧縮実験を行った(表1)。RUN#3, 4, 5は天然のかんらん岩, #6と#7は天然のかんらん石(オリビン)単

No.	Sample	sample thickness	capsule type	flyer plate	Flyer Speed (km/s)	P(sample) GPa
3	peridotite	2.8 mm	iron 12 mm	W 1.5 mm	0.984	
4	peridotite	2.8 mm	iron 12 mm	Al 3.0 mm	0.990	
5	peridotite	3.0 mm	iron 12 mm	W	1.040	20.02
6	forsterite (single crystal)	3.0 mm	iron 12 mm	W	1.500	30.00
7	forsterite (single crystal)	3.0 mm	iron 12 mm	W	1.452	28.92

結晶を用いたものである。サンプルに生じた変化はほとんどが剪断面の発生と破碎ないしは粉砕であったが、RUN#6において初めて断層面の一部でオリビンの熔融が確認出来たことが重要な成果である。図1はそのような断層面の透過型電子顕微鏡(TEM)写真である。結晶本体は衝撃圧縮により全域的に塑性変形を起こし、微視的には[001]らせん転位が密に発達して複雑に絡みあった構造を示している。特に断層面から内側の約5ミクロン～2ミクロン幅のゾーンではオリビンが細粒多結晶体化しており(下図の「カタクレーサイト」部)、



最外縁部(図の左側「スポンジ状部」)2ミクロン幅ゾーンでは、転位を密に含む、粒径数百ナノメートルの丸みを帯びたオリビン微粒子が多数発達し、その粒間をオリビン組成のガラスが充填していることが認められた。この構造から、オリビン単結晶が塑性変形を受けた直後に多結晶化し粉砕(微粒子化)し、続いて熔融が起こったことが読み取れる。(この間時間的にはせいぜい0.5マイクロ秒という極短時間のことである!)。これまで衝撃圧縮によりオリビンの熔融が確認されたのはJeanloz et al(1977)が最初であるが、剪断運動によって生じた熔融が確認されたのは本実験が世界初である。この成果は2014年6月現在Nature Geoscienceに投稿中である。

(2) 天然の超塩基性シュードタキライトの研究において、変形再結晶したマイロナイトシュードタキライトと明瞭な火成岩組織を有するシュードタキライトに共通して存在するスピネルコロナ組織を見出し詳細に分析した。その結果、この組織はかんらん岩が超高温で熔融した際にスピネルの部分熔融によって生じたものであることが判明した。

この発見により、火成岩組織が残っていないため成因的に問題の多かったマイロナイトシュードタキライトも火成岩起源であることが確立できたことの意義は大きい(上田他, 2012; 2014年6月現在投稿準備中)。その他, Balmuccia かんらん岩において, 変形構造の局在化から剪断集中の局在化現象を見出し, それが震源核が発生した痕跡である, という新たな仮説を提唱するに至った(Ueda et al, 2011; 2014年6月現在投稿準備中)。

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7件)

- ① Obata, M., Ohi, S. and Miyake, A. (2014) Experimental synthesis of isochemical kelyphite — a preliminary report. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 109, 91-96.
- ② Obata, M., 他4名 (2013) Isochemical breakdown of garnet in orogenic garnet peridotite and its implication to reaction kinetics. *Mineralogy and Petrology*, 107, 881-895.
- ③ Hoshide, T. and Obata, M. (2012) Amphibole-bearing multiphase solid inclusions in olivine and plagioclase from a layered gabbro: origin of the trapped melts, *J. Petrol.*, **53**, 419-449.
- ④ Spengler, D., Obata, M., 他5名 (2012) Exsolution of garnet and clinopyroxene from high-Al pyroxenes in Xugou peridotite, Eastern China, *J. Petrol.*, **53**, 1477-1504.
- ⑤ Obata, M. & Ozawa, K. (2011) Topotaxial relationships between spinel and pyroxene in kelyphite after garnet in mantle-derived peridotites and their implications to reaction mechanism and kinetics. *Mineralogy and Petrology* **101**, 217-224.
- ⑥ Obata, M. (2011) Kelyphite and symplectite: Textural and mineralogical diversity, and a new dynamic view of their structural formation. in *New Frontiers in Tectonic Research*, Sharkov, E. V. (Ed.): InTech Pub. Co., pp. 350, ISBN978-953-307-595-2, 93-122.
- ⑦ 小畑正明・上田匡将 (2010) 超塩基性ウルトラマイロナイトシュードタキライトの発見とその地震発生の意義: マントル地震の震源過程の解明に向けて. *地学雑誌* **120** (3), 439-451.

[学会発表] (計5件)

- ① 小畑正明, 他5名: オリビンの衝撃圧縮実験 - その3: 摩擦溶解に先んじて粉砕が起こった! 地球惑星科学連合 2014年大会 2014年5月1日横浜
- ② 小畑正明, 他4名: かんらん石の衝撃圧縮実

験: 深発地震震源過程解明に向けての試験的研究-その2. 日本地質学会第120年大会 2013年9月16日仙台

- ③ 上田匡将・小澤一仁・小畑正明: 超マフィックシュードタキライト中に見られるスピネル岩片溶解組織. 日本鉱物科学会2012年年会, 2012年9月21日京都
- ④ Ueda, T.; Obata, M. Progressive deformation of ultramafic rocks accompanied with deflection of layered structure and mylonitization culminating into a pseudotachylyte-bearing seismogenic fault - a field evidence of plastic instability. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2011*, 2011年12月5日 San Francisco
- ⑤ 小畑正明, 他3名: かんらん岩の衝撃圧縮実験: 深発地震震源過程解明に向けての試験的研究. 地球惑星科学連合 2010年大会 2010年5月18日幕張

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小畑正明 (OBATA, Masaaki)

京都大学大学院・理学研究科・名誉教授

研究者番号: 20126486

(2) 研究分担者

研究者番号:

(3) 連携研究者

堤 昭人

京都大学大学院・理学研究科・助教

研究者番号: 90324607

真下 茂
熊本大学・パルスパワー科学研究所
研究者番号：90128314

小澤一仁
東京大学大学院・理学研究科・教授
研究者番号：90160853

安東淳一
広島大学大学院・理学研究科・准教授
研究者番号：50291480