

機関番号 : 14301

研究種目 : 基盤研究 (C)

研究期間 : 2008~2010

課題番号 : 20540466

研究課題名 (和文) 超塩基性 (かんらん岩) シュードタキライトの研究

研究課題名 (英文) Study of ultrabasic (peridotitic) pseudotachylytes

研究代表者

小畑 正明 (OBATA MASAOKI)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号 : 20126486

研究成果の概要 (和文) :

北イタリア Balmuccia かんらん岩体に産する多種多様な超マフィックシュードタキライトは、火成岩的な組織を持つタイプとマイロナイト組織をもつタイプに大別できること、後者は前者より、早期に、より深部で形成したことを、断層脈の交叉関係と鉱物組み合わせの解析から明らかにすることができた。特に後者のタイプの存在を世界で初めて認定し、その形成条件を岩石学的手法で明らかにするとともに、地震発生学的意義を上部マントルにおける地震断層滑りのダイナミクスに関連づけて論じた。

研究成果の概要 (英文) :

Ultramafic pseudotachylyte from the Balmuccia peridotite (N. Italy) was classified into two major categories: (1) igneous textured type and (2) mylonitic type. It was revealed from their field relationships and mineralogical characteristics that the latter type was generated earlier and thus at greater depths than the former type. In particular, the recognition and characterization of the latter type is a major achievement of our project. This discovery has opened up a way to understand the seismogenic processes in the upper mantle in more detailed and realistic ways.

交付決定額

(金額単位 : 円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野 : 数物系科学

科研費の分科・細目 : 岩石・鉱物・鉱床学

キーワード : 断層、かんらん岩、摩擦溶融、マントル、地震、マイロナイト、Balmuccia

1. 研究開始当初の背景

(1) イタリアの Balmuccia かんらん岩体には様々なシュードタキライトが産することが筆者らの過去の予備調査でわかっていた。かんらん岩のシュードタキライトは世界的にも稀であるが、マントル地震の震源過程のメカニズムを物質科学的に研究するための

ほとんど唯一の天然サンプルとして学術上貴重であり、従ってフィールドにベースを置いたより詳しい調査が必要とされていた。

(2) シュードタキライトの研究は従来比較的浅い地殻を構成する岩石では多くの研究の蓄積があったがマントルを構成する岩石、かんらん岩については Obata & Karato

(1995)のみであり、マントル深部のシュードタキライトの様相に関する我々の知識はきわめて限定された状態であった。

(3) 一方地震学の分野では地震エネルギーの efficiency の見積もりの議論から大地震に伴って断層面で摩擦溶融によりメルトが生じていることが指摘され (Kanamori et al, 1998)、また地震波の inversion により、ラプチャーの進展に伴う力学的な状態と地震波の発生モデルが提示されていたが、断層面の物質状態変化までは考慮されていなかった (Heaton, 1990)。

(4) 変形試験機を用いた岩石の摩擦溶融とその力学特性の研究が進展し、摩擦構成則が提案されていたが、高封圧下での延性変形に伴う領域の知見はまだ得られていなかった (嶋本他、2003)。

文献：

Heaton, T. (1990) *Physics Earth Planet. Int.*, 64, 1-20.

Kanamori, et al. (1998) *Science*, 279, 839-842.

Obata, M., and Karato, S. (1995): *Tectonophysics*, 242, 313-328.

嶋本利彦, 他 (2003): *地学雑誌*, 112, 979-999.

2. 研究の目的

(1) まず Balmuccia に産する多種多様なかんらん岩シュードタキライトの地質学的産状から顕微鏡的微小構造にまでわたる正確なキャラクタリゼーションを行なう。次に (2) 岩石の産状と微小構造にもとづいて形成プロセスと形成環境を岩石学的手法を用いて解釈し、震源過程の動的過程を読み取ることである。

3. 研究の方法

(1) Balmuccia 岩体においてシュードタキライトを含む断層脈を構造地質学的に記載し、方位データを集める。形態コアピッカーを用いてシュードタキライトの詳細で系統的なサンプリングを行なう。

(2) 室内では光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡、マイクロプローブ、EBSD を駆使して微小構造を記載し、化学分析を行なう。

(3) 以上の岩石学的、地質学的データをもとに地震断層のダイナミックモデルの構築を行なう。

4. 研究成果

研究成果：

(1) Balmuccia シュードタキライトの多様性の把握と分類：Balmuccia の断層脈に産する、いわゆる fault-vein type シュードタキライトには、明らかなメルト起源を示す、火成岩的組織を持つものから、完晶質で

変成岩的かつウルトラマイロナイト様の組織を呈するものまで多様なものがあることがわかった。前者を I-Type, 後者を M-Type として区別する。前者はさらに、カタクラサイトとガウジを伴う Ia-Type と、マイロナイト wall を伴う Ib-Type に分ける。鉱物学的には Ia-Type は PST 中に斜長石や角閃石を多量に含みガラスが残存し低温起源を示す一方、Ib-Type にはガラスは存在しない。M-Type はスピネルかんらん岩相で、より高温、高圧を示す。Obata and Karato (1995) で報告したのは Ia-Type, Ueda et al (2008) が報告したのは M-Type である。

(2) フィールドでの交叉関係：断層の交叉関係の調査から、上の三つのタイプのシュードタキライトは、M-Type, Ib-Type, Ia-Type の順で形成したことが明らかになってきた。

(3) M-Type シュードタキライトの特徴：壁岩がマイロナイトであり、しばしばシュードタキライト断層脈が母岩の構造を低角ながら明瞭に切っていることがある。このことはラプチャーの前に塑性流動変形のステージがあったことを示唆するので重要である。シュードタキライト部はウルトラマイロナイト組織を示し、組成は超塩基性で、クラスト部を除けば非常に均質である。マトリクス部に少量ながらドロマイトが普遍的に存在し、かんらん石、斜方輝石、単斜輝石、スピネルと平衡組織を形成する。マトリクスではかんらん石の b 軸が断層面に垂直方向に集中し、a, c 軸が部分的なガードルをなし、a 軸がマイロナイトの線方向に弱い集中をなすファブリックが特徴的に発達する。

(4) 注入脈の分布：M-PST, I-PST 双方の断層脈から注入脈の派生が確認できた。

(5) M-Type シュードタキライトの形成温度：M-Type シュードタキライトの形成背景温度は、wall マイロナイト中の輝石温度計で 700-800°C と推定されている。I-Type ではもっと低温であろうが、直接測定はまだである。

(6) 異なるタイプの漸移関係：まれに一つの断層脈シュードタキライトの中で、I-Type から M-Type に移り変わるケースが見いだされた。

(7) Opx フリンジの発見：Ib-Type シュード

タキライト中ではかんらん石斑晶やクラストに一定方向に0pxリムがついていることが普通であることが判明してきた。このリムの方向は断層面に垂直方向であることが多い。0pxリムの定向発達は、シュードタキライトが断層面に垂直な方向に押しのある、非静水圧場の中で形成したことを示唆するので重要である（上田、2010年地質学会）。ただし応力の絶対値については未定である。この0pxはかんらん石を置き換えるように発達したことが組織から推測できるが、その形成反応の特定はより詳細な分析を待っての今後の研究課題である。

- (8) スピネルコロナの発見：Ib-Type, M-Typeから派生した注入脈シュードタキライト中に特徴的にスピネルコロナが発達していることが判明した。Al-richな球状スピネルの周りを細粒のCr-richスピネルの集合体を取り囲み、Cr-richスピネル粒子集合体の間隙をCpxとガラスが埋めているという一種の反応組織である。注入脈中ではこのコロナは、壁から遠ざかって、注入脈の中の方に行くほどよりよく発達するという明瞭な位置との相関関係がある。このことから、この組織は初生的Al-スピネルと高温のメルトの反応組織であり、Crスピネルは反応生成物であること、またこの反応が、過熱時ではなく、高温のメルトの冷却途上で進行したということが結論できる。スピネルコロナの発見はM-Typeのメルト起源説を強化する組織的証拠として、ことに重要である。この成果は現在投稿原稿準備中である。
- (9) CO₂流体の役割：M-Type シュードタキライトのマトリクス部に少量ながらドロマイトが普遍的に存在することは地震断層溶融時にはCO₂に富んだ流体が存在したことを示唆するので地震断層形成のメカニズムを考える上で重要な研究成果である(Ueda et al., 2008)。
- (10) かんらん石のLPO:LPO₂がいつの段階で発達したのか、それがいかなる情報を含んでいるのかを判断するためにはLPO発達メカニズムを特定することが重要である。この目的のために現在TEMでM-Typeシュードタキライト中のかんらん石の転移構造の観察の準備中である。
- (11) 地震学へのインパクト：一回の地震断層でM-PSTが形成するプロセスの可能性を

提唱したUeda et al. (2008)は地震学分野へのインパクトは大きく重要な研究成果である(小畑・上田、2011)。

- (12) モデリング：以上の岩石学的知見を総合して、断層面での摩擦溶融を考慮した、地震性滑りのダイナミックモデルは現在構築中である。

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4件)

- ① 小畑正明・上田匡将 (2011) 超マフィック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的意義：マンテル地震の震源過程の解明に向けて。地学雑誌、101巻3号(印刷中)
- ② Ueda, T., Obata, M., Di Toro, G., Kanagawa, K., Ozawa, K., Mantle earthquakes frozen in mylonitized ultramafic pseudotachylytes of spinel-lherzolite facies. *Geology*, 36, 607-610. (2008)

[学会発表] (計9件)

- ① 上田匡将, 小畑正明, 小澤一仁, Di Toro, G.: 北イタリア Balmuccia かんらん岩シュードタキライト断層脈中のかんらん石結晶上に定方位に発達する斜方輝石反応縁(「斜方輝石フリッジ」)とその意義：ストレスマーカー? 日本地質学会第117年学術大会、2010年9月23日富山
- ② 小畑正明: 超塩基性シュードタキライトの観察から中-深部地震の震源過程とメカニズムを考える。日本地質学会第117年学術大会、2010年9月19日、富山
- ③ 小畑正明: ウルトラマイロナイトシュードタキライトとその地震発生的意義。地球惑星科学連合2010年大会、2010年5月26日千葉、幕張
- ④ 上田匡将, 小畑正明, 小澤一仁, Di Toro, G.: マンテル岩上昇時に脆性-延性遷移帯で形成された mylonitic pseudotachylyte, イタリアアルプス。日本地球惑星科学連合2010年度連合大会、2010年5月26日千葉、幕張
- ⑤ Ueda, T., Obata, M., Ozawa, K., Di Toro, G.: Ductile and brittle deformation in peridotite recorded in ultramafic pseudotachylytes and associated fault

rocks (Balmuccia, Italian Alps)
American Geophysical Union Fall
Meeting, 2009年12月 San Francisco、
米国

⑥ Ozawa, K., Ueda, T., Obata, M. Di Toro, G.,
Kanagawa, K. and Nagahara, H. : Frictional
Melting and Deformation in the Upper
Mantle: Constraints from Cr-Al Spinel in
Ultramafic Pseudotachylyte from Balmuccia.
IGC (万国地質会議), 2008年8月12日 Oslo,
ノルウェー

⑦ Obata, M., Ueda, T., Ozawa, K., Di Toro,
G. and Kanagawa K.: Shear
localization, seismic rupture and
frictional melting, observed in a
mylonitized ultramafic
pseudotachylyte from Balmuccia
peridotite, Ivrea Zone, N. Italy. AGU
Chapman Conference on Shallow
Mantle Composition and Dynamics 5th
International Orogenic Lherzolite
Conference 2008年8月 Mt. Shasta,
California、米国

⑧ Ueda T., Obata M., Ozawa K., Di Toro G
and Kanagawa K., (2008): Mylonitized
ultramafic pseudotachylyte and
associated deformation textures,
Balmuccia peridotite massif, Ivrea Zone,
Italy. 同上

⑨ 小澤一仁、上田匡雅、小畑正明、Di Toro
Giulio、金川久一、永原裕子: 上部マント
ルにおける摩擦融解と変形過程：
Balmuccia産の完晶質かんらん岩シェード
タキライト中 Cr-Al スピネルからの制約。
2008年度連合大会、2008年5月26日千
葉、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 MASA AKI)

京都大学・大学院理学研究科・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

金川久一 (KANAGAWA KYUICHI)

千葉大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：40185898

小澤一仁 (OZAWA KAZUHITO)

東京大学・大学院理学系研究科・教授

研究者番号：90160853