

長野県飯田-松川断層沿いに産出するシュード タキライト：粉碎起源のシュードタキライト？

Pseudotachylyte from the Iida-Matsukawa Fault, Nagano Prefecture: Pseudotachylyte of Crush Origin?

林 愛明*・松田時彦**・嶋本利彦***

Aiming Lin*, Tokihiko Matsuda** and Toshihiko Shimamoto***

Abstract: This paper describes pseudotachylytes from the Iida-Matsukawa fault in granite, southern Nagano Prefecture, central Japan. The Iida pseudotachylytes occur as simple zones along the main fault plane and as complex veins and networks in the neighbouring cataclastite. These rocks are dark-brown to dark in color and show aphanitic in appearance, and no minerals can be recognized in the matrix under the naked eyes. Vitreous luster can be observed locally. Powder X-ray diffraction data and petrologic analysis indicate that the pseudotachylytes consist almost entirely of fine-grained angular clasts and that the pseudotachylytes have a similar X-ray diffraction pattern to that of the host granite. Field occurrences and petrologic characteristics strongly suggest that the Iida pseudotachylytes formed by crushing during seismic fault motion rather than frictional melting.

はじめに

シュードタキライトは脈状かネットワーク状に産出する黒色・細粒・ち密な岩石であり、Shand (1916)により命名されたものである。この岩石は見かけ上、タキライト(tachylyte)によく似ているので、シュードタキライト(偽タキライト)と名づけられた。Shandのこの用語には、成因的な意味は含まれていない。

シュードタキライトは世界各地の多くの断層帯で発見されている。シュードタキライトは地震性断層運動に伴う衝撃粉碎によって形成されたのか、それとも地震時の急激な断層運動に伴う摩擦熱によってメルトが形成され、それが破断面に貫入して形成されたのかについては長い間論争が続いてきた。間違いなくメルト起源のシュードタキライトは、筆者の一人(林)により中国北西部富蘊断層沿いに発見された(Lin,

1993年3月31日受付、1994年2月1日受理。

*建設技術研究所

Construction Technology Institute, Co. Ltd.

**九州大学理学部

Faculty of Sciences, Kyushu University

***東京大学地震研究所

Earthquake Research Institute, University of Tokyo

1991, 1992, 1994; 林・戈, 本特集号). その形成の力学的メカニズムについては, 地下数10mの深さの条件でも, 地震時の急激の断層運動により, 断層面沿いの岩石が摩擦熱によって熔融されることが実験の結果により明らかにされた(Lin, 1991; 林・嶋本, 本特集号).

一方, 前者の成因によるいわゆる粉碎起源のシュードタキライトはほとんど報告されていない. Lin (1988), 林(1989)は, 飯田-松川断層沿いにシュードタキライトによく似た黑色脈状岩を見出した. 我々の知る限り, これはわが国でシュードタキライト様岩の初めての報告であった. しかし, この岩石は典型的なシュードタキライト (Philpotts, 1964; Sibson, 1975; Maddock, 1983; Lin, 1991, 1992, 1994)に特徴的なガラス光沢にも乏しいし, メルトの急冷を示唆するマイクロライト, 融食によると思われる丸みをおびた粉碎岩片も含んでいない. 我々はこの地域に認められるシュードタキライト様岩が粉碎起源である可能性があると考えて, この岩石の産状と組織を記載した. ここでは, それらを典型的なシュードタキライトの特徴と比較することによって, その起源を考察してみたい.

飯田-松川断層

飯田-松川断層は木曾山脈南部を横断し, 飯田峠から飯田市街地にかけて走る長さ12km, 北西-南東方向の活断層である(Fig. 1). 活断層研究会(1991)は松川ダム付近を通る飯田-松川断層を図示している. それによると, この断層は西田(1977)の命名によるものであり, 西田(1977)にもとづいて断層沿いの川の食い違いから右ずれのB級活断層とされている. しかし, 松島・寺平(1984)はこれと反対に左ずれ断層として5万分の1地質図に図示している. さらに, 仁科ら(1985)は断層沿いの数本の尾根と川の屈曲によりこの断層を左ずれ断層としている.

Lin (1988), 林(1989)は飯田-松川断層沿いの変位地形といくつかの露頭を記載し, ESR-TL年代測定法により断層ガウジの年代を測定し

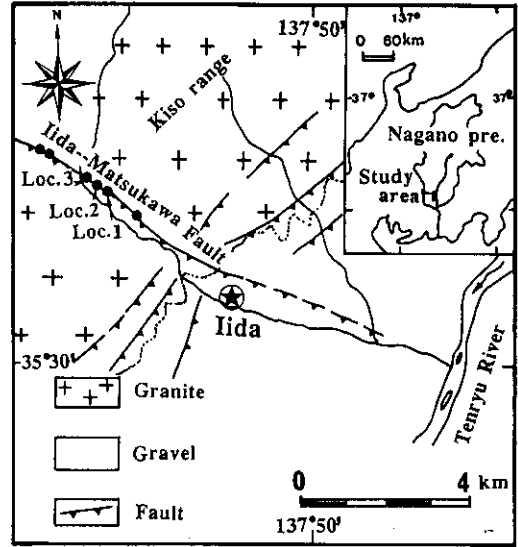


Fig.1. Simplified geological map of the Iida region, southern Nagano Prefecture, central Japan. Solid circles show the locations of main outcrops of the Iida-Matsukawa fault.

て, 飯田-松川断層が少なくとも第四紀に活動した証拠を得た. Fig. 2に1km方眼の間隔で作った木曾山脈の接峰面を示す. 木曾山脈はその北部の神谷断層(活断層研究会, 1991)と, 南部の飯田-松川断層とによって三つに分断され, その中央部が相対的に隆起, 南北両側が沈降している.

Fig. 2に示すように, 飯田-松川断層の北側山地の接峰面の標高は2100m以上, 南側の接峰面の標高は1600m以下であり, 断層両側の高度差は500m以上である. これが第四紀における断層運動により形成された垂直変位量であると考えられる. 河川の系統的な屈曲と断層面上の条線の方向は, 飯田-松川断層が左ずれ成分を持つ正断層であることを示している(Lin, 1988).

断層岩及びシュードタキライトの野外産状

断層岩

本研究の調査により, 飯田-松川断層沿いに

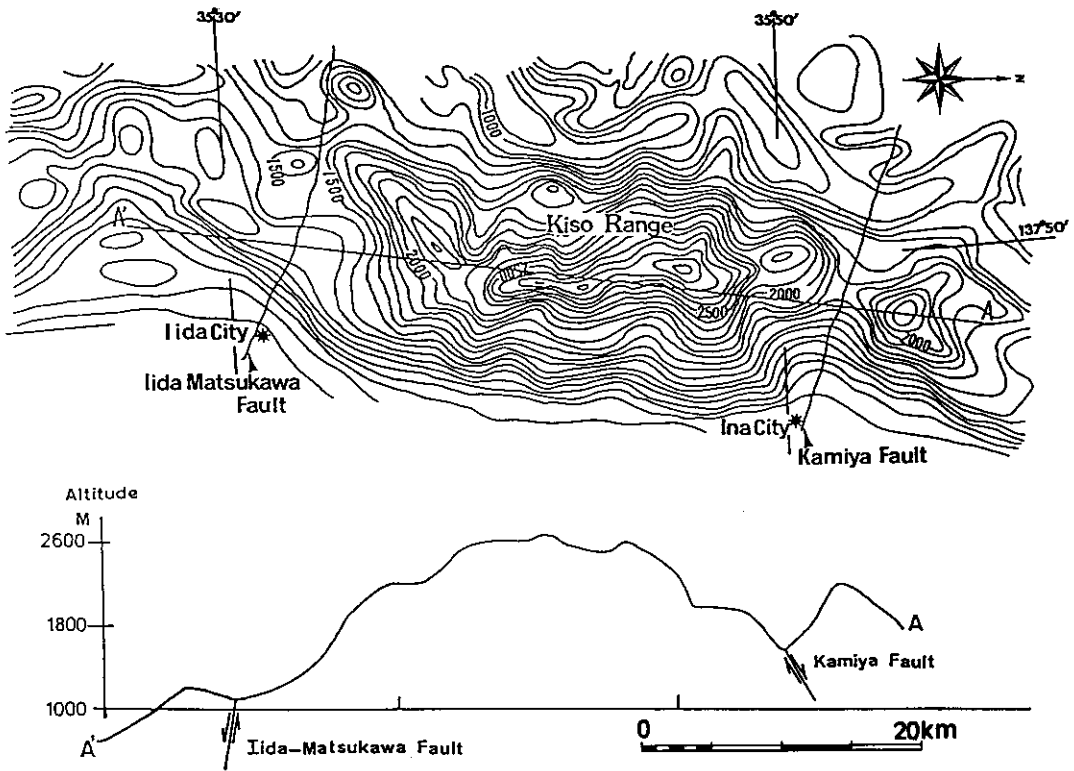


Fig.2. Summit level map of the Kiso range showing two faults and fault-controlled topography.

10数か所で断層露頭を見つけた。その内最も露出のよい、シュードタキライトを含有する三か所の露頭 (Fig. 1, Loc. 1, 2, 3) のスケッチが Figs. 3-5 に示されている。断層破碎帯は幅数 m から数十 m で、カタクレサイト (cataclasite)・断層角礫 (breccia)・断層ガウジ (gouge) から構成されている。断層岩の用語は Sibson (1977) に従う。

カタクレサイトは断層沿いに所々に露出しており、明瞭な断層せん断面 (主断層面) 近傍に幅数 10 cm から数 10 m の幅で分布する (Figs. 3-5)。一部のカタクレサイトには面構造 (foliation) が認められる (Fig. 6a)。このカタクレサイトを鏡下で観察すると、石英と長石は破片化し、角礫-亜角礫状を呈している (Figs. 6b-d)。これに対し、黒雲母は底面すべりとキンク帯の形成を伴いながら、一部変質して帯

状の分布を呈している (Figs. 6b-d)。一部の石英と長石の破片は集合として、その両側の黒雲母と同様に伸張して分布している (Fig. 6d)。カタクレサイトでは、細粒部が方解石によって部分的に充填されている。

断層角礫は未固結で、主断層面の近傍に幅数十 cm から 2-3 m の幅で帯状に連続的に分布している (Figs. 3-5)。断層角礫中には、一部の黒色のシュードタキライト (後述) の礫が観察される (Fig. 8b)。断層ガウジは断層面沿いに分布するものとカタクレサイトに脈状に産するものがある (Fig. 4)。断層面沿いのガウジは、幅が数 mm から数 cm で、断層面と平行な面構造が肉眼でも観察される。カタクレサイト中に脈状に産するガウジは、幅が数 mm から 10 数 cm の灰緑-灰黒色で、断層面の近傍 1 m 以内に分布している。貫入脈は不規則で、脈とカタ

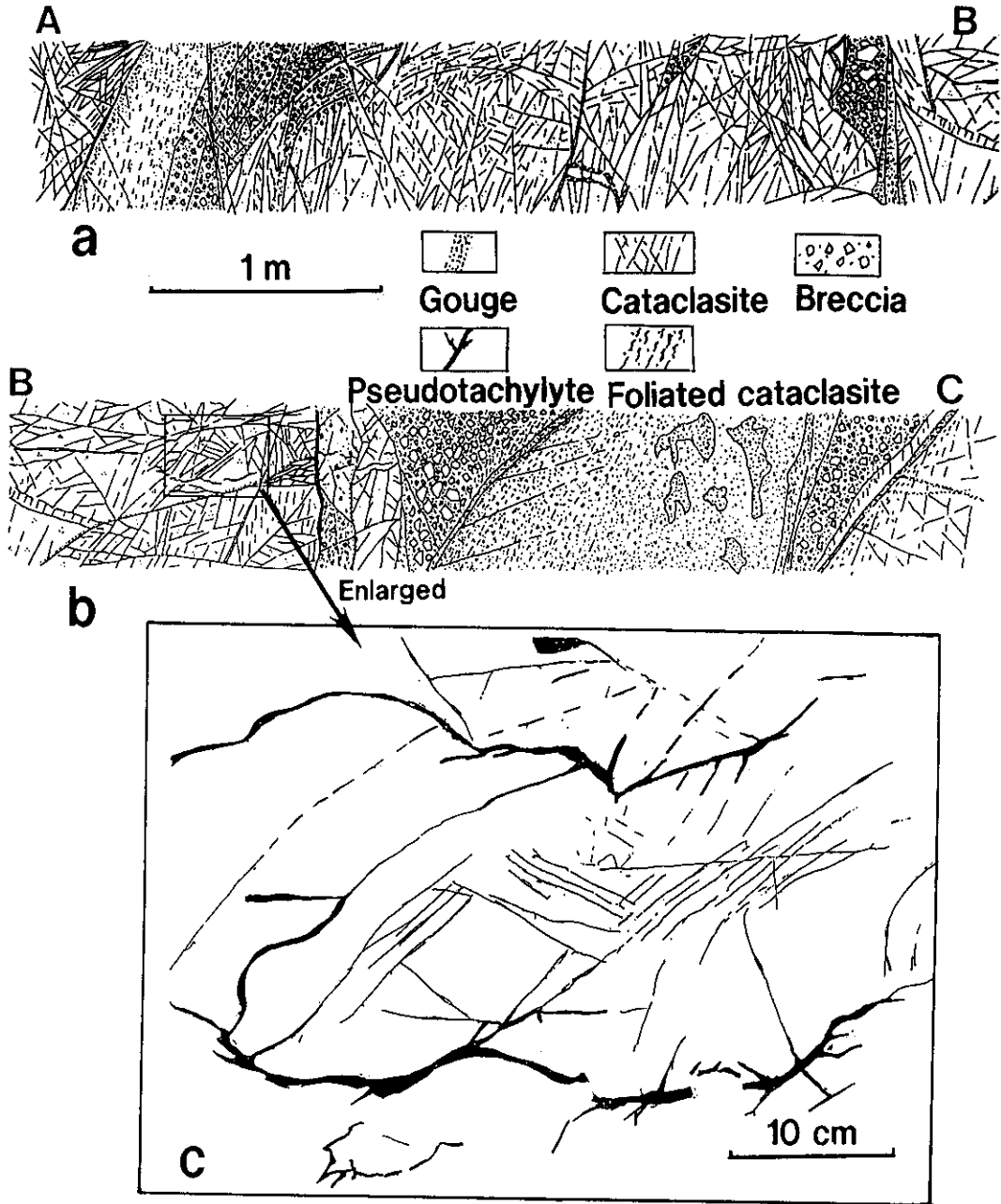


Fig.3. Sketches of the fault outcrop at Loc.1. Pseudotachylyte veins occur along the fault plane as simple veins and in the cataclasite zone as injected network veins. The right side of sketch (a) continues to the left side of (b), and (c) is an enlarged view of the upper-left portion of (b).

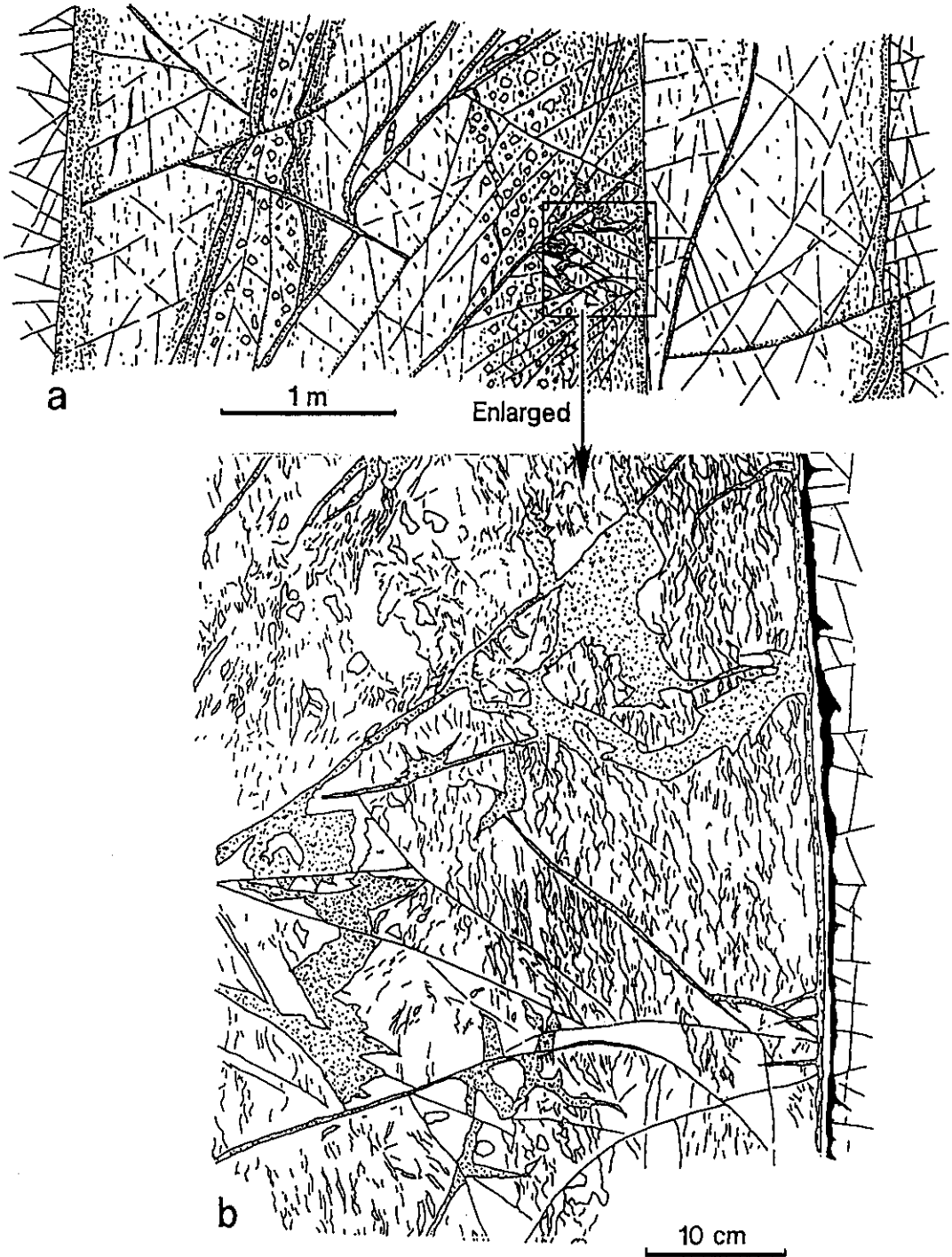


Fig.4. Sketches of the fault outcrop at Loc.2. Pseudotachylyte veins occur along the fault plane. Fault gouge occurs along the fault plane and as irregular veins and networks in the cataclasis. (b) is an enlargement of the central part of (a).

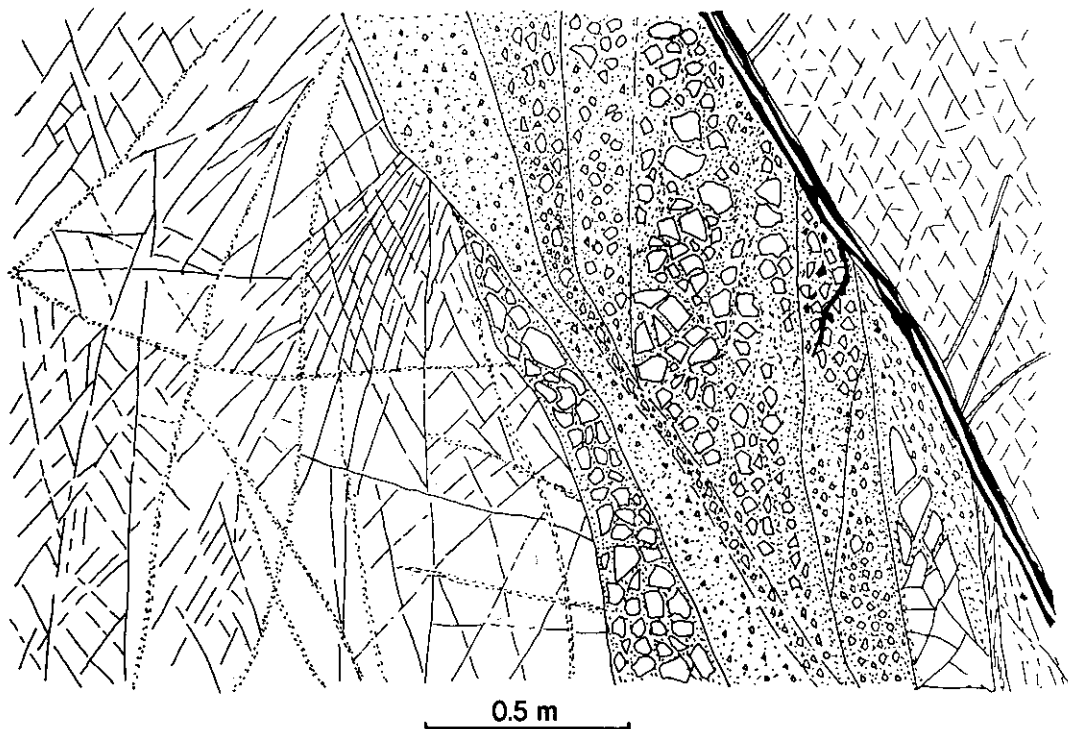


Fig. 5. A sketch of the fault outcrop at Loc. 3. Pseudotachylyte veins occur along breccia zone.

クレーサイトとの境界は非常に明瞭であり、脈の両側の岩石には変位が認められない場合が多い。ほとんどの脈は断層面沿いのガウジとつながっており、少なくとも脈状ガウジの一部は断層せん断面から貫入してきたと考えられる。

この脈状ガウジは、粗粒・未固結で幅も広く、以下に述べるシュードタキライトと見掛け上異なっている。

シュードタキライトの野外産状

黒い脈状およびネットワーク状のシュードタキライトが飯田-松川断層沿いに数か所で発見された(Fig. 1)。その中の最も露出のよい三か所の露頭のスケッチを Figs. 3-5 に示す。シュードタキライトには、断層面に沿ってほぼ連続的に分布するものと、その周辺のカタクレーサイト中にネットワーク状に産するものと2種類がある。以下、後者を特に脈状シュ-

ードタキライトと呼ぶ。断層沿いのシュードタキライトは、幅が数mmから2~3cmまで変化しており、断層面沿いにはほぼ連続的に分布している(Fig. 7a)。このようなシュードタキライトの一部は新しい断層せん断面に接していて、その上に条線が見られることもある。

脈状シュードタキライトは形態的に非常に不規則的で、今回記載した3露頭では主断層面から1m以内の断層破碎帯中に断続的に分布している(Figs. 3c, 7c)。一部の脈状シュードタキライトは断層沿いのシュードタキライトにつながっている(Fig. 5)。脈状シュードタキライトの両側の岩石には、明瞭な変位が認められない場合が多く、周囲の破碎帯が特に破碎帯のほかの部分よりも強く破碎された構造は観察されない(Figs. 7b-d)。脈状シュードタキライトの幅は数mmから1.5cmで変化し、一つの脈は数cmから数10cmの長さを持つ。シュードタキラ

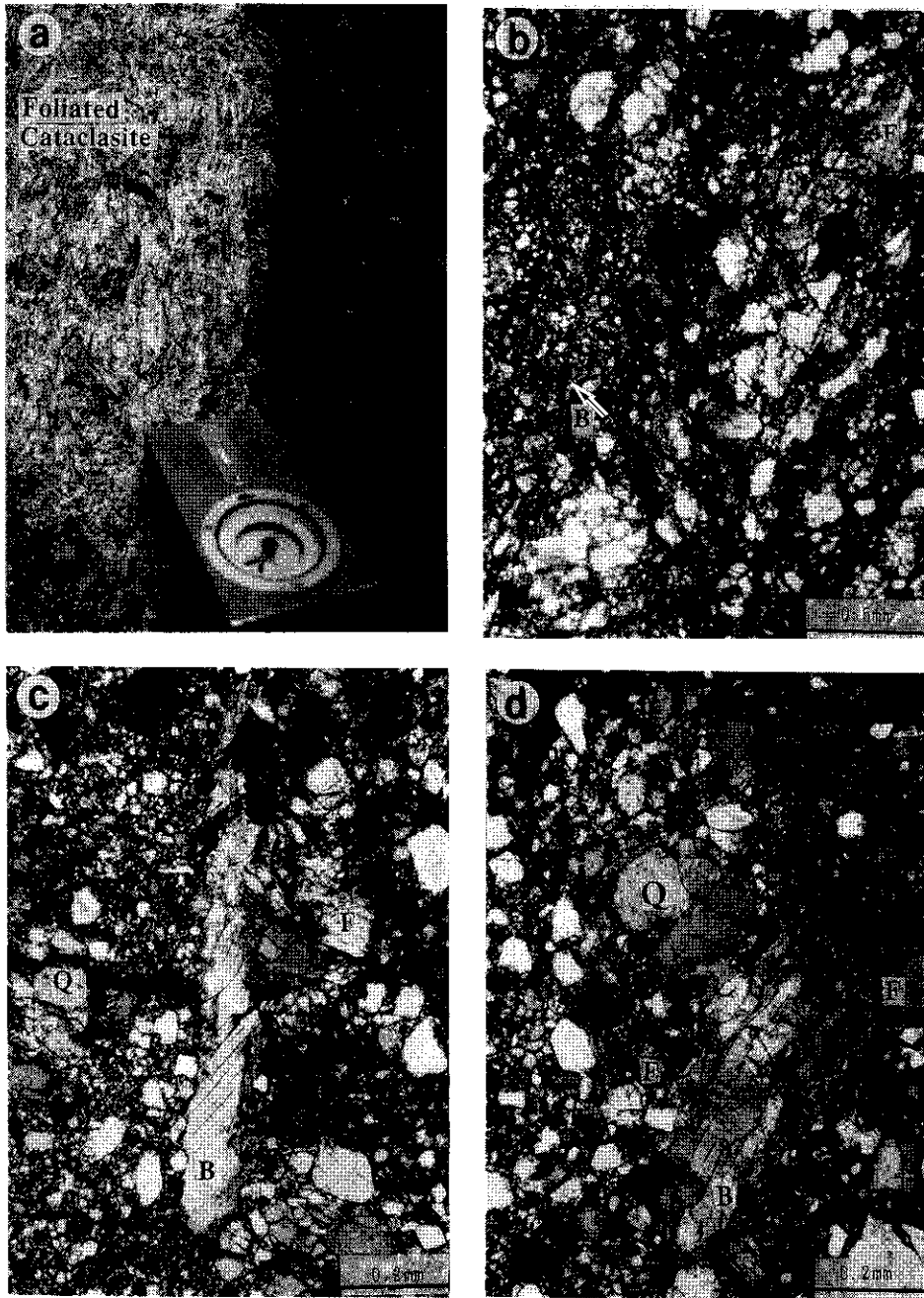


Fig.6. (a): Foliated cataclasite at Loc.1. Foliation is characterized by the orientation of mafic minerals (mainly biotite). (b)–(d): Photomicrographs under plane-polarized light showing the characteristics of foliated cataclasite. Note that quartz (Q) and feldspar (F) have been crushed, but biotite (B) exhibits basal slip and kinks and is locally ruptured to form elongated grains.

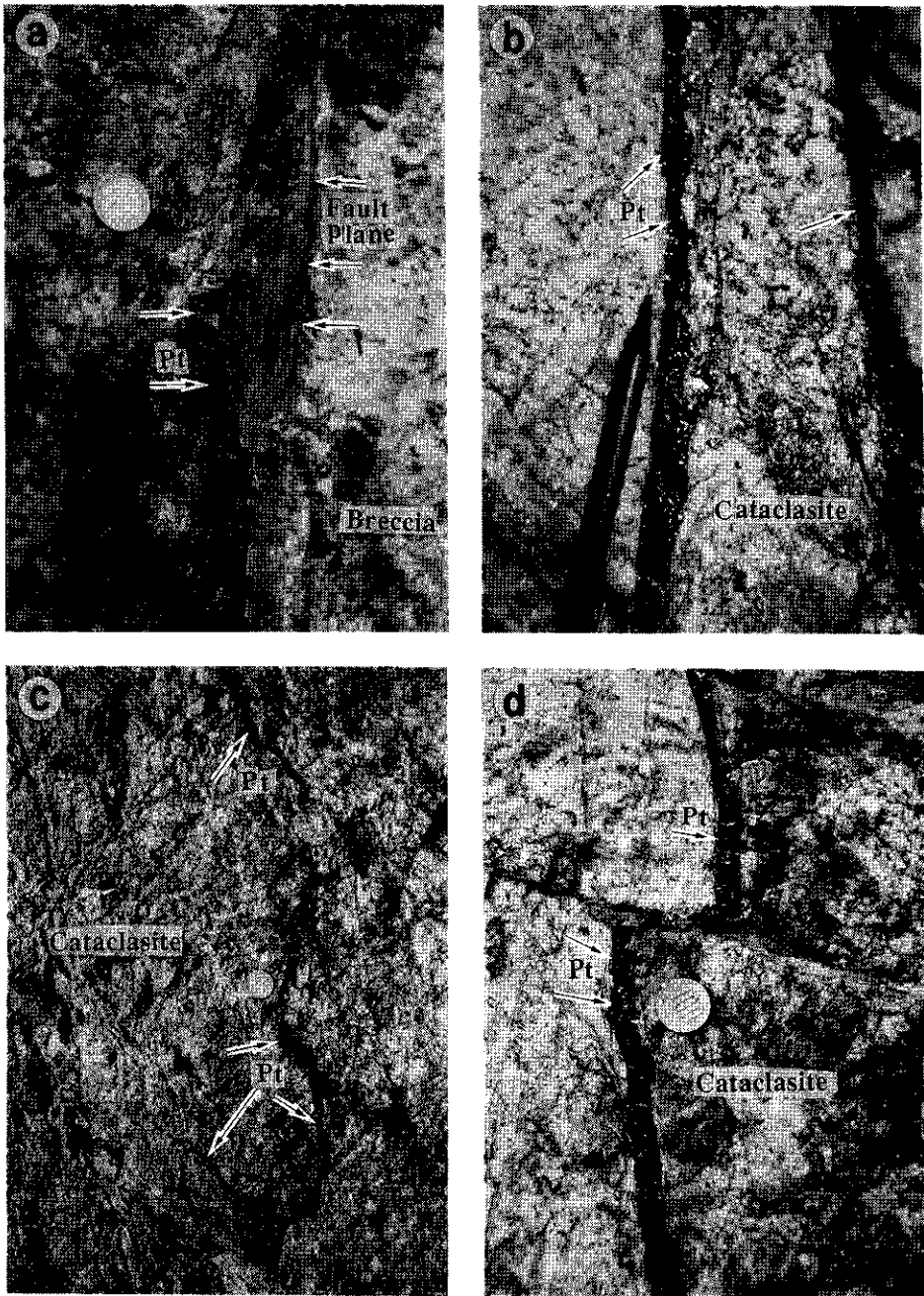


Fig.7. Photos showing the occurrences of the pseudotachylyte veins (Pt) at Loc.2. (a) :Pseudotachylyte vein along the fault plane. (b)–(d):Pseudotachylyte veins in the cataclasite. (c) is sketched in Fig.3b. Note that there is no displacement of granite on both sides of the pseudotachylyte veins.

イトは、後の小断層により変位を受けている産状がよく見られる(Fig. 7d)。断層角礫帯には、1 mm から 1 cm までの粒径のシュードタキライトの黒い破片が観察される(Fig. 8b)。脈状シュードタキライトとその周辺の岩石との接触面は非常に明瞭な不連続面であるので、野外で容易に認定できる。

岩石記載的特徴

肉眼観察によれば、シュードタキライトは一般に細粒・ち密で、黒色ないし灰黒色を呈し、

新鮮な破断面ではガラス様な光沢を持つ部分もある(Fig. 7a-d)。顕微鏡下の観察では、シュードタキライトは茶色—黄褐色の基質と細粒の結晶片が観察される(Fig. 8a-d)。基質部分はバイレフリンゼンスが非常に低く、直交ポラーにおいては、部分的に暗黒でガラス質に見える光学的特徴を示している。粉末X線分析の結果、これは緑泥石とモンモリロナイトであることが判った(後述)。鉍物片と思われるものの大半は石英と長石であり、母岩の花こう岩に見られる黒雲母、角閃石は認められない。シュードタキライト中には、Fig 8d のような針状結晶が認め

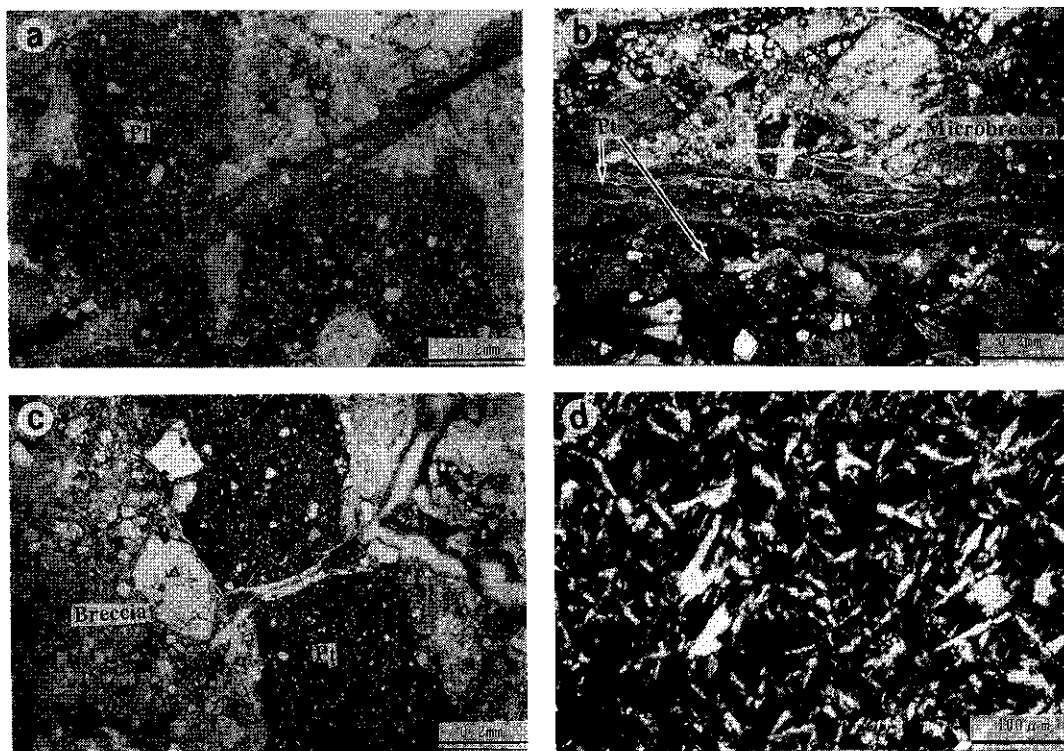


Fig.8. Photomicrographs under plane-polarized light (a-c) and under crossed-polarized light (d), showing the textures of pseudotachylytes taken from Loc.2. (a): Pseudotachylyte vein in older pseudotachylyte and cataclasite. (b): Pseudotachylyte vein that occurs along the gouge zone and fault microbreccia zone. Note that some pseudotachylyte clasts (Pt) can be observed in the fault microbreccia zone. (c): Pseudotachylyte vein in the cataclasite zone. The boundaries between the pseudotachylyte vein and the country rock are generally sharp. (d): A fragment of saussuritized plagioclase, showing a texture similar to that of microlite.

られるが、これは母岩中のソーシユライト化した斜長石の破片である。顕微鏡下においても、新・旧脈状シュードタキライトの貫入関係が観察される(Fig. 8a)。一部のシュードタキライトは形成後の変形により破壊され、小さい岩片の集合になっている(Fig. 8b)。

SEM組成像の観察によれば、顕微鏡下でははっきり見えない細粒マトリックス部がほとんど2~3 μm より大きい角ばった破片から構成されていることがわかる(Figs. 9a-d)。シュードタキライトのほとんどを構成する細粒破砕物は全体的には周辺のカタクレサイトの破片より細粒であることがSEM写真でもはっきり示されている(Figs. 9a, c)。シュードタキライト

の細粒破片のサイズは数 μm から数10 μm まで変化するが、数 μm サイズのものがもっとも多い(Figs. 9b, d)。粒度分析の結果は、この細粒の破片(<2~3 μm)がシュードタキライト脈全体のほぼ90%を占めていることを示している。2~3 μm より細粒の基質の部分はシュードタキライト脈全体の10%以下でしかない。

粉末X線分析

シュードタキライトの鉱物構成と細粒部を調べるために、RINT2200のX線分析装置を用いて、断層面沿いのシュードタキライト(pseu-1)と周辺のカタクレサイト中に脈状に産する

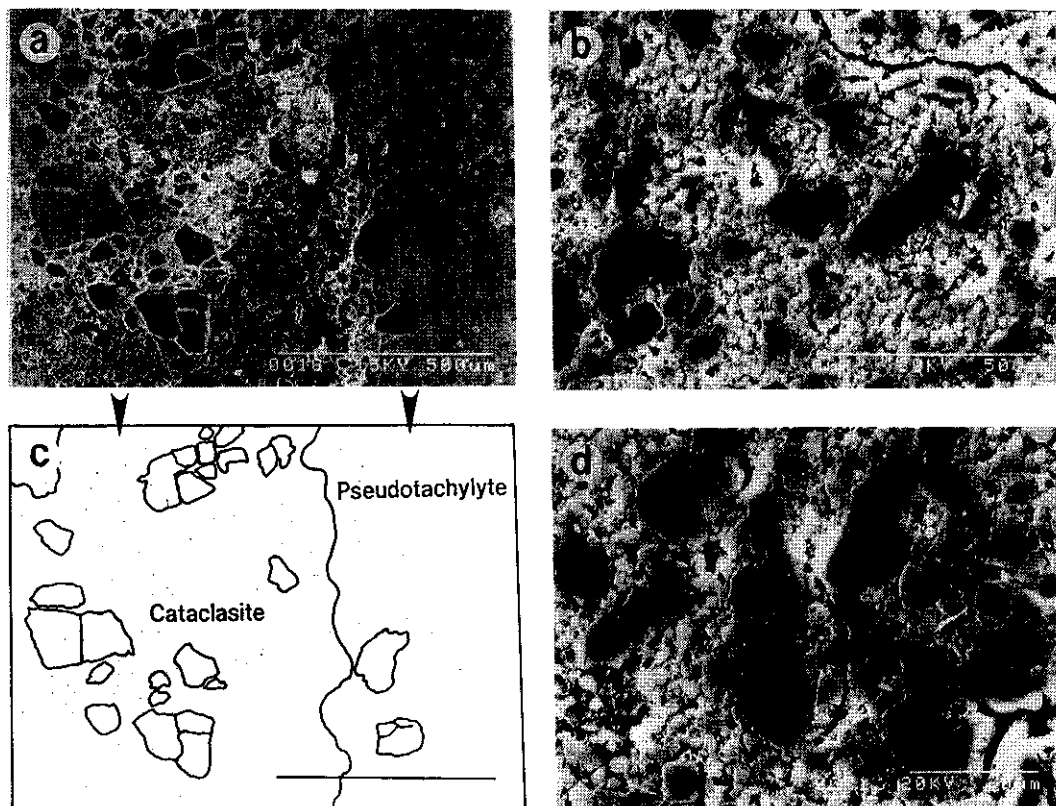


Fig.9. SEM photos showing the textures of the pseudotachylyte veins taken from Loc.1. (a) shows the boundary between the pseudotachylyte and cataclasite, and (c) is a sketch of (a). (b) and (d) show that the fine-grained matrix of the pseudotachylyte consists almost entirely of angular fine-grained clasts.

シュードタキライト(pseu-2)及び母岩の花こう岩(Granite)に対して粉末X線分析を行った。X線測定条件及びこれらのサンプルの粉末X線回析パターンをFig. 10に示す。比較するために、石英の粉末X線回析線をもFig. 10に示している。一般に非晶質物質はX線粉末回析線の低角度側に幅広い反射バンドを示す(Lin, 1991, 1994; 林・戈, 本特集号)。Fig. 10のシュードタキライトのX線回析線にはこのような反射バンドが認められない。二つのシュードタキライトのサンプルは母岩の花こう岩と殆ど同じ反射パターンを示している(Fig. 10)。但し、シュードタキライトには緑泥石とモンモリロナイトの回析ピークの存在が認められる。

飯田-松川断層沿いに産出するシュードタキライトの成因

飯田-松川断層沿いに産出する黒色脈状岩は、以下の点で世界各地で報告されているシュードタキライトの産状によく似ている。

- (1) 主断層から1 m以内の範囲に複雑な脈状およびネットワーク状に産出する。
- (2) 脈状岩と周囲のカタクレーサイトの境界は明瞭で、脈の両側の岩石に大きな変位が認められない場合が多く、周囲の岩石も脈の周辺で特に強く破碎されてはいない。
- (3) 主断層沿いに数本の細粒で無構造な黒色岩が形成されており、この岩石が一部の脈

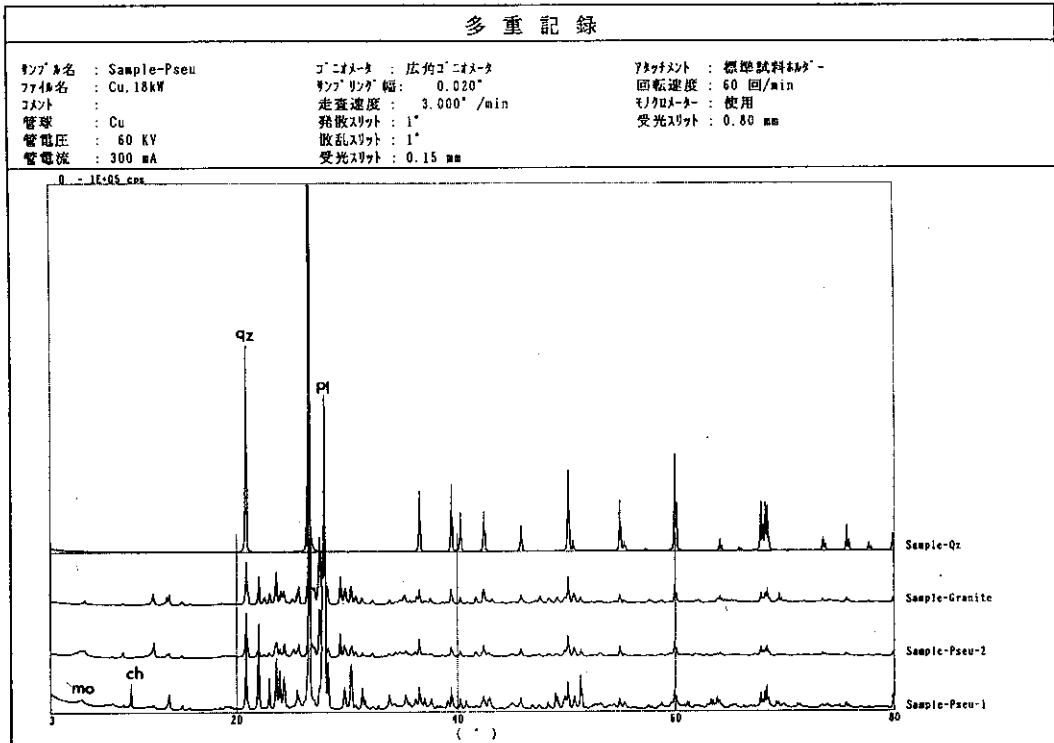


Fig.10. Powder X-ray diffraction spectra of the pseudotachylyte veins. Pseu-1: Pseudotachylyte vein along the fault from Loc.1. Pseu-2: Pseudotachylyte vein in the cataclasite from Loc.2. Granite: host granite sample from Loc.1, qz: quartz, ch: chlorite, mo: montmorillonite, pl: plagioclase.

状黒色岩につながっている場合が認められる。

しかし、この岩石は以下の点で、典型的なシュードタキライトとは異なっている。

- (4) 細粒マトリックス部の90%以上が、SEM組成像で見ると2~3 μm 以上の角張った岩片・鉱物片から構成されている。融食を示唆する丸みをおびた岩片は全く含まれていない。
- (5) 熔融起源を示唆するガラス、ガラス状マトリックス部、メルトの急冷を示唆する複雑な形態のマイクロライト・気泡と杏仁状構造・融解縁・脈の急冷縁などの構造が全く認められない。

従って、飯田-松川断層沿いに産するシュードタキライト様岩は、メルト起源を示唆する典型的なシュードタキライトの細粒マトリックス部の特徴をもっていない(Philpotts, 1964; Maddock, 1983; Lin, 1991, 1994など参照)。しかも、典型的なシュードタキライトの細粒マトリックス部はふつう岩石全体の60~70%以上を占めているのに対し(嶋本・長濱, 1991; Shimamoto and Nagahama, 1992; 長濱他, 本特集号), 飯田-松川断層沿いのシュードタキライト様岩中のマトリックス部はこれよりも遥かに少量である(10%以下)。従って、この岩石の少なくとも90%以上は粉碎起源である。(4)(5)の特徴から、我々は飯田-松川断層沿いのシュードタキライト様岩はほぼ全体が、粉碎起源の岩石ではないかと考えている。

しかし、その一方で上述の(1)~(3)の特徴は、典型的な断層ガウジおよびアルトラカタクレーサイトの特徴とも異なっている。脈状シュードタキライト様岩は全く無構造で断層破砕帯に特徴的な剪断変形の集中域などが全く見られない。また、脈の形態も典型的な小断層と違って不規則で、方向も様々である。これは、正に典型的なシュードタキライトの特徴であり、このような複雑な構造は断層帯内部における地震時の衝撃を伴う変形によると考えるのが、自然であろう。飯田-松川断層沿いに脈状およびネッ

トワーク状に産出する黒色岩の特徴は、世界各地で報告されてきたシュードタキライトの一般的な産状と組織に似ており、Shand (1916)の定義によるシュードタキライトであると考えられる。

上述の理由から、我々は飯田-松川断層沿いの黒色脈状岩を粉碎起源の可能性が高いシュードタキライトと呼ぶことにする。

問題は、主断層と平行に産する非常によく似た岩石をアルトラカタクレーサイトと呼ぶべきか、それともシュードタキライトと呼ぶべきかである。この岩石の一部は脈状シュードタキライトにつながっていること(Fig. 5)と、剪断変形の痕跡を全く示さない部分があること(Fig. 7)から、少なくともその一部は脈状シュードタキライトと同じ起源の岩石と考えるべきであろう。しかし、Fig. 8bのような明瞭な剪断変形組織が認められる場合があるので、今後より詳細な組織の解析が必要である。注入脈状シュードタキライトの両側の岩石に変位が殆ど認められないことと、それが断層沿いのシュードタキライト様岩に連続していることから、脈状シュードタキライトを構成する物質の少なくとも一部は、断層沿いに形成されたものが割れ目沿いに貫入してきたと考えられる。

最後にこのシュードタキライトが熱水作用により割れ目沿いに形成された粘土脈の可能性がないのか、という問題を検討しておこう。もしシュードタキライトが粘土鉱物から構成されるのであれば、粘土鉱物、Fe, Mg, Caのような溶解しやすいものが母岩花こう岩より多く含まれるはずである。しかし、粉末X線分析の結果は、シュードタキライトと母岩の花こう岩は殆ど同じ鉱物から構成されていることを示しており、その鉱物構成の量比もほぼ同じである。以上のX線分析の結果と微構造の観察から、このシュードタキライトが粘土脈である可能性はない。

おわりに

以上をまとめると、飯田シュードタキライト

は急激な地震性断層運動によって生じた花こう岩の細粒-微細粒の破碎物質からなる脈状岩であり、少なくとも粉碎岩片の一部は断層面沿いと割れ目沿って貫入することによって形成したと考えられる。

現在まで報告されてきたシュードタキライトは、粉碎起源のものにせよ、熔融起源のものにせよ、必ず粉碎破片と基質部から構成される。しかし、粉碎破片と基質部の量比は一定ではないので、その両者の区別がはっきりしない可能性もある。粉碎起源と考えられるシュードタキライト様岩は飯田-松川断層以外でも認められるので、今後、両者の起源のシュードタキライトをどう区別するか、両者の中間的な岩石はあるのか、などの問題をより詳しい検討するべきである。粉碎起源のシュードタキライトが熔融起源のものと明瞭に区別できるならば、それは別名称で呼ばれるべきである。

謝辞：現地調査において、飯伊日中友好協会の加藤清孝氏、元高森町立小学校の松島信幸先生には、御援助・御助言を頂いた。東京大学地震研究所の藤井敏嗣教授には御助言、御討議を頂いた。東京大学地震研究所の原山千谷氏と渡邊トキエ氏には種類の便宜をはかっていた。これらの方々には厚く御礼申し上げる。

文 献

- 活断層研究会, 1991, 「日本の活断層一分布図と資料」. 東京大学出版会, 186-191.
- Lin, A., 1988, Active faults and their ESR and TL ages in the Iida area, Nagano Prefecture, Japan. M.S thesis, University of Tokyo, 70p.
- 林 愛明, 1989, 伊那谷南部・飯田地域の活断層の ESR 及び TL 年代測定, 活断層研究, 7, 49-62.
- Lin, A., 1991, Origin of the fault-generated pseudotachylites. Doctoral thesis, University of Tokyo, 108p.
- Lin, A., 1992, Glassy and microlitic pseudotachylites from the Fuyun Fault Zone, northwest China, 29th IGC abstract. 1/3, 169.
- Lin, A., 1994, Glassy pseudotachylites from the Fuyun fault zone, northwest China. J. Struct. Geol. 16, 71-83.
- 林 愛明・戈 樹漠, 1994, 中国北西部富蘊断層沿いに産するガラス質シュードタキライト. 本特集号.
- 林 愛明・嶋本利彦, 1994, 実験的に形成されたシュードタキライトの化学組成. 本特集号.
- Maddock, R. H., 1983, Melt origin of fault-generated pseudotachylites demonstrated by textures. Geology, 11, 105-108.
- 松島信幸・寺平 宏, 1984, 天竜川上流域の活断層(参考資料), 中部建設協会.
- 長濱裕幸・嶋本利彦・大友幸子・Lochhead, A., 1994, シュードタキライト中に含まれる破碎物の粒度分布の再検討: シュードタキライトの起源についての意味. 本特集号.
- 西田幸成, 1977, 伊那谷の活断層. 東京都立大学地理修士論文.
- 仁科良夫・松島信幸・赤羽貞幸・小坂共栄, 1985, 長野県の活断層-活断層分布図と資料, 信州大学理学部紀要, 20, 171-198.
- Philpotts, A. R., 1964, Origin of pseudotachylites, Am. J. Sci., 262, 1008-1035.
- Shand, J. S., 1916, The pseudotachylite of Parijs (Orange Free State), and its relation to 'trap-shotten gneiss' and 'flinty crush-rock'. Quart. J. Geol. Soc. London, 72, 198-221.
- 嶋本利彦・長濱裕幸, 1991, シュードタキライトの起源と地殻応力問題. 月刊地球, 13, 416.
- Shimamoto, T. and Nagahama, H., 1992, An argument against the crush origin of pseudotachylites based on the analysis

- of clast-size distribution. *J. Struct. Geol.*, 14, 999-1006.
- Sibson, R. H., 1975, Generation of pseudotachylite by ancient seismic faulting. *Geophys. J. Royal Astro. Soc.*, 43, 775-794.
- Sibson, R. H., 1977, Fault rocks and fault mechanisms. *J. Geol. Soc. London*, 133, 192-213.