

学 位 論 文 要 旨 (Summary of the Doctoral Dissertation)	
学位論文題目 (Dissertation Title)	The role of minor faults in the upper crust along the high strain-rate zones: topographical and geological approaches (ひずみ集中帯の上部地殻における小規模断層の役割： 地形・地質学的アプローチ)
氏 名(Name)	田村友識
<p>In high strain-rate zones, active regions of ongoing crustal deformation, earthquakes occur frequently, the total slip rates of active faults are in the zone not consistent to strain rate detected by geodesy. This difference is one of the most significant issues for crustal deformation, and is known as “strain-rate paradox”. Previous crustal deformation models are mainly constructed with major active faults alone, whereas minor faults are often recognized in the high strain-rate zones. The aims of this thesis are to solve the strain-rate paradox and propose a new image of the crustal deformation by focusing on the minor faults. In order to accomplish these goals, the representative high strain-rate zones such as San-in Shear Zone (SSZ) and Niigata-Kobe Tectonic Zone (NKTZ) were targeted. As a result of the topographical and geological approaches, universal model, origin, deformation process and mechanism of the high strain-rate zone were clarified. The main outcomes are as follows:</p> <p>(1) Minor faults in the NKTZ, which are mostly NE-SW to ENE-WSW-trending, have a few mm to a few dozens of cm in width and exhibit dextral sense of shear. These minor faults are distributed in the vicinity and/or away from the major active faults. In addition, the active fault, whose core zone has 5 m in thickness, were found. Such fault showed dextral sense of shear and has the latest slip event after AD 1521-1658, suggesting that the fault clearly contribute to the dextral deformation of the NKTZ. The origins of such faults are thought to be tensile cracks formed in Cretaceous, suggesting that the faults contribute to the dextral deformation of the NKTZ after repeated faulting along the cracks. The minor faults away from the major active faults are also thought to contribute to the deformation of the NKTZ, whereas minor faults outside of the NKTZ cannot contribute to that of the NKTZ.</p> <p>(2) Minor faults in the SSZ, which are mostly ENE-WSW to NE-SW-trending, have a few mm to a few dozens of cm in width and exhibit dextral sense of shear. These other minor faults trending NW-SE ~ NNW-SSE direction with steep dips, are sinistral sense of shear. The minor faults, which is trending E-W direction with steep dips, showed dextral sense of shear. Active faults, whose attitude are nearly parallel to the SSZ, are also newly recognized. The thickness of the fault is a few cm and thought to show dextral-reverse oblique slip after 18648-16313 cal. BC. The frameworks of the major active faults in the SSZ are thought to prepared along the geological boundaries and such faults have grown by the repeated activities since Paleogene. It is considered that not only major active faults but also minor faults away from the major active faults can contribute to the dextral motion of the SSZ. On the contrary, there are only reverse fault was recognized in the area outside of the SSZ.</p> <p>(3) The minor fault in the high strain-rate zones, which includes the minor fault away from the major active fault, can contribute to the dextral deformation of the high strain-rate zones because of their attitudes and sense of shears. On the other hand, the minor faults outside of the high strain-rate zones cannot contribute to the dextral deformation of the zone due to their attitudes and sense of shears. Thus, there are noteworthy difference between minor faults in and outside of the high strain-rate zones. Combining these outcomes, a hierarchical structure of the high strain-rate zones can be constructed as follows: (I) fault core of major active faults, (II) damage zone of major active faults, (III) brittle shear zone (or active background; the area beyond the damage zone but in the SSZ), (IV) inactive background</p>	

様式7 - 2号 (第12条, 第31条関係)

(様式7 - 2号) (Format No.7-2) 英語版

(outside of the high strain-rate zone). This new model enables to partly solve the strain rate paradox for both zones, whereas an occurrence of faults differs between the zones. The NKTZ is characterized by NE-SW to ENE-WSW-trending minor faults and their thickness ranging from a few mm to a few dozens of cm. The active faults possess fault core with > 5 m in thickness. The SSZ are characterized by NW-SE or E-W-trending minor faults and their thickness ranging from a few mm to a few dozens of cm. Some faults show the Quaternary activities, whereas fault core with a few meters in thickness were not found. These differences on fault occurrence are considered to be derived from the evolutionary processes. It is thought that the repeated activities along the pre-existed structures lead to present active faults. Thus, it can be considered that the faults are assigned in response to the local geological background, which result in dextral contribution to the high strain-rate zones.

This study clarified universal model, origin, deformation process and mechanism of the high strain-rate zone by focusing on the minor faults. These achievements can constrain the modeling of the crustal deformation and interpretations of the geodetical observations and can contribute to assessments of large-scale constructions and seismic hazards.

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	田村 友識
審 査 委 員	主 査： 大橋 聖和
	副 査： 坂口 有人
	副 査： 太田 岳洋
	副 査： 志村 俊昭
	副 査： 辻 智大
	副 査： 楮原 京子
論 文 題 目	The role of minor faults in the upper crust along the high strain-rate zones: topographical and geological approaches (ひずみ集中帯の上部地殻における小規模断層の役割: 地形・地質学的アプローチ)
<p>【論文審査の結果及び最終試験の結果】</p> <p>一般に、プレート運動などによって地殻に蓄えられるひずみは一時的に弾性ひずみとして内在されるが、これによって生じた地殻内応力が岩石の強度を超えると破壊（すなわち地震）が生じ、地殻中の弾性ひずみは活断層における非弾性変形に転換される。この考えに基づくと、地殻に蓄えられる弾性ひずみのレートと断層での非弾性変形のレートは長期的にバランスすると考えられるが、実際には両者の間には数倍～10 倍の差があることが知られている。この齟齬は「ひずみ速度パラドックス（地形-地質-測地間での地殻ひずみ速度の不一致）」と呼ばれ、地球変動学における第一級の問題である。本研究の対象である“ひずみ集中帯”とは、2000 年以降宇宙測地観測によって存在が明らかにされたひずみ速度の高い地域のことであり、内陸地震が頻発することでも知られている。ひずみ集中帯の内部では定常的な非弾性変形の存在が指摘されており、この問題を解決する鍵であると考えられているが、その実態はほとんど理解されていない。本研究の目的は、ひずみ集中帯の上部地殻における変形機構や構造発達過程を明らかにし、ひずみ速度パラドックスを解決に導くことである。</p> <p>研究は、国内でも顕著なひずみ集中帯として知られる新潟-神戸ひずみ集中帯と山陰ひずみ集中帯を対象に地形・地質調査を行い、ひずみ集中帯の一般像、それぞれの起源と形成過程、小規模断層を含めた地殻変形メカニズムとひずみ速度、の3つが明らかにされた。主な成果は次のとおりである。</p> <p>(1) 新潟-神戸ひずみ集中帯内部には、ENE-WSW～NE-SW 走向で数 mm～数十 cm 幅の右横ずれセンスを示す小規模断層が発達しており、主要活断層の周辺および離れた場所に分布することが示された。これら断層の起源は後期白亜紀の引張性クラックであると考えられ、その後の活動を繰り返しながら現在はひずみ集中帯の右横ずれ変形を担っていると説明された。主要活断層から離れた地域の断層もひずみ集中帯の変形に寄与すると考えられるが、ひずみ集中帯の外側では左横ずれセンスを示し、ひず</p>	

み集中帯の変形には参加しないとされた。

(2) 山陰ひずみ集中帯における地形調査から、ひずみ集中帯内部には地質境界では説明できないリニアメントが多数存在し、ひずみ速度や微小地震の分布と対応することが示された。また、ひずみ集中帯内部には数 mm～数十 cm 幅の小規模断層が発達し、新潟-神戸ひずみ集中帯と同様に主要活断層の周辺および離れた場所に分布する。これらは、NW-SE～NNW-SSE 走向で高角傾斜の左横ずれセンスないし、E-W 走向で高角傾斜の右横ずれセンスを有する傾向が認められる。山陰ひずみ集中帯における断層群の成因として、古第三紀火山岩の貫入境界を利用してその骨格が準備され、活動を繰り返すことで成長したと考察された。主要活断層だけでなく、そこから離れた地域の断層もひずみ集中帯の右横ずれ変形に寄与すると考える一方、ひずみ集中帯の外側では逆断層運動を示す断層のみが認められ、ひずみ集中帯の変形には寄与しないとされた。

(3) 両ひずみ集中帯内部には、主要活断層から離れた場所においても、ひずみ集中帯の変形に調和的な姿勢・運動センスを有する小規模断層が発達する。一方で両ひずみ集中帯の外側にはそのような断層は存在しない。このことから、ひずみ集中帯の内外には明確な違いがあり、ひずみ集中帯の変形階層構造は次のように想定されるとした：(I) 主要活断層の断層コア、(II) 主要活断層のダメージゾーン、(III) 脆性せん断帯、(IV) 非活動的な背景領域。両ひずみ集中帯において、小規模断層の幅や地形的特徴から変位速度を見積り、地域のひずみ速度の 4-24%を小規模断層群が担っていることを明らかにした。そして、地殻変形モデルに上記の変形階層構造を導入することで、ひずみパラドックス問題を解決に導くことができると示された。一方、小規模断層の産状はひずみ集中帯固有の特徴を持つ。この産状の違いは、各地で独立して発生した既存の弱面（引張割れ目）に規制されて小規模断層が誕生し、地域の応力史に応じた固有の活動を経て、結果として現在のひずみ集中帯の横ずれ変形に寄与していると考えられることで説明された。

本研究結果は、ひずみ集中帯の一般的な変形モデルを提供するとともに、ひずみパラドックス問題の解決案を提示し、地殻変形の描像を刷新するに至った。これらの成果の波及効果として、地殻の変形モデリングや測地観測結果の解釈に制約を与えるとともに、大型構造物の建設や地域の地震防災の面でも貢献すると期待される。

公聴会における質問内容は、年代測定に用いた試料の詳細、扇状地における活断層の変位量の見積り、山陰ひずみ集中帯の変位量見積りの妥当性、リーデル剪断面の解釈の妥当性などについてであった。いずれの質問に対しても発表者からの確かな回答がなされた。また、予備審査で指摘された意見に対しては、全て適切に修正・回答されていた。以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（理学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。（関連論文 計 1 編）

Tamura, T., Oohashi, K., Otsubo, M., Miyakawa, A., and Niwa, M., Contribution to crustal strain accumulation of minor faults: a case study across the Niigata-Kobe Tectonic Zone, Japan. *Earth, Planets and Space*, 72, 7, 1-17, 2020.