

(続紙 1)

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	西脇 隆文
論文題目	Comparison of Damage Zones of the Nojima and the Asano Faults from the Deep Drilling Project: Differences in Meso-to-microscale Deformation Structures related to Fault Activity (深部ボーリング調査に基づく野島・浅野断層破碎帯の比較：断層活動性による変形構造の違い)		
(論文内容の要旨)			
本研究は、兵庫県淡路島の野島断層と浅野断層で2015-2018年に実施された深部断層掘削（ボーリング調査）において得られた掘削試料を用いて、メソ-マイクロスケールにおける構造地質学的な検討を行うことで両断層の活動性を評価することを目的とするものである。これらの断層帯の掘削地点では、1995年兵庫県南部地震で地表地震断層が生じた。 断層破碎帯における深部掘削によって活断層の断層破碎帯中に発達する変形構造からそれらを形成した変形場やメカニズムを推定する試みが、世界各地において行われている。掘削調査は地表における酸化・地下水との反応といった2次的な変質作用の影響が少ない試料を連続的に採取でき、その掘削孔を利用した原位置観測や試験を実施して応力や歪、地震波速度、水理特性等のデータが得られるという利点がある。一方で掘削調査ではその掘削試料量が直径方向には限られ、空間的な情報を得ることが出来ないという問題点がある。この問題点は既存の断層で繰り返しせん断が生じて変形構造が混在する活断層の断層破碎帯において、それらを解釈する上で難しさを生む。本研究では多数の掘削孔から得られた試料を活用することでこの問題を解決するとともに、断層間の変形構造を比較し、その構造と断層の活動性およびその変遷と関連付けた。 本研究では深部断層掘削で野島断層と浅野断層で得られた掘削試料に対して、主に肉眼観察、光学顕微鏡観察、走査型電子顕微鏡観察およびXRD分析を用いた変形構造の解析と、孔壁観察の方位データを用いた方位解析を行った上で、両断層間で得られた結果を比較した。上記の検討の内、変形構造に対する構造解析は、断層面およびせん断面の近傍に位置し破碎が卓越する断層コアゾーンと、その周辺に位置し程度は低いものの破壊が認められる断層ダメージゾーンに分けて行った。 断層コアゾーンの変形構造の解析では、主に各断層で得られた断層ガウジ層を比較した。野島断層では得られた各ボーリング孔からの掘削試料では断層ガウジが幅10-30cmで帯状に認められる一方、本坑の掘削試料のそれは幅約20cmだった。これらの断層ガウジ帯は色調、粒径分布、固結度、岩片の構成物によって区分される10-20層の薄層からなる成層構造を示した。各断層ガウジ層の間にはせん断面が明瞭に認められ、内部構造においてもかつての断層ガウジのブロックや方解石脈がせん断面によって切られており、この断層ガウジ帯において数多くの地震イベントを生じていることを示唆した。一方、浅野断層で得られた本坑掘削試料で認められた断層ガウジ層は、幅約14cmと認められたが、断層ガウジ層に成層構造は認められず、せん断面も明瞭には認められなかった。 断層ダメージゾーンの変形構造の解析では、野島断層の断層ダメージゾーンは、地下900mから1995年の兵庫県南部地震における地表地震断層まで、南東方向に傾斜82-72°で連続し、その幅は57.4mと見積もられた。掘削試料で認められた断層ダメージゾーンの深度は、物理検層の結果において、地震波速度、密度、比抵抗で明瞭に低い値を示した深度と調和的だった。断層ダメージゾーン中には、その周囲の区間に比べ			

て脈状構造であるカタクレサイト脈が卓越し、鉬物脈の頻度が少なくなることが分かった。

浅野断層の断層ダメージゾーンは、地下と地上では直線的には分布せず、パイロット孔周辺の深度約100mで屈曲もしくは不連続となる。地下深部の傾斜は 62° と推定され、掘削試料から得られた断層ダメージゾーンの幅は57.1mと見積もられた。物理検層の結果は各検層項目において野島断層のような顕著な異常が認められなかった。また、断層ダメージゾーンと鉬物脈やカタクレサイト脈からなる脈状構造とは対応が認められず、全深度で鉬物脈が卓越した。掘削試料は野島断層に比べて固結した性状を示した。

野島断層と浅野断層の本孔の上盤側の深度において、孔壁観察で得られた方位データを解析した。各孔の割れ目の走向データを調べた結果、野島断層の本孔ではN50-70 $^{\circ}$ E、浅野断層の本孔ではN30-60 $^{\circ}$ Eの方位に割れ目が集中し、異なる方向への構造の集中が認められた。

本研究の結果から、野島断層と浅野断層の活動性を比較すると、野島断層に沿っては脆性破砕が卓越し、現在は断層運動が活発に起きていると言える。一方、浅野断層に沿っても地形地質的にせん断変位が認められているが、掘削試料（地下）においては最近の活動を示す構造が認められない。従って浅野断層は過去には断層運動が活発に起きていたが、現在においては活発ではなく、現在では淡路島北西岸における断層運動は主として野島断層に移っている可能性が高いと考えられる。本研究の結果によって、深部断層掘削により断層試料を回収し、多角的な観察・分析を実施することによって最近の地震活動を含む活動性の評価に貢献できる可能性が示された。

(論文審査の結果の要旨)

内陸地震を発生させる活断層を対象に断層深部掘削を実施し、地下環境下での断層活動の素過程の解明やその変形場の解釈を行うことは、構造地質学および地震防災の研究上重要である。掘削試料という限られた試料量で変形過程の解釈を行うことは掘削調査で得られた地質的、地球物理化学的データを正しく理解し、調査を運用していく上で不可欠な作業となる。

本研究では淡路島北部の小倉地区において、1995年兵庫県南部地震で地表地震断層が出現した並走する野島断層と浅野断層で実施した地下の断層帯を横切る深部断層掘削による試料を用いて、両者の変形構造をメソ-マイクロスケールの構造地質学的手法で解析・比較し、両断層の活動性を評価している。今までにも世界各地で内陸地震を発生させた断層帯に対して深部断層掘削による調査が実施されてきたが、本研究の様な同一地域の異なる断層に対して深部掘削を行い、その変形の性状を比較した例は報告されていない。そこで本研究では両断層の断層破碎帯において、断層面せん断面近傍の断層コアゾーンと断層ダメージゾーンについて、主に掘削試料の変形構造の解析を行った。

解析の結果、野島断層は断層コアゾーンにおいて、成層構造が卓越しせん断面が明瞭に認められる断層ガウジ帯が認められた。また断層ダメージゾーンにおいて、本断層は地下約900mから地表まで直線的に分布すること、掘削試料において認められた断層ダメージゾーンが物理検層のデータによっても確認できること、断層ダメージゾーン中にはカタクレサイト脈が発達して掘削試料が脆弱であること等が示された。上記の変形構造から野島断層では脆性破碎が卓越することが分かった。一方、浅野断層は断層コアゾーンにおいて、断層ガウジ帯のせん断構造が明瞭でないことが示された。また断層ダメージゾーンに関して、地表トレースとの関係が明瞭でないこと、物理検層では異常値が認められず、断層ダメージゾーンとの対応関係がつかないこと、脈状鉱物が割れ目を充填する構造が保存されていること等が示された。こうした変形構造から浅野断層では現在では脆性破碎が卓越しないことが分かった。

上記の結果から野島断層と浅野断層では現在においては野島断層に沿って断層運動が活発に起きていることが示された。一方、浅野断層に沿っても地形地質的にはせん断変位が認められ、断層ダメージゾーンも野島断層のものと同程度認められることから、浅野断層においては野島断層より過去の時点で断層運動が活発であったが、近年の断層運動は主として野島断層に移ったと考察している。

本研究は、異なる断層の掘削試料を用いてそれらに認められる変形構造をメソ-マイクロスケールの構造地質学的によって解析し、その変形構造のみから各断層帯の活動度とその活動性の変遷を明らかにしたものであり、高く評価できる。将来的には他の複数の断層において採取された深部掘削試料に対して本研究と同様の分析・比較を行うことで、断層の活動性を評価することができ、その活動性を基に他のデータを解析することによって断層破碎帯の構造発達史の解析に貢献できることが期待される。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和2年1月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降