

氏 名 戸 田 茂<sup>しげる</sup>  
 学位(専攻分野) 博 士 (理 学)  
 学位記番号 理 博 第 2117 号  
 学位授与の日付 平 成 11 年 7 月 23 日  
 学位授与の要件 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当  
 研究科・専攻 理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻  
 学位論文題目 Typical Deformation Modes of Active Faults in the Kinki Region, Central  
 Japan  
 (近畿地方における活断層の典型的な変形形態)

論文調査委員 (主 査)  
 教 授 岡 田 篤 正 助 教 授 竹 村 恵 二 教 授 竹 本 修 三

### 論 文 内 容 の 要 旨

近畿地方の中央部は敦賀湾・伊勢湾・大阪湾を各頂点とする三角形の地域を形成し、近畿トライアングルとよばれている。ここは日本列島でもっとも活断層が密に存在する地域である。この地域の典型的な逆断層である養老断層・堅田断層、横ずれ断層である有馬-高槻構造線を横断する断面で反射法地震探査を行い、構造盆地の形成に関与してきたこれら活断層の地下構造・活動開始時期・変位・変形状態について究明し、近畿地方のネオテクトニクスについて議論した。

典型的な逆断層とされる養老断層や堅田断層では、断層の低下側で急に厚さを増す地層である growth strata が認められた。横ずれ断層である有馬-高槻構造線では、高角の断層の集合体である flower structure が表層まで認められた。このように、地下構造からも逆断層型や横ずれ型の活断層の特徴を示すことが明らかになった。

養老断層を挟んで東側の濃尾平野側では、2.7 Ma 以降に堆積した東海層群暮明累層より上位の地層に層厚の急変がみられ、growth strata と認められる。基盤岩を被っている堆積層の基部は、幅約 1,500 m で撓曲を生じている。この構造は基盤岩の上下変位によって堆積層が撓曲変形したと考えられる。すなわち、養老断層は 2.7 Ma 以降に活動を始め、3,000 m を超える基盤岩の上下落差を生じ、その平均変位速度は約 1 mm/year である。

琵琶湖西方丘陵部と東方平野における陸上探査から、古琵琶湖層群に累積性のある西傾斜がみられ、近江盆地の基盤岩は西傾動している地塊であることが推定された。琵琶湖西方丘陵の堆積層には、東に急傾斜する非対称的な背斜構造が認められ、丘陵の西側には第四紀後期に非活動的な断層である比良-比叡断層が、東側には活動的な断層である堅田断層が存在する。こうした配置と発達過程から、この地域は地質境界断層とその前面により低角でより新しい時期に活動する断層が並行する thrust front migration のモデルにあたり、堅田断層は前面に新しく発達する断層に対応する。このような thrust front migration を示す断層や、周辺を構成する地形・地質の地下構造を、本研究で初めて明らかにすることができた。また、この調査によって、堅田断層は幅約 1 km の撓曲構造を伴う低角の逆断層であり、0.9 Ma 以降の堆積物である堅田累層の堆積層基部に約 500 m の変位を生じさせている。このことから、堅田断層の平均上下変位速度は少なくとも 0.5 mm/year であることが判明した。

有馬-高槻構造線は大阪平野の北縁を限り、中-古生代の堆積岩類と花崗岩類との境界にあたる。六甲山地の北側から北摂山地の南側に延びる長さ約 40 km の断層帯で、その南側に幾つかの地溝帯を伴う。淀川での測線で 0.6 Ma 以降に堆積した大阪層群上部亜層群に growth strata が認められた。また、猪名川での測線において、波状をなす反射面が幅約 3 km にわたって観測された。したがって、有馬-高槻構造線に沿って東西に分布する地溝帯は、右横ずれ運動に起因する正断層隔離によって生じたものとみなされる。これは花折断層から六甲断層帯へ乗り換える右ずれ右雁行構造的な配置に関連して形成されたと考えられ、地下構造とも調和的である。また、有馬-高槻構造線の南側に pull-apart 構造が存在するのに対し、北側には有馬-高槻構造線に向かって収斂していく NE-SW 走向の横ずれ断層がみられる。こうした断層の配置は strike-slip

duplexes 構造であると解釈できる。このように有馬-高槻構造線を境とし、南北で異なる構造が発達してきたのは、丹波帯と領家帯の地質の違いによって変位・変形形態が異なるために生じたと考えられる。有馬-高槻構造線は、0.6 Ma 以降に活動を始め、基盤岩上面に約 1000 m の落差を生じていることから、上下成分のみでも約 1.7 mm/year の変位速度を有すると見積られる。

次に、反射断面から推定した断層構造と地表変形の位置関係を考察する。逆断層とみなされる養老断層や堅田断層では、地表変形は弯曲構造を示す反射面の上で、その傾斜変換点を地表面に延長した位置に現れる。また、地表での断層線トレースは弯曲し、地形的落差の大きい断層崖の麓の位置から離れるのが逆断層の特徴とみなされる。一方、典型的な横ずれ断層の有馬-高槻構造線では、その地表変形は地下に認められた断層構造のほぼ真上に位置する。

このように、近畿地方で求められてきた東西圧縮による広域応力場と断層の走向との関係は、断層形態によって説明できる。つまり、養老断層のような横ずれ成分を含む NNW-SSE 走向の断層は大撓曲構造を示すが、堅田断層のようなほぼ主応力と直交する N-S 走向の断層は thrust front migration という現象で説明できる低角逆断層を伴った frontal thrust を盆地内部へ作ることになる。また、有馬-高槻構造線のような E-W 走向の断層は基盤岩の相違に起因して北側に strike-slip duplex 構造、南側に pull-apart 構造が形成され、両者は組み合わせられて配置する。

近畿地方の主要活断層に対して、反射法地震探査を実施した結果、東西圧縮によって生じたと考えられる地下構造には、それらが形成される開始時期に差が認められる可能性が指摘できる。この現象は近畿トライアングルの北東辺で先に起こり、その後北西辺に及んだとみることができる。

#### 論文審査の結果の要旨

近畿地域は中部日本地域と共に活断層が密に多方向に発達し、歴史時代の大地震が数多く発生してきた場所である。とくに敦賀湾・伊勢湾・大阪湾を頂点とする三角形の地域は近畿トライアングルとよばれ、日本国内でもっとも活断層が密に存在し、変動起伏の激しい場所にあたる。

申請者は、この地域の典型的な逆断層である養老断層・堅田断層、横ずれ断層である有馬-高槻構造線で反射法地震探査を行い、造構造盆地の形成に関与してきた活断層の地下構造・活動開始時期・変位・変形状態について究明し、近畿地方のネオテクトニクスについて議論してきた。養老断層と堅田断層は、それぞれ近畿トライアングルの北東辺と北西辺北部を形成する活断層であり、有馬-高槻構造線は北西辺中部を構成する典型的な横ずれ活断層である。代表的な対象を抽出し、成果の期待できる場所を選定して、さらに関連する諸資料の発掘にも努力してきた。

その結果、濃尾平野・近江盆地・大阪平野下には、それぞれ東海層群・古琵琶湖層群・大阪層群とよばれる鮮新-更新統の堆積層が 1,000 m 以上の厚さで存在することを確認した。養老断層・堅田断層では growth strata が、有馬-高槻構造線では flower structure が表層まで認められ、地下断面からも活断層に特有な地下地質構造を伴うことを明らかにした。養老断層地域では、2.7 Ma 以降に堆積した東海層群暮明累層より上位の地層にのみ、養老断層を挟んで層厚の変化がみられるので、これは growth strata と認定した。基盤岩を被っている堆積層の基部は幅約 1,500 m にわたって撓曲しているが、このような構造は基盤岩の変位によって堆積層が撓曲しているので、basement-involved compressive structure (Narr and Suppe, 1994) に相当するという考えを提示した。したがって、養老断層は 2.7 Ma 以降に活動を始め、3,000 m を超える基盤岩の上下落差を生じ、その平均変位速度は約 1 mm/year であることを解明した。このような地下構造と発達過程の詳細な解明は当域では始めてであり、活構造の研究にとって新たな視点を展開した。

琵琶湖の南湖周辺において、陸上探査を実施した結果、古琵琶湖層群に累積性のある西傾斜が認められ、近江盆地基盤岩が西傾動する地塊であることを地下構造からも明らかにした。堅田断層は非対称的な背斜構造を有するが、西側には第四紀後期に非活動的な断層があり、東側には活動的な断層が配置する。こうした配置と変動変遷からみて、thrust front migration (Ikeda, 1983) の典型的なモデルにあたり、堅田断層はこの frontal thrust に対応するが、thrust front migration が生じた過程を示す地下地質構造を初めて明らかにすることができた。

ところで、堅田断層は幅約 1 km の撓曲構造を伴う低角の逆断層であり、0.9 Ma 以降の堆積物である堅田累層の堆積層基部に約 500 m の変位を生じているので、平均上下変位速度は少なくとも 0.5 mm/year であることが判った。今回の探査結果から構造発達についてまとめると、①地質境界断層である比良-比叡断層の活動によって、傾斜を増していく堆積物が断

層角盆地に埋積する。②低角な blind thrust に変位が移り、地質境界断層は活動を停止して、fault-propagation fold によって frontal thrust である堅田断層を盆地側に生じと推測される。

有馬-高槻構造線はその南側に幾つかの地溝帯を伴っている。この地溝帯は、横ずれによる negative flower structure に起因する正断層隔離によって生じ、花折断層から六甲断層系へと乗り換える (right lateral right stepping) 構造の配置と調和している。有馬-高槻構造線の南側に pull-apart 構造がみられるのに対し、北側には有馬-高槻構造線に収斂する NE-SW 走向の断層がみられるが、これも releasing bend で生じる strike-slip duplexes 構造であると解釈できるとした。このように有馬-高槻構造線を境として、南北で異なる構造が発達したのは、丹波帯と領家帯の地質の違いによって生じたと考えた。有馬-高槻構造線は 0.6 Ma 以降に活動をはじめ、基盤岩に約 1000 m の落差を生じていることから、上下成分のみでも約 1.7 mm/year の変位速度を有すると見積もることができた。

次に、反射断面から推定した断層と地表変形の位置関係であるが、随伴される逆断層 (養老断層・堅田断層) の地表変形は撓曲する反射面の傾斜変換点の延長上に位置しているのに対して、横ずれ断層 (有馬-高槻構造線) の地表変形は推定断層上に位置している。このように、地下構造と地表変形との関係が明らかにされたのも注目される。

さらに、断層形態を広域応力場 (E-W 方向) と断層の走向の関係によって説明した。NNW-SSE 走向の断層 (養老断層) は、basement-involved compressive structure による大撓曲構造になるのに対して、N-S 走向の断層 (堅田断層) は、fault-propagation fold による低角逆断層として frontal thrust を盆地内部へ作っていく。一方、E-W (ENE-WSW) 走向の断層 (有馬-高槻構造線) は基盤岩の相違によって、strike-slip duplex 構造と pull-apart 構造とが組み合って発現しているとみなした。

近畿地方における反射法地震探査の結果、東西圧縮によって生じたと考えられる構造に時間差がみられるので、この変化は近畿トライアングルの北東辺で先に起こり、その後に北西辺に及んだとみなした。

以上述べてきたように、近畿地域を代表する典型的な活断層 3 つを抽出して、それらの地下構造の詳細な解明と構造発達の過程を推定し、その原因まで考究した点で高く評価される。

よって、申請者の提出した論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。なお、平成 11 年 4 月 8 日に、申請論文として報告されている研究業績を中心として、さらにこれに関連した研究分野についても試問した結果、合格と判定した。