



## 活断層研究の歴史と課題

松田時彦\*

### A review of the history of active fault research in Japan

Tokihiko Matsuda\*

#### Abstract

That faults are the origin of earthquakes was not an accepted theory in Japan for several decades prior to 1960, although the progressive accumulation of fault displacement in the Quaternary Time had been demonstrated in seismic areas. The Earthquake Prediction Program proposed by seismologists in 1962 stimulated geologists and geomorphologists to start active fault studies.

During the 1960-1970's, the following results were made clear: 1) the distribution of active faults in onshore Japan, shown in 123 sheet maps of 1:200,000 scale with detailed inventories by the Research Group for the Active Faults of Japan; 2) the extensive occurrence of strike-slip type active faults, almost none of which was known on the Japanese Islands at that time; 3) the existence of Quaternary crustal stress field with east-west compression in most of the Japanese Islands, recognized from the conjugate fault system of the central Japan; 4) the quantitative relation between earthquake magnitude and length of the surface trace of co-seismic fault for the onland Japanese earthquakes, which has been used in Japan to estimate magnitudes of future earthquakes; 5) the very long recurrence intervals of activity of a fault, generally longer than the order of 1000 years.

In 1980-1990's, especially after the 1995-Kobe earthquake, excavation studies were performed extensively in more than one hundred active faults in onshore Japan. The active fault data obtained so far made it possible to prepare seismic hazard maps with probabilities of the occurrence of strong seismic motion in a specified period.

#### 1. まえがき

用語「活断層」(active fault) は、カリフォルニア州の「断層図」の中にとくに地震を起こす断層として登場した (Willis, 1923)。つまり、活断層は防災を意識した時に生まれた言葉である。「活断層」はその後数年のうちに日本に紹介された。しかし、その本格的な研究が始まったのは1960年代になってからである。1995年、活断層によって阪神淡路地域が壊滅的な被害を受けた。これ以後、「活断層」は災害の源として広く社会に知られるようになったが、その陰には半世紀にわたる活断層研究の進展がある。その間の活断層研究の流れを私見によって回顧する。

ここでいう活断層研究には二つの面がある。一つは地震を断層運動として捉えて断層運動 (= 地震現象) を解明しようとするものであり、他の一つは断層を地形・地質構造の構成物として捉えてそれらの形成史の構築に貢献しようとするものである。本稿では主に前者に関する研究を中心に述べる (第1表)。

#### 2. 1950年代以前

活断層は形態的には地質学でいう「断層」そのものである。それは断層の中の、最近の地質時代に繰り返し動いて将来また活動する可能性のある断層を意味している (多田, 1927; 活断層研究会, 1980)。そのような断層の活

\* 助地震予知総合研究振興会

\* Association for Development of Earthquake Prediction

第1表 活断層研究年表

年代	陸域地震	活断層研究の主な概念 (文献)
1800年代	91 濃尾地震 96 陸羽地震	断層地震説の主張 (Koto, 93) 逆断層性地震断層 (山崎, 97)
1900~1950年代	27 北丹後地震 30 北伊豆地震 43 鳥取地震	弾性反発説 (Reid, 11) 「活断層」用語の移入 (多田, 27) 地塊説・活傾動 (山崎, 28) 地殻の限界歪み (Tsuboi, 33) 熱・マグマ地震説 (小川, 29; 石本, 35) 新期断層地形 (辻村, 32) 横ずれ1000mの丹那断層 (久野, 36) 地震断層の意義 (大塚, 36) 活褶曲の発見 (大塚, 42) 沿岸累積隆起と地震 (Sugimura and Naruse, 54)
1960~1970年代	64 新潟地震 74 伊豆半島沖地震	断層地形と地質断層の対応 (Huzita, 62; 松田, 66) 断層地震説の確立 (Aki, 66) 中部日本横ずれ共役断層系 (Sugimura and Matsuda, 65) 中央構造線は右横ずれ活断層 (Kaneko, 66; 岡田, 68) 地殻地震主応力軸の地理的分布 (Honda <i>et al.</i> , 67) 第四紀東西圧縮軸分布図 (松田, 67; 藤田, 68) 震源域と地表断層の規模関係・活動間隔 (松田, 75) 断層の発達過程 (Tsuneishi <i>et al.</i> , 75)
1980~1990年代	95 兵庫県南部地震	「日本の活断層」の出版 (活断層研究会, 80) 活断層の掘削調査 (丹那断層発掘調査研究グループ, 83) 時間予測モデル (Shimazaki and Nakata, 80) バリア・アスペリティの提唱 (Aki, 79; Kanamori, 81) 固有地震説 (Wesnousky <i>et al.</i> , 83) 衝上断層前縁の前進 (Ikeda, 83) 「地震考古学」(寒川, 92) 断層形態・セグメント (佃, 90; Tsutsumi and Okada, 96) 詳細活断層図 (ストリップ 佃ほか, 93; 都市圏 岡田ほか, 96) 断層帯での破壊進行方向 (中田・後藤, 96) 発生可能性の確率表現 (隈元, 98; 地震調査委員会, 98) 反射法地震探査・地下構造 (伊藤ほか, 96.) 津波堆積物 (箕浦ほか, 87; 藤原ほか, 99) 活断層の断層岩 (林ほか, 98; 大槻, 98)
2000年代	00 鳥取県西部地震	

主な陸域地震および文献は、西暦(1800年代と1900年代)の下2桁の数字で示す。

動が地震の原因であるとする考えは、1891年(明治24年)に発生した濃尾地震に際して強く主張された。1906年のサンフランシスコの大地震では、その数年後、地震発生と断層運動を同時に説明する弾性反発説(Reid, 1911)が発表された。

しかし、その後日本では約40年間、断層原因説に代わってマグマや熱の役割を重視する考えが有力であった(小川, 1929; 石本, 1935など)。断層地震の機構を説明するレイドの弾性反発説は日本ではごく一部の地質学者(大塚, 1936)が支持しただけで、1960年代になるまでほとんど無視されていた(Matuzawa, 1964)。

濃尾地震後の約50年間に1896年(明治29年)陸羽地震、1927年(昭和2年)北丹後地震、1930年(昭和5年)北伊豆地震などが起こり、そのたびに地表に地震断層が現出した。それを調査した研究者達は、それらの断層はそこにあった既存の断層が再活動したものであり、そこに地震時の変位が累積していることを知った。たとえば、北伊豆地震の時土地を約2mずらした丹那断層について、久野(1936)は第四紀にずれが繰り返されて累積し現在それが約1000mも横ずれをしていることを明らかにした。また、Sugimura and Naruse (1954)は大正関東地震での沿岸の隆起量とその場所で過去約6000年に生じた累積隆起量とが

どこでもほぼ一定の倍数関係にあることを見いだして、地震時の変位量が累積していることを示した。このような地震に伴う「変位の累積性」の概念は、その後の活断層研究の基礎になった。

活断層調査の防災上の意義について、北丹後地震直後に被災地を調査した地質学者はその報告書の末尾で次のように述べている（渡辺・佐藤，1928）。「地震の原因とされるいわゆる活断層は（中略）地震学上最も重要視すべきものである。（それらを）予め確知しておき他日に備え震災の軽減をはかる資料とすることが最も緊要である」。しかし、実際には、そのような観点からの活断層の研究は1960年代以降に持ち越された。

### 3. 1960-70年代の進展と成果

1960年代の中頃には地震学者は地震の断層原因論を確立し、地震のほとんどすべてが震源での断層運動によって説明できることを示した。1970年代初期までには、1923年（大正12年）関東大地震、北丹後地震、1943年（昭和18年）鳥取地震、1948年（昭和23年）福井地震などを起こした震源断層の性質が断層モデルによって説明された（Kanamori, 1973）。

1960年代初期に発表された日本の地震予知研究計画（いわゆるブループリント、坪井ほか，1962）では、その調査項目の1つとして「活断層の調査」があげられていた。それは地形・地質の専門家を刺激するものであった。それ以後、活断層を研究対象に含めたいいくつかの研究グループが生まれた（吉川虎雄を代表とする「第四紀地殻変動グループ」、萩原尊禮を代表とした「ネオテクトニクス研究会」など）。

1970年代の初期には多くの原子力発電所の建設や稼働が始まった。その原子力発電所に対する安全性の議論の中に「活断層」がしばしば登場して、活断層は社会の一部で知られるようになった。1974年には既知の活断層から伊豆半島沖地震（M6.9）が起り、災害源としての活断層が大きく報道された。

このように、原子力発電所の建設と内陸直下地震の災害とによって「活断層」は1970年代に大学の研究室から社会に出た。用語辞典「現代用語の基礎知識」の中に「活断層」が登場したのも1970年代のことである。政府の原子力委員会が1978年に策定した「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の中には、耐震設計に際しての活断層への考慮の必要が明記された。

活断層が急速に社会的に知られるようになって、活断層の調査・研究は大学のほかに地質調査所、国土地理院、海上保安庁水路部、国立防災科学技術センターなどにも拡

がった。専門家への活断層に関する問い合わせも急増した。そのような情勢の下で、地震予知研究を進めていた地球物理学研究連絡委員会地震予知小委員会（中村一明委員ほか）の呼びかけもあって、1975年、専門家は一堂に会して「活断層研究会」を発足させた。多くの地形学者と少数の地質学者と地震学者がそれに参加し、5年後には全国の主な活断層の分布・性状を20万分の1図幅ごとに記した「日本の活断層－分布図と資料」（活断層研究会，1980）を出版した。それは1970年代までの活断層研究の成果の集大成であり、それ以降の諸研究の基礎資料となった。

1960年以降、全国の国土を撮影した立体視可能な空中写真の利用が容易になり、炭素同位体による年代測定法も普及して、それらが活断層研究の急速な進展に寄与した。1960-1970年代における研究の成果の主な点は次のようである。なお、1968年の時点での総括は松田・岡田（1968）にある。

#### 1. 活断層分布の把握

日本列島陸域の多数の活断層の分布・活動度など、活断層の基本的な性質が明らかになった。活断層の数は1500を越え（渡辺，1991）、それは地震予知のための精密観測の場の選択に役立てようとする当初（ブループリント）の期待を裏切りかねないほど多数であった。

#### 2. 横ずれ活断層の発見

横ずれ断層が日本列島にごく普通に存在していることがわかった。阿寺断層（杉村・松田，1962；Sugimura and Matsuda, 1965）、跡津川断層（松田，1966）、中央構造線（Kaneko, 1966；岡田，1968）、糸魚川-静岡構造線（金子，1972）などはいずれも顕著な断層として以前から知られていたが、それらは全て横ずれの活断層であることが判明した。それまでは、「横ずれ断層」は当時の教科書にも地学事典にも載っていない種類の断層であった。つまり、それまでの日本の地質学は「横ずれ無しの地学」で済ませていた。なお、東北日本には横ずれ断層がなく逆断層が卓越していることなども明らかになった。

#### 3. 東西圧縮地殻応力場の認識

日本列島の地殻に、最近の地質時代を通じて東西（ないし西北西-東南東）圧縮の広域的な地殻応力場が存在していることが明らかになった。このような地殻応力場の存在の認識は中部地方に発達している共役の横ずれ活断層系によってもたらされた（松田，1967）。それはほぼ同時代に確立されたダブルカプルの力源論や日本列島の浅い地震の圧力軸の方向分布（Honda *et al.*, 1967）とも調和的であった。このことは断層運動と地震がともに同源の現象である

ことを示していた。こうして、1960-1970年代の活断層研究によって「地震とは最近地質時代を通じて広域的・持続的に存在する地殻応力場のもとで既存の断層に沿って繰り返される断層運動である」という地学的地震観が確立された。

#### 4. 地震規模の推定

活断層の規模は、そこで起こる地震の震源域の大きさをほぼ表していると見なされる。明治以来の陸域大地震例において地震のマグニチュードとその時に現出した地表の断層の規模（長さなど）とがある比例関係にあること（松田, 1975）が示された。この地震断層と地震規模の対応関係は、活断層の長さや将来地震の規模との関係に拡張されて以後広く用いられるようになった。1970年代の社会のニーズは、専門家に対して活断層の有無・活動程度だけでなく、個々の活断層から起こる地震や地震動がどの位の規模のものであるかを問うようになっていたのである。

#### 5. 活動度と活動頻度の認識

多くの活断層においてその第四紀後期に累積した変位量と累積に要した時間がほぼ数値的に判明するようになった。これにより活断層の活動度を第四紀後期における平均変位速度値で表したとき、それは断層によって大差があることがわかり、活断層はその活動度によってA級、B級、C級などに分けられた。最も活動的なA級の活断層でもその平均変位速度は数mm/年である。それは同じ断層から発生する大地震の発生間隔は平均千年程度かそれ以上であることを意味している。そのことは内陸直下の歴史大地震の頻度が太平洋側沖合の大地震の頻度に比べて著しく小さいことを説明するものでもあった。

#### 4. 1980-1990年代

「日本の活断層」の出版後、1980年代を特徴づける二つの新しい調査が始まった。その一つは活断層のトレンチ掘削調査であり、他の一つは活断層を考慮した日本列島の地震危険度図の試作である。1995年の阪神淡路大震災は活断層の調査とその成果の普及の必要を再認識させた。政府に地震調査研究推進本部が設置され（1995年）、全国の活断層調査と地震観測調査が推進された。第7次までの地震予知計画の成果が見直されて（測地学審議会地震火山部会, 1996）、地震の短期予知の困難性が認識され、かわって活断層資料を用いた長期地震予測がそれまでの地震の（直前）予知にとってかわるようになった。

「日本の活断層」(活断層研究会, 1980) は約10年後の1991年にさらに多くの資料を取り込んで改訂され、一層分

厚いものになった。その間の約10年は活断層研究における地形調査の重要性が理解されるのに要した時間でもあった。1980年以降の各地におけるトレンチ掘削の成功、すなわち掘削場所の選択の成功は、地質学者が長年抱えてきた地形による活断層の認定に対する不信感をほぼ払拭した。

#### 1. トレンチ掘削調査

カリフォルニアでの成功例（Sieh, 1978など）を受けて日本でも1980年前後から活断層の活動歴を知るためのトレンチ掘削が行われるようになった（松田, 1984）。鳥取地震の地震断層の掘削（岡田ほか, 1979）をはじめとして、1994年までの約15年間に陸域地震の主な地震断層（北伊豆地震の丹那断層、陸羽地震の千屋断層、濃尾地震の根尾谷断層、北丹後地震の郷村断層、1940年三河地震の深溝断層など）や糸魚川-静岡構造線、中央構造線をはじめ阿寺、跡津川、柳ヶ瀬、山崎、水縄、会津、庄内などの活断層で大学や地質調査所などによって掘削調査が行われた。調査は、1994年までに約40断層の50地点以上に達した。それによって多くの活断層でその最新活動期や地表付近での詳細な断面形態が明らかになった。丹那盆地での丹那断層の掘削は地震予知関連事業費による大学の最初の本格的調査であったが、その調査では過去約7000年間に9回の断層運動が識別されそれらがほぼ等しい時間間隔で発生していることがわかった（丹那断層発掘調査研究グループ, 1983）。

#### 2. 活断層を考慮した地震危険度図の試作

全国ほぼ同じ基準で認定された活断層資料の出版（活断層研究会, 1980）は日本列島の地震危険度図の作成を可能にした。それまでの地震危険度図（Kawasumi, 1951）は過去約400年間の歴史地震資料に基づいて作成されていたが、この時代になって活断層が持つ過去のより長期の資料を考慮して地震危険度図（強震動予測図など）が作られ始めた（Matsuda, 1981; Wesnousky *et al.*, 1984; 島崎ほか, 1985; 前空, 1985; Rikitake, 1989など）。その頃カリフォルニアでは発生確率で表現されたハザードマップ（Working Group on California Earthquake Probabilities, 1988）がすでに作られていて、今後30年間の発生確率が30%とされていた断層区間で1989年にロマプリエタ地震（M 7.1）が起こった。

日本では最新活動期と活動間隔との比較（地震後経過率）（Matsuda, 1981）からいくつかの要注意断層が指摘されていた。松本市付近で行われた掘削調査結果（奥村ほか, 1994）は、その観点から糸魚川-静岡構造線の今後の活動可能性がきわめて高いことを明らかにした。地震調査委員会はやがてその発生可能性の大きさを発生確率で表現する試みを始めた（地震調査委員会, 1998）。



### 3. 活断層資料の急増

活断層の地形・地質学的調査は1980年代にも各地で行われた。その成果の大多数は「活断層研究」誌（活断層研究, 1985年創刊）や「新編日本の活断層」(活断層研究会, 1991)に集録された。「新編日本の活断層」では所載断層数は2200余に達した(渡辺, 1991)。

1990年代には、地下浅部の地層や断層の調査において新しく工夫されたピストンコアラー(岡村真ほか, 1992; 原口ほか, 1995)や地層抜き取り装置(ジオスライサー)(中田・島崎, 1997; 今泉ほか, 1997)が用いられるようになった。

1995年の阪神淡路大震災以後、活断層調査には政府の交付金による地方公共団体の調査が加わり、活断層の活動履歴などの活断層資料が急増した(地震調査委員会, 1997-2001など)。このほか、1990年頃から2000年にかけて活断層の資料集が相次いで公刊された(「九州の活断層」, 九州活構造研究会編, 1989; 「近畿の活断層」, 岡田・東郷編, 2000; 「活断層詳細デジタルマップ」, 中田・今泉編, 2002; 「第四紀逆断層アトラス」, 池田ほか, 2002)。

大縮尺の詳細分布図も市街地における活断層の詳細位置を示すために作られ始めた(中田・岡田, 1989など)。国土地理院は1/25000の都市圏活断層図(岡田ほか, 1996)の刊行を1996年から始めた。地質調査所は阿寺断層系(佃ほか, 1993)ほか7断層系のストリップマップを編集、出版した。

海域での活断層についても、日本海東縁部(岡村行信ほか, 1992; Okamura *et al.*, 1995), 別府湾(岡村真ほか, 1992など), 伊予灘の中央構造線(堤ほか, 1990; 小川ほか, 1992), 東海沖(東海沖活断層研究会編, 1999)などの詳細図が出版された。

地下構造に対する反射法地震探査では、紀伊でも四国でも中央構造線が深さ数kmまで北へ緩く傾斜していることが示された(吉川ほか, 1992; 伊藤ほか, 1996)。糸魚川-静岡構造線は、松本以北では断層面は東へ傾斜していた(今泉ほか, 1997)。

### 4. 断層活動の不均一性の認識

地震学では、1970年代の一様な変位を与える平均的断層モデルから脱して、1980年代には強震動などを説明するため不均一な断層面を考えるバリアモデル(Aki, 1979, 1984)やアスペリティ断層モデル(Kanamori, 1981)などが提唱された。断層の地表形態についてもほぼ同じ頃、断層線の屈曲、不連続、セグメント境界などの意義が強調された(Sibson, 1986)。

日本でもこのような断層の形態に注意が向けられ(佃, 1990, 1991)、断層線の分岐形態などの幾何学的特徴から

地震時の破壊の伝搬方向や地震セグメント境界が予測できる可能性が指摘された(中田・後藤, 1996)。

### 5. 固有地震説

1970年代以後、断層の活動に対して活動の規模も活動間隔も断層毎にいつもほぼ一定であるとみなす変位量の単純な累積モデル(階段モデルあるいは固有地震モデル)が用いられてきた(Wallace, 1970, 松田, 1975)。1980年代にはワサッチ断層沿いの変位量の分布が固有地震モデル(Characteristic earthquake model)に合致することが示された(Schwartz and Coppersmith, 1984)。

日本の活断層においても、その各々がその長さに応じた最大の地震(固有地震)だけを発生させると考える方が実際の歴史地震活動をよく説明できることが示された(Wesnousky *et al.*, 1983)。また、丹那断層の過去約7000年間における断層活動の時間間隔がほぼ一定(700-1000年)であったことも固有地震説を支持していた。こうして断層の固有地震的活動説が地震の予測の基礎として多く用いられるようになった。

1980年には日本の沖合型地震に伴う地震隆起量の大きさと活動間隔との間隔の規則性とばらつきなどから時間予測モデル(Shimazaki and Nakata, 1980)が提案され、固有地震モデルとともに日本沖合で発生する海溝型地震などの時期予測に用いられている。

## 5. 現状と課題

### 1. 断層評価の信頼性

活断層の評価には断層の活動歴を地層から正しく読み取ることが必要であるが、それは必ずしも容易でない(Bonilla and Lienkaemper, 1990; 渡辺, 1996; 小松原, 2000)。

さらに、調査地点が限られているためごく僅かの地点で得た活動歴をその断層帯全体の活動歴を代表しているものとみなさざるをえない場合が少なくない。活動性の評価結果の如何は被害想定や防災対策を直接左右する。適正な断層評価のためには、当面、掘削観察地点を画期的に増加させることが早道である。

### 2. 地震セグメントの把握

地震規模の予測には、調査した断層帯を次の地震時に活動する断層区間(=地震セグメント)に分割あるいは複数の断層線をグループ化することが必要である。さらに地震動の予測には破壊の始点・進行過程・アスペリティの分布など、断層帯細部についての知識が必要である。そのためこの研究は活断層の研究領域内にあるが、従来の地形・地質

的方法で十分対応できるであろうか。今後の活断層研究の大きな課題である。

### 3. 断層破砕帯の内部からの情報

断層付近に伴われる地形と地層の変位からこれまで限界に近いほど多くの情報を得てきた。近年は断層破砕帯からの情報も加わっている（林ほか, 1998; 大槻, 1998）。このような断層破砕帯の構造や断層岩からその断層の過去の活動をどの程度まで知ることができるか。これからの地質学的アプローチがその有効性を示すことを期待する。

### 4. 活断層の地下構造の調査

活断層の立体的構造の把握のためにいくつかの断層地域に対して反射法地震探査が行われるようになった（佐藤ほか, 2001）。得られた地下資料は一般に深さ数kmであり、震源断層の深さには届いていない。活断層を含む地質構造に対するデタッチメントモデルの当否（池田, 1992; 池田ほか, 2002）も今後に残されている。

### 5. 断層活動の地域性の実体

その地帯の地質・構造の不均一性や環境の物理条件の地域差を反映して地震活動や断層の特性には「地域性」がある（松田, 1990; 活断層研究会, 1991; 垣見ほか, 2003）。具体的には、その「地域性」とは何であろうか。

たとえば、2000年鳥取県西部地震（M7.3）は地震の規模と地表の活断層の規模とに関する従来の経験則から大きく外れていた（松田, 2005）。この場合の「地域性」には、この付近の地殻や断層の成熟度（発達段階）（Tsuneishi *et al.*, 1975）の特異性による可能性も指摘されている（井上ほか, 2002; 垣見, 2002）。この地震の震源地域に活断層は知られていなかったが、それは低活動度の活断層識別における技術的限界であろうか。活断層の分布におけるC級活断層問題（浅田, 1996）も未着着である。

20世紀の山陰地方では少しずつ場所を変えて大地震が連続した。これまでの活断層研究は活断層を地域から切り離して論じた単断層活動論であった。複数断層間における活動の連鎖的発生の機構も未知である。活断層研究は、たとえばこのような地震活動や断層のあり方の地域性に対しても説明できるものでなければならない。

## 6. まとめ

1960-1970年代の活断層研究は空中写真を用いて大量の活断層資料を得た。その過程で、日本列島に作用している第四紀の広域的な地殻応力場の存在を認識した。また、主な活断層の変位の累積速度に基づいて、活動間隔が歴史時代

よりも遙かに長い活動間隔を持つこと、および活断層の形態的規模が地震の規模に対応するものであることなどをほぼ定量的に把握した。

1980-1990年代には掘削調査の普及によって多くの個々の断層の活動歴を知った。それは地震の長期予測をある程度可能にして2005年の全国を概観した強震動の予測地図の公表（地震調査委員会（2006））に導いた。

最近の20年間に急増した活断層資料は社会の共有財産となっている。その反面、研究者は資料の獲得・普及のためにきわめて多忙であった。今後は研究面において、パラダイム変換につながる活断層研究の質的進展を期待したい。

本稿の作成に当たり地震予知総合研究振興会の方々と共に松浦律子氏および本稿査読者から有益な助言をいただいた。御礼申し上げます。なお、1990年代初期以前の研究に関連するより私的な回顧は筆者の別稿（松田, 1993, 1985）参照。

## 文 献

- Aki, K. 1966, Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964, Part 1. A statistical analysis. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44**, 23-72.
- Aki, K. 1979, Characterization of barriers on an earthquake fault, *J. Geophys. Res.*, **84**, 6140-6148.
- Aki, K., 1984, Asperities, barriers, characteristic earthquakes and strong motion prediction, *J. Geophys. Res.*, **89**, 5867-5872.
- 浅田 敏, 1996, C級活断層の存在度の問題-活断層に関する2~3の問題(その2)-, 活断層研究, **14**, 107.
- Bonilla, G. and Lienkaemper, J. J., 1990, Visibility of fault strands in exploratory trenches and timing of rupture events, *Geology*, **18**, 153-156.
- 原口 強・岡村 真・松岡裕美・松岡数充・近藤清二, 1995, ピストンコアラによる連続資料採取方法, 応用地質, **36**, 33-38.
- 藤原 治・増田富士雄・酒井哲弥・入月俊明・布施圭介, 1999, 過去10000年間の相模トラフ周辺での古地震を記録した内湾堆積物, 第四紀研究, **38**, 89-412.
- Honda, H., Masatsuka, A. and Ichikawa M., 1967, On the mechanism of the earthquakes and the stress producing them in Japan and its vicinity (third paper), *Geophys. Mag.*, **33**, 271-279.
- Huzita, K., 1962, Tectonic development of the median zone (Setouti) of the southwest Japan, since the Miocene, with special reference to the characteristic structure of central Kinki area, *Jour. Geosci. Osaka City Univ.*, **6**, 103-144.
- 藤田和夫, 1968, 六甲変動, その発生前後, 第四紀研究, **7**, 248-260.
- Ikeda, Y., 1983, Thrust-front migration and its mechanism-Evolution of intraplate thrust fault systems-, *Bull. Dept. Geogr., Univ. Tokyo*, **15**, 125-159.
- 池田安隆, 1992, 日本の逆断層: flake tectonicsの可能性について, 月刊地球, 号外**5**, 117-120.
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤

- 比呂志, 2002, 「第四紀逆断層アトラス」, 東京大学出版会, 254p.
- 今泉俊文・原口 強・中田 高, 奥村晃史・東郷正美・池田安隆・佐藤比呂志・島崎邦彦・宮内崇裕・柳 博美・石丸恒存, 1997, 地層抜き取り調査とボーリング調査による糸静線活断層系・神城断層のスリップレートの検討, 活断層研究, **16**, 35-43.
- 井上大栄・宮腰勝義・上田圭一・宮脇明子・松浦一樹, 2002, 2000年鳥取県西部地震震源域の活断層調査, 地震, **2**, **54**, 557-573.
- 石本巳四雄, 1935, 「地震とその研究」, 古今書院, 336p.
- 伊藤谷生・井川 猛・安達幾久・伊勢崎修弘・平田 直・浅沼俊夫・宮内崇裕・松本みどり・高橋道浩・松澤進一・鈴木雅也・石田啓祐・奥池司郎・木村 学・国友孝洋・後藤忠徳・澤田臣啓・竹下 徹・仲谷英夫・長谷川修一・前田拓哉・村田明広・山北 聰・山口和雄・山口 覚, 1996, 四国中央構造線地下構造の総合物理探査, 地質学雑誌, **102**, 346-360.
- 地震調査委員会 (1997-2001): 「地震調査委員会報告集」- , 1995年7月-1996年12月-, 1997; -1997年1月-12月-, 1998; -1998年1月-12月-, 1999; -1999年1月-12月-, 2000; 2000年1月-12月-, 2001.
- 地震調査委員会, 1998, 長期的な地震発生確率の評価手法およびその適用例について (試案), 73 p. 長期評価部会長期評価手法検討分科会.
- 地震調査委員会, 2006, 「全国を概観した地震動予測地図」報告書, 132p.
- 垣見俊弘, 2002, 「活断層地震と「バックランド」地震のはざまの地震-鳥取県西部地震を例にして-, 災害の研究, **33**, 113-125.
- 垣見俊弘・松田時彦・相田 勇・衣笠善博, 2003, 日本列島と周辺海域の地震地体構造区分, 地震, **2**, **55**, 389-406.
- Kanamori, H. 1973, Mode of strain release associated with major earthquakes in Japan, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **1**, 213-239.
- Kanamori, H., 1981, The nature of seismicity patterns before large earthquakes, *Maurice Ewing Ser.* 4, 1-19, Am. Geophys. Union.
- Kaneko, S., 1966, Transcurrent displacement along the Median Line, south-western Japan, *New Zealand J. Geol. Geophys.*, **9**, 45-59.
- 金子史朗, 1972, 「地形図説2」古今書院, 229p.
- 活断層研究会, 1980, 「日本の活断層-分布図と資料」, 東京大学出版会, 363p.
- 活断層研究会, 1991, 「新編日本の活断層-分布図と資料」, 東京大学出版会, 437 p.
- Kawasumi, H., 1951, Measures of earthquake danger and expectancy of maximum intensity throughout Japan as inferred from the seismic activity in historical times, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **29**, 469-482.
- 小松原 琢, 2000, 現行の活断層調査手法の問題に関する私見, 月刊地球, 号外**28**, 30-36.
- Koto, B., 1893, On the cause of the great earthquake in Central Japan, 1891, *Jour. Coll. Sci., Imp. Univ., Japan*, **5**, 296-356.
- 隈元 崇, 1998活断層のトレンチ調査結果を用いて推定した日本の内陸地震の長期危険度評価, 地震, **2**, **50**別冊, 53-71.
- 久野 久, 1936, 最近の地質時代に於ける丹那断層の運動に就いて, 地理学評論, **12**, 18-32.
- 九州活構造研究会編, 1989, 「九州の活構造」, 東京大学出版会, 553p.
- 林 愛明・重富素子・嶋本利彦・宮田隆夫・竹村恵二・宇田進一・村田明広, 1998, 断層岩から見た野島断層の活動史と運動像, 月刊地球, 号外**21**, 208-212.
- 前空英明, 1985, 日本列島の活断層からみた地震危険度, 地理学評論, **58**, 428-438.
- 松田時彦, 1966, 跡津川断層の横ずれ変位, 地震研究所彙報, **44**, 1179-1212.
- 松田時彦, 1967, 地震の地質学, 地震, **2**, **20**, 230-235.
- 松田時彦, 1975, 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震, **2**, **28**, 269-283.
- 松田時彦, 1984, 丹那断層を掘るまでの話, 月刊地球, **6**, 165-170.
- 松田時彦, 1985, 日本における活断層研究と課題, 活断層研究, **1**, 3-8.
- 松田時彦, 1990, 最大地震規模による日本列島の地震分帯図, 地震研究所彙報, **65**, 289-319.
- 松田時彦, 1993, 私の地震予知論小史-地質学からの30年-, 地質学雑誌, **99**, 1025-1036.
- 松田時彦, 2005, 鳥取県西部地震 (2000年10月) と山陰の地震活動-その特異性の検討, 活断層研究, **25**, 109-116.
- 松田時彦・岡田篤正, 1968, 活断層, 第四紀研究, **7**, 188-199.
- Matsuda, T., 1981, Active faults and damaging earthquakes in Japan - Macroseismic zoning and precaution fault zones, *Maurice Ewing Ser.*, **4**, 271-289, Am. Geophys. Union.
- Matuzawa, T., 1964, 「Study of earthquake」, Uno Shoten, 213p.
- 箕浦幸治・中谷 周・佐藤 裕, 1987, 湖底底質堆積物中に記録された地震津波の痕跡-青森県市浦村十三付近の湖沼系の例-, 地震, **2**, **40**, 183-196.
- 中田 高・後藤秀昭, 1996, 活断層はどこまで割れるのか-横ずれ断層の分岐形態と縦ずれ分布に着目したセグメント区分モデル, 活断層研究, **17**, 43-53.
- 中田 高・今泉俊文編, 2002, 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会, 60p.
- 中田 高・岡田篤正, 1989, 活断層詳細図 (ストリップマップ) 作成の目的とその作成基準について, 活断層研究, **8**, 59-70.
- 中田 高・島崎邦彦, 1997, 活断層調査のための地層抜き取り装置 (Geo-slicer), 地学雑誌, **106**, 59-69.
- 小川光明・岡村 眞・島崎邦彦・中田 高・千田 昇・中村俊夫・宮武 隆・前空英明・堤 浩之, 1992, 伊予灘北東部における中央構造線海底活断層の完新世活動, 地質学論集, **40**, 75-97.
- 小川琢治, 1929, 「地質現象の新解釈」, 古今書院, 749p.
- 岡田篤正, 1968, 阿波池田付近の中央構造線の新时期断層運動, 第四紀研究, **7**, 15-26.
- 岡田篤正・安藤雅孝・佃 為成, 1979, トレンチ発掘による活断層の調査, 月刊地球, **1**, 608-615.
- 岡田篤正・東郷正美編, 2000, 「近畿の活断層」, 東京大学出版会, 395p.
- 岡田篤正・東郷正美・中田 高・植村善博・渡辺満久, 1996, 1/25000都市圏活断層図「京都東北部」, 国土地理院.
- 岡村 眞・島崎邦彦・中田 高・千田 昇・宮武 隆・前空英明・堤 浩之・中村俊夫・山口智香・小川光明, 1992, 別府湾北西部の海底活断層-浅海底活断層調査の手法と



- その成果一, 地質学論集, **40**, 65-74.
- 岡村行信・山本博文・佐藤幹夫, 1992, 日本海東縁のインバージョンテクトニクス, 構造地質, **38**, 47-58.
- Okamura, Y., Watanabe, M., Morijiri R. and Satoh, M., 1995, Rifting and basin inversion in the eastern margin of the Japan Sea, *The Island Arc*, **4**, 166-181.
- 奥村晃史・下川浩一・山崎晴雄・佃 栄吉, 1994, 糸魚川-静岡構造線活断層系の最近の断層活動-牛伏寺断層・松本市並柳地区トレンチ発掘調査一, 地震, **2**, **46**, 425-438.
- 大塚弥之助, 1936, 昭和10年4月21日, 台湾中部地方に起こった地震に伴える地震断層 付 地震断層の諸特徴, 地震研究所彙報別冊, **3**, 22-74.
- 大塚弥之助, 1942, 活動している皺曲構造, 地震, **14**, 46-63.
- 大概憲四郎, 1998, 断層岩が示す地震性摩擦すべりの物理過程, 月刊地球, 号外**21**, 213-218.
- Reid, H. F., 1911, The elastic-rebound theory of earthquakes, *Univ. Calif. Publ. Bull., Dept. Geol.*, **6** (19), 413-444.
- Rikitake, T., 1989, Earthquake prediction and seismic hazard analysis in Japan, *Proc. Inst. Natur. Sci. Nihon Univ.*, **24**, 53-61.
- 寒川 旭, 1992, 「地震考古学」, 中央公論社, 251p.
- 佐藤比呂志・伊藤谷生・池田安隆・平田 直・今泉俊文・井川 猛, 2001, 震源断層-活断層システムのイメージングの意義と現状, 地学雑誌, **110**, 838-848.
- Schwartz, D. P. and Coppersmith, K. J., 1984, Fault behavior and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and San Andreas Fault Zones, *J. Geophys. Res.* **89**, 5681-5698.
- Shimazaki, K. and Nakata, T., 1980, Time-predictable recurrence model for large earthquakes, *Geophys. Res. Letters.*, **7**, 279-282.
- Sibson, R. H., 1986, Rupture interaction with fault jogs, *A. G. U. Monograph*, **37**, 157-167.
- Sieh, K. E., 1978, Prehistoric large earthquakes produced by slip on the San Andreas fault at Pallet Creek, California, *Jour. Geophys. Res.*, **83**, 3907-3939.
- 島崎邦彦・松田時彦・Wesnousky, S. G.・Scholz, C. H., 1985, 日本の地震危険度マップ(続報), 日本地震学会講演予稿集, 昭和60年度春季大会, 293.
- 測地学審議会地震火山部会, 1996, 地震予知計画の実施状況のレビューについて(報告), 137p.
- 杉村 新・松田時彦, 1962, 断層運動の軌跡, 科学, **32**, 433.
- Sugimura, A. and Matsuda, T., Atera fault and the displacement vectors, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **76**, 509-522.,
- Sugimura, A. and Naruse, Y., 1954, Change in sea level seismic upheavals and coastal terraces in the southern Kanto region (1), *Jap. J. Geol. Geogr.*, **24**, 101-113.
- 多田文男, 1927, 活断層の二種類, 地理学評論, **3**, 980-983.
- 丹那断層発掘調査研究グループ, 1983, 丹那断層(北伊豆・名賀地区)の発掘調査, 地震研究所彙報, **58**, 797-830.
- 東海沖活断層研究会編, 1999, 東海沖の海底活断層, 東京大学出版会, 151p
- Tsuboi, C., 1933, Investigation of the deformation of the earth's crust found by precise geodetic means, *Jap. Jur. Astr. Geophys.* **10**, 93-243.
- 坪井忠二・和達清夫・萩原尊禮, 1962, 地震予知 現状とその推進計画, 32p.
- 辻村太郎, 1932, 東北日本の断層盆地, 地理学評論, **8**, 641-658, 747-760, 977-992.
- 佃 栄吉, 1990, 地震断層の形態と断層破壊過程, 構造地質, **35**, 103-112.
- 佃 栄吉, 1991, 断層の幾何学的バリアと破壊プロセス, 地学雑誌, **100**, 417-428.
- 佃 栄吉・栗田泰夫・山崎晴雄・杉山雄一・下川浩一・水野清秀, 1993, 2万分の1阿寺断層系ストリップマップ説明書, 構造図(7), 地質調査所, 39p.
- Tsuneishi, T., Yoshida, S. and Kimura, T., 1975, Fault -forming process of the Komyo fault in Central Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **50**, 415-442.
- 堤 浩之・中田 高・小川光明・岡村 眞・島崎邦彦, 1990, 伊予灘北東部における中央構造線. 活断層研究, **8**, 49-57.
- Tsutsumi, H. and Okada, A., 1996, Segmentation and Holocene surface faulting on the Median Tectonic Line, southwest Japan, *J. Geophys. Res.*, **101**, 5855-5871.
- Wallace, R. E., 1970, Earthquake recurrence intervals on the San Andreas Fault, *Geol. Soc. Am. Bull.*, **81**, 2875-2890.
- 渡辺久吉・佐藤戈止, 1928, 丹後震災地調査報文, 地質調査所報告, **100**, 102p.
- 渡辺満久, 1991, 新日活-地図編集秘話, 地理, **36-7**, 75-79.
- 渡辺満久, 1996, トレンチ調査におけるevent解析の問題点, 活断層研究, **15**, 64-72.
- Wesnousky, S. G., Scholz, C. H., Shimazaki, K. and Matsuda, T., 1983, Earthquake frequency distribution and the mechanics of faulting, *J. Geophys. Res.*, **88**, 9331-9340.
- Wesnousky, S. G., Scholz, C. H., Shimazaki, K. and Matsuda, T., 1984, Integration of geological and seismological data for the analysis of seismic hazard: a case study of Japan, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **74**, 687-708.
- Willis, B., 1923, A fault map of California, *Seis. Soc. Amer. Bull.*, **13**, 1-12.
- Working Group on California Earthquake Probabilities, 1988, Probabilities of large earthquakes occurring in California, on the San Andreas Fault, *U. S. Geological Survey, Open-File Report*, 88-398.
- 山崎直方, 1897, 陸羽地震調査概報, 震災予防調査会報告, **11**, 50-74.
- 山崎直方, 1928, 地塊の活傾動, 地理学評論, **4**, 518-523.
- 吉川宗治・岩崎好規・横田 裕, 1992, 反射法地震探査による和歌山県西部の中央構造線の地質構造, 地質学論集, **40**, 177-186.

(2008年1月28日受付)

(2008年2月 8日受理)

## キーワード

活断層, 研究史, 1960-1970年代, 1980-1990年代

Key words : active fault, historical review, 1960-1970'S, 1980-1990'S