

活断層調査の現状と課題

Present state and prospect of active fault investigation

Abstract

杉山 雄一*

*Yuichi Sugiyama**

1997年9月25日受付.
 1997年12月11日受理.

* 地質調査所地震地質部活断層研究室.
 Active Fault Research Section, Earthquake
 Research Department, Geological Survey of
 Japan
 1-1-3 Higashi, Tsukuba 305-8567, Japan
 E-mail: sugiyama@gsj.go.jp

Active fault investigation is aimed at contributing to the safety of human life in our nation through the long-term prediction of earthquakes. Major pressing subjects on the locational prediction of earthquakes are prospecting of concealed active faults beneath highly-urbanized areas and appropriate disclosure of precise locational information of active faults to the populace. Concerning the time prediction of recurring earthquakes, we must advance probabilistic risk evaluation, study on recurrence interval's fluctuation, as well as hemiquantitative assessment based on the latest rupturing event. For a rational and reliable prediction of earthquake size, we must promote a quantitative size estimation based on rupturing segments and specific displacements, which is applicable to a great variety of rupturing events including single, multiple and successive ones. It is also necessary that empirical formulas connecting fault length with earthquake magnitude should be improved. In addition, we must appropriately process the active fault data in response to diverse needs of the society, and must offer various styles of information on active faults through various communication media.

Key words: active fault, characteristic earthquake, earthquake hazard, fault segment, long-term earthquake prediction, paleoseismology, probabilistic seismic risk evaluation, and recurrence interval.

はじめに

兵庫県南部地震を契機として、それまではごく限られた人々だけに知られていた「活断層」という言葉が広く社会一般に知られるようになった。また、この地震は1891年(明治24年)の濃尾地震や1923年(大正12年)の関東大地震と同様に、わが国の地震予知研究の体制と内容を大きく変える契機ともなった。阪神大震災後の地震予知研究の体制・内容の変化の中で、地形・地質系の研究者・技術者に特に関係が深いものは、活断層調査が国の事業として実施されることになった点であろう。これは一つには、地震の短期および直前予知の困難さが浮き彫りになり、国としては地震の長期予測にこれまで以上に重きを置かざるをえなくなったことによる。しかし、もう一つの重要な背景として、1960年代から培ってきた活断層の調査技術とこれまで積み上げてきた活断層に関する膨大な情報を挙げるができる。兵庫県南部地震を引き起こした野島断層を例にとると、断層の正確な通過位置と活動性(横ずれおよび上下方向の平均変位速度)は地震前に既に明らかにされていた(水野ほか, 1990)。このような蓄積が活断層調査を国家的事業として展開することを可能にした下地をなしていると言っても過言ではなからう。

本稿では、主として地質調査所の最近の調査成果に基づいて、活断層調査の現状と到達点を紹介するとともに、今後の

課題について私見を述べる。なお本稿は、土木学会の第24回地震工学研究発表会の講演論文(杉山, 1997)に加筆・修正を加えたものである。

活断層調査の目的と取得をめざす情報

活断層とは、最近の地質時代に繰り返し活動しており、それ故に将来も活動して、地震を生起する可能性が高いと考えられる断層のことである。活断層調査の目的は、活断層の分布、長さ、活動履歴などに関する情報を取得し、それに基づいて活断層から発生する地震の場所、時期、規模などを長期的に予測することにより、地震災害の軽減を始めとする国民生活の安全に資することにある。

活断層調査により取得をめざしている活断層の情報(または静的パラメーター)には、地震予測の要素(場所、時期、規模、発震機構)と対応づけて示すと、以下のようなものがある。

- 1) 地震の発生場所の特定に関連するもの:
活断層の広域的分布、詳細通過位置
- 2) 地震の発生時期の予測に関連するもの:
活動間隔、最新活動時期(または経過時間)
- 3) 地震の規模の予測に関連するもの:
活断層(破壊のセグメント)の長さ、単位変位量(1回の活動に伴う変位量)

4) 発震機構の予測に関連するもの:

活断層の幾何学的情報(走向・傾斜など), 変位の向き

5) 時期と規模の予測, およびそれらの妥当性検証に関連するもの:

平均変位速度

なお, 地震動特性の予測に関連する, 破壊の伝播方向, 伝播速度などの動的断層パラメーターに関しては, 現在の活断層調査では取得が困難である。

以下の本論では, 地震予測の3大要素(場所, 時期, 規模)と対応させて, 活断層の分布調査と位置情報の公表, 地震発生の危険度評価, 地震規模の予測の3つのテーマを選び, 活断層調査の現状と今後の課題について述べる。

活断層の分布調査と位置情報の公表

1. 現 状

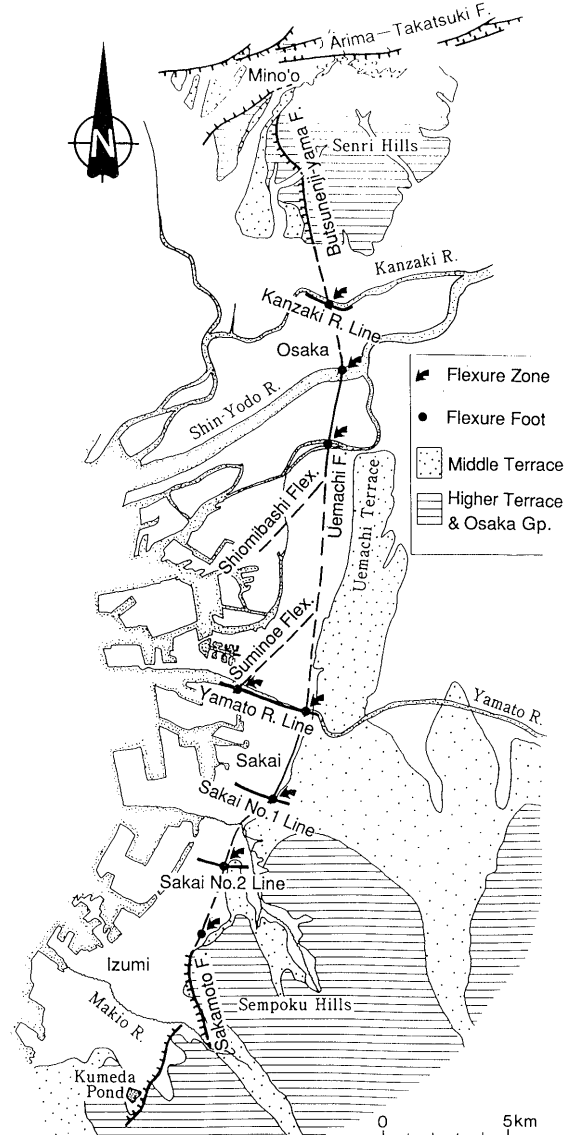
(1) 山地・丘陵・台地の活断層

山地・丘陵・台地の活断層の分布と詳細な通過位置に関する情報は, 主として空中写真判読と地形・地質調査(現地踏査)により取得されている。日本列島では, これらの地域における活断層の大局的な分布は既に明らかにされている。これらの情報は, 活断層研究会(1980, 1991)や地質調査所(例えば垣見ほか, 1982)などにより取りまとめられ, 20万分の1地勢図を基図とする活断層分布図, 50万分の1活構造図などとして公表されている。また, 精度の高い活断層の位置情報は, 幾つかの活断層(阿寺断層, 中央構造線, 野島断層など)については, 2.5万分の1または1万分の1詳細断層図(ストリップマップ; 佃ほか, 1993など)として地質調査所から公表されている。

(2) 平野部の活断層

調査が大きく遅れていた平野部(沖積低地)の活断層の分布についても, ここ数年間に, 主に反射法弾性波探査と詳細地形調査(大縮尺の空中写真判読など)により精力的に研究が進められている。平野部は一般に人口稠密地域であるため, 大都市直撃型の地震を引き起こす可能性のある活断層の分布の確認は地震防災上極めて重要である。

我が国の3大都市圏が立地する関東平野, 大阪平野および濃尾平野における調査の現況・到達点は以下のようなものである。関東平野の東京, 荒川, 中川の各低地では, 反射法弾性波探査やボーリングによって, B級以上の活動度(平均変位速度が10 cm/千年以上)の活断層が伏在する可能性は極めて低いことが判明している(杉山・遠藤, 1996; 遠藤ほか, 1997)。大阪平野では, 反射法弾性波探査(大阪府, 1997; 杉山ほか, 1997など)と詳細地形調査(岡田ほか, 1996など)により, 大阪市内を南北に縦断する上町断層が岸和田市にまで達し, 断層の全長は40 km以上に達することが明らかにされている(第1図)。また, 同断層は1本の断層線から構成されるものではなく, 複数の雁行あるいは派生断層からなる断層系であることも明らかになっている(第2図)。現時点では十分なデータが得られていない濃尾平野についても, 1997年度から地質調査所と愛知県により, 反射法弾性波探査による伏在活断層調査が開始されている。



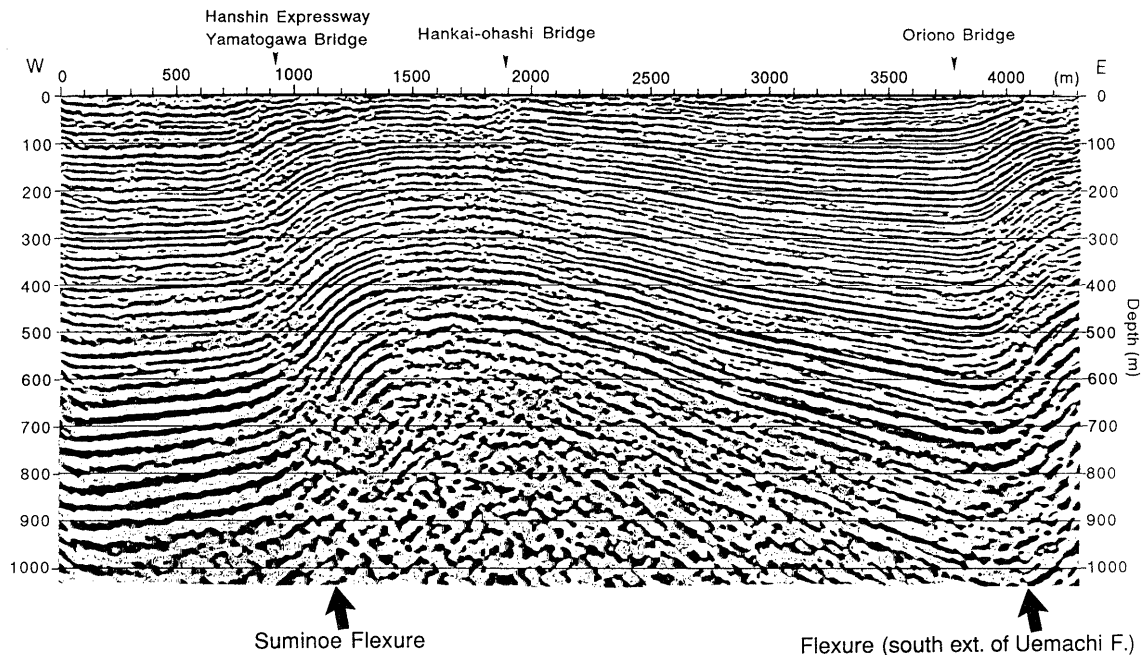
第1図 上町断層系のトレースと反射法弾性波探査の測線位置(杉山ほか, 1997)。

平野部活断層の詳細な位置情報は, 2.5万分の1都市圏活断層図として, 1996年度より国土地理院から順次公表されている。同図では, 撓曲構造の傾斜方向を矢印で示し, 矢印の長さや網掛けにより撓曲ゾーンを表示するなど, 平野部活断層の特徴をうまく表現するための工夫がなされている。

2. 今後の課題

(1) 伏在活断層調査の推進とその質的転換

越後平野(新潟~長岡平野)や石狩平野では活動性の高い活断層の伏在が予想されるが, まだ十分な調査が行われていない。これらの平野についても大阪平野や濃尾平野と同様に, 早急に調査を始める必要がある。また, 通過位置が特定された活動性の高い伏在活断層については, 順次, 調査内容を後述する地震の発生時期と規模の予測を目的とするものに転換してゆく必要がある。地質調査所は, 上町断層系の活動時期と単位変位量の取得を目指す群列ボーリング調査を1997年度に開始し, 濃尾平野西縁の桑名断層と和歌山平野に



第2図 大和川測線（第1図のYamato R. Line）沿いの上町断層系の深度変換された反射断面（杉山ほか，1997）．鉛直誇張は約2倍．

伏在する中央構造線についても、同様の調査を1996年度から行っている。

(2) 活断層の詳細位置情報の公表

山地・丘陵・台地の活断層と平野部の活断層に共通する今後の課題としては、断層通過位置のより詳細な特定が挙げられる。さらに、得られた位置情報については、大縮尺の詳細活断層図などとして、速やかに公表してゆく必要がある。活断層の詳細位置情報は、断層変位と強震動の発生源、破碎帯の存在による脆弱岩盤地域、伝播地震動の増幅・トラップの発生域などについての重要な1次データであり、地震災害の軽減を図る上での有用性は極めて高い。

ただし、位置情報の公表方法には細心の注意を払う必要がある。例えば、活断層の位置情報のみを提示した場合には、情報の受け手側（特に一般市民）に「活断層の真上やその近くでなければ安全だ、大した被害は出ないだろう」といった誤解を与えないように、適切な解説・注記などを加えることが重要である。活断層の位置情報を地震災害の軽減に十二分に役立たせるためには、地震動分布に影響を与える基盤形状の情報や液状化現象の発生し易さを支配する表層地質情報などと一体化させた総合的な地震災害予測図を作成することが効果的であろう。

地震発生の危険度評価（発生時期の予測）

1. 現 状

(1) 断層活動の周期性の検証と活断層調査が対象とする地震

活断層の地震発生危険度評価は、活断層（厳密には破壊のセグメント）の活動には周期性があるという前提に基づいている。この前提の成立を強く支持する実例として、南海トラフ沿いの巨大地震がある。同トラフ沿いでは、史料に欠落が

ないと判断される中世以降、1361, 1498, 1605, 1707, 1854, 1944-46年と6回のマグニチュード8クラスの地震が平均117年、最短90年、最長147年の間隔（標準偏差22年）で発生している。

内陸の活断層については、南海トラフ沿いに匹敵するような精度の高いデータは得られていない。しかし、これまでに実施された活断層の活動履歴調査結果（例えば、栗田ほか（1986）による阿寺断層の調査結果の総括）は、活断層がおおむね一定の間隔（最長および最短の活動間隔がそれぞれ平均値の2倍以下および2分の1以上に収まる程度）で活動していることを示している。

活断層調査により認識できる断層活動は、断層変位が地表付近にまで達したものである。これは、一部の例外はあるにせよ、個々の断層から発生し得る最大規模の地震にほぼ対応する。このような最大規模の地震は、Schwartz and Copersmith (1984) の characteristic earthquake (固有地震) に相当する。以下の地震発生の危険度評価および地震規模の評価で対象とする地震は、この固有地震、則ち、おおむね一定の時間間隔を置いて、活断層から繰り返し発生する最大規模の地震である。逆の言い方をすると、以下の議論は、固有地震以外の地震の発生時期および規模の予測には、直接には適用できない点に注意して頂きたい。

(2) 危険度評価を主目的とする活断層調査の現況

活断層の地震発生危険度評価を主な目的とする活断層調査は、地質調査所および地震調査研究交付金（科学技術庁所管）の交付を受けた地方自治体により、1995年度から実施されている。この事業で対象としている活断層は、主として地震調査研究推進本部が基盤的調査観測の対象活断層として選定した98の活断層（帯）である。これらの活断層（帯）は、基本的にB級以上の活動度と20 km以上の長さを持ち、マグニ

チュード7程度以上の地震を引き起こす可能性のある活断層またはその集合体である。

地質調査所は、各地方や都市圏全体の地震発生危険度の評価にも貢献するため、国府津-松田断層などの一部の要注意断層を除いて、近畿地方を拠点として調査を始め、順次、中部、四国などの周辺地方へ調査範囲を拡大する戦略をとっている。同所は1995年度以降、各年度10本前後（複数年度にわたる断層を含む）の活断層の調査を行っている。一方、地方自治体による活断層調査は、各地域の防災計画に必要な想定地震および地震動についての情報の取得を主な目的として実施されている。1995年度から1996年度にかけて、34自治体により38活断層（帯）の調査が実施されている。

(3) 地震発生危険度評価の実例

ここでは、地質調査所がトレンチ調査結果に基づいて、独自の評価を公表した野島断層と有馬-高槻構造線、ならびに地震調査委員会が国としての評価を公表している糸魚川-静岡構造線活断層系と国府津-松田断層の例を紹介する。

1) 野島断層

トレンチ調査の結果、野島断層（第3図の①）は1995年の活動の前は西暦紀元後50年頃、さらにその前は紀元前1900～3000年に活動したことが判明した（第1表；栗田ほか，1997）。したがって、震災前に詳しいトレンチ調査を実施していれば、野島断層は活動間隔2000～3000年、経過時間約2000年の、地震発生が切迫した断層であると評価できたと考えられる。

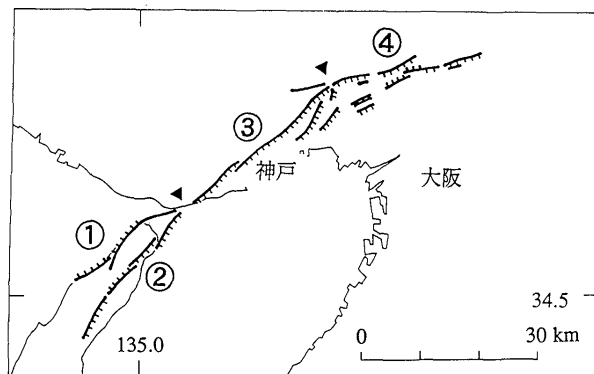
2) 有馬-高槻構造線

トレンチ調査の結果、川西以東の有馬-高槻構造線（第3図の④）は約400年前に最新活動を行ったことが明らかになった。地震史料および地震考古資料との突き合わせにより、この活動が1596年の慶長伏見地震を引き起こしたと結論された（寒川・杉山，1996）。また、その前には紀元前900年頃の縄文時代晩期に活動したことが確認された。この結果、活動間隔は約2500年、経過時間は400年と求まり、同構造線が近い将来に活動する可能性は低いと評価された。有馬-高槻構造線に関するこのような評価は速やかに公表され、京阪神地域の人々の同構造線地震に関する不安の解消に貢献した。

3) 糸魚川-静岡構造線活断層系

トレンチ調査により、糸静線活断層系中部の牛伏寺断層（第4図）の最新活動は西暦445～1386年の間であることが判明した（奥村ほか，1994）。地震史料から、この活動は762年の美濃・飛騨・信濃の地震、または841年の松本付近の地震に対応すると考えられている（奥村ほか，1994；地震調査委員会，1996）。また、最新活動に伴う単位変位量は 7.5 ± 1.5 m、平均変位速度は 9.4 ± 4.5 m/千年と見積もられ、最近4回の断層活動の間隔（500～900年程度）と調和的である。これらのデータから、牛伏寺断層については、次の活動が差し迫っている（経過時間>平均的な活動間隔）とする評価が公表された（地震調査委員会，1996；奥村・井村，1996）。

糸静線活断層系の他の断層の危険度評価については、意見が分かれている。松田（1996）は経験式を用いて、牛伏寺断層の単位変位量に見合うマグニチュード（8.1）と断層の長さ



第3図 有馬-高槻-六甲断層帯の主要セグメント区分（栗田ほか，1997）。2つの▲はセグメントの境界を示す。①～④のセグメントは表1のセグメントに対応する。

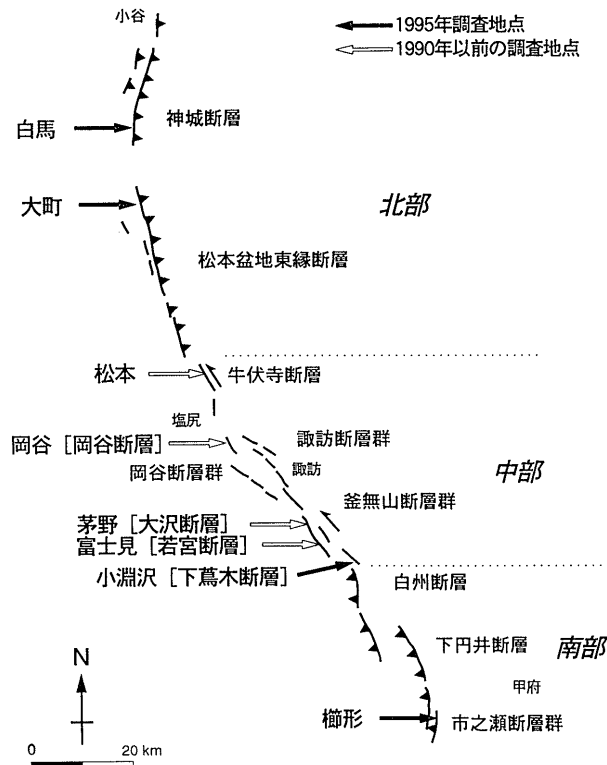
第1表 有馬-高槻-六甲断層帯の主要セグメントの断層パラメーター（栗田ほか，1997）。①の北淡セグメントは野島断層に相当し、④の高槻セグメントは有馬-高槻構造線に相当する。

セグメント	① 北淡	② 東浦	③ 六甲山？	④ 高槻
長さ	20 km	25 km	30 km ?	≥30 km
単位変位量	1.6 m	1.4 m	?	≥3 m
再来間隔	2～2.5 千年	1.4～2.2千年	?	2.5 千年
サイクルⅠ	1995 AD 兵庫県南部Eq	1596 AD 慶長伏見地震	?	1596 AD 慶長伏見地震
サイクルⅡ	約 50 AD	約 200 AD～ 約 600 BC	?	約 900 BC
サイクルⅢ	約 1900 BC～ 約 3000 BC	?	?	?

(91 km) を見積もり、糸静線活断層系の3分の2ないし全域が同時に活動するとしている。これに対して奥村・井村（1996）は、他の断層の活動間隔は牛伏寺断層の活動間隔よりも長い（第5図）ことから、最新活動が同時期であっても、次の活動が差し迫っているのは牛伏寺断層周辺に限られるとしている。この問題に決着をつけるためには、個々の活断層の活動履歴、単位変位量および平均変位速度の情報精度を向上させる以外に方法はないと考えられる。

4) 国府津-松田断層

国府津-松田断層（第6図の断層1）については、その東西に位置する大磯丘陵と足柄平野の段丘に関するデータから、活動間隔は2000～3000年、最新活動後の経過時間は2300年以上と推定されている（山崎，1993）。また、1995年に実施されたトレンチ調査の結果（第7図）から、同断層の最新活動は約3000年前と推定された（水野・山崎，1996）。地震調査委員会（1997）は、これらのデータに基づいて、今後数百年以内に神縄・国府津-松田断層帯とその海域延長部を震源とするマグニチュード8程度の地震が発生する可能性があるとする評価を公表した。この評価については、同委員会の補足説明資料でも指摘しているように、幾つかの課題が残されている。活動時期の予測に関連しては、最新活動に先立つ活動時期が未解明であることがまず指摘できる。このため、約3000年と推定された活動間隔の信頼性は十分とは言えず、活



第4図 糸魚川-静岡構造線活断層系の概要とトレンチ調査地点 (奥村・井村, 1996)。

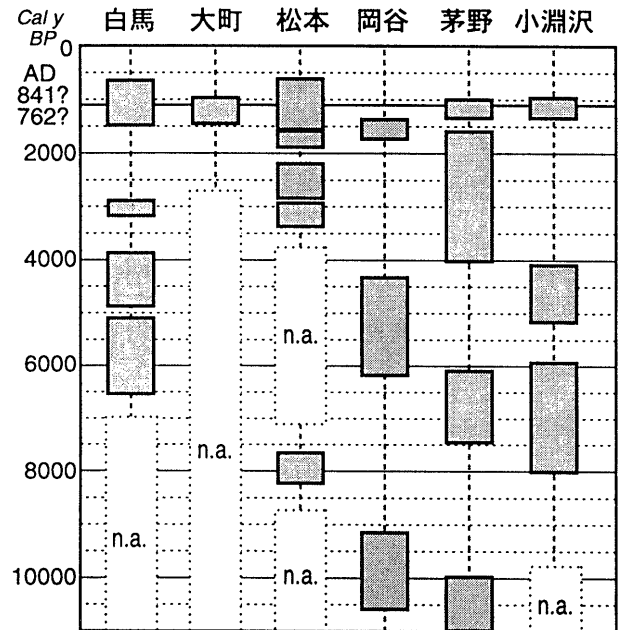
動間隔のゆらぎも現時点では明らかではない。また、国府津-松田断層の活動（大機型地震）と関東大地震などの相模トラフ沿いのプレート境界地震との関係解明も今後に残された大きな課題である。両者の関係の解明は、国府津-松田断層の将来の活動時期について、大きな拘束条件を与えるものと期待される。

2. 今後の課題

(1) 確率予測の導入

今後の活断層の危険度評価に関しては、大きく2つの道筋があると考えられる。その一つは確率予測（確率論的危険度評価）の導入である。このような評価の必要性は、地震調査委員会（1997）の国府津-松田断層の危険度評価に対する一般市民の反応からも明らかである。「現在を含めた今後数百年以内に、マグニチュード8程度の規模の地震が発生する可能性がある」という評価に対して、切迫性がピンとこない、生活実感とかけ離れているといった反応が多かった。これは主に、長期予測としての活断層の地震発生危険度評価の特質が情報の受け手側（特に一般市民）に十分に伝わらず、地震の短期・直前予測と混同されたためであろう。今後、長期予測の有用性や利用方法に関する議論の喚起をも視野に入れて、活断層調査に基づく地震発生危険度評価の特質をより分かり易く伝える工夫をする必要がある。確率予測はそのような工夫の一つである。著者は確率予測についての十分な知識を欠くため、この問題に深く立ち入ることはできないが、活断層から地震が発生する確率を風水害、火事などの「身近な危険」の確率と容易に比較できるようにしようとするものである。

このような危険度評価のためには、活断層の活動間隔とそ



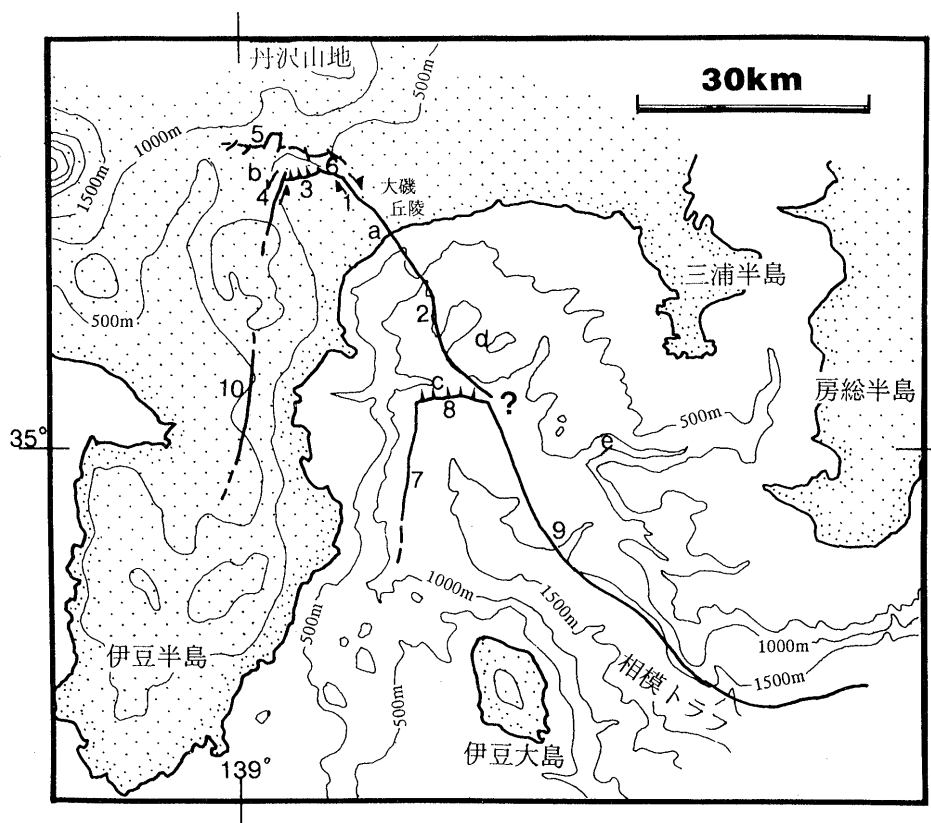
第5図 糸魚川-静岡構造線活断層系中・北部の過去1万年の活動履歴 (奥村・井村, 1996)。太い実線で囲み、網掛けした長方形がトレンチ調査の結果から推定される各地点の断層活動の時期を示す。n.a. は、削剥や不整合による地層の欠如のため、年代データがないことを示す。

のゆらぎ、および最新活動時期などについて、高い精度の情報が必要となる。これまでの実績から判断すると、活動度がA級～B級上位の活断層（平均変位速度がおおむね50 cm/千年以上）では、今後の計画的な調査により、活動間隔のゆらぎを含む必要なデータの取得とそれに基づく確率論的な評価がある程度可能と考えられる。しかし、B級下位～C級の活断層では、高精度の確率論的な評価に必要な活動履歴情報の取得は必ずしも容易ではないと予想される。

(2) 最新活動時期に基づく半定量的な評価の推進

危険度評価のもう一つの方向は、このようなB級下位～C級の活断層を主な対象とするものであり、最新活動時期に基づく“半定量的な”評価の推進である。活断層調査が大きく進展している近畿地方では、最も活動的な活断層（野島断層など）の活動間隔は2000年程度であることが分かってきた。したがって、同地方では、最新活動が鎌倉時代以降であることが確かめられた活断層（特に歴史地震との対応が判明した活断層）は、活動間隔に関する十分な情報がなくても、当面（今後100年間程度）は地震が発生する可能性は低いと考えられる。ただし、この地震は前述のように、最大規模の固有地震のことであり、より小規模な地震の発生を否定するものではない。

この例のように、B級下位～C級の活断層については、最新活動時期と平均変位速度の特定に力を注ぐのが現実的な対応と考えられる。活動間隔については直接的には情報が得られなくても、同一活断層区内のA級～B級上位の活断層の活動間隔を最小値として代用することができる。また、その妥当性は平均変位速度により検証可能である。その上で、最新活動時期、さらには最新活動と古地震との対応の検討に基づ



第6図 相模トラフ北縁部の活断層分布(徐, 1995). 1: 国府津-松田断層(陸域), 2: 国府津-松田断層の海底への延長部, 3: 日向断層, 4: 平山断層, 5: 神縄断層, 6: 松田北断層, 7: 西相模湾スラスト(南部), 8: 真鶴海丘南縁スラスト, 9: 相模湾断層, 10: 丹沢断層. a: 足柄平野, b: 足柄山地, c: 真鶴海丘, d: 大磯海丘, e: 東京海底谷.

いて、当面の地震発生危険度の低い活断層とそうは言い切れない活断層とに分別することができよう。この方法は日本列島全域に適用することは困難かもしれないが、多数の活断層（その一部はA級）が分布し、同時に地震史料や地震考古資料が豊富な近畿や中部地方では有効と考えられる。“当面は安全と考えられる断層”の特定とその公表も、活動が差し迫った活断層の定量的な危険度評価と同様に、社会的に重要な課題と考えられる。

地震規模の予測

1. 現 状

(1) 従来の地震規模予測の方法とその問題点

活断層の活動により引き起こされる地震の規模は、ずれ動いた断層の長さとなずれの量（単位変位量）に比例することが経験的に知られている。従来、活断層の活動による地震の規模を予測する方法としては、断層の長さおよび変位量とマグニチュードを関係づけた経験式が多用されてきた。代表的な経験式は松田（1975）による地震断層の長さおよび変位量とマグニチュードとの関係式である。また、佐藤ほか（1989）による震源断層の長さおよび変位量とマグニチュードとの関係式もよく用いられている。このような経験式による地震規模予測の問題点として、経験式とその基礎となったデータとの間に系統的な誤差があることが指摘できる。ここでは、用いられる頻度が高い断層長とマグニチュードとの関係につい

て取り上げる。

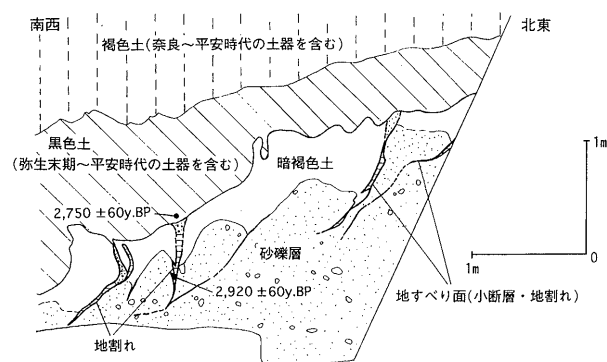
佐藤ほか（1989）による内陸地震の震源断層の長さとなマグニチュードの関係（第8図a）を見ると、横軸のマグニチュードがほぼ7より小さい領域では、データは経験式よりも緩い勾配で分布している。一方、マグニチュードがほぼ7より大きい領域では、右端の濃尾地震を除くと、データは経験式よりも大きな勾配で分布している。地震断層の長さとなマグニチュードとの関係を示した第8図bでは、データ数が少ないため不確実ではあるが、同様の傾向がうかがわれる。また、この図では、濃尾地震はマグニチュード7クラスの地震の集団から離れた位置にプロットされている。これらのことは、濃尾地震のマグニチュードの再検討が必要なことと共に、長さが50kmを超えるような大規模な断層系では、単純にその全長をこれらの経験式に代入して地震の規模を求めた場合、地震規模を過大に見積もる可能性が高いことを示している。

(2) 地震規模予測の実例

ここでは、地震調査委員会が地震の発生時期とともに、規模の予測も公表した糸魚川-静岡構造線活断層系と国府津-松田断層の例を紹介する。この2つの例では、上で問題点を指摘した断層の長さではなく、単位変位量（1回の断層活動に伴う変位量）を地震規模予測の基礎資料としている点で共通している。

1) 糸魚川-静岡構造線活断層系

前章でも触れたように、地震調査委員会（1996）は、今後



第7図 国府津-松田断層・国府津地区トレンチの壁面スケッチ（水野・山崎，1996に ^{14}C 年代を修正加筆）。水野・山崎（1996）は他の地区のトレンチ調査結果も考慮して、本トレンチ壁面に現れた地割れを国府津-松田断層の最新活動に伴って形成されたものと推定している。

数百年以内に牛伏寺断層を含む糸静線の活動により、マグニチュード8程度（7.5～8.5）の地震が発生する可能性が高いとする評価を公表した。この評価における地震の規模は、次の二つのデータに基づいている。一つは、約100 kmにわたる白馬から小淵沢までの6地点で、ほぼ同じ時代（約1200年前）の最新活動が認められたこと（第5図）である。もう一つは、松本（牛伏寺断層）と茅野（釜無山断層群）で、各々 $7.5 \pm 1.5\text{ m}$ および約6 mの単位変位量が求められたこと（糸静線活断層系発掘調査研究グループ，1988；奥村ほか，1994）である。しかし、これまでに得られている活動履歴のデータ（第5図）からは、次の糸静線活断層系の活動が牛伏寺断層付近に限られる可能性、換言すれば次の地震の規模が地震調査委員会の予測よりも小さくなる可能性も考えられる。地震調査委員会の見解が公表されたとはいえ、糸静線活断層系の地震規模予測は決着がついた訳ではなく、活動履歴や単位変位量に関する情報の取得を今後も継続する必要がある。

2) 国府津-松田断層

地震調査委員会（1997）は、アカホヤ火山灰の累積変位（約20 m）と段丘のデータから推定される活動間隔（約3000年）から、国府津-松田断層の単位変位量を10 m程度と見積もった。同委員会はこの見積もりに基づき、神縄・国府津-松田断層帯から発生する将来の地震（大礫型地震）の規模をマグニチュード8程度とする予測を公表した。さらに、この規模の地震に対応する断層の活動区間を80 km程度と見積もり、同断層の海域延長部にまで及ぶとした。これとは別に徐（1995）は、日向断層と平山断層（第6図の断層3と4）を国府津-松田断層の内陸側への延長と考え、真鶴海丘以北の海底断層から平山断層に至る断層系を大礫型地震に対応する震源断層と見なしている。平山断層の最新活動時期はおおよそ2700年前と推定されており（Ito et al., 1987）、同断層が国府津-松田断層と同時に活動した可能性は十分考えられる。今後、平山断層や海域活断層の活動履歴や単位変位量の解明が大礫型地震の実像に迫る新たな方途として期待される。

2. 今後の課題

(1) 破壊のセグメントと単位変位量に基づく地震規模予測の推進

最近の活断層調査により、長大な活断層系は幾つかの破壊のセグメントから構成され、同セグメントは一つの破壊サイクルの中で単独で活動する場合もあれば、幾つかが連動破壊する場合もあることが分かってきた（例えば、第1表）。またこれとは逆に、地表では連続性が途切れる複数の断層が、活動履歴の一致や変位量分布の連続性から、一つの破壊のセグメントを形成していると考えられる場合もあることが分かってきた（鈴木ほか，1997など）。これらの調査結果から、精度の高い地震規模予測のためには、破壊のセグメントを認識し、それぞれのセグメントから生起する地震の規模を決定することが重要と考えられる（第9図）。

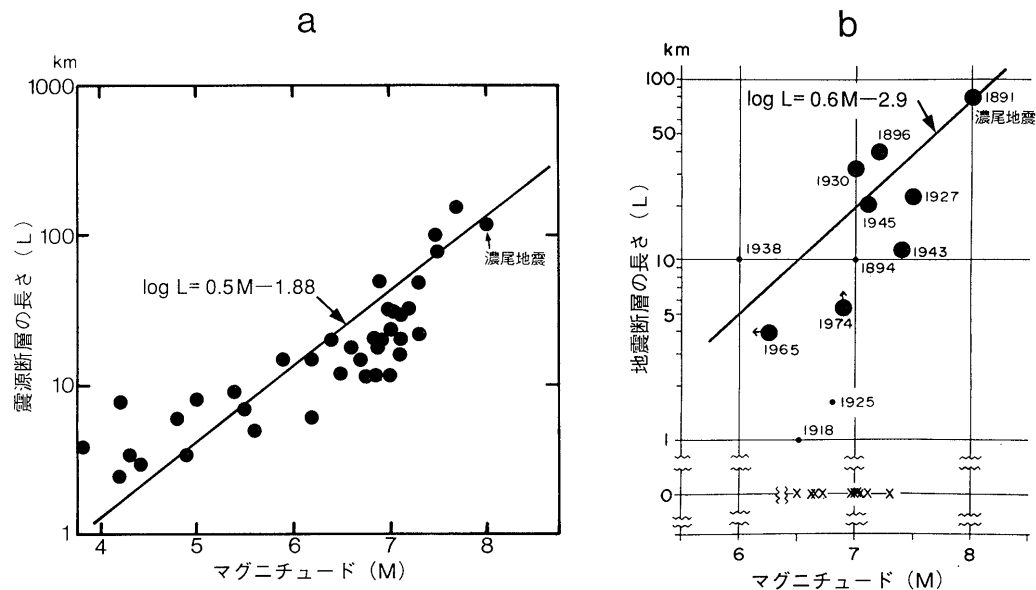
破壊のセグメントが単独で破壊する場合と連動して破壊する場合とで、各セグメントの変位量や地震規模に違いが生じるか否かについては、まだ十分な検証がなされていない。有馬-高槻構造線については、紀元前900年頃の破壊（単独破壊の可能性）と慶長伏見地震時の連動破壊とで、ほぼ同じ上下変位（50～60 cm）が生じたことが判明している（寒川・杉山，1996）。今後、変位量と破壊様式（連動、単独破壊など）および活動間隔との関連性、ならびに破壊のセグメントの領域の安定性を検証する研究を推進する必要がある。

破壊のセグメントの領域が数万年程度のオーダーで安定しており、各セグメントの変位量が破壊様式によらず、おおむね一定であることが検証されれば、セグメントの規模と単位変位量（換言すると地震モーメント）に基づく地震規模予測が可能となる。米国では既に、各セグメントの変位量を破壊様式によらず一定と見なすモデルに基づいて、地震規模の予測が試みられている（Working Group on California Earthquake Probabilities, 1995）。

このような地震規模予測では、活断層系から生じる地震の震源域（破壊のセグメントの組み合わせ）と規模（モーメント・マグニチュード）について複数の答えが得られる。このため、それぞれの答えの発生確率をどのように評価するか、予測結果を地震防災や構造物の耐震安全性評価にどのように生かしてゆくのかなどが次の課題となる。前者の課題については、b値などの統計的データのほかに、隣接するセグメントの活動履歴も重要な拘束条件となる。後者の課題に関しては、著者は深く議論できるだけの知見を持ち合わせていないが、適切な動的パラメーターと組み合わせることにより、加速度分布や震度分布などについても複数の想定を行う必要があろう。

(2) 地震規模予測に用いられる経験式の改良

1. (1)で指摘したように、Matsuda（1981）と佐藤ほか（1989）による断層の長さやマグニチュードに関するデータ（第8図）を見直すと、経験式とその基礎となったデータとの間に系統的な誤差が認められる。震源断層の長さについては、佐藤ほか（1989）が指摘しているように、小規模地震の断層長を過大評価している可能性がある。また、地震断層の長さについては、マグニチュード7以下ではデータが少な



第8図 地震を発生させた断層の長さ地震のマグニチュードとの関係。a: 佐藤ほか (1989) による震源断層の長さとの関係。佐藤ほかの原図には内陸地震、海溝沿いの地震および深発地震が表示されているが、本図にはそのうちの内陸地震だけを抜き出して示した。関係式 ($\log L = 0.5M - 1.88$) は、これら3種の地震のデータから、震源断層面の幅を断層の長さの2分の1と仮定して得られたもの。b: Matsuda (1981) による内陸地震に伴う地震断層の長さとの関係。松田 (1975) による経験式 ($\log L = 0.6M - 2.9$) を示す直線を書き加えた。小さい丸は地震断層の出現が確定的でないものや地すべりに伴う割れ目の疑いがあるもの、×は地震断層が出現しなかった地震を示す。

く、ばらつきも大きい。したがって著者は、マグニチュード7程度以上の地震の断層長とマグニチュードを再検討し、信頼性の高いデータのみに基づいて、経験式を改良すべきであると考え。また、上述の破壊のセグメントに関する議論によれば、マグニチュード7以上の地震には、当然のことながら、連動破壊による地震が含まれる。この場合、連動破壊による地震群と単独破壊による地震群とでは、断層長（破壊域の総延長）とマグニチュードとの統計的関係が異なってくると考えられる。例えば、佐藤ほか (1989) の式は、断層面の幅（第9図のW）を断層長（L）の2分の1と仮定して得られたものである。しかし、断層の幅は seismogenic crustal layer の厚さ（内陸では20 km 前後）に規制されるため、断層面がたっている場合、破壊域の総延長が80 km、100 km と延びても、それに対応して断層の幅が単純に40 km、50 km と大きくなることはできない。よって著者は、将来的には単独破壊と連動破壊の各々に適合した経験式を作成する必要があると考えている。特に、連動破壊について、精度のよい経験式が作成されれば、破壊のセグメントに関する各種の断層パラメーターが完全には揃わなくても、適正な地震規模の予測が可能になると期待される。この場合、2. (1)での議論を考慮すると、予測する地震規模の尺度にはモーメント・マグニチュードを採用するのが適切と考えられる。

お わ り に

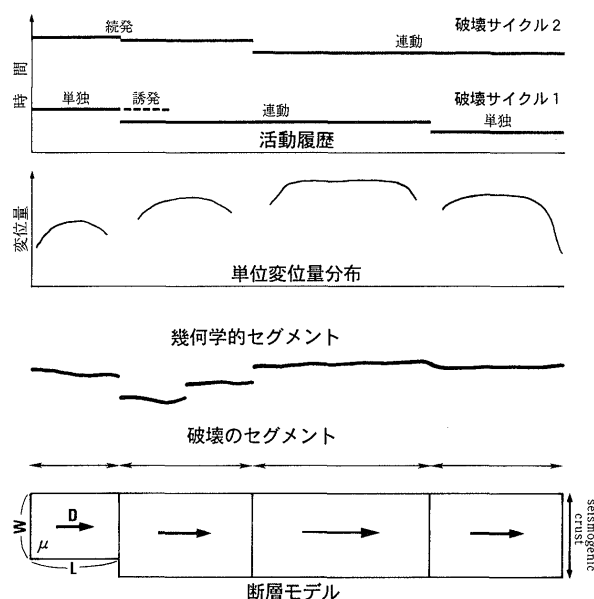
以上、本稿では、活断層調査の現状と課題を簡単に紹介したが、全般に活断層調査の有効性を強調しすぎた感がある。そこで最後に、現在の活断層調査では対応が困難な例も指摘しておきたい。それは、兵庫県南部地震の際に大規模な被害

の原因となった神戸側の破壊である。神戸側の地表に断層が出現したとする説もあるが、その変位量はセグメント規模から推定される変位量（1.5~3 m）に遠く及ばない。したがって、神戸側の破壊は、おそらく400年前の慶長伏見地震の際に活動したセグメントが、隣接する野島断層の活動に誘発されて、平均的な活動間隔に比べて相当に短い経過時間のうちに、“非固有的に”再活動したものと推定される。神戸側の断層活動は、このように事後に解釈を加えることは可能であるが、地震前に詳細な活断層調査を行い、各種の断層パラメーターを取得していたとしても、事前に予測することは困難であったと考えられる。

我々は、このような活断層調査の限界や問題点を十分に認識し、それを謙虚に受けとめた上で、地震災害の軽減、各種構造物の耐震安全性評価など、国民生活の安全に最大限貢献するよう努力しなければならない。そのためには、活断層に関する情報の質と量、ならびに調査技術や解析・評価手法の向上に務めなければならないことは言うまでもない。しかし、それだけでは不十分であり、社会や国民の広範なニーズに応じて、活断層に関する情報やその評価結果を適切に加工し、多様な表現方法と媒体を通じて公表する必要がある。現在の活断層調査の周辺を振り返って見ると、この点はまだ大きく立ち後れており、高度情報化社会の21世紀に向けて、我々に課せられた最大の課題と言っても過言ではなからう。

謝 辞

本論文の投稿を著者に勧めて下さった静岡大学理学部の新妻信明教授に深く感謝致します。また、本論文の内容は、地質調査所活断層研究室の栗田泰夫氏をはじめとする同研究室



第9図 大規模な活断層系の評価に関する模式概念図（杉山，1997を一部修正）。D, L, Wはそれぞれ、各破壊のセグメントの単位変位量、断層面の長さおよび幅、 μ は剛性率であり、D, L, Wの積に μ を掛け合わせた量が地震モーメント。

の同僚の方々と議論に基づくところが多い。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 栗田泰夫・寒川 旭・杉山雄一，1997，有馬-高槻-六甲断層帯の古地震調査—兵庫県南部地震の長期予測は可能であったか？—。地震学会シンポジウム「大地震の長期予測はどこまで可能か？」講演予稿集，セッション1，5。
- 栗田泰夫・佃 栄吉・山崎晴雄・水野清秀，1986，阿寺断層の最近の活動史—加子母・付知・坂下・山口におけるトレンチ発掘調査から—。第2回阿寺断層現地シンポジウム報告集，1-11。
- 遠藤秀典・杉山雄一・渡辺二郎・牧野雅彦・長谷川 功，1997，浅層反射法弾性波探査による関東平野中央部の地下地質構造。地球科学，**51**，15-28。
- Ito, T., Uesugi, Y., Yonezawa, H., Kano, K., Someno, M., Chiba, T. and Kimura, T., 1987, Analytical method for evaluating superficial fault displacements in volcanic air fall deposits: case of the Hirayama fault, south of Tanzawa Mountains, central Japan, since 21,500 years B.P. *Jour. Geophys. Res.*, **92 B**, 10683-10695。
- 糸静線活断層系発掘調査研究グループ，1988，糸静線活断層系中部，若宮，大沢断層の性格と第四紀後期における活動—富士見，茅野における発掘調査。地震研報，**63**，349-408。
- 地震調査委員会，1996，糸魚川-静岡構造線活断層系の調査結果と評価について。総理府地震調査研究推進本部，10 p。
- 地震調査委員会，1997，神縄・国府津-松田断層帯の調査結果と評価について。総理府地震調査研究推進本部，20 p。
- 垣見俊弘・山崎晴雄・寒川 旭・杉山雄一・下川浩一・岡 重文，1982，50 万分の1 活構造図「東京」，地質調査所。
- 活断層研究会，1980，新編日本の活断層—分布図と資料。東京大出版会，363 p。
- 活断層研究会，1991，新編日本の活断層—分布図と資料。東京大出版会，437 p。
- 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。
- Matsuda, T., 1981, Active faults and damaging earthquakes in Japan—Macro seismic zoning and precaution fault zones. *Earthquake prediction—An international review*, Maurice Ewing Series 4, Amer. Geophys. Union, 279-289。
- 松田時彦，1996，「要注意断層」の再検討。活断層研究，no.14，1-8。
- 水野清秀・服部 仁・寒川 旭・高橋 浩，1990，明石地域の地質。地域地質研究報告（5 万分の1 地質図幅），地質調査所，90 p。
- 水野清秀・山崎晴雄，1996，国府津-松田断層のトレンチ調査及びボーリング調査。地震予知連会報，**56**，264-269。
- 岡田篤正・千田 昇・中田 高，1996，2.5 万分の1 都市圏活断層図「岸和田」。国土地理院技術資料 D. 1-No. 333。
- 奥村晃史・井村隆介，1996，糸魚川-静岡構造線活断層系の活動履歴調査。第11回地質調査所研究講演会資料「兵庫県南部地震の地質学的背景」，日本産業技術振興協会，56-59。
- 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—。地震2，**46**，425-438。
- 大阪府，1997，平成8年度地震調査研究交付金 上町断層帯に関する調査成果報告書（概要版）。34 p。
- 寒川 旭・杉山雄一，1996，有馬-高槻構造線活断層系のトレンチ調査。地震予知連会報，**56**，557-565。
- 佐藤良輔・阿部勝征・岡田義光・島崎邦彦・鈴木保典，1989，日本の地震断層パラメータ—ハンドブック。鹿島出版会，東京，390 p。
- Schwartz, D.P. and Coppersmith, K.J., 1984, Fault behavior and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and San Andreas fault zones. *Jour. Geophys. Res.*, **89 B**, 5681-5698。
- 徐 垣，1995，足柄層群南縁の衝上断層（日向断層）とその地震テクトニクス上の意義。地質雑，**101**，295-303。
- 杉山雄一，1997，活断層調査の現状と地震防災への適用の展望。第24回地震工学研究発表会講演論文集，1-8。
- 杉山雄一・遠藤秀典，1996，首都圏における平野部伏在活断層の反射法弾性波探査。地質調査所研究資料集，no. 259，47-55。
- 杉山雄一・吉澤正夫・廣岡 知・横田 裕・伊藤信一・林 和幸・鮎澤秀美，1997，大阪・上町断層の反射法弾性波探査。物理探査学会第96回学術講演会論文集，98-102。
- 鈴木康弘・三重県活断層調査委員会他・大学合同変動地形測量グループ，1997，変位速度分布とモーメントマグニチュードによる鈴鹿東縁断層帯の評価。地惑合同大会予稿集，53。
- 佃 栄吉・栗田泰夫・山崎晴雄・杉山雄一・下川浩一・水野清秀，1993，2.5 万分の1 阿寺断層系ストリップマップ及び同説明書。地質調査所，39 p。
- Working Group on California Earthquake Probabilities, 1995, Seismic hazards in southern California: probable earthquakes, 1994 to 2024. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **85**, 379-439。
- 山崎晴雄，1993，南関東の地震テクトニクスと国府津・松田断層の活動。地学雑，**102**，365-373。

(要 旨)

杉山雄一, 1998, 活断層調査の現状と課題. 地質学論集, 第 49 号, 61-70. (Sugiyama, Y., 1998, Present state and prospect of active fault investigation. *Mem. Geol. Soc. Japan*, no. 49, 61-70.)

活断層調査の目的は, 地震の場所, 時期, 規模などを長期的に予測することにより, 国民生活の安全に資することにある. 場所の予測に関連する活断層調査の課題としては, 伏在活断層調査と活断層の詳細位置情報の公表がある. 時期の予測 (危険度評価) に関しては, 確率評価の導入, 活動間隔のゆらぎに関するデータの蓄積, 最新活動と歴史地震の対応づけに基づく評価の推進などが今後の課題として指摘できる. また, 地震規模の予測に関する課題としては, 破壊のセグメントと単位変位量に基づき, 多様な破壊様式を取り込んだ予測の推進が挙げられ, 断層の長さから地震の規模を予測する経験式の改良も必要である. これらの個別の課題に加えて, 活断層に関する情報やその評価結果を社会や国民の広範なニーズに応じて適切に加工し, 多様な表現方法と媒体を通じて提供することが次世紀に向けて我々に課せられた大きな課題である.