



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——

中田 高* 後藤秀昭**

New geometric criteria for active fault segmentation ;
Fault branching and dip-slip distribution pattern along strike-slip faults

Takashi NAKATA* and Hideaki GOTO**

Abstract

To estimate the size of future earthquakes generated from active faults, it is important to define the extent of faulting from existing fault traces. This paper proposes new criteria for identification of segments for active strike-slip fault systems based on geometric surface rupture heterogeneity.

Geometric and structural characteristics are often used for fault segmentation, in cases that historical and/or paleoseismological data are not sufficient to reveal coseismic behavior of faults.

We found an interdependent relation between the pattern of surface ruptures and the direction of their propagation based on an investigation of recent earthquake fault ruptures. If a fault is associated with a simple branching at one end in a plane view, it is rather simple to deduce the direction of future ruptures from its branching feature. If a fault branches at two ends, we may define a fault segment which ruptures bilaterally and moves independently at future earthquakes. If branchings of two faults face each other, we may expect a segment boundary between these branchings as a change in the direction of fault ruptures propagation take place between them.

Regarding dip-slip distribution along a strike-slip fault segment, the upthrown side is, in general, located in the area on the fault block in the relative strike-slip motion on a faulted block. For example, along an E-W trending right-lateral strike-slip fault, upthrown side is located toward the east end on the northern block and toward the west end on the southern block. Thus, a fault segment may be identified based on the pattern of dip-slip distribution.

We tested these criteria successfully on several recent surface fault ruptures and active faults, and applied them for segmentation of the active faults system of the Median Tectonic Line in Shikoku, Southwest Japan.

はじめに

既存の活断層系や活断層群が将来地震を発生させる場合、どの範囲が一括して活動するのかを予測することは、地震災害の軽減のために極めて重要である。比較的長い歴史記録のある日本でも、内陸活断層の多くが数千年に及ぶ

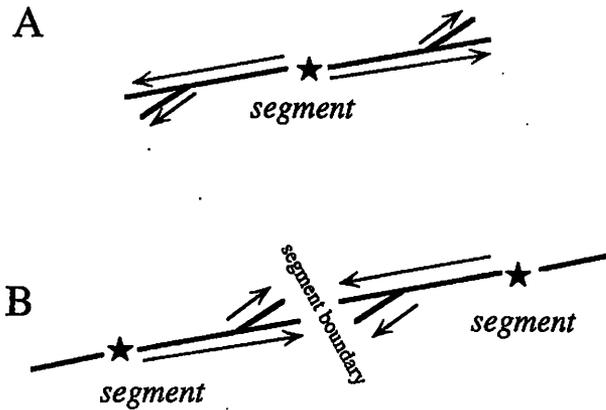
長い活動周期を持つため、史料などに基づいて過去の大地震に伴う断層の破壊範囲を特定することは極めて困難である。したがって、このような問題の解明には、断層系全域で個々の断層においてトレンチ調査を行い、過去の断層活動履歴を精度よく解明し、セグメント区分を行うことが理想的である。このため、古地震の発生時期と活動範囲を地質学的・考古学的手法によって求めることになるが、ト

*広島大学文学部地理学教室

**日本学術振興会特別研究員，広島大学・院，

*Department of Geography, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739-8522, Japan. e-mail: tnakata@ipc.hiroshima-u.ac.jp

**Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science; Graduate Student, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739-8522, Japan. e-mail: hgoto@ipc.hiroshima-u.ac.jp



第1図 断層の分岐形態とセグメント

A: 断層の両端が分岐し、セグメントを認識できる例

B: 断層分岐形態が対置し、セグメント境界を認識できる例

Fig. 1 A model for fault branching and fault segmentation

A: Fault branching at the both ends of fault segment

B: Juxtaposing fault branching at the segment boundary

レンチ壁面から古地震の発生層準を正確に認定し、イベント年代をセグメント区分が可能になる精度で求めることは不可能に近い。したがって、断層の形態などにもとづいて断層破壊がどこから始まりどの方向に伝播し、停止するのかを具体的に予測する論理的なモデルを構築することが必要となる。

これまで、活断層線の配列や平面形に基づいたいくつかのセグメント区分法が提案されている。King (1986) や Sibson (1987) は、地震断層の屈曲やステップ構造の詳細な解析をもとに、断層の破壊プロセスでの幾何学構造の役割を議論している。佃 (1990) は、同じ立場から形態的特徴、特にバリア (断層変位量分布の不連続部) に注目し、いくつかの地震断層を具体的に検討したうえで、断層の破壊は圧縮性バリアで始まり、引張性バリアで終息することを述べている。佃 (1991) は、このような活断層の幾何学的バリアの力学的性質を見極めることが、活断層の破壊プロセスを考えるうえで重要であることを述べ、日本のいくつかの地震断層や活断層についてセグメント区分を試みているが、破壊の開始や停止位置を推定する手法は必ずしも明解とはいえない。

日本では、活断層から将来発生する地震の規模の推定には、歴史時代の大地震とそれに伴って地表に出現した地震断層の長さの関係を用いる方法 (松田, 1975) が広く用いられているが、この手法では、一括して活動する活断層範囲 (セグメント) が特定され、その長さが解明されていることが前提となる。

活断層が再活動して地震が発生する場合、破壊は既存の断層面に沿ってはほぼ忠実に繰り返されるため、その破壊の

開始と停止は断層の形状に大きく支配されることになる。したがって断層の形態を注意深く観察することによって、破壊の開始点、伝播方向、停止の場所を推定することが可能である。「活断層はどこから割れ始めるのか?」という命題に対して、中田ほか (1998a) は大地震の発生源となる活断層の分岐形態から、断層の破壊伝播方向や破壊開始点を予測する手法を提案した。このような断層が分岐する現象は、理論的には地震エネルギーの効果的な散逸過程の一つであり、断層の末端部であることを示す証拠となり、活断層系のセグメンテーションを推定するための重要な指標になると考えられる。

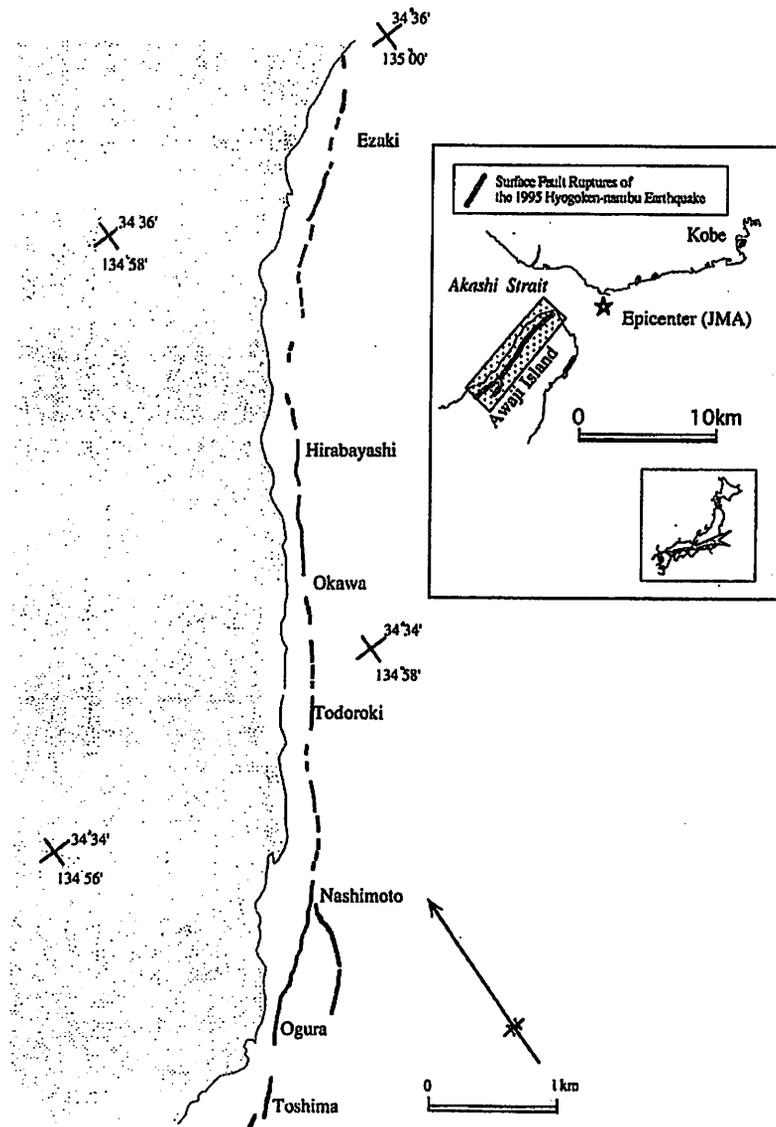
さらに中田ほか (1998b) は、大地震に伴って地表に出現した横ずれ型地震断層に沿って、縦ずれ変位の向きに一定の分布パターンがあることに注目し、この規則性にしたがって活断層系のセグメント区分を行う手法を提案した。

本論文では、上記の手法の有効性を最近の地震断層や活断層の具体的な事例に基づいて検討し、四国の中央構造線活断層系にこれらのモデルを適用してセグメント区分を試みる。

断層の分岐形態にもとづくセグメント区分

1. 地震断層の分岐形態と破壊の停止

地震断層は大地震が発生した際に、震源断層を地表で直接観察できる唯一の物的証拠であり、「割れ目」(断層もこれと同義) は破壊がどのような過程で進行したかを知る手がかりとなる。活断層は地震断層の変位が累積した結果であり、断層変位地形を通して認識される。このような「割れ目」はその形状から、(A) 分岐しない割れ目と (B) 分岐する割れ目に分けられる (寺尾, 1968)。 (B) は割れ目の成長過程で爆発的に枝分かれするもので、破壊の開始点から割れ目が拡大していく過程で、破壊伝播の進行方向に向かって分岐し、伝播方向に向かってV字状あるいはY字状の分岐形状を示すことになる (第1図)。このような「割れ目」の特徴に注目すれば、断層の分岐形態から破壊伝播方向を推定することが可能となる。活断層が互いに遠ざかる方向へ分岐する断層線によって構成される場合は、破壊は断層の中間に位置する断層線の接合部から始まり、それぞれの分岐方向に向かって双方向に伝播し終息すると予測されるため、この種の活断層は一つのセグメントを構成すると考えることが出来る (第1図A)。一方、活断層系において断層線が互いに近づく方向に向かって枝分かれし対置する場合は、破壊はそれぞれの断層線の分岐方向へ伝播し、断層はそれぞれの別々の破壊開始点を持つ独立した二つの起震断層であると予測される (第2図B)。し



第2図 1995年兵庫県南部地震の野島断層に沿う地震断層の分岐
中田ほか (1998a) を改変.

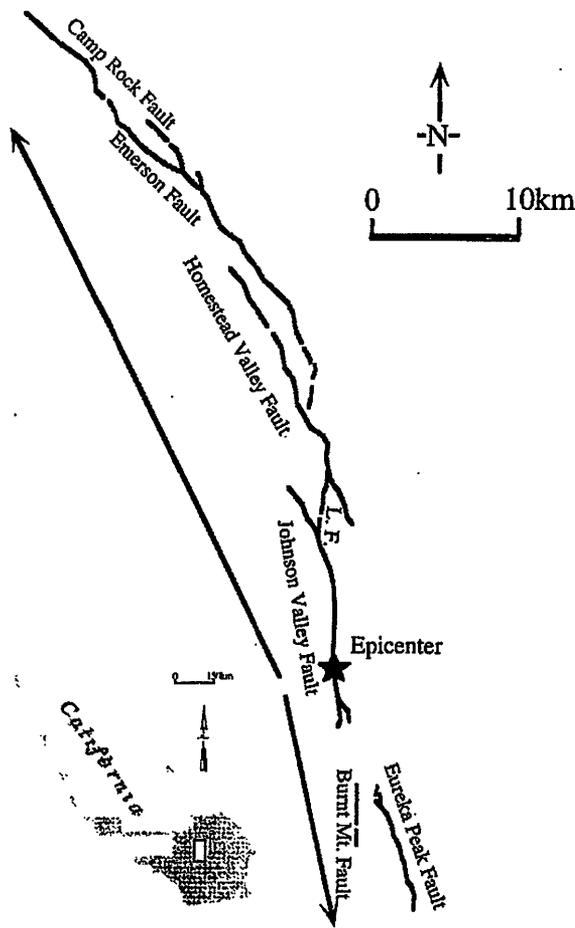
Fig. 2 Branching of the surface fault ruptures associated with the 1995 Hyogoken-nambu earthquake modified after Nakata and others (1998)

たがって、このような分岐形態の発達には、断層のセグメント境界を推定する有力な指標となろう。最近、亀・山下 (1998) は、このような断層の分岐が断層破壊の自発的停止に効果的であることをシミュレーションの結果として示した。

地震断層の末端部での分岐は、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震で淡路島北西岸に出現した長さ約10kmの地震断層でも認められた(中田ほか、1995など)。震央から約7kmに位置する梨本では南に分岐する副次的な断層が認められ、これは断層破壊の終息現象を示すと考えられる (第2図)。

1992年にアメリカ・カリフォルニア州の南東部で発生

したランダース地震では、北北東-南南西走向の雁行する地震断層が出現した (第3図)。断層線の分岐形態から、本震の断層破壊は北に向かって既存の活断層を乗り換えるように伝播したと推定することが出来る。地震断層の北部ではCamp Rock断層とEmerson断層が北に向かって分岐し、南部ではJohnson Valley断層の末端部が南に分岐していることが判る。さらに、Johnson Valley断層のずれが終わった20秒後に、Eureka Peak断層とBurnt Mountain断層が地震断層として出現したとされている (Sieh,1996)。このような断層の両端部での分岐形態は、断層のセグメント区分を推定する根拠になり、上述のモデルに一致しているとみることが出来る。



第3図 1992年ランダース地震の地震断層の分岐
中田ほか (1998a) を改変。

地震断層は Sieh (1996) による。L. F. は Lnders 断層

Fig. 3 Branching of the surface fault ruptures associated with the 1992 Landers earthquake modified after Nakata and others (1998)

The earthquake faults are after Sieh (1996). L. F.: Lnders.

1990年7月16日に発生したルソン地震 ($M=7.8$) は、フィリピン断層系北部の活断層の再活動によるもので、ルソン島北部に125kmにも及ぶ長大な地震断層 (第4図) が現れた (Nakata *et al.*, 1996)。この地震断層の北端部に近い Imugan の北と南端部に近い Gabaldon の西では、断層はそれぞれ北と南に向かって分岐しており、全体で一つのセグメントを構成していることを示している。地震断層の詳細な分岐形態を見ると、Rizal 市街地の南西端付近で主断層から北に分岐する副断層が認められるため、破壊は最大の圧縮バリアより南の地点から北に向かって進行したと推定された (Nakata *et al.*, 1996)。

2. 活断層の分岐形態とセグメント区分

地震断層に認められた断層末端部の分岐形態が活断層においても認められる例があり、このような活断層は将来

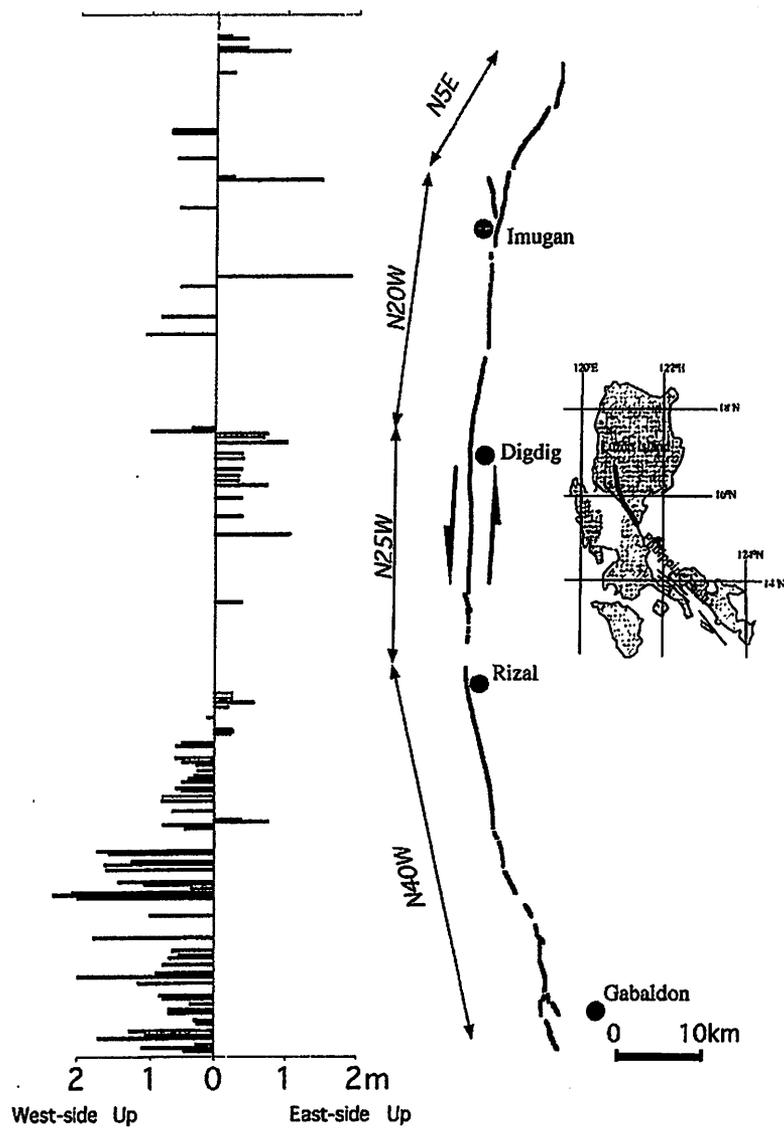
一括して活動し大地震を発生させると予測される。

第5図は島根半島東部に位置する長さ約15kmの活断層 (鹿島断層: 地質学的な宍道断層と区別するため、活断層研究会 (1991) によって宍道断層と呼ばれていた東半部と古浦東断層と呼ばれていた西半部を一連の活断層として認定し新たに命名) の平面形を示したものである。この活断層に沿って河谷の屈曲が全域に認められ、右横ずれ運動が卓越することを示す。雁行配列する断層線はほぼ東西の走向を有し、東端部では僅かに北に向かって屈曲しながら分岐し、西端部では僅かに南に屈曲しながら分岐するパターンを示す。このような断層末端での屈曲形態は、横ずれ断層の一般的傾向 (松田, 1967) に一致している。したがって、鹿島断層は一括して活動するセグメントであると考えることができる。

複数の断層線から構成される有馬-高槻構造線活断層系は、大阪平野の北縁部から六甲山地の北部にかけて東西方向に延びる活断層である (活断層研究会, 1991)。最近の空中写真判読結果によると (中田ほか, 1996)、この活断層系は東北東-西南西の直線的な主断層のほぼ中央に位置する池田市付近を境に、東半部では五月山断層や箕面断層のように北東に、あるいは坊島断層のように南東に分岐する傾向が認められる (第6図)。西半部では名塩断層や有野断層のように北西に、あるいは六甲断層や湯槽断層のように南西に分岐する特徴が認められる。したがって、この活断層系が再活動する場合、断層破壊は池田市付近から双方向に東西に伝播すると推定される。しかしながら、断層分岐は両端部において必ずしも明確ではなく、分岐形態からどの部分が一括して活動するかを特定することは困難である。

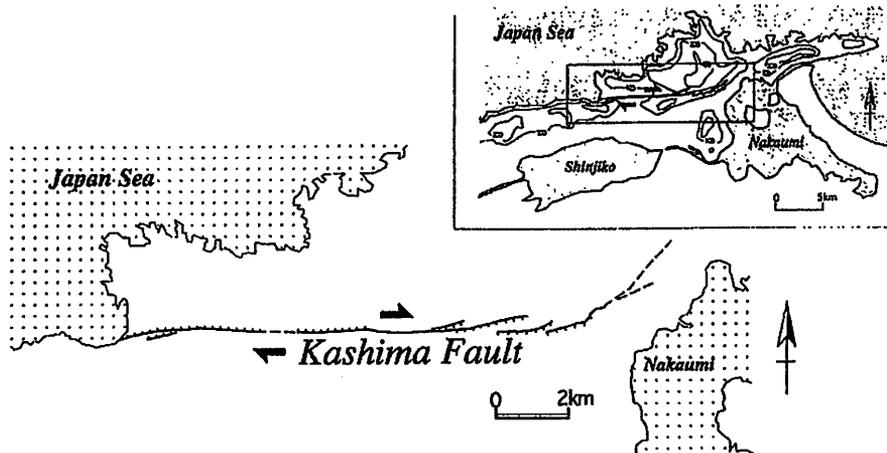
一方、六甲山地南麓の神戸市街北縁に発達する活断層系では、諏訪山断層が新神戸駅付近を境に五助橋断層、甲陽断層が北東に分岐し、西では会下山断層が南西に分岐する (渡辺ほか, 1996)。これは、神戸市街北縁の活断層系がバイラテラルに破壊伝播することを示し、これらの活断層が一括して活動する可能性を暗示している。須磨付近では六甲山地南麓の活断層が東に向かって分岐しており、上述の断層系との間にセグメント境界が存在することを示し、両者が別個に活動する断層であると考えられる。

また、淡路島では、野島断層や仮屋断層は南部で南に向かって分岐しており (第6図)、これらの活断層が南に向かって破壊が伝播することを示唆するが、六甲山地南麓のどの断層と一括して活動するのかを判断することは困難である。



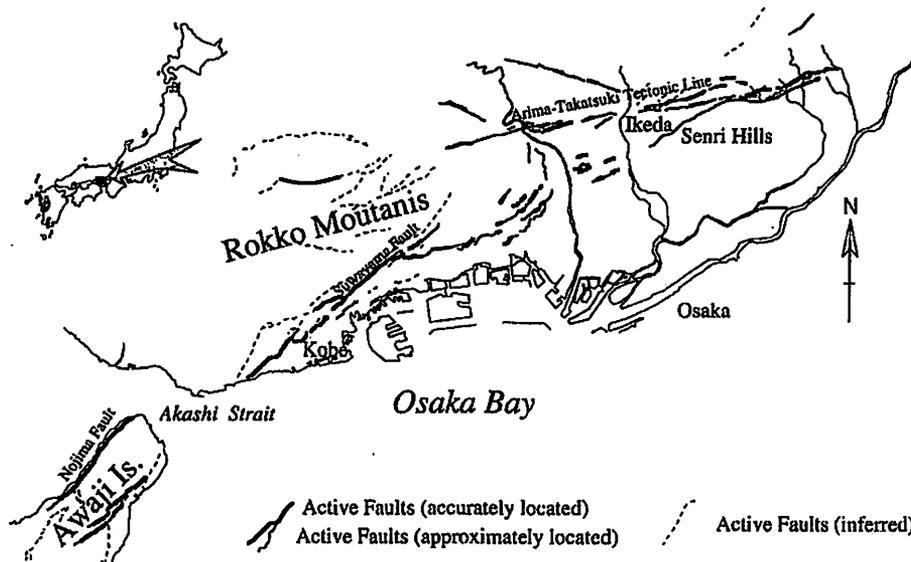
第4図 1990年ルソン地震の地震断層 Nakata (1996) を改変.

Fig. 4 The surface fault ruptures of the 1990 Luzon Earthquake and vertical slip distribution along the ruptures. Modified after Nakata and others (1996).



第5図 鹿島断層の分岐形状と縦ずれ変位分布

Fig. 5 Branching and dip-slip distributon along Kashima fault



第6図 阪神地域の活断層

断層線は中田ほか (1996), 渡辺ほか (1996) などによる。

Fig. 6 Active faults in Kobe-Osaka area

Fault traces are after Nakata and others (1996), and Watanabe and others (1996).

横ずれ断層の縦ずれ分布パターンとセグメント区分

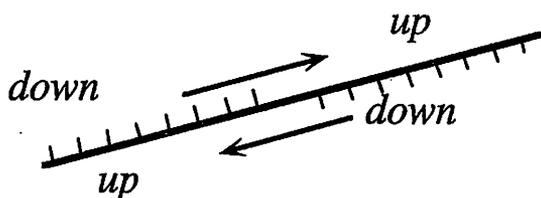
1. 地震断層の縦ずれパターン

横ずれ型地震断層においては、縦ずれ変位センスが断層線のほぼ中央を境に逆転し、いわゆる蝶番 (ヒンジ) 的な変位パターンがしばしば認められる。このような縦ずれ変位には、純粋な横ずれ断層の末端効果として生ずることも知られている。一般に、東西走向の縦ずれ変位を伴う右横ずれ断層は、断層線の東半部では北上がり、西半部では南上がりになるような系統的な分布パターンが認められる (第7図)。左横ずれ断層ではこれとは逆の分布パターンを示すことになる。実際には純粋な横ずれ断層は少なく、多少なりとも縦ずれ変位が伴うため、上述のような縦ずれ変位パターンがより明瞭になることが多い。第8図Aは東西100km×南北50kmのフィールドで、東西方向の長さ20km・深さ15kmの垂直断層面に5:1の横ずれ・縦ずれ

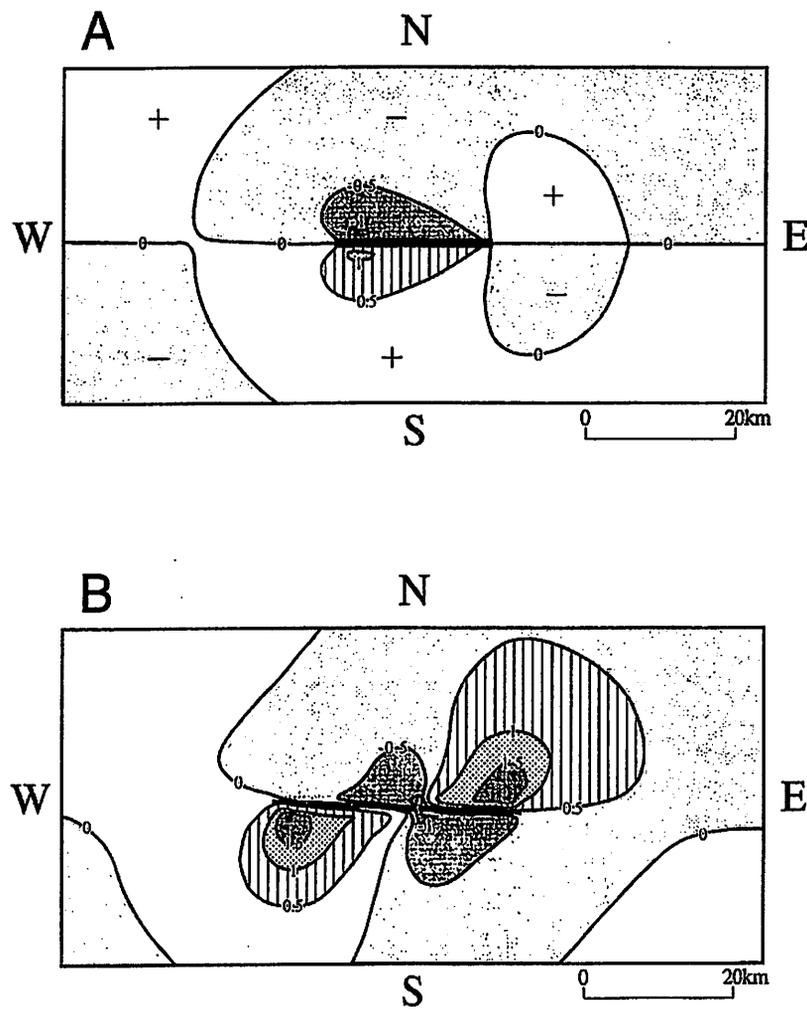
変位を仮定した時に周囲に生じる縦ずれ分布パターンを、dislocation modelによって求めたものである。第8図Bは、相対的に西に位置する東西方向の長さ18km・深さ15kmの南に65度傾く断層面と、相対的に東に位置する長さ13km・深さ15kmの北に75度傾く断層面を仮定し、5:1の横ずれ・縦ずれ変位をそれぞれ与えた時の縦ずれ分布パターンを求めたものである。それぞれ多くの横ずれ断層に認められるように、縦ずれ変位の向きが逆転する。このような縦ずれ変位分布の特徴的なパターンをもとに、横ずれ活断層が一括して活動する範囲 (セグメント) を区分しようとした試みはこれまで見あたらない。ここでは、最近の大地震に伴って地表に出現した地震断層を例に、縦ずれ変位がどのように分布しているのかを検討する。

1995年兵庫県南部地震に伴って淡路島北西岸に現れた地震断層に沿う縦ずれ変位は、南東上がりが卓越した。これは、北東-南西走向を持つ右横ずれ断層の南西半部の断層線に沿って予測される縦ずれ変位パターンに一致している。また、神戸側には顕著な地震断層は出現しなかったが、地下での東北東-西南西走向の断層に沿って北北上がりの縦ずれ変位が起こったことが推測される。

一方、このような変位分布パターンは、断層セグメントを大きく二分するような巨視的スケールで認められると同時に、セグメントを構成するそれぞれの断層線に沿って小さなスケールでも出現する可能性がある。上述の淡路島北西岸の地震断層でも、南端部で分岐した断層線に沿って縦ずれ変位の系統的なパターンが認められる。大規模



第7図 横ずれ断層に沿った縦ずれ変位分布パターンの概念図
Fig. 7 A dip-slip distribution model for strike-slip faulting



第8図 Dislocation modelによる縦ずれ変位量の計算例

A. 断層面を断層長20km,幅15km,断層傾斜角90度,右ずれ量・南上がり量を5:1として計算した結果

B. 断層面(1)断層長18km,幅15kmで断層傾斜角南65度と断層面(2)断層長13km幅15km断層で傾斜角北75度と断層面が連続する断層を構成し,右ずれ量・南上がり量を5:1として計算した結果

Fig. 8 Calculated dip-slip patterns by dislocation model

A Fault dimension:w=20km,d=15km, Dip=vertical, Strike=EW, Slip=strike slip (right-lateral) :dip slip (S up) 5:1

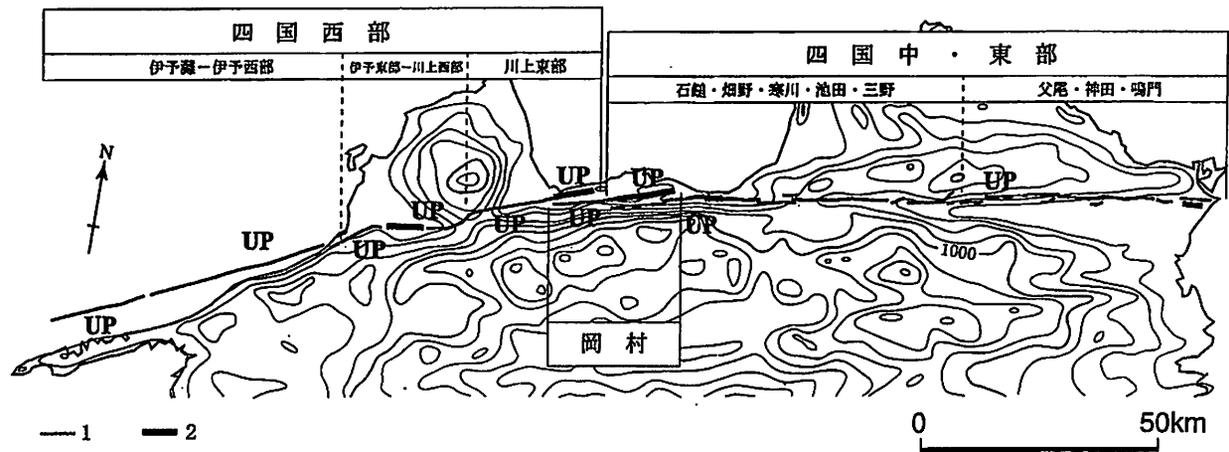
B Fault dimension:w=18km,d=15km, Dip=65°S, Strike=EW, Slip=strike slip (right-lateral) :dip slip (S up) 5:1 and w=13km,d=15km, Dip=75°S, Strike=EW, Slip=strike slip (right-lateral) :dip slip (N up) 5:1

な地震断層である1990年フィリピン・ルソン地震に伴う縦ずれ変位パターン(第4図)は,この好例と言える(中田ほか,1990)。この地震断層の縦ずれ変位を大局的に見れば,リサル(Rizal)の南を境に南では南西上がり,北では北東上りの変位が卓越し,左横ずれ断層として模式的な変位パターンが認められる。しかしながら,より細かなスケールで見ると縦ずれ変位の向きが入れ替わりが認められ,雁行状に配列する断層線がそれぞれ系統的な縦

ずれ変位パターンを示すことが分かる。

2. 活断層の縦ずれ変位パターンとセグメント区分

横ずれ活断層の縦ずれ変位パターンを大局的に見た場合,山地と平地間などの地形境界の向きと調和的な関係を示すことが多い。兵庫県南部地震の発生域でも,震央である明石海峡を挟んで北東部には北上がりの六甲山地,南西部には南東上りの淡路島脊梁山地があり,この大局的な



第9図 四国・中央構造線活断層系のセグメント区分案

1: 既知の断層線, 2: 新たに認定された断層線, up: 断層線の相対的隆起側

Fig. 9 A new segmentation model for the active fault system of the Median Tectonic Line in Shikoku

1: fault traces already known, 2: fault traces newly found.

up: side of relatively upthrown along the active faults.

地形配列は山麓に位置する横ずれ断層の縦ずれ変位パターンと一致し、両者が一括して活動するセグメントをなすことができる。同様な関係は、有馬-高槻構造線においても認められ、東西方向に延びる断層の東半部では北に北摂山地が、西半部では南に六甲山地があり、この地形配列が有馬-高槻構造線活断層系の縦ずれ変位パターンと調和的であることから、本断層系は一括して活動するセグメントであることを強く暗示している（第6図）。

前出の鹿島断層（第5図）に沿っては、縦ずれ断層変位を示す低断層崖地形の発達はずしも良くないが、長期的な断層変位運動の結果生じた断層線沿いの起伏は断層東半部では北が高く、西半部では南が高い傾向が認められる。これは、有馬-高槻構造線沿いの起伏と活断層の関係をスケールダウンしたものであり、断層の分岐形態の特徴と相まってこの断層が一括して活動するセグメントを構成していることを示している。

しかしながら、どの断層セグメントでも特徴的な縦ずれ変位パターンが認められる訳ではなく、前述のようにセグメントを構成するそれぞれの断層線にこのようなパターンが小さなスケールで複数出現したり、断層面の傾斜によって縦ずれ変位が一方の側に偏ったりするため、セグメントの認識を困難にすることが考えられる。このような場合、複数の断層線がどこまで一括して活動するかは、上述の地形配列パターンや断層の分岐形態などを総合的に検討して判断することが重要になると考える。

四国中央構造線活断層系の セグメンテーションモデル

1. 新たなセグメント区分に関する資料

中央構造線活断層系は顕著かつ新鮮な断層変位地形を伴い、岡田の一連の研究によって日本で最も活動度の高い活断層のひとつであることが実証されてきた。特に、四国においては、多くのトレンチ調査が実施され、この活断層系の活動履歴の解明が進みつつある。近年、岡田・堤（1997）は吉野川北岸の市場におけるトレンチ調査の結果、有馬-高槻構造線活断層系を震源とする1596年の慶長地震の際に、この断層が活動した可能性が高いことを指摘した。

中央構造線活断層系のセグメント区分については、最新活動時期、断層線の（不）連続性や地形的特徴をもとに、岡田（1992）、佃（1996）、Tsutsumi and Okada（1996）などによって活発に議論されてきた。このうち岡田（1992）は、四国の活断層系を北東、中央、北西の三大セグメントに区分している。北東と中央のセグメントの境界を伊予三島付近にある池田断層と石鎚断層の間の約3kmの断層の存在しないギャップに求め、中央と北西のセグメント境界を岡村断層と川上断層の間の走向の急変部に求めている。佃（1996）は、断層間のジョグ（ステップ）や屈曲の配置も考慮した10の小セグメント区分と地質構造や断層破壊領域を考慮した三つの大セグメント区分を提示している。これに対して、Tsutsumi and Okada（1996）は、活断層線の配列や平面形（step, bend, jogなど）の観

察に基づいて9のセグメントに区分しているが、それぞれのセグメントがどのような組み合わせで将来地震を発生させるセグメントになるのかについては明確に述べていない。

佃 (1996) が大区分境界として指摘したものは、断層の鉛直変位成分の逆転する畑野断層と池田断層との境界と、断層線の不連続部にあたる伊予断層と川上断層の間の重信川低地である。最近の大縮尺空中写真の判読の結果、これまで本断層系のセグメント区分の根拠となっていた断層間の大きなステップやギャップ (池田断層と畑野断層の間や川上断層と伊予断層の間) に、最新の断層活動に関連する新鮮な低断層崖が発見されている (後藤・中田, 1997; 後藤ほか, 1998)。したがって、本断層系では断層の (不) 連続性のみにもとづいたセグメント区分はその根拠を失いつつあるといえる。また、新たな断層線の発見によって川上断層と伊予断層の間はどちらかといえば圧縮性ジョグの性格を示すことになる。

四国中央部の岡村断層について、佃 (1996) は川上断層や石鎚断層とともに一つの大セグメントを形成するとしている。この断層は西部の小松付近では西に向かって分岐し、断層の末端を示す形態をなしている (中田ほか, 1998c)。この断層に沿っては、これまで中萩の低断層崖で代表されるような顕著な南上がりの縦ずれ変位のみが認められ、横ずれ断層の縦ずれ変位パターンの仮説に対応する北上がりを示す地形的証拠はこれまで知られていなかった。空中写真の詳細な再判読の結果、新居浜市街南部から土居町北部にかけて岡村断層の東の延長部で沖積面を僅かに変位させる断層が新たに認められた (後藤・中田, 1998)。

桜樹屈曲より東の川上断層東部では、中山川に沿って南上がりを示す低断層崖が認められているが、仮説に対応する北上がりを示す断層変位を示す断層はここでも認められていなかった。この断層の東の延長部において詳細な空中写真判読と地下資料の調査を実施したところ、西条市街を東西に横切る北上がりの変位を伴う断層線が発見された (後藤・中田, 1998)。

活断層の位置が不明確であった徳島県東部地域でも、吉野川下流の沖積平野内に活断層変位に関連する微地形が新たに見いだされ、Geo-slicer 調査によって断層変位構造の存在が確認された (高田ほか, 1998)。この変位地形は、1591年までに干拓された低地には認められるが、1615年頃に干拓された低地には認められないことから、岡田・堤 (1997) が指摘するように徳島東部の活断層セグメントが1596年に活動した可能性を支持している。

2. 縦ずれ変位パターンを考慮した新たなセグメント区分
これまで、四国東部・吉野川北岸の活断層と中央部の石鎚断層とは、上述したように縦ずれ変位センスが変換するため伊予三島付近を境に独立したセグメントに区分されていた (佃, 1996)。しかし、巨視的にみた場合、境目峠より東部のセグメントでは北上がり変位が卓越し、中央部のセグメントでは南上がり変位が卓越する。また、断層に沿った山地 (東部の阿讃山地と西部の石鎚山地) の配列も右横ずれ断層に伴う典型的な縦ずれ変位パターンを示し、従来区分されていた池田断層より東と畑野断層より西の二つのセグメントは一括して活動する一大セグメントを形成していると推定することができる (第9図)。一方、四国中・東部のセグメントを断層分岐の視点から見ると、脇町において東に位置する父尾断層が西に分岐し、西に位置する三野断層が東に分岐する現象が認められ、大セグメント内での副次的境界になっている可能性が指摘される。

川上断層、石鎚断層、畑野断層とともに四国中央部で一大セグメントを形成する (佃, 1996) とされてきた岡村断層は、その東延長部での新たな断層線の発見にともなって特徴的な縦ずれ変位パターンが認められることが明らかになった。また、この断層の西端では断層分岐の形態から川上断層との間に引張性のジョグが形成されていることが認められた。さらに、岡村断層と石鎚断層は右ステップ (引張性) する関係をなしていることから、岡村断層は石鎚断層とほぼ並行する長さ30km以上の独立したセグメントを形成すると考えられる。

四国西部には、川上断層と伊予断層が存在する。桜樹屈曲より東の川上断層東部での西条市街を東西に横切る断層線の発見は、この断層にも特徴的な縦ずれ変位パターンが成り立ち、これらが一つのセグメントを構成する可能性が強いことを示している。桜樹屈曲を挟んで断層線は不明瞭ながら西に連続するため、桜樹屈曲より東の川上断層が独立したセグメントを形成するとは断定できない。

伊予断層は、これまで北上がりの変位を示す西半部と南上がりの変位を示す東半部が一つのセグメントを成すと考えられてきたが、これは上記仮説とは逆の変位パターンを示している。このため、この伊予断層と呼ばれる部分が独立して再活動することは考えにくい。川上断層と伊予断層の間の松山平野東部の地域は、これまで活断層が存在しないとされる部分であり、この間にセグメント境界が存在すると考えられていた (岡田; 1992, 佃: 1996など)。しかし、詳細な活断層調査からこの部分にも新たに北上がりの低断層崖 (重信断層; 後藤ほか, 1998) の存在が確認された。したがって、北落ちのセンスを示す伊予断層の東半部と、南落ちセンスを示す川上断層の西半部は、一括して活動する一つのセグメントを構成している

可能性が大きいことが判った。

また、伊予断層の西の延長部にあたる伊予灘西部の海底には、南上がりを示す海底断層の存在が知られており（大野ほか，1997），北上がりの変位成分を持つ伊予断層西部はこの海底断層と連続する一つのセグメントをなす可能性が強い。

一方、桜樹屈曲は、川上断層の西部と東部の間に位置する圧縮性のバリアを成しており、伊予灘断層から川上断層を含めたセグメントが一括して活動する可能性も指摘される。

おわりに

本報では、セグメンテーションに関する新たな仮説を提示し、いくつかの地震断層や活断層を例にその有効性を検討した。また、四国の中央構造線活断層系についてこの仮説を適用し、新たなセグメンテーションモデルを提示した。本活断層系はその活動度の高さから地震危険度の高い活断層である。今後さらに詳細な調査によって最新活動期に関する資料が整えば、この仮説に基づいて地震危険度の高いセグメントを特定することができ、これらの断層系の地震発生長期予測をより具体的に行うことが可能になる。

従来の活断層図（例えば活断層研究会，1991）は、活断層の性質と位置の概要を示すことに主眼がおかれており、断層線の分岐形態や縦ずれ変位パターンに特に注意を払って作成されたものではない。そのため、既存の活断層図に基づいて、具体的に破壊伝播方向や開始点を推定することは限界がある。将来、このような断層線の平面形や変位分布に留意した活断層図が作られれば、上述のような震源過程やセグメント区分の推定に有力な情報を提供することになり、地震被害の軽減に資する重要なデータとなる。

なお、本研究は、「平成9年度文部省科学研究費補助金（基盤研究(1)(A)）〔内陸活断層の地震危険度評価〕（代表者：中田 高，課題番号：07308035）」、「平成10年度文部省科学研究費補助金（特定領域研究(1)(A)）〔活断層の危険度評価と強震動予測〕（代表者：入倉孝次郎，課題番号08248111）」、「平成10年度文部省科学研究費補助金（特別研究員奨励費）〔中央構造線活断層系からみた第四紀後期断層運動の特性〕（後藤秀昭）」の一部を使用した。第8図は東洋大学渡辺満久氏がプログラムされた dislocation model によって作成したもので、ご好意に感謝いたします。

文 献

- 後藤秀昭・中田 高，1997，伊予三島市付近の中央構造線新期断層運動，*地理科学*，52，65。
- 後藤秀昭・中田 高，1998，中央構造線活断層系（四国）の川上断層・岡村断層の再検討—横ずれ断層の断層線認識の新たな視点とその意義—，*活断層研究*，17，132-140。
- 後藤秀昭・中田 高・奥村晃史・池内 啓・熊原康博・高田圭太・近藤久雄，1998，中央構造線活断層系・重信断層（新称）の変位地形と活動履歴，*日本地理学会発表要旨集*，52，86-87。
- 亀 伸樹・山下輝夫，1998，大きな地震より小さな地震が多いのはなぜか，*科学*，68，702-709。
- 活断層研究会編，1991，【新編日本の活断層-分布図と資料-】，東京大学出版会，448p。
- King, G. C. P., 1986, Speculations on the Geometry of the Initiation and Termination Processes of Earthquake Rupture and its Relation to Morphology and Geological Structure. *Pure and Applied Geophysics*, 124, 567-586。
- 松田時彦，1967，日本の地震学の概観，*地震*，記念特別号，20，230。
- 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*，28，269-283。
- 中田 高・堤 浩之・Punongbayan, R. S., Rimando, R. E., Daligid, J., Daag, A., 1990，1990年フィリピン地震の地震断層，*地学雑誌*，99，95-112。
- 中田 高・蓬田 清・尾高潤一郎・坂本晃章・朝日克彦・千田昇，1995，1995年兵庫県南部地震の地震断層，*地学雑誌*，104，127-142。
- 中田 高・岡田篤正・渡辺満久・鈴木康弘，1996，1:25000都市圏活断層図「大阪西北部」，*国土地理院*。
- Nakata, T., Tsutsumi H., Punongbayan R. S., Rimando R. E., Daligid J. A., Daag A. S. and Besana G. M., 1996, Surface Fault Ruptures of the 1990 Luzon Earthquake, Philippines. Special Publication No. 25, *Research Center for Regional Geography Hiroshima University*, 86p。
- 中田 高・島崎邦彦・鈴木康弘・佃 栄吉，1998a，活断層はどこから割れはじめるのか？—活断層の分岐形態と破壊伝播方向—，*地学雑誌*，107，512-528。
- 中田 高・奥村晃史・後藤秀昭・高田圭太・岡田篤正・堤 浩之，1998b，中央構造線活断層系（四国）の最新活動とセグメンテーションの予察的検討，*日本地理学会発表要旨集*，53，374-375。
- 中田 高・後藤秀昭・岡田篤正・堤 浩之・丹羽俊二，1998c，1:25000都市圏活断層図「伊予西条」，*国土地理院*。
- 岡田篤正，1992，中央構造線活断層系の活動区の分割試案，*地質学論集*，40，15-30。
- 岡田篤正・堤 浩之，1997，中央構造線活断層系父尾断層の完新世断層運動，*地学雑誌*，106，644-659。
- 大野裕記・小林修二・長谷川修一・本庄静光・長谷川正，1997，四国北西部伊予灘海域における中央構造線活断層系の深部構造とセグメンテーション，*電力・四国総合研究所研究期報*，68，48-59。
- Sibson, R. H., 1987, Effect of fault heterogeneity on rupture propagation. In *Direction in Paleoseismology*. USGS Open-file report, 87-673, 362-373。

- Sieh, K., 1996, The repetition of large-earthquake ruptures, *Proc. Nttl. Acad. Sci.*, 93, 3764-3771.
- 高田圭太・中田 高・後藤秀昭・岡田篤正・原口 強・松木宏彰,
1998, 徳島平野低地部に認められた中央構造線活断層系鳴門南
断層の変位地形, 活断層研究, 17; 97-105.
- 寺尾宣三, 1968, 『破壊の秘密』, 法政大学出版会, 188p.
- 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, 1996, 中央構造線活断層系のセグメンテーションと周
辺の地質構造, 『テクトニクスと変成作用』(嶋本利彦・早坂康
隆・塩田次男・小田国寛・竹下 徹・横山俊治・大友幸子編),
250-257, 創文.
- Tsutsumi, H. and Okada, A., 1996, Segmentation and
Holocene surface faulting on the Median Tectonic Line,
southwest Japan. *J. Geophys. Res.*, 101, 5855-5871.
- 渡辺満久・鈴木康弘・中田 高, 1996, 1:25000都市圏活断層図
「神戸」, 国土地理院.
- (1998年11月14日受付)
(1998年12月10日受理)

キーワード

セグメンテーション, 断層分岐形態, 縦ずれパターン, 横ずれ断層, 中央構造線

Key words : fault segmentation, fault branching, dip-slip distribution pattern of active faulting, strike-slip fault, Median Tectonic Line