

活断層と横ずれテクトニクス

Active Faults and Wrench Tectonics

佃 栄吉

Eikichi Tsukuda

はじめに

地震予知研究に貢献するため、活断層研究については次の2つ視点が重要と考えている。

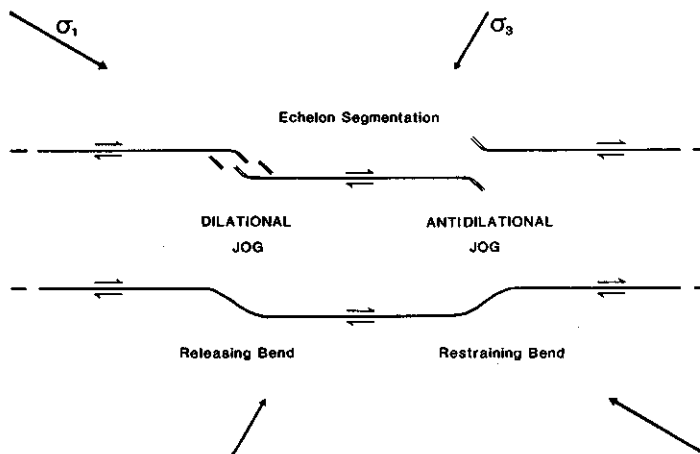
1. 古地震学 (Paleoseismology)
2. 形態学的研究 (Morphology).

1の研究は言うまでもなく将来の活動時期、断層変位量などを予測するため、活断層の過去の活動履歴を調査研究するものである。一方、2は地表での断層の幾何学的、形態学的特徴に注目して、断層が活動して地震を発生させるときの破壊過程について研究するものである。本小論では2の研究について紹介するが、特に右横

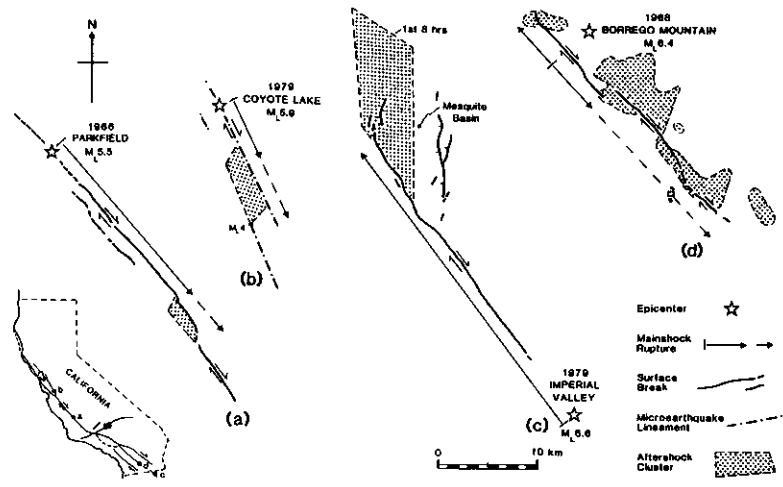
ずれ断層系の幾何学的特徴を広域テクトニクスにおいて検討し、長期的地震予知研究に貢献できる材料を探ってみたい。

断層の屈曲 (jog, bend) と セグメンテーション (segmentation)

断層面の凹凸、折れ曲りあるいは食い違いは、断層の破壊プロセスに直接的に大きく影響すると考えられる(Das & Aki,1977; 小出, 1983; King,1987; Sibson,1986など)。横ずれ活断層の場合、地表における複雑な分布形態、発達様式は、ほとんどそのまま地下10km以深まで連続



第1図 右ずれ断層の引張性屈曲部と圧縮性屈曲部 (Sibson,1986)。断層の破壊過程を考察するうえで、断層面のイレギュラリティと断層セグメントの認識は重要である。



第2図 サンアンドレアス断層で起こった地震とその破壊過程(Sibson,1986).

し、震源断層の形態を表現している可能性が高い。したがって、地表での詳細な活断層の分布、発達様式の研究は、将来その断層から発生する地震の規模、様式の推定など地震災害評価のために貴重な資料を提供するものと期待される(佃, 1985)。

それぞれの活断層についてその破壊課程を推論するためには第1図に示すような屈曲、ステップ及びそれらに区切られる断層セグメントの認識が重要であろう。それは断層の屈曲の形態とずれのセンスによって、力学的に破壊強度に大きな差が生じ、破壊のプロセスに大きく影響すると考えられるからである。たとえば、引張性の屈曲部では、破壊が進行してきた場合、一般に余震域となり、応力は解放され破壊は終わる場合が多い(第2図)。一方、強度の強い圧縮性屈曲部では、破壊が一時的に止つても、歪みが蓄積され、次の破壊の始点となる場合が多い。1978年伊豆大島近海地震の断層破壊過程はそれをよく示している例である。また、1927年北丹後地震および1930年北伊豆地震も同様に理解できる。現在、断層の破壊プロセスの研究については、実験岩石学的にも重要なテーマと

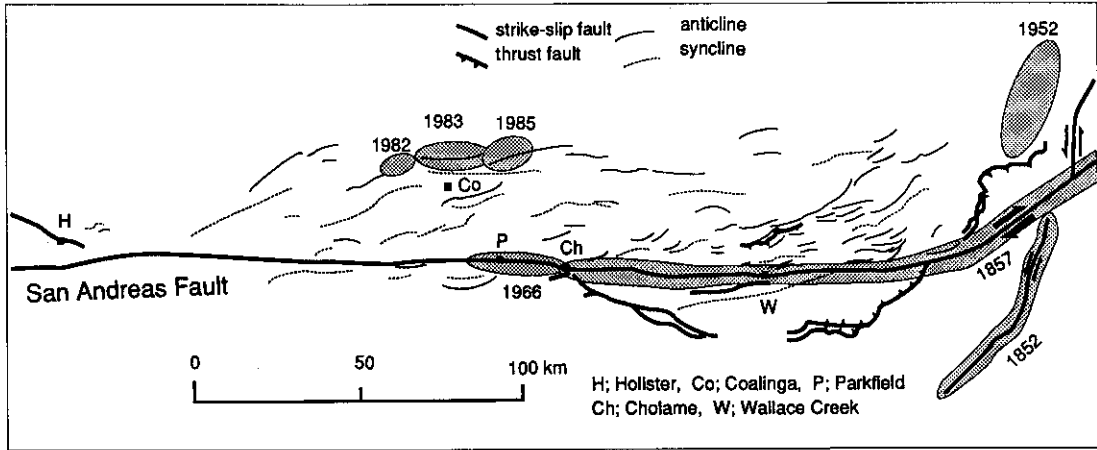
なっており、研究は急速に進展しているので、近年の自然地震の解析結果と共にその成果を大いに参考にしていくなすべきであろう。また、断層の屈曲、雁行性などの断層面のイレギュラーな形態の認識と記載は、大規模な断層のセグメンテーションを考える上でも重要な研究要素である。

Wrench tectonics—大規模横ずれ活断層帯

延長100-1000kmオーダーの大規模な横ずれ断層では、地殻の塑性変形の結果として断層に沿う引きずり構造が発達する、不均質剪断帯を伴っている場合が多い。大規模な横ずれ活断層の活動性を議論する場合、この不均質剪断帯の中での位置づけは基礎的に重要であるが、この視点は従来見落とされてきたように思う。

サンアンドレアス断層

第3図に示すようにサンアンドレアス断層地域では断層の北東部に雁行する褶曲群が特徴的に発達しており、これらは右ずれ断層運動に伴う引きずり褶曲として説明されている(Wilcox



第3図 Parkfield~"Big bend"地域のサンアンドレアス断層とその周辺地域の活構造。アミの部分は近年の地震とその破壊領域を示す。この地域が全体として、右横ずれ剪断歪みを解消していると考えられる。

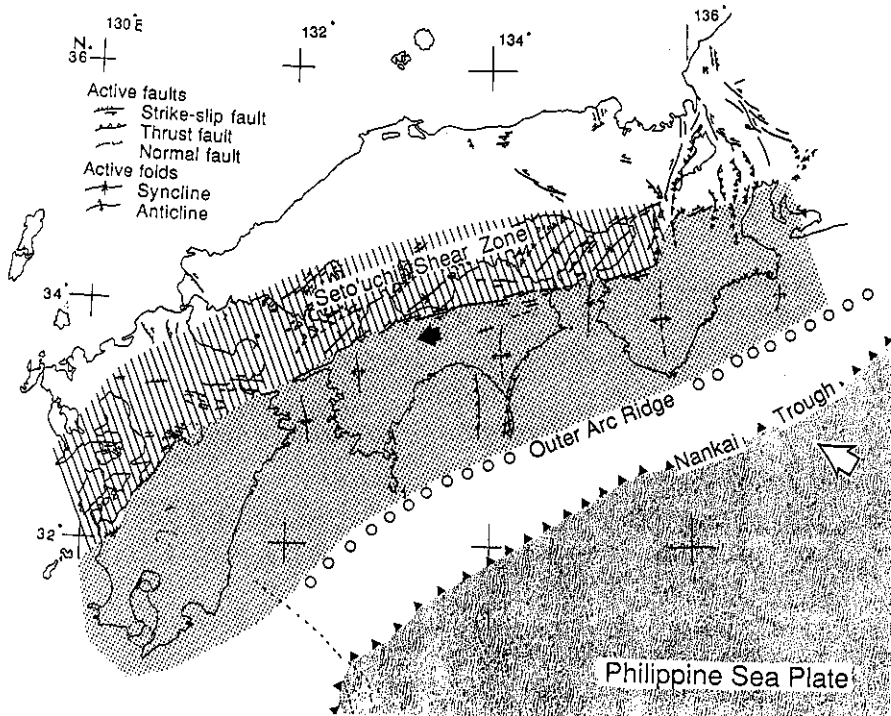
他, 1973)。大規模な剪断帯の場合、この例のように剪断帯の中央部に最大剪断変形が現われないで、その両側では非対称になる場合が多い。また、この地域では剪断帯に直交する方向から強く圧縮されており(Zobak et al.,1987)、圧縮性の剪断帯(negative dilational shear zone; Ramsay & Huber,1983)といえる。最近の地震(1983年Coalinga地震, 1985年Kettleman Hill地震など)は背斜構造の下に逆断層が存在することを示した。この地域の多くの背斜構造は逆断層運動の結果として考えられ、地震発生の可能性が検討されている(Stein & Yeats,1989)。第3図に示すサンアンドレアス断層地域では1857年のフォートテホン地震の後、その周辺地域で地震が多く発生しており、サンアンドレアス断層のメイントレースに大きな地震空白域を形成し始めている。サンアンドレアス断層の再来周期は短く、150年程度と見積られているので、計算上はもうそろそろ1857年のような地震が来てもおかしくない時期となっている。我々が生きてくる間に起きるかも知れない。このサンアンドレアス断層の主破壊が起こるまで、どんな現象が不均質剪断帯の中で起こるのか、あるいはどのような手順で歪みを解消していくのか、極めて興味深い。

今後注目していきたい。

中央構造線

中央構造線のテクトニクス

西南日本の主要な活構造は中央構造線(MTL)の南の外帯スリバーが西へ移動することによって形成されると考えられ、MTLはその右ずれ変位の一部を消費しているとみることができる。MTLの北側の沈降域、瀬戸内海海域は、大阪湾に典型的に示される、北東に長軸を持つ楕円形の雁行盆地群の配列が特徴的である。この構造はMTLも含めて、幅数十kmの右ずれ不均質剪断帯(瀬戸内剪断帯)として認識することができる(第4図, 佃,1988; 1989a)。MTLはこの剪断帯の南縁を画する断層という見方もでき、日本では第一級の活断層で、千年あたり数mの平均変位速度で右ずれ変位をしている。さらに、この右ずれ剪断帯は西方へいくと、火山フロントを越え九州側に入り、雁行する地溝群が特徴的な構造要素となる。これは火山活動による高間隙水圧により正断層が選択的に発達したためと考えられる。一方、瀬戸内剪断帯の東には東西方向に強く圧縮されている地域("近畿三角帯")が隣接している。この地域は



第4図 西南日本の活構造. フィリピン海プレートのオプリークサブダクションに伴い, 前弧スリパーが西方へ移動しようとするのが, 西南日本の活構造の骨組みを形成している。

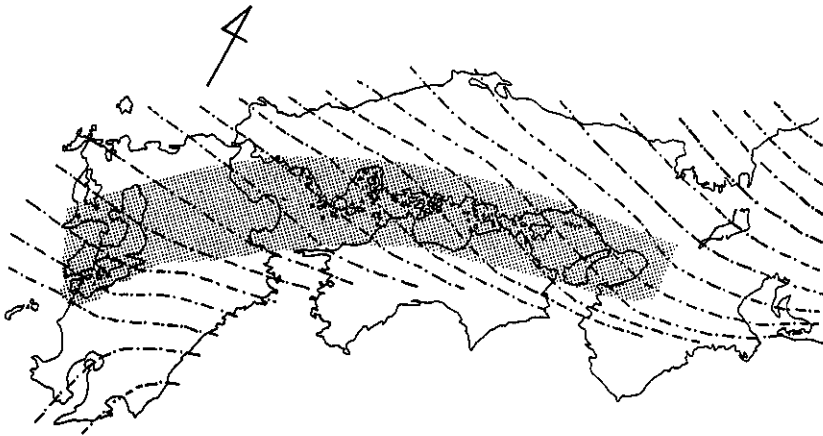
歴史時代に大きな地震が頻発し, 多くの断層が破壊したことが分かっている。第5図は主として地震活動から求めた, 西南日本の水平圧縮主応力の方位を示したものである。この応力軌跡図は瀬戸内海海域が, 剪断帯であるという考えを支持している。

中央構造線の地震活動

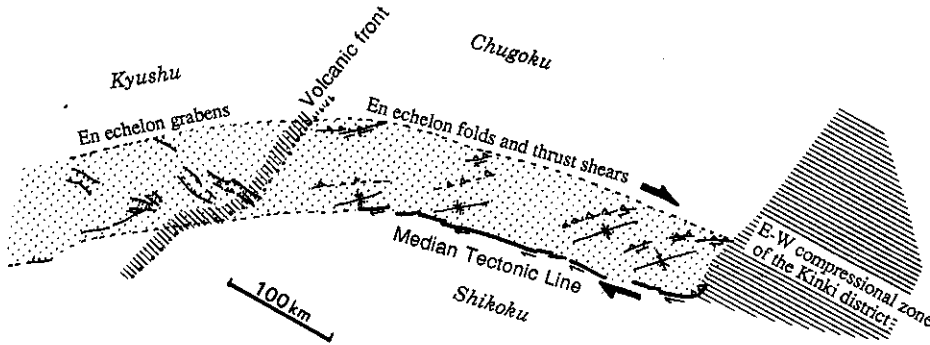
中央構造線の最新の活動はトレンチ調査から4~7世紀ぐらいとみられ(安藤ほか, 1988; 山崎・佃, 1989), 地震再来周期は千年から2千年と考えられている。MTLを含むこの剪断帯の主要な部分の地震活動は現在きわめて低調である。一方, 九州北部の火山地域は比較的小さい地震が頻発する地域で, 2000年ぐらいの時間間隔でみると”クリープ”していると捉えることができる。瀬戸内剪断帯の東端に位置する, いわゆる近畿三角帯地域は現在は地震は不活発であるが, 歴史時代には多くの大地震に見舞われ

た地域である。Tsukuda(1987)および佃ほか(1988)はこの地域で1510年から約400年の間に断層が次々に破壊していったことを指摘した。また, この地域は南北走向の逆断層の発達から東西方向に強く圧縮されているので, 上記の右ずれ剪断システムでの位置関係から, 剪断運動を妨げ, ロックしている様に見える(第6図)。この地域は現在, 16世紀からの地震活動はおさまり, その周辺に活動が広がっている。右ずれ剪断運動のロックはすでに解除されているのだろうか。

近畿地域には弥生時代から古墳時代にかけての遺跡に多くの液状化現象が知られ(寒川, 1989), 当時多くの直下型の大地震が発生していたことが推察されている。MTLの最新の地震はこの後に起きている。近畿地域ではその後M7クラスの地震は16世紀の活動期までまれとなり, 休息期となっている。すなわち, 近畿地方の断層群がある程度破壊した後, “たががは



第5図 西南日本の水平圧縮主応力の軌跡図（主として浅い地殻内の地震から求めた）. 瀬戸内剪断帯（アミの部分）で応力軌跡が屈折しているように見える。



第6図 瀬戸内剪断帯と“近畿三角地帯”の位置関係。“近畿三角地帯”が縮めば右横ずれ運動が起きやすくなる。

ずれて”，中央構造線の断層運動が始まるという時間経過となる。これは先に述べた構造地質学的位置関係（第6図）からも理解しやすい。右ずれ剪断帯地域と近畿地域は約1500年周期のある種の”地震テクトニック・サイクル”といえるものがあるのかも知れない(佃, 1989b)。この仮説の検証には古地震の研究をさらに進めていく必要があるが、上述のテクトニクスの一層の理解も、中央構造線の地震予知にとっては重要な課題であろう。

現在、中央構造線に沿っては全般に地震活動は低調であるが、ところどころ和歌山の群発地震や徳島市北方と伊予三島市西方の微小地震(岡野・木村, 1988)、松山市、西条市付近の

微小地震(三浦ほか, 1990)などに活動集中域が認められる。注目すべきはそれはいずれも中央構造線のセグメントの境界部に位置していることである。地震空白域であるMTLの将来の活動を予測するために、前章で述べた断層の不連続部分(屈曲, ステップ)に注目して、そこでの地震活動に注意を払うのは十分意味のあることであろう。何が起きているのか地震学的に解明できるよう観測の強化が期待される。

おわりに

本小論は活断層について、これから何に注目して何をやるべきか、今後の研究課題を探ろう

という観点で述べたもので、1987年構造地質研究会冬の例会での講演要旨に加筆したものである。前段の断層の屈曲とセグメンテーションについては本35号で別に少し詳しく議論しているのでそれを参照していただきたい。後段のWrench Tectonicsに関する議論は活断層研究を基礎にした長期的地震予知において、広域的なアクティブテクトニクスについての理解が重要であることを強調した。これについては今後さらに実証的な研究を進めたいと思っている。

文 献

- Das & Aki, 1977: Fault planes with barriers: a versatile earthquake model, *Jour. Geoph. Res.*, v.82, 5648-5670.
- King, J.C.P., 1987: Speculations on the initiation and termination processes of earthquake rupture and its relation to morphology a geological structure. *Pure and Applied Geophysics*, 124, 567-586.
- 小出 仁, 1983: エシュロン断層系の地震地質学的意義と地震発生機構について, 92, 33-52.
- 三浦勝美・佃 為成・三浦礼子・井上義弘, 1990: 四国西部の中央構造線付近の微小地震活動. 地震学会1990年度春季大会予稿集, 97.
- 岡野健之助・木村昌三, 1988: 震源分布から見た四国における中央構造線. 地震 II, v.41, 603-607.
- 安藤雅孝・岡田篤正・中田 高・田辺あらし・町田伸一: 1988春季中央構造線活断層系岡村断層のトレンチ調査. 地理学会予稿集, 34, 38-39.
- Ramsay, J.G. and Huber, M.I., 1983: *Techniques of modern structural geology, volume 1: Strain analysis*. Academic Press, 307p.
- 寒川 旭, 1989: 考古学と古地震研究の接点. 第四紀研究. v.27, 241-252.
- Sibson, R.H., 1986: Rupture interaction with fault jogs. *A.G.U. Monograph* 37, (Maurice Ewing 6), 157-167.
- Stein, R. and Yeats, B.: *Hidden earthquakes*. *Scientific American*, June, 48-57.
- 佃 栄吉, 1985: 断層形態学のすすめ. 伝導度異常 (CA) の研究, 地質調査所, 143-159.
- , 1988: 中央構造線の右ずれテクトニクス. 地質学会講演要旨集, 459.
- , 1989a: 西南日本弧と琉球弧のアクティブテクトニクス. 地質学会講演要旨集, 446.
- , 1989b: 中央構造線の地震テクトニクス. 地震学会1989年度秋季大会予稿集, 45.
- ・寒川 旭・粟田泰夫; 中部・近畿地方における歴史地震の発生様式. 地震学会1989年度秋季大会予稿集, 44.
- Tsukuda, 1987: Migration of historical earthquakes, central Japan. *USGS Open-File report*, 87-673, 271-284.
- 山崎晴雄・佃 栄吉, 1989: 中央構造線岡村断層のトレンチ調査. 地震地震予知連絡学会報, 42, 364-370.
- Zobak, M.D., Zobak, M.L., Mount, V.S., Suppe, J., Eaton, J.P., Healy, J.H., Oppenheimer, D., Reasenber, P., Jones, L., Raleigh, C.B., Wong, I.G., Scotti, O. and Wentworth, C., 1987: New evidence on the state of stress of the San Andreas fault system. *Science*, V.238, 1105-1111.

(受理: 1990年3月25日)