

# 地震と活断層の正しい知識

首都大学東京名誉教授 山崎晴雄

## 1. はじめに

今から25年前、1995年1月17日の未明、東京西郊の八王子市に住んでいた私は、ゆらゆらゆっくりと揺れる地震で目を覚ました。めまいのような長周期の揺れが長く続いた。ガタガタと揺れる短周期の地震波は距離減衰によって遠方に

は伝わらないため、もしかしたらどこかで遠くで大地震が発生したのかも知れないと思った。これが神戸市を中心に、死者6,400人以上（消防庁資料）という当時戦後最大の大震災（阪神淡路大震災）を引き起こした兵庫県南部地震（M7.3）の震動であった。この地震では神戸市を中心に耐震性の低かった多数の木造家屋

が倒壊し、さらに、火災が加わって多くの犠牲者と家屋や構造物の被害を出すことになってしまった。この地震は活断層が引き起こした震源の浅い内陸地震であった。それまで活断層は専門家の間では詳しい調査や検討が行われていたものの、社会的にはまだ知名度は低かった。しかし、メディアを通じて大地震の原因として活断層の存在が知れ渡ると、多くの人がそれに注目するようになった。だが、活断層の知識や実態ではなく用語だけが広まったので、人々の間に活断層は怖い、恐ろしいと言う印象が強く植え付けられてしまった。そのため、活断層にはいまだに不正確な知識や誤解がまわりついているように思える。そこで本論では多くの人に活断層についての正確な情報を伝え、世の中に流布する誤解を解くことを目的に上記の兵庫県南部地震や立川断層などについて事例を紹介する。

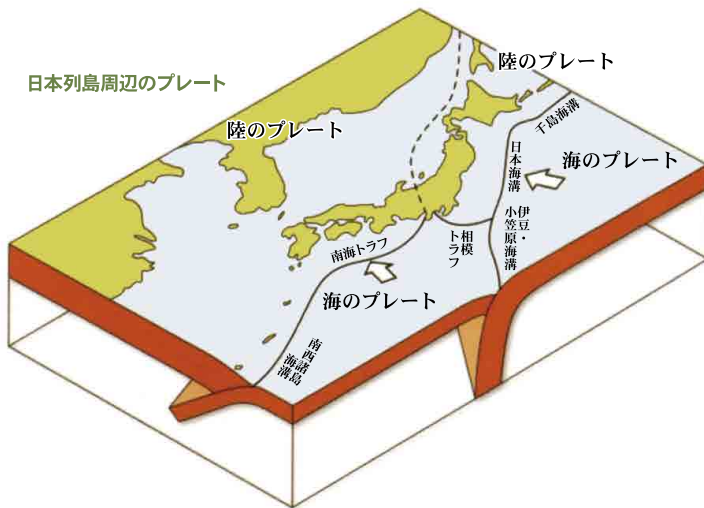


図-1 日本付近のプレート配置（地震調査研究推進本部、2017）

## 2. 日本列島で発生する大地震のタイプ

すべての地震は地下の断層運動、すなわち断層を境とした両側の岩石の急激な食い違いによって発生する。その中で、日本で大震災を引き起こすような地震はその発生域の特徴から主に二つのタイプに分けられる。

一つは、太平洋の海底を造る海洋プレートが、日本海溝や南海トラフで大陸プレートである日本列島の下へ沈み込むことで、その両者の接触面（プレート境界面）で巨大逆断層でもある）から発生する海溝型巨大地震である（図-1, 2）。戦後最大の東日本大震災を引き起こした2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）や関東大震災を引き起こした1923年関東地震（M7.9）は、このようなプレート境界の断層から発生したものである。西南日本沖の南海トラフの場合、これらの巨大地震は海溝に沿う幾つかの区間（各区間の長さは200km程度）毎に、そ

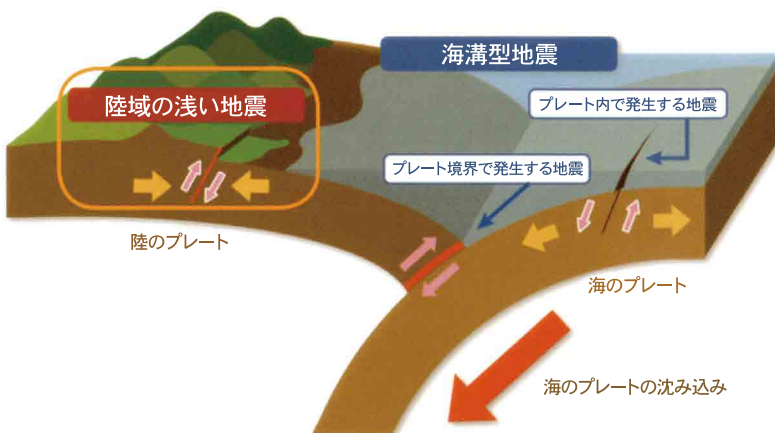


図-2 日本周辺で発生する地震のタイプ（地震調査研究推進本部、2017）

れぞれ100年程度の周期でM8級大地震の発生が繰り返されてきた。東海～紀伊半島沖の区間では1944年東南海地震が、その西側の四国室沖の区間では1946年南海道地震が発生しているため、2040年代かその前後にこれらの区間から再びM8級巨大地震が発生する可能性が高い。さらに心配されるのは、南海トラフ沿いの複数の区間が連動して同時に活動した場合、東北地方太平洋沖地震のようなM9級の超巨大地震（南海トラフ地震）と巨大津波、そして大災害の発生が想定されるので、2013年より国はその防災対策に取り掛かっている。

もう一つは日本列島内部の活断層から発生する震源の浅い地震である（図-2）。人が住んでいる所のすぐ下で発生し、大きな災害を引き起こすので内陸直下地震とも呼ばれている。発生する地震の規模はM7級、繰り返し間隔は千年以上、多くが数千年と非常に長く、海溝型地震に比べて小規模、低発生頻度であることが特徴である。断層を動かす地殻の歪みエネルギーは海溝型地震と同じく海洋性プレートの沈み込み（陸側への圧縮）で供給される。歪みエネルギーの大部分は海溝型地震で解消されてしまうが、解消しきれなかった一部の歪みが内陸に蓄積され、それが活断層に応力集中して断層のずれとして消費されるのである。つまり、活断層は何回かの海溝型地震のおつりの歪みエネルギーを貯めて、一回り小さな規模の地震を引き起こすのである。相対的には低頻度、小規模でも人間の生活環境のすぐ下で発生するので、海溝型地震に匹敵する大震災を引き起こすことになる。また、1本1本の活断層の活動頻度は低いが、日本列島には数千本の活断層が存在するので、全体で見れば海溝型と同程度の頻度で活動している。1995年の兵庫県南部地震はこのような活断層の活動で引き起こされた地震である。それが神戸という人口集中地域の下で起きたために大震災となったのである。

### 3. 活断層とは何か

1995年兵庫県南部地震は、六甲山南東麓から淡路島西岸まで、北東-南西方向に延びる長さ60kmほどの活断層（六甲淡路断層系）の活動で発生した。

活断層が活動すると地震発生と共に地表に地震断層が出現することが多い。地震断層とは大地震の時、地表に現れる断層の総称である。その中には地震を引き

起こした地下の震源断層やそれから枝分かれした断層（分岐断層）の他に、地震の揺れで動いた小さな断層や、場合によっては重力作用による地すべり性の亀裂などが含まれることがある。地すべりで生じた亀裂や断層は本来地震断層には含まれない。しかし、震源断層との区別が難しいので地震直後には神戸市街地でも地震断層が現れたとの報告があった。しかし、その後の調査で、それらは地すべりなどの重力性の亀裂だと判った。

この地震で震源断層に関わる地震断層が出現したのは淡路島の西岸だけで、そこでは地震前から活断層として知られていた野島断層が再活動して、地表を最大で横ずれ約2m、上下約1m食い違わせた。また、この断層は3万年前に南九州の巨大火砕流（シラス）噴火によって飛来したAT火山灰を含む地層を何度も繰り返し食い違わせていることが確認されており、大地震発生前から活断層と認識されていた。

地震断層が明瞭に現れた<sup>としま</sup>富島の土砂採取場跡の造成地は現在北淡震災記念公園となり、地震断層を保存する野島断層保存館が建てられ、多くの見学者が訪れて博物館として機能している。

図-3は淡路島の北部に現れた地震断層の位置と、この地域の東西断面を示したものである。地震断層は淡路島の北西海岸沿いに長さ約10kmに亘り出現した。しかし、正しくは活断層があったのでここに海岸ができたと言ふべきである。それは活断層のずれが繰り返されて、ここに大きな地形境界（断層崖）が造られ、完新世の縄文海進時でも海は断層の西側にしか入り込めなかったからである。地震断層をトレースしていくと、それは海岸沿いの低地とその東側の丘陵（津名丘陵）との間の急斜面（断層崖）の基部に沿って出現し、地表のずれが認められた。また、そこには島の東側に分布する基盤の花崗岩と西側に分布する約200万年前の大阪層群を分ける、粘土化した断層破

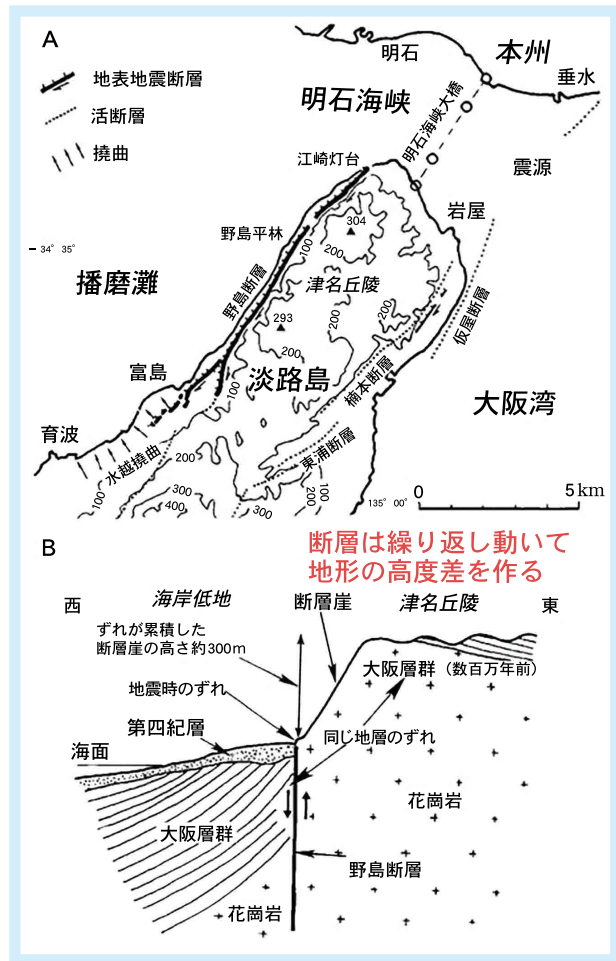
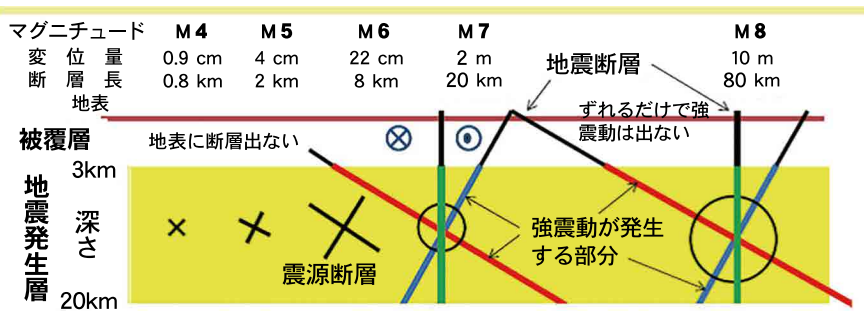


図-3 A：淡路島北西海岸部に現れた地震断層の位置とB：淡路島北部地域の東西地形・地質断面概念図（山崎、1998）



断層の走向に直交する方向の断面図で、断層の線の色が異なるのは断層の傾斜が異なるものであることを示している。震源断層が低角の場合、強い地震を発生させる場所と地表に地震断層が現れるところは大きくずれる可能性がある。

図-4 地震発生層と震源断層、地震断層の関係を示す図

砕帯が存在しており、1995年以前にも断層のずれが何回も繰り返し起きていたことを示していた。

地震後の地質調査所による調査では、野島断層の活動間隔は2～3千年、1995年の活動の一つ前の活動は約2千年前と推定された。野島断層の東側にある標高200～300mの津名丘陵上には大阪層群が載り、野島断層の西側では海底に広く大阪層群が分布している。大阪層群は元々古大阪湾の海底に溜まった地層なので、この高度差は野島断層が地質時代において2～3千年間隔で1995年と同じような活動を繰り返してきた結果である。このようなずれを累積変位と呼んでいる。上述の断層崖はこの断層運動によって形成されたもので、大阪層群の上下のずれの総量は500mに達すると考えられる。

#### 4. 活断層の定義と活の意味

活断層とは地質学的に認められる無数の断層の中で、将来も活動して地震を発生させる可能性のある、活きている断層のことである。活きている断層かどうかの判断は、最近の地質時代にまで活動を繰り返していたかどうかである。最近まで繰り返し動いていたものなら、地殻応力場に大きな変化が無ければ将来も同じ所が再活動する可能性が高い。この時、最近までの活動の繰り返しは、古い地層や地形ほど変位量が大きいという累積変位の存在によって確認される。活断層の要件は地表のずれだけで無く、このような古い地層、あるいは崖や旧汀線(昔の海岸線)など断層のずれが判る地形・地質の基準が累積的に変位していることなのである。また、活断層は長い歴史を持つ地質断層が、現在の応力場の下で再活

動しているものが少なくない。地震断層が破砕帯のところに現れるのはそのためである。

よく、割れ目の無い岩石にも新しい断層破断が生じるのではないかと心配されるが、岩石にかかる応力はその中の弱い部分(弱線)に集中し、そこが破断してずれを起こすのである。日本の硬い岩石なら必ず沢山の断層が有り、その時の応力場に対して最も動き易い向き(走向)にある断層が活断層として再活動することになる。したがって、無垢の硬い岩石に突然断層変位が生じるようなことは考えられないのである。しかし、広域地殻変動の進行などにより応力場が変化すると、活断層としての活動が、位置や走向の異なる別の断層に移り替わっていくことはしばしば認められる。日本列島では100万年ほど前に南から北進してきた伊豆地塊が本州に衝突して伊豆半島となった。この時、関東地方では圧縮応力の向きに大きな変化があった可能性がある。後述の立川断層などはその変化により、古い時代に形成された大きなずれを持つ基盤の正断層が新しい応力場の下で逆断層として再活動を始めたものと考えられる。このような活動をテクトニックインバージョンという。

#### 5. 活断層と地震の関係

図-4は断層と直交する方向の、地表から地下20kmほどの断面を示したものである。日本列島の地下深部は高温で軟らかくなっており、歪みをしっかり蓄積して地震を起こせるような硬い岩石は地下20km以浅しか分布しない。また、地表から3km程度までは上部が大気で封圧が小さく、これも地震を起こせるほど岩

石は硬くなく、被覆層と呼ばれている。したがって、日本の内陸部で地震を起こすことができる硬い岩石が分布するのはおよそ地下3～20kmの範囲で、これを地震発生層と言う。プレートの沈み込みと直接関係の無い断層活動は、地震の大小に関わらずおよそこの地震発生層の中で発生している。地震のマグニチュード(M)は震源断層の面積と比例するので、Mの小さな地震の震源断層のずれは地震発生層の中だけに限られ、地表には変位や変形は現れない。日本列島で毎日起きているM4以下の地震は地震発生層内の小さな震源断層のずれによるものである。

Mの大きな地震は震源断層の面積(長さ×幅)が大きくなる。震源断層の幅が地震発生層の幅全体に亘ったり、あるいは震源断層の位置が地震発生層の上部にあたりした場合、断層は上方に延びて、被覆層をも突き破って地表に達する。これが地震断層である。地震断層はM6.5より大きな地震で地表に現れることが多い。つまり、活断層は地震断層のずれが累積して断層地形を形成するようなM6.5以上の大地震を発生する可能性がある。

#### 6. 活断層に関する誤解や誤りの例

活断層と地震の関係や活断層の有無の判定は地表での調査・観察に頼らざるを得ないので、誤りや誤解が生じることが少なくない。ここでは筆者が経験したその幾つかの例を紹介しよう。

##### (1) 震源断層と活断層の混同

M6程度の地震の場合、震源断層は地表に達せず地震断層は現れないが、地震波の観測で地下の震源断層の位置や長さを知ることができる。するとその地震は伏在断層、すなわち「未知の活断層」が動いたと報道されることがある。活断層と言った方がセンセーショナルで人々の関心を集めやすいから無意識に使っているのだと思う。しかし、活断層は過去の地震断層のずれの累積が地表で認められるものなので、地表に痕跡の認められない活断層は存在するはずはない。これは明らかに活断層と震源断層を混同した誤解である。もっとも、過去の調査で活断層の存在を見落としていて、地震が起きて地震断層が出現したことで見落としていた活断層の存在が明らかになることも少なく無い。沖積地などでは、活断層を覆って新しい地層が分布し、それに覆わ



れて断層の痕跡が認められず、伏在断層の存在を心配する声もある。しかし、普通はその周辺の台地などに断層の変位や変形が残されていることが多いので、詳細な調査によって活断層の有無を確認できる可能性が高い。

以上の例は活断層と言う用語は広まったが、その意味が人々に十分理解されていなかったために起きた誤解であろう。

## (2) 震災の帯に関する誤解

1995年の神戸の地震では神戸市内の六甲山の東麓に沿って「震災の帯」と呼ばれる震度7の地帯が現れた。震度7とは地域における木造家屋の倒壊が30%以上に達する揺れのことである。倒壊率という統計的な数値に基づいた揺れの強さなので震災の帯の存在はかなり確度の高い話である。

私を含めて多くの研究者は、六甲山の麓には活断層が走っており、それによって六甲山が隆起してできたことを知っていたので、当初この震災の帯はその活断層の活動によって生じたものと考えた。ところが、前述のように神戸市内には地震断層は全く出現しなかった。また、水準測量の結果でも震災の帯を挟んで断層の動きを示すような顕著な水準点の変位は認められなかった。謎は深まったが、地震工学の研究者から、震災の帯は神戸の地質構造に起因する地震波の焦点効果ではないかとの考えが示された。

花崗岩から成る六甲山の東麓には断層があつて六甲山側が持ち上がっている。一方、断層の南東側（海側）では基盤の花崗岩は大きく落ち込み、それを覆って神戸層群や大阪層群などの堆積岩が厚く分布している。このような地質構造のところから地震波が入力されると、地震波が花崗岩から堆積岩に進むところで、密度の違いにより光と同じような地震波の屈折が起きる。六甲山側からの地震波と海側の堆積岩で屈折した地震波が六甲山の麓の部分で焦点を結んで、共振して大きな震動が生じたのではないかと考える。この考え方の検証としてシミュレーションが行われ、山麓に地震波の集中帯が生じることが示された。だが、最も説得力のある証拠は、神戸市内各地で地震後に行われた余震の波形観測データである。神戸市の山側と震災の帯の地帯、それに海側の埋立地の地域でそれぞれの地震計の観測記録を見ると、どの余震でも震災の帯での地震計の震幅が一番

大きかったのである。震災の帯の地域は震源の異なるどんな地震でも他の地域より強く揺れることがわかり、つまりそれは活断層の動きで生じたものではなく、断層によって造られた神戸の地下地質構造がそのような特徴を生み出していたことを示すものである。もちろん神戸の地下地質構造は六甲山の麓にある活断層の過去の運動で造られたはずだが、1995年の地震ではこの断層は動かなかったか、あるいは断層面の深部は動いたものの地表付近では変位が生じなかったものと考えられる。活断層だけ見ていると、被害を全て活断層と結びつけて考えがちだが、この事例は活断層研究には地形・地質を越えた広い視野が必要であることを示している。

## (3) 立川断層における破碎帯誤認

2011年東北地方太平洋沖地震の後、政府の地震調査研究推進本部は大きな地震性地殻変動のために日本列島の応力状態が変化し、立川断層など本州の4活断層が活動し易くなっている（地震の発生確率が上昇した可能性がある）と発表した。2003年に行われた立川断層の長期評価では、活動の再来間隔や最新の活動時期をめぐって意見がまとまらず両論併記となっていた。そのため、精確な情報を知りたいという地元の強い要望により、文部科学省が東京大学地震研究所にこの断層の再調査を委託した。そして、その調査の中で立川市砂川の日産自動車工場跡地でトレンチ発掘調査が行なわれ、多摩川の段丘礫層が露出したそのトレンチ壁面に断層破碎帯を発見したと報告したのである。掘削したトレンチ壁面は一般公開され2日間で1万人以上が見学を訪れ、立川断層について地元の関心の高さが伺われた。大部分の一般見学者は地震研担当者の説明を鵜呑みにしていたが、日頃実務に携わる地質コンサルタントなどの技術者はその説明に疑問を抱き、見学会終了後、破碎帯と呼ばれた物質を密かに持ち帰り分析を行った。そして、塩酸をかけたところブクブクと泡を立てて溶解したので、これは破碎帯物質ではなく炭酸カルシウムを含む風化したコンクリート塊であったことが判明したのである。この情報が研究者間に広まり、地震研はとうとう誤りを認めざるを得なくなり、記者会見まで行うに至ったのである。文科省への報告で担当者はこの誤りの原因を調査の準備不足としているが、これ

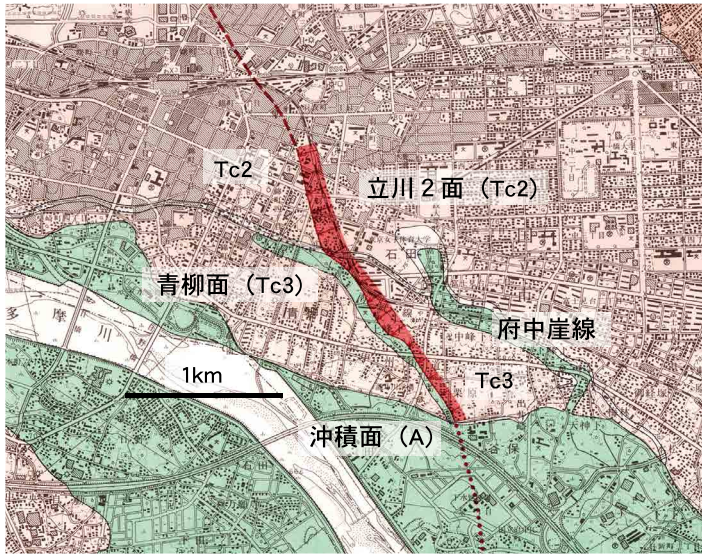
は明らかに活断層研究の基礎である地形・地質についての知識の欠如が原因である。

立川断層の地形的な特徴は、多摩川の河岸段丘である約2万年前の立川2面と1.6万年前の立川3面（青柳面）の上に幅数十～200m、比高5mほどの緩斜面からなる段差が形成されていることである。この段差の形成原因を知るため、段丘堆積物やその上に載る立川ロームに対する詳しい層序調査が行われた。その結果、立川2面では段差の両側の多数の地点で計測した段丘離水後の風成ローム層の厚さはほぼ同じで、同時期に干上がって段丘化したものであることが判った。

段丘上の礫層の表面は凹凸に富んでいるが、離水する過程で何回も洪水の泥水を被り、運ばれてきたフラッドローム（砂・シルト、粘土、火山灰の混じった洪水堆積物）が凹凸を埋めるために段丘は平坦化する。そして最後の洪水を受けた後完全に干上がって、今度はその上に富士山など西方の火山から供給された火山灰が雪のように降下・堆積するのである。この火山灰の厚さが段差の両側で同じと言うことは、段差の両側地域が共に同じ最後の洪水を受け平坦化したことを示している。するとこの段差の成因は河川の浸食ではなく、平坦化した後に発生した断層運動で段差が生じたものと考えられる。

同様の現象は時代の異なる立川3面にも認められ、しかも、立川3面の段差の比高は1～2mと立川2面のそれよりもずっと小さい。さらに、立川2面上の段差は2面と3面との間の多摩川による段丘崖（府中崖線）を斜めに横切って立川3面上の段差とほぼ直線的に連続している（図-5）。これらは典型的な累積変位を持つ断層変位地形であり、段差が活断層の運動で形成されたことを示す十分な証拠である。これらから立川断層の存在は認められて活断層として評価されてきたのである。

立川断層の問題点は最新の活動時期や活動間隔が明確ではないことである。幾つかの考えは示されているが確かな証拠に裏付けられたものではなかった。地震研のトレンチ調査もそのようなデータを取りたくて実施したものと思われるが、実施すべき場所を全く間違えている。礫層が厚く分布する砂川のような地点でトレンチ調査を実施しても活動時期に関する情報はほとんど得られないからである。



赤色の部分が立川断層の撓曲崖。立川断層は府中崖線を横切って立川2面 (Tc2) から青柳面 (Tc3) に亘って続き、段丘面に東側隆起の断層変位を引き起こしている。

図-5 国立市青柳付近の立川段丘と立川断層 (国土地理院都市圏活断層図 青梅)

立川断層の地形的な特徴である段丘面上の緩い斜面は、地下の断層運動による堆積物の撓曲変形と考えられる。沖積層や礫層などの未固結の堆積物が厚く活断層を覆っている場合、その下で断層が動いてもそのずれは未固結堆積物の中で分散してしまい、地表には明瞭なずれは現れず、緩い地層の傾き(撓曲という)となってしまうのである。立川段丘はその下に厚い礫層が存在しており、断層のずれは撓曲、そして緩斜面として地表に現れるのである。このようなことから考えて、砂川のトレンチ壁面に明瞭な断層のずれを示す破碎帯が現れるはずは無いのである。

立川断層の緩い斜面が撓曲であることは1980年代には既に明らかになっていたことである。しかし、地震研の研究者はそれまでの地道な研究成果を全く無視して強引にトレンチ調査を行い、誤った結論を導いたのである。これから、活断層研究はトレンチだけで答えが出るものではなく、過去の研究を批判的に詳細にレビューすることが一番重要なことを示している。

この後も地震研は立川断層のプロジェクト研究を3年間続けたが、その最終結論は狭山丘陵以南には立川断層は存在しないなどと言う驚くべきものであった。その主要な根拠は、自分たちが実施した浅層反射法探査(病院で行う超音波エコーと同じ原理)で断層が認められないからというものである。それまでの研究をきちんと批判して新しい結論を出すな

ら理解できるが、ここでも砂川のトレンチ調査と同様に、それまでの研究を全く無視した上で、数少ない調査結果のみから強引な結論を導いている。もし狭山丘陵以南に立川断層がなければ、狭山丘陵の成因や立川断層南端部での明瞭な断層変位地形(図-5)をどのように説明するのだろうか。これから筆者はこれまで我々が築いてきた日本の活断層研究が著しく劣化していると強く感じるのである。活断層に対する誤解や風評がなかなか無くならないのは、実はこのような研究者の劣化が最大の原因なのかも知れない。

## 7. 自治体による活断層への対策・対応

活断層研究の劣化の中で、活断層に関する誤解は相変わらず続いている。多くの人が活断層は危険だとかその存在が恐ろしいと理屈ではなく感じているのである。活断層を恐れる一つの理由は、明確な対応・対策が無いことである。一部の自治体では米国やニュージーランドの対策法に倣って活断層上の土地利用を規制する条例などを定めている。この規制では断層から一定距離離れていなければ建物の建築などが認められないものもある。これらの規制は断層のずれによる構造物の損壊を防ぎ、人的な被害を減少させようとするものである。その目的は理解できるが、実際の地震による被害は断層のずれよりも、地盤によって揺れが大きく異なる地震動や火災によるものの方が遙かに大きい。それらを放置したまま、数

千年に1度しか活動しない断層について、断層のずれのみを恐れて規制をかけることに果たして合理性はあるのだろうか。断層線上の土地利用のみを規制することに強い違和感を持ってしまう。

断層がずれれば、その上に建つ構造物を木端微塵に破壊してしまうのだろうか。そんなことが無いことは直感的に理解できるが、規制となれば極端な例を考慮しなければならない。現在もっとも必要なものは、断層がどれだけずれれば、その上の構造物はこのくらいの被害・損傷を受けるといった情報である。現状では工学の人は断層のずれの量が判れば、壊れないものを作れると主張する。しかし、理学の立場でいえば、断層のずれ量などは平均値は出せるとしても、上限値や下限値が定まらないので、工学が希望する確定的な値を出すことができないのである。

一方、ある自治体では活断層に一律の規制をかけるのではなく、断層周辺での建築申請に対して、建物の状況や地盤の状況をふまえて適切な建築指導を行っている。手間はかかるかも知れないが、このような理性的な指導こそが長期的に活断層周辺の適正な土地利用を促し、安全・安心な社会づくりに役立つものと考えられる。

### 【参考文献】

- 1) 内閣府中央防災会議  
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/>
- 2) 地震調査研究推進本部 (2017) 活断層の地震に備える - 陸域の浅い地震 - 関東地方版 16p.
- 3) 文部科学省・東京大学地震研究所 (2015) 立川断層帯における重点的な調査観測. 平成24~26年度成果報告書
- 4) 島崎邦彦・池田安隆・山崎晴雄 (1996) 活断層とは何か. 東京大学出版会 220p
- 5) 山崎晴雄 (1978) 立川断層とその第四紀後期の運動. 第四紀研究16巻 p231-246
- 6) 山崎晴雄 (1998) 活断層と地震防災. 地質学論集51号 p135-143
- 7) 山崎晴雄・久保純子 (2017) 日本列島100万年史. 講談社ブルーバックス 270p
- 8) 山崎晴雄 (2019) 富士山はどうしてそこにあるのか. NHK出版新書 238p
- 9) 国土地理院 1/2.5万都市圏活断層図「青梅」