

断層崖の形成に関する一考察

松 下 進*

On the Formation of the Fault Scarp

Susumu MATSUSHITA

(1974年9月30日受理)

1. ま え が き

以下述べるところは日本の場合を主にしたものである。断層崖という言葉は元来、地上に現れた断層面を意味し、日本に沢山ある、いわゆる断層崖は急斜面に見え、その麓の平野または小起伏面との境界、すなわち崖麓線は直線または直線に近い形を示している。従って、いわゆる断層崖は平地または小起伏面から眺めると顕著であり、地形図を読んでもよくわかるし、空中写真や衛星写真によく現れている。そして丹念な地質調査をすれば、崖麓線に、あるいは、それに平行に断層崖から離れて断層が発見されることが少なくないのである。ところが上記の断層崖という言葉に対し筆者が上述のとおり、「いわゆる」という形容詞をつけているのは次に述べるような理由によるのである。

第一に傾斜が実は案外、急でないことである。一見急に見えても多くは 30° 内外で、ときには 20° のこともあり、一番急でも 40° を超えることはまずない。一方において正断層の傾斜角は 60° くらいことが多い。いわゆる断層崖の麓に地質学的に調べて断層の存在が明白であって、しかも傾斜があまり急でないのはどうしてであろうか。これは侵蝕が進んでいて、初めの断層崖の形態が失われてしまった結果と解釈せざるを得ない。

第二は、いわゆる断層崖が断層面そのものであるならば、地質図には断層は線でなく、面として断層崖によって表されているはずであるが、そういう断層面を描いた地質図はないであろうことである。この事実からも、いわゆる断層崖が侵蝕されたものであることは明白である。

第三に、地質調査をいくら行なっても、断層が発見できないことがあることである。古生層のように硬い地層(A)と新第三紀層・第四紀層のように軟い地層(B)とが接している場合には、両者は断層で接していなくても、(A)は高く、(B)は低く、(A)は断層崖に似た地形を示すことがあり得る。事実は上述のとおりであって、この地形は断層崖ではない。

筆者は上に述べたことを以前から考えていたのであるが、今回、断層崖の形成を新しい角度から、すなわち断層と地震という点から考えてみることを思い立った。というのは、現在では地震が断層によって起こるという考えが地震学界では定説となっている様なので、従来から地震断層について得られていた知識、地震と断層とに関して最近得られている成果をとり入れて断層崖の形成について考察することは極めて興味深いと考えるからである。筆者は上述の角度から考察を試み、その成果をこの小文にまとめた次第であるが、各位の忌憚のないご批判を仰ぎたい。

* 地理学研究室

2. 断層崖の形成についての従来の見解

わが国の地形学者には、断層崖の形成について簡潔ながら適確な見解をもった方がおられるので、それらをここに摘記したい。

辻村太郎 (1923)"

“断層面の上部は地表に断層崖と名づける急崖として現れる。断層線は一般に直線に近く走り、僅かな彎曲を示す許りであるから、断層崖も真直に連るのを通則とする。断層が起る際には其の衝撃によって地震を生ずるのが常である。然し激烈な大震を惹起するような断層でも、其の垂直運動の量は僅々数米に過ぎず、よって生ずる断層崖の高さは著しくない。数十乃至数百米の高さに達する断層崖を作る為には略同一面に沿って無数の断層運動が繰り返されねばならない。であるから相当に高い断層崖を形成するには、長い年月を要するに違ひなく、其間には其の表面上に侵蝕が働くから、其等は開析された状態に於て我等の眼に触れる。比較的短時間内に生じた低い断層崖には、全く垂直に近い岩壁からなる断層面が殆んど現状の俛で地表に現れて居る事を示すものが無いではない。”

次に辻村 (1923) の衝上断層崖に関する記述"を摘記する。

“若しも所謂衝上断層なるものの断層面が地表に達したならば、其の結果如何なる地形を造るであろうか。此の断層は懸崖を作るべきであるが、勿論斯様なものは重力の存する限り実現されない。其の代りに断層崖と同じやうな急斜面が出来なければならぬ。断層が継続して行はれるならば、急斜面が次ぎ次ぎに下部より崩壊する結果、依然として其の大傾斜を保つであろう。”

有井琢磨 (1970)"

“断層変位の直接の結果として生じた急斜面（狭義）およびその侵蝕された地形（広義）。……狭義の断層崖（幼年期）も発生の直後から侵蝕を受けるので、厳密な意味では本来の断層そのものが崖面を形成している場合はまれである。特に逆断層崖では逆断層面の地表への延長部は侵蝕されてしまう。広義の断層崖では崖麓線と断層線がほぼ一致する場合（早壮年期）と、前者が後者の位置から後退している場合（晩壮年期・老年期）とがある。あとの場合には断層崖の造崖変位の時期とその侵蝕時期とが同じ輪廻であれば、その崖を断層崖とみなしている。”

金子史朗 (1967)"

“断層崖は、おもに断層運動に関連して成立した急崖のことで、おそらく、かなり早い間歇的な小隆起の積算によって形成されたものであろう。崖の生長中も、たえず風化・侵蝕による変化をうけていたはずであるから、崖面はもちろん断層面そのものではない。……現在みられる起伏の形成は、少なくとも太平洋周辺造山帯では、おそらく第3紀の末、特に洪積世に入ってから運動が決定的であったらしい。……”

上の3氏の記述に共通していることは断層崖がほとんど、あるいは大部分侵蝕されていることを認めている点である。また興味深いことは辻村・金子の両氏が、断層崖というものが、数100 mの高さのものでも唯1回の断層運動でできたものでなく、1回の変位量は僅か（辻村は大地震と関連づけて1回の変位量数 m としている）で、ある間隔をもって繰り返して起こった断層運動の結果、形成されるものとしていることである。とくに辻村が51年前にすでにこういうことを論じたことは特筆すべきことと考えられる。

3. 断層運動の起こり方

地震学者浅田 敏はその新著 (1972)¹¹⁾ において次のように述べている。

“1950年代の中ごろから地震の発生にかんする具体的な理論が研究されるようになった。それは「くいちがいの弾性論」とか、あるいは「断層模型の理論」といわれるものであって……。……断層の理論ができたおかげで、実際に観測された地震波の性質や地震のときに生じた地殻変動と、断層の理論にもとづいて計算される性質とを、くらべることができるようになった。”¹²⁾

“このように、断層の理論がまことにあざやかな成功をおさめたことによって、今日では「断層の生成」すなわち「地震の発生」であると考えられるようになった。”¹³⁾

“地震が断層によって起こるとい説は、現在では定説となっていると考えていいだろう。”¹⁴⁾

また同じく地震学者萩原尊禮はその新著 (1972)¹⁵⁾ において次のように述べている。

“このようにしてP波の象限型初動分布は震源におけるせんだん*型くいちがい、つまり断層によって生じると考えられるようになった。”

“地震の初動による発震機構の研究によれば、地震は岩石層のせん断破壊によって起こる……。”¹⁶⁾

従来、断層が地震の原因¹⁷⁾であるか、結果であるかは過去数十年間にわたって地震学界および関連学界におけるおまな論争問題のひとつであったが、今や断層原因説の方が勝利をおさめたといえる。

従って以前から地震について知られていたことの一部が断層についてもいえることが確実になった。また新たに地震や断層について判ったことも少なくない。それらの知識のうち断層運動の起こり方に関するもの、とくに断層崖に関係が深いものをまとめれば次に列挙するようなものになる。

(1) 断層運動の反復性。

地震は反復するものであるから、断層運動もくり返すものである。

(2) 地震断層のでき方。

断層面が地表に現れて、断層崖を造るのはM7以上の大地震の場合だけで、M6以下の中小地震では断層面は地表にほとんど現れない。後の場合にも断層は生じているのであるが、小さいので地表に達しなかったものと考えられている。

(3) 地震の大きさには限界があること。

M8.6以上のものは考えられないという。従って断層運動の大きさにも限りがある。

(4) 1回の断層運動における変位**は数 m 以内であること。

1891年の濃尾地震の原因といわれる根尾谷断層***の落差は約6 m （水平変位は左横ずれ約2 m ）であった。

1964年のアラスカ地震 (M8.4) では最大5 m の変位が報告されている。¹⁸⁾

* 剪断

** 変位のうちで断層崖の形成にとって最も重要なのは鉛直変位すなわち落差である。

*** 根尾谷断層を含めて、濃尾地震のさいに生じた断層について、最近、檀原 徹 (1974) は実地調査・故老からの体験談聴取・文献の徹底的な調査を試みた。檀原 徹 (1974): 1891年濃尾地震において生じた断層について、奈良大学地理学科卒業論文。

(5) 近畿地方の現在の構造地形を造った断層は逆断層であること。

最近、藤田和夫ら (1972)¹¹⁾ は近畿地方のネオテクトニクスとくに断層運動について研究し、微小地震の分布と活断層の分布とが一致することを明らかにしたが、近畿地方の活断層がほとんどすべて逆断層であるとしている。圧縮方向は東西である。

それより先、藤田和夫 (1961)¹⁰⁾ は六甲山地の精細な地質調査を行ない、同地の断層崖の原形を造った断層がすべて急傾斜の逆断層であることを明らかにし、落差を推定した。大阪湾斜面では、高位の五助橋スラストの落差250m、中位の芦屋スラストは300m、低位の甲陽断層は200mである。

4. 風化・侵蝕・崩壊による断層崖の破壊

上に記した項目のうち、崩壊というのは、主として逆断層におけるものを指すものであり、湿潤気候でも乾燥気候でも、ほぼ同じ様に、同じ程度に起こるものと思われるが、化学的風化と侵蝕とは湿潤気候と乾燥気候とで大いに異なるものと考えられる。湿潤気候においては、とくに高温多湿の場合には、化学的風化は極端に行なわれるから、侵蝕の進み方も速いはずである。これに反して、乾燥気候の場合には、化学的風化作用の速さは小さく、場合によってはゼロに近い。

従って米国ネヴァダ州やカリフォルニア州南部には多数回にわたる断層運動の結果と思われる高さ数10mのほとんど断層面そのままの急傾斜の断層崖*を見ることができる。日本の様な温暖湿潤地域ではそういう景観はあり得ない。くり返す断層運動による鉛直変位が200年から1,000年の間隔で積算されるあいだにはコンセクェントの谷とその支谷とが発達する時間があるから古い断層面ほど侵蝕を多く受け、傾斜が緩かとなり、原形から遠ざかるものと考えられる。最初の断層運動が起こってから、数100,000年後には、傾斜30°位の、平地からは急に見える斜面となるであろう。日本でいわれる断層崖の多くは、こういうものを指しているのではなからうか。

上述したのは正断層の場合であるが、逆断層崖の場合には、まず懸崖が崩壊するのであるから、傾斜は正断層の場合より急なことが多いものと推定される。

コンセクェントの谷と谷との間の尾根の末端に現れる三角末端面の中には、侵蝕をあまり受けていない新しい低い断層崖もあるであろう。

5. 結 語

筆者は上述の考察の結果、下記の結論を得た。

1. 地震学で、発震機構の研究が進み、地震発生の原因が断層の生成にあるとの考えが地震学界における最近の定説になっている。従って以下の2)~11)がいえる。
2. 断層運動というものは、地震と同じく、同じ面に、ある間隔(おそらく200~2,000年)をもって、くり返し起こること。
3. 断層の変位は数m以内であること。
4. 地震の大きさには限界があり、M8.6より大きいものは考えられないという。従っ

* Scientific American, Nov. 1971 pp. 52~68 に D.L. Anderson: The San Andreas Fault という記事があり、p. 52 にほとんど直立する断層崖と思われるものの空中写真が出ている。説明にはサンアンドレアス断層の一部であり、場所はロスアンジェルス北方直距離90kmのFrazier Parkの北としてあるが、筆者が1973年夏に試みた見学ではわからなかった。

て1回の断層運動の大きさにも限界があること。

5. 断層面が地表に現れたものが断層崖であるが、高さ数10mの断層崖もただ1回の運動で生ずるのではなく、1回数 m 以内の鉛直変位が多数回の運動の累積によって生ずるものであること。

6. ひとつの断層運動と次の断層運動との間隔を1,000年とすると、数100mの高さの断層崖ができるためには約100,000年の時間が必要である。

7. 風化・侵蝕の進行速度のきわめて小さい乾燥地帯では、断層崖もある程度までは侵蝕をあまり受けずに生長するであろうが、日本の様な温暖湿潤気候のもとでは、風化・侵蝕は第1回・第2回の断層運動のあいだの間隔期間においてすでに相当行なわれるであろう。

8. 従って後の場合には、断層崖も数100,000年後には侵蝕が進み、コンセクェントの谷に刻まれた緩やかな斜面に変わっているであろう。

9. 逆断層の場合には、正断層の場合にくらべて、断層崖の傾斜は、侵蝕がある程度進んだ後にも急であろう。

10. 三角末端面の中には、侵蝕があまり進んでいない新しい断層崖であることもあろう。

11. 侵蝕が進んで緩傾斜となり、谷が刻まれている断層崖は、侵蝕をほとんど、あるいは少ししか受けていない断層崖と区別して開析断層崖と呼ぶべきことを提案したい。

終りにあたり、この小研究において筆者にご助言、ご援助を与えられた故小谷晶氏（奈良大学）、中川一郎氏（京都大学）に対して厚く御礼申し上げます。

引用文献

1. 辻村太郎：地形学（1923，古今書院）p. 244.
2. 同上，同上 pp. 270～271.
3. 地学事典（1970，平凡社）p. 672.
4. 金子史朗：構造地形学（1967，古今書院）p. 165.
5. 浅田 敏：地震（1972，東京大学出版会）.
6. 同上，同上 p. 159.
7. 同上，同上 p. 160.
8. 同上，同上 p. 186.
9. 萩原尊禮：地震への挑戦（1972，講談社）.
10. 同上，同上 pp. 104, 112.
11. 原因説の初期の代表的なものとして、小藤文次郎の有名な次の論文があげられる。
B. Koto (1893): On the Cause of the Great Earthquake in Central Japan, 1891. Jour. Coll. Sc. Tokyo Imp. Univ., Vol. V, pp. 149—192.
12. George Plafker (1965): Tectonic Deformation Associated with the 1964 Alaska Earthquake. Science, 25 June 1965, Vol. 14.
13. 藤田和夫・岸本兆方（1972）：近畿のネオテクトニクスと地震活動. 科学42巻8号.
K. HUZITA, Y. KISHIMOTO and K. SHIONO (1973): Neotectonics and Seismicity in the Kinki Area, Southwest Japan. Jour. Geosc., Osaka City Univ., Vol. 16, Art. 6.
14. 藤田和夫（1961）：六甲山地のスラスト系，横山教授記念論文集.

Summary

Thanks to the research of the earthquake-generating mechanism, it is now generally accepted in the seismological world that the earthquake is caused by the faulting. Like the earthquake, therefore, the faulting takes place repeatedly at intervals of 200~2,000 years. The dislocation in a single faulting is measured at several metres. Accordingly, a several hundred metre high fault scarp must have been formed after one hundredtimes repeat of faulting. If we assume the interval of faulting to be 1,000 years, the above-mentioned fault scarp would have been formed in 100,000 years.

In an arid region, where the weathering and erosion proceed very slowly, a fault may grow with little deformation due to weathering and erosion, but in a warm humid region like Japan, where weathering and erosion proceed rapidly, a fault scarp will be much weathered, eroded and deformed to a dissected gentler slope in several 100,000 years.