

建設計画における活断層問題

Active fault problems in the construction planning

まつ だ とき ひこ
松 田 時 彦*

1. ま え が き

「活断層」という言葉が地学の世界から一般社会へ広がり、活断層の問題が工学の世界へはねかえってきから十年ほどになる。活断層に関する知識^{1),2)}は地震予知研究の基礎資料として役立っているが、一方では、一般社会や工学の世界に少なからぬ不安と困惑を引き起こした。その「困惑」は1975年の地質学論集12号の「断層と地震」、1981年の「応用地質」22巻1号の「建設工事における断層」、あるいは1982年の本誌30巻3号の「活断層小特集」などに寄せられたいくつかの論文からも察することができる。主な問題点は、①活断層の定義のあいまいさ、②活断層調査の困難性、③そのような状態での工学的判断の難しさ、などであろう。以下、上記に関連して2,3述べる。

2. 理学的定義と実用的定義

活断層が建設計画において問題になるのは、通常の「断層問題」のほかに、それが大地震の発生源になる可能性があること、およびその際に断層に沿って地盤にずれが生じる可能性があることなどによる。したがって、建設計画においてある断層が活断層であるか否かは大きな関心事である。

活断層の定義にはいろいろあるが、要はその断層に将来活動する可能性があるということである。しからば、将来の活動の可能性を何によって判断するのか。それは、以下のような一般社会でも通用している常識的な「論理」によっている。すなわち「最近の過去に繰返し活動し現在にいたっているものは、今後も同様に活動するであろう」というものである。

現在、地学者が一般に用いている活断層の定義は次のようなものである。「最近の地質時代に繰返し活動して、(したがって)今後も活動する可能性のある断層」である。この定義は地学的にはこれで十分であるが、実用的な立場からはまことに漠然としたものである。このような活断層(active fault)の理学的定義の仕方はニュージーランドでもアメリカでもほぼ同じである。

日本では、上述の定義中の「最近の地質時代」を実際上ほぼ第四紀とみなしている。将来を推定するのに役立つ過

去の期間は、断層を活動させている地殻の広域的応力場が現在とほぼ同じ状態になった時以降である。それより古い過去は現在と異なる環境での話であるから今後の推移を推定するのに役立たない。そのような現在につながる過去の長さは、地球上の場所によって必ずしも同じではないが日本列島ではほぼ最近の 10^6 年程度(10^5 年前後でもなく 10^7 年前後でもない程度)である。そのことから地学者は第四紀あるいはその後期に繰返し活動している断層を活断層として扱うことが多い。

なお、第四紀に活動した断層(第四紀断層)がすなわち活断層ではない。第四紀に活動した断層であっても、例えば表層部だけに生じた小規模な断層³⁾や高い山の稜線近くに生じた重力膨張性の断層⁴⁾、あるいは古い火山の活動中に生じた火山性の断層などは、おそらく活断層ではない。また近畿地方では最近の約50万年以降活動しなくなった第四紀断層も知られている⁵⁾。このように第四紀断層であってもただちにそれが活断層であるとはいえないのである。

理学的定義の中の「最近の地質時代」を「第四紀」で置きかえたところでその実用上におけるあいまいさは本質的には変わらない。それを100万年あるいは1万年などの厳密な年数で表現したところでほとんど理学的には無意味である。地殻の広域的な力学的状態はその変化期においてもおそらく十万年以上の長期間に徐々に変化するものであり、しかもその地域的差異もあるから、それを数値できちんと表現すればするほど真実味が薄くなり便宜性が濃くなってゆく。

理学的な「活断層」の定義は上記のようにある意味ではとりとめのめないものである。それをそのまま工学の分野でも使用すべきである、というつもりはない。活断層にはその活動頻度が数百年に1回程度のものから数万年に1回以下のものまで様々のものである。工学分野ではこれらを無差別に活断層扱いしたり、あるいは逆にそれらを特殊な場合をのぞいてひとまず考慮外に置く⁶⁾よりも、その建設計画の内容などに応じたいくつかの「建設計画上考慮すべき活断層」を設定する^{7),8),9),10)}ことが賢明であろう。

3. 地質調査の問題

活断層に関する野外調査結果が調査者によって異なることがあり、工学関係者を困惑させることがある。地質調査

*東京大学教授 地震研究所

論 説

では結果に多少の差異が生じることはやむを得ないと思うが、十分な現地地質調査が行われた場合でも大きな差異が生じたことがあり、それは明らかに工学以前の地学者側の問題である。例えば四国中部の中央構造線や飛騨の跡津川断層（その中部および西部）は、ある調査^{11), 12)}によると両断層のいずれもが確実なA級活断層であるが、ほかの調査^{13), 14)}によると両断層とも第四紀には活動していないという。両者の調査方法はいずれも通常の地表調査であるが、前者が地形を重視しているのに対して、後者は露頭での断層観察を主としている。活断層に対する地質調査の不一致は調査者の熟達度の差による場合も少なくない。活断層調査は従来の地質調査業務には含まれていなかったものであり、地質調査の専門家といえども、その調査の方法について新たな理解と習熟を要する状態である。

断層運動（断層の存在と変位）の証拠は自然界に次の二つの形で記録されている。一つは①地層・岩石の破壊としてであり、ほかの一つは②断層の両側の物質の変位（位置の変化）としてである。建設工事に関連する断層調査はこれまで①に対する観察が主であった。しかし、活断層問題では②に注目して断層変位の向き・量・時期を知ることが重要である。①つまり岩盤の破碎状態や破碎物質から断層の変位に関することを量的に知することは、近年手法の開発が鋭意行われている^{15), 16), 21)}が、現状では一般に困難である。

②の変位によって断層をとらえる場合には、①の場合とちがって断層を露頭で観察することを必ずしも必要としない。そのかわりに、両側地盤間に変位があるか否かの判定に役立つ基準物（変位基準という）を断層の両側でみつけることが決め手になる。

地質学者が用いる最もふつうの変位基準は地層であるが、第四紀の断層運動に対してはそのほか、第四紀につくられた地形面も用いられる。しかし、地質学者は地形を断層調査に用いることに拒否反応を示すことが多かった。その調査がたとえ十分な野外調査を伴ったものであっても、地形調査はあくまで予察的なものとみる考えは今なお存在している。地形調査における野外調査の主要な目的は地層調査の場合と同様、断層やリニアメントの両側に分布している地形面やその構成層が、かつて同じ時代に断層の位置と無関係に広く連続して生じたものであるか否かの確認にある。そしてそれは堆積物の地質学的観察によって行われる。つまり、地形調査における野外調査も、ふつうの地質調査も、露頭を捜して地質を観察するという点で両者は異なるところはない。

1960年代以後の活断層調査は、地形面と地層面を同格の、対比可能な変位基準であると認識することによって発達してきた。現在地質学者が知っているわが国の主な活断層はほとんどすべて、こうした地形的変位基準の探索とその確認によって見い出されたものである。四国の中央構造線、

本州中部の糸魚川—静岡構造線・山崎断層・柳ヶ瀬断層・阿寺断層・跡津川断層・丹那断層・立川断層・深谷断層・福島盆地西縁断層、などはその顕著な例である。

活断層の存否の“実証”には上述からわかるように（そして後にものべるように）その断層露頭の発見やそこでの観察は必ずしも必要ではない。しかし、もちろん断層露頭を捜し観察することは大切なことである。重要露頭を観察したかどうかはしばしば地質調査の結果を左右する。活断層の露頭位置は変位基準として用いた地形面や地層の不連続線上に期待されるので、空中写真などを用いた広域の地形観察は断層露頭の発見の能率化や肝心な露頭の見落とし防止に役立つ。

活断層調査において、重要な変位基準である第四紀層は、未固結～半固結であるため断層面はいろいろな形態をとる。例えば、地表付近に厚い未固結堆積物が存在していると、基盤岩中の断層は地表付近の被覆層中では撓曲して必ずしも断層面を伴わない。東京付近でいえば、多摩川や荒川の扇状地を横切る立川断層¹⁷⁾と深谷断層がその好例である。これらの場合その実在性は火山灰鍵層などによって確実に対比された同一地形面が、リニアメントの両側で急に変位していることによっている。しかし、そのような変位を示す断層の露頭はなく、撓曲がみられるだけである。このような場合に、地質調査を行い“たんに撓曲しているだけであり断層はない。したがって活断層ではない”と結論したらそれは誤りである。このような線状に続く幅せまい撓曲構造は室内実験でも知られているように地下の断層運動によって生じるものである。

第四紀層とくにその後期の地層では、それが未固結であることに加えて断層運動を受けた回数が少ないので、断層は一般に顕著な破碎構造を示さない。そのため断層を肉眼で見い出すことがしばしば困難である。特に岩相が一様な未固結層の中でその困難は著しい。更に、未固結層では全層準が断層作用を受けていても断層面そのものは不連続に生じそれらが不規則ないし雁行していることがしばしばある。このように第四紀層の露頭では断層があってもよく見えないことがあるし、見えた断層でもそれが断層帯の中の上下方向にできた雁行性小断層の一つにすぎないという可能性もある。このことは断層運動の時期を知るためのいわゆる断層の“切った・おおわれた”の論理が第四紀層中では安心して適用できないことを意味している。丹那断層で行った最近のトレンチ調査¹⁸⁾ではこのような事情のため上述の論理はほとんど使えなかった。

このほかにも活断層の調査には特に留意すべきことがある。筆者が経験した2, 3の例をあげよう。

地層にせよ地形にせよ、変位基準はそれが生じてから以降のことしか記録していない。したがって、“問題の基盤岩中の断層は第四紀層を切ることなくそれにおおわれているから、それは第四紀には活動していない”，と考えては

早計である。なぜなら、その第四紀層の年令は第四紀の最後の10万年であるかもしれないし極端な場合には1000年であるかもしれない。したがってそれ以前の第四紀に活動したかどうかはこれだけの事実ではわからない。一般に第四紀における断層の活動性を評価する際には変位基準の年代について「第四紀」という記述だけでは不十分であり、より詳しい資料が必要である。

“問題の断層（群）は、ほかの走向の活断層（群）によって切られているから、活断層ではない。” これもしばしば誤りである。地質学では2系統の断層が交差している時、他方によって切られている断層は切っている断層よりも古い、という論理がある。しかし、この論理はほかにこれを支持するものがない限り独立しては成立しない。互いに切った、切られたの関係を持ちながら、両者が同時に活動したという関係は室内の岩石破壊実験から推察されているだけでなく、実際に、両者が同じ1回の大地震の時に同時に変位した例¹⁹⁾が知られている。

次の例は断層系と断層線との区別が大切であることを教えている。その区別が不十分であると地質調査には誤りがない場合でも調査結果の結論が大きく異なったものになる。例えば地質学者は、中央構造線は三波川帯の北限をなすもので、したがってそれは地表で1本の断層線で現されていると考えている。しかし、中央構造線に限らないが、大きな断層はふつう地表付近でいくつかの断層面に分岐して一つの断層系を形成しており、そのうちのある断層線は第四紀後期にも繰返し活動しているが、ある断層線は活動していないということがしばしばある。四国中部の中央構造線の場合、上記の地質境界をなす断層線だけしか調査しないと、中新世以後活動していないという結論になり、一方、中央構造線を上述のような複数の断層線からなる断層系としてとらえた場合には、日本内陸で最も大きな活動度を持つ確実な活断層であるということになる。将来の大地震の震源断層の現れとして地表の活断層を見るのであれば、数km程度以内に近接して分布する複数の断層線の一つの断層系としてとらえて、全体としての活動性を評価すべきである。大地震は一般にそのような一つの断層系全体を母胎として発生し、そのうちのいくつかの断層線だけを動かすことがふつうであるからである。

地質調査結果は断層の活動性の評価の基本事項であるが、現状では上述のように顕著な断層についてもその調査に問題がないわけではない。しかし、それは多くの地質学者にとって活断層調査の歴史が浅いためであり、時とともに改善されてゆくに違いない。問題はより小規模な断層についてである。小規模断層では地質調査の精度をあげても、良質の判断資料が得られないことが多く、最終的には工学的判断にまかせざるを得ないのが実状であろう。

4. 工学的判断基準の設定

活断層調査には上記のようにその野外調査の段階で種々の問題を含んでいるが、それでも日本では、第四紀編年学や豊富なC¹⁴年代測定²⁰⁾資料のおかげで数多くの良質の第四紀変位基準が利用可能であり、それによって活断層の位置や活動歴は比較的多くの例でよくわかっている。そのような資料にもとづいてある程度活断層の将来の活動性（最大地震の規模や平均発生間隔）が評価できるようになった。

しかし、長さの短い断層や活動度の低い断層、特に建設敷地内に見い出される比較的小さな断層については、断層付近に変位基準になる地層や地形が分布していなかったり、それらの変位基準としての価値が不確かであったりして、問題の断層が活断層であるか否かさえ確かめられないことが多い。断層面沿いの粘土状の軟質の破碎物の存在はその断層の最近地質時代における活動を意味していることが多いようだが、まだそれほど信頼できる判断材料ではない³⁾。つまり現状ではどんなによく地質調査を行っても、小さな断層ではその活動性について確実な資料が得られないことが少なくない。

それにもかかわらず工学関係者は断層の活動性を判断して対応しなくてはならない。その際に“活断層として考慮すべき断層”の判断基準が周知のものとして定められているならば、建設計画時の困惑は軽減されると思われる。そのような判断基準をつくるにあたっては①その活動性についてはほとんどわかっていない断層についても、その取扱い方が示されていること、②そのような基準は一律なものではなく建設物の性質に応じてそれぞれ基準内容の異なるものであること、③その基準は工学・理学その他関連分野の専門家による検討の下で何らかの公的な形で設定されていること、などがのぞましいと思う。

その基準づくりには、現在最も厳しい基準であることが期待されている原子力発電所立地の場合の基準その他が参考になろう²¹⁾。一般建設計画においては、活断層扱いすべき断層の範囲は原子力施設の場合に較べて著しくゆるやかなもので足りるはずである。いずれにしても工学的判断基準はかなり割り切ったものにならざるを得ないが、活断層に対する社会の不必要に大きな不安が一応落ちついてきた現在、一般社会はそのような基準づくりを認容するのではあるまいか。

理学者が最近の10年～20年間に得た活断層についての知見が、社会や工学界での迷惑物であるはずがない。藤田和夫氏が述べているように⁵⁾、それらの知見を基礎として前向きに対応してゆくべきである。

以上、工学にうとい理学側の1人が未熟を顧みず感想を述べさせていただいた。御教示・御叱正をいただければ幸である。

論 説

参 考 文 献

- 1) 活断層研究会編：日本の活断層一分布図と資料，東京大学出版会，363 p., 1980.
- 2) 松田時彦：地震の痕，浅田敏編著「地震予知の方法」第3章，東京大学出版会，pp. 29～54, 1978.
- 3) 木村敏雄：断層，とくに断層破碎帯の見方，考え方，応用地質，Vol. 22, No. 1, pp. 4～16, 1981.
- 4) 清水文健・東郷正美・松田時彦：日本アルプス野口五郎岳付近における小崖地形の成因，地理評，Vol. 53, No. 8, pp. 531～541, 1980.
- 5) 藤田和夫：活断層研究の推移とその背景，土と基礎，Vol. 30, No. 3, pp. 3～9, 1982.
- 6) 羽田 忍：いわゆる活断層の工学的問題点と取扱い，応用地質，Vol. 22, No. 1, pp. 17～31, 1981.
- 7) 菅原 捷：活断層の活動性とその調査法，土木技術資料，18, pp. 77～82, 1976.
- 8) 井上康夫：断層活動性の評価と耐震設計—地質学からの課題—，電力土木，No. 160, pp. 1～7, 1979.
- 9) 中村康夫：活断層の評価に関する諸問題，土木技術資料，Vol. 22, No. 3, pp. 3～8, 1980.
- 10) 林 正夫：地学上の活断層に関する工学的な意義と対策—関連する用語の解釈と試論—，電力土木，No. 170, pp. 1～6, 1981.
- 11) 岡田篤正：四国中央北縁部における中央構造線の第四紀断層運動，地理評，Vol. 46, No. 5, pp. 295～322, 1973.
- 12) 松田時彦：跡津川断層の横ずれ変位，地震研究所彙報，Vol. 44, pp. 1179～1212, 1966.
- 13) 金折裕司・佐竹義典・猪原芳樹：中央構造線の分布・性状と活動性—四国北東地域における断層露頭の調査および解析—，電力中央研究所報告380004, pp. 1～153, 1980.
- 14) 宮腰勝義・佐竹義典・猪原芳樹：跡津川断層の分布・性状と活動性—断層露頭の調査と解析—，電力中央研究所報告381029, pp. 1～169, 1982.
- 15) 池谷元伺：概論：続・ESR 年代測定法，月刊地球，Vol. 6, No. 4, pp. 212～217, 1984.
- 16) 金折裕司：断層粘土中の石英粒子の表面構造(その2)—実在断層における石英粒子の表面構造の特性—，電力中央研究所報告381007, pp. 1～35, 1981.
- 17) 山崎晴雄：立川断層とその第四紀後期の運動，第四紀研究，Vol. 16, No. 4, pp. 231～246, 1978.
- 18) 丹那断層発掘調査研究グループ：丹那断層(北伊豆・名賀地区)の発掘調査，地震研究所彙報，Vol. 58, pp. 797～830, 1983.
- 19) 松田時彦：安定大陸に生じた地震断層—西オーストラリアのメッケリング地震，科学，Vol. 52, No. 3, pp. 136～144, 1982.
- 20) 木越邦彦：年代を測る—放射性炭素法，中公新書，191 p., 1978.
- 21) 緒方正彦・本莊静光：電力施設の耐震設計における断層活動性の評価，応用地質，Vol. 22, No. 1, pp. 67～87, 1981.

(原稿受理 1984.8.8)