

「断層と地震」その歴史と展望

杉村 新*

1. 「地震断層」(まえがきに代えて)

「断層」fault ということばは、日本語の訳語からも察せられる通り、もともと地層または岩体に見られる現象に対して名づけられたものである。その頃は、断層と地震との間に何らかの関係があることさえ、ほとんど考えられたことはなかったにちがいない。

それで、断層屋の立場から見れば、「地震にともない地表に現われる断層」を地震断層と定義する(地学事典)のも当然ではないかと思う。この「地震断層」は、英訳すれば、fault associated with earthquake であって、直訳した earthquake fault は日本の学者の専門語のように思う。

一方、地震屋の立場から関心のあるのは、震源断層というべきものである。そのような「震源に想定される断層には、地震断層ということばを使わない」とわざわざ断わっている(地学事典)にもかかわらず、地震屋の立場から言えば、震源断層などという耳なれないことばよりは、断層屋の定義を無視してこれを「地震断層」といつてしまった方が判りやすく、地震断層とは「地震を起こす破壊現象である」(たとえば、阿部, 1974)という風に述べる人もあらわれた。上の定義に忠実であろうとすれば、こういう使いかたはよくないけれども、よくない使いかたが生きてくるような時代がこないとも限らないので、ここでは、一部の地震屋のいう地震断層と区別する意味で、従来定義されている地震断層を地表地震断層と呼ぶことにする。

私事にわたり恐縮であるが、筆者が中学生であったとき、その校友会誌に「地震と断層の関係について」という小文を書いた生徒がいた(1938)。その結論に、「地震と断層とは何等直接に関係あるものではない」と書いている。筆者の勉強はその頃から始まり、今に至るまでつづいているわけであるが、その間に「地震断層」ということば1つをとっても、どんなに大きな頭の切り換えが必要であったことか、まことに恐ろしい思いである。

というわけで、今回は、シンポジウムのときに講演したのではないのに、松田時彦氏のレビューの前座として、いきさつばなしを書くこととなった。なお、お急ぎの向

きには、松田(1969)の第1節「断層と地震」が簡潔で適切であることを、はじめにおことわりしておく。

2. 「断層地震」

断層運動が原因で地震の起こることがあることを、論文または著書で明瞭に述べた最初は、小藤(1893)とHOBBS(1907)であろうと考えられる。もちろん、それまでに至る若干のいきさつはあったが、ここでは古いことにはあまり立ち入らないでおう。地表に地震断層の現われたのを、科学的に観察した最初が、前世紀に起こった2つの大地震、すなわちカリフォルニアの Owens Valley で1872年に発生したものと、1891年の濃尾地震とであり、この2つの地表地震断層を直接報告したのが、上の2人、つまり前者についてはHOBBS、後者については小藤であった(大塚, 1936a)から、この2人が地震の原因として断層説を唱えたのも当然だったであろう。

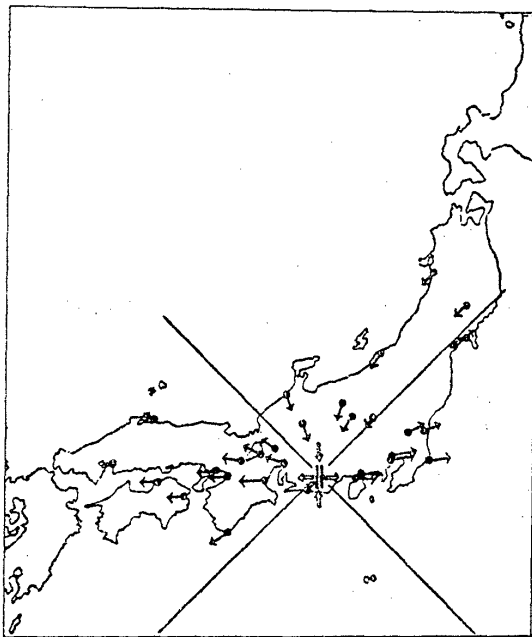
しかしながら学界は、断層運動だけが地震の原因であると断定せず、用心深く「断層地震」というカテゴリを設けるにとどまった。このことばはながく教科書などに書かれたため、実に1969年版の「広辞苑」の一項目にさえなっているが、のちに述べることから明らかなように、現在では死語に近いといってよい。「広辞苑」の次の版からは抹消されると聞いているが、妥当な処置であろう。

3. 震源についての探究

3-1 断層と地震とは無関係だという説

断層と地震とは関係がないという、もっとも強力な学説は、地震P波初動の円錐型押し引き分布をもとにしたものであった。そもそも、地震初動の押し引き分布は、志田(口頭, 1917; 文書, 1921)によって発見されたが、その実例の1つとしてよく引き合いに出される天竜川流域の地震の押し引き分布(第1図)は、震央でまじわる十文字の2つの節線 nodal line によって境されるものである。これは、断層と地震とが表裏の関係にあるという考えの出発点の1つになった事柄であるが、同時にこれは、いま述べようとする円錐型分布の考えの出発点にもなった。

* 神戸大学理学部地球科学教室



第1図 志田 (1917; 1921) が最初にP波初動の押し引きの規則正しい分布を示した実例の1つ: 1917年5月18日の天竜川流域地震 (本多, 1942による)

円錐型とはどういうことだろうか。これを説明するために、円錐型と対立する四象限型分布と並べて図示する (第2図)。第1図に示すような観測結果は、地表という球面上に分布するだけであるが、地震の波は震源から3次元の空間へ発せられるのであるから、震源での押し引きを考えるには、第2図のような立体的な分布を考えなければならない。円錐型分布は、震源を共通の頂点とする2つの反対向きの円錐を、押し引きの境とするもので、四象限型の方は、震源を通り互いに直角にまじわる2つの平面が、押し引きの境であるとする。文字通り空間を四象限にわかつのである。この2つの平面の交線を null vector という。(ただし、これは向きの矢印が両方についているから、本当の意味のベクトルではない。むしろシンプルテンソルというべきである。) ちなみに、

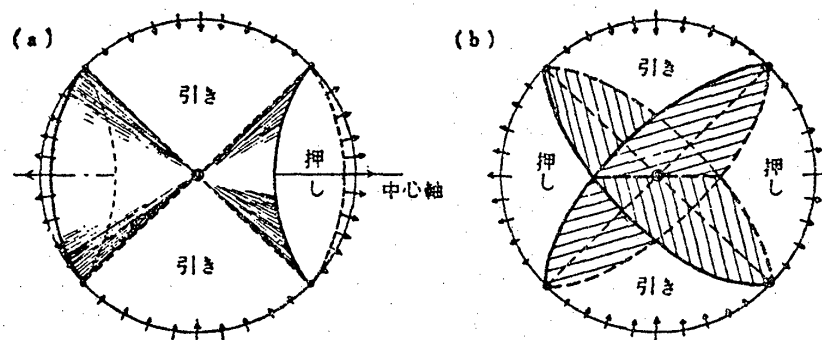
3次元空間の四象限を考えると初めて四象限型と称するのが歴史的な用語法であるが、円錐型の否定された現在は第1図のような十文字の節線のパターンを四象限型とする習慣ができてきた (後註1)。

ところで実は、第1図に見られる節線のパターンは、円錐型でも四象限型でも説明される。前者の場合は、円錐の中心軸を、震源を通して東西に考えればよく、後者の場合は、null vector を、震源を通して上下に考えればよいのである。

志田は、押し引き分布の規則性を発表したばかりでなく、第1図にも記入したような引張りが原因であろうと述べ、これを裂罅地震といった。岩石の割れ目のうち、その面に沿ってずれのあるものを断層、ずれのないものを節理というから、ここでいう裂罅は、地質学用語をもちいば節理ということになる。節理ができるとき、その面上の1点が両側に別れて変位するとすれば、その結果出てくる波は、その変位ベクトルを中心軸とする円錐型分布をするはずである。円錐型分布のアイデアを最初に考えついたのは、松山基範であるといわれているが、多分このような理屈にもとづいたものであろう。

志田の発見以来、初動の押し引き分布の研究が盛んにおこなわれたが、天竜川の例のような十文字のパターンばかりでなく、null vector が垂直でないために起こる、曲線で境されたパターンも見つかり、また棚橋 (1931) を最初とし多分吉山 (1961) を最後としてその間に楕円や双曲線など、円錐曲線で境されるパターンも多数発表され、ここに第2図に示したような2つの型の押し引き分布が並立することとなった。(以上の記述は、河角 (1933) に負うところが大きい。)

円錐型分布をもっとも熱心に研究しかつ唱導したのは、石本 (論文, 1932, 1933; 著書, 1935) であった。石本は、志田や松山とちがいで、円錐型押し引き分布をしめす地震の原因はマグマの貫入であると述べているが、なぜマグマの貫入が円錐型になるかについては、やや説



第2図 押し引き分布を立体的にスケッチした図: aは円錐型, bは四象限型 (笠原, 1959による)

得力を欠いていた。石本は、小川（1929）の考えに強く影響されていたように思える。

マグマの貫入はともかく、円錐型分布の存在については、世界的にはそれほどでなかったにしても、少なくとも日本では広く支持され、どの本にも、四象限型と並んで挙げられ、震源には2種類あると書かれていた。ただし、本多（1942）の教科書だけは、一貫して四象限型で説明され、円錐型については、「そういう考えもある」という程度に書かれていた。四象限型と円錐型との2つを並べて説くという状態は、1960年前後までの日本の地震学書に共通であったといえよう。

再び私事にわたることを許して頂くならば、筆者は1950年代に、円錐型分布をマグマの貫入でなく岩石の変形と結びつけようと思いついたことがある。理由は、oolite など変成岩の変形だとか、褶曲帯全体の変形だとかの特徴が（原形を球とすれば）ミカン型よりむしろレモン型に近いということにあった。レモン型の変形を急激に起こせば、円錐型の押し引き分布（円錐型ではたいてい内側が押しである）になるだろうというわけである。それで、ネオテクトニクスと同時に変成岩をやってみたいといって、先輩をおどろかせたことがある。その問題に深入りしなかったのは、筆者にとって幸運であった。

3-2 I型かII型かの論争

四象限型を考える場合にも、震源に働く力が1つの偶力によるものとする考えと、2つの互いに直交する偶力によるものとする考えと2つあった。前者を普通I型の発震機構、後者をII型の発震機構という。P波初動の分布をしらべる限り、このどちらが正しいかは、原理的にわからないので、水かけ論にしかならなかった。

そもそもI型の考えの発端は、1906年のサンフランシスコ地震にあったといえる。このときのサンアンドレアス断層の両側に分布する三角点の移動をもとにして、Reid（1911）は弾性反発説を唱えた。断層の両側のブロックが相対的に変位すると、はじめは弾性的にねじまげられるが、弾性限界をこえるとブロックの境に沿って破壊し、断層運動と同時に地震を起こす、というものである。ここでは、震源に考えられる力は、断層面に働く偶力（2つの力の組合せ）であるから、single couple の力と呼ばれた。これをI型の発震機構というわけである。断層の両側の地表がどのように変位したか、に関する測地学的なデータは、サンアンドレアス断層のみならず、日本のいくつかの地表地震断層についても、弾性論的な計算とよく合うことが確かめられた。こうして弾性反発説が定着してゆくとともに、I型を考えるのは当然

だという風潮が、サンアンドレアス断層を有するアメリカなどに広まっていた。

一方、本多およびそのグループ（1931以来多くの論文がある。代表的な総括は、本多、1962）は、S波による研究にもとづいて、空間を四象限にわかつ2つの平面に何らの優劣はなく、震源ではこの2つの面に同等の2つの偶力がともに働いているはずであると主張した。このような4つの力を考えるのは、double couple つまりII型の考えといわれた。本多がdouble couple の考えに自信をもったのは、1930年の北伊豆地震のときに、左ずれの丹那断層のほか、その南端に右ずれの姫ノ湯断層がこれに斜交して生じたことを知ったからだ、後年語っている。

I型かII型かを解決する鍵は、S波や表面波の研究にあった。S波の方は、その初動の向きの判定がむずかしいところから、あまり決定的な結果はえられなかったが、表面波の方は、コンピュータの発達とともに、かなり明瞭な答をもたらした。これらの研究は同時に、円錐型か四象限型かの問題も解くこととなり、円錐型・I型・II型の3つのどれが正しいか、または実際の地震にはどれが多いのか、という問題が、1950年代の後半から盛んにおこなわれ始め、1960年代のなかばには、世界中の地震は、ほとんど全部II型であるということが判明するに至った。

前に円錐曲線で境を引いていたものは、地下構造が複雑なため地震波がまがって伝播したせい、押し引きの読みが必ずしも明確でなかったせいのようなのである。

円錐型やI型は否定されたけれども、弾性反発説はまちがっていたわけではない。丸山（1963）が証明したように、断層のずれが弾性反発によって起こるとすれば、震源に働く力はdouble couple になるのである。なぜそうなるかについては、筆者が別のところ（1973, p.123）に述べたことがあるけれども、それは、素人を納得させるための便宜的な説明であって、厳密に言えばよろしくない。正確には、丸山（1970）か金森（1974）の説明を読んでいただきたい。それによれば、double couple になるのは断層が有限だからである。

以上で地震は断層によって起こるということが、ますますはっきりしたのであるが、次に問題となるのは、なぜ地殻に働く力が断層となるのか、ということである。これについては、茂木（1967；1969）の破壊説というのがもっともらしい考えであろう。岩石が破壊するとき、ある程度高圧であれば必ず断層運動をするというのである。茂木によれば、地表にごく近い低圧部では、断層でなく節理をつくるはずであるから、昔松山が考えた

ように、円錐型押し引き分布を示すような“地震”が、実在しているのかもしれない。

3-3 断層面の大きさと断層運動の量

地震と断層とが対応しているとすれば、地震が大きいほど断層面の大きさか、断層運動の量か、どちらかが大きいはずである。まず、この2つのうちの前者の方であると予想して第1近似的に成功をおさめたのは、星野（1956）の見出した傾向と、飯田（1959）の導いた実験式であろう。断層面が大きければ、震源が地下にあるとも、その一部が地表に現われるはずであるから、地表地震断層の出現は、地震が大きいことを意味するわけである。そのことを示したのが星野であり、地表地震断層が長いほど地震が大きくなることを示したのが飯田であった。実際、ある種の震源モデルを仮定して算出された出現率は、星野の結果におよそ合っていることが、あとで指摘されている。

ところが地震波の発生は必ずしも単純なものではなく、断層面の大きさと断層運動の量との両方をあわせ考えなければ、地震波の諸性質を説明することはできない。地表地震断層およびその周辺の地表の変形を手がかりとして、断層面の長さや深さおよびずれなどを、弾性論にもとづいて求めることが可能である。初期の試みはいくつかあったが、かなり満足のゆく結果のえられた古典的な業績は、笠原（1957）の論文であるといえる。しかし、この段階では、断層面と断層運動との関係が簡単な場合に限られていた。くいちがいの弾性論の地震への適用という仕事が出現するにおよび、任意の場合について、断層面の形・大きさ・向きと、断層運動のずれとが求まるようになった。こうして地表地震断層が現われなくとも、地表の変形から直ちに、震源の断層が推定しうることになった。この問題について先鞭をつけたのは、丸山（1964）であった。このことについては第5節で再びとりあげることになる。

上に断層のずれと書いたのは、変位の大きさであったが、さらに進んで断層面に作用していたストレスが地震とともに急激に減少する量、つまり地震前のストレスから地震後のストレスを引いたもの（これを stress drop という）を地震波の解析から求めることができるようになった。いくつかの仮定の下に行なわれた初期の笠原などの試みについては、ここでも省くとして、もっともらしい求めかたの最初としては、安芸（1966）の新潟地震の例を挙げることができる。同じ方法でその後 BRUNE らは多くの地震について計算しているようである。（以上の記述は、笠原（1967）に負うところが大きい。）

地震波の解析の研究は、こうしてずればかりでなく

stress drop まで推定するようになったが、最近になり、巧妙な考えかたをもちいて、ずれの速さ、ないしその速さの変化を推定するまでになった。そのような研究が活発になったのは、BRUNE（1970）・金森（1972）の論文以来であって、現在でも盛んに行なわれている研究である。具体的な解説としては、金森（1974）の著書が判りやすい。

4. 活断層という概念

舞台は変って、地震屋から断層屋のいきさつに話を移す。こちらの方は、震源の探究の場合ほど劇的な顛末は見られないが、それでも緩慢ながら変化のうねりがある。その詳細は、松田・岡田（1968, p. 189~190）によくまとめられているので、それを読んでいただくとし、ここには再述しない。本節では、筆者の見解にもとづき、その中での主要な流れをとらえてみたいと思う。なお、活断層に限らず広くネオテクトニクスについては、池辺・成瀬（1968）のくわしい研究史がある。

4-1 断層地形論の功罪

明治・大正年代にあっては、濃尾地震や関東地震にともない地表に断層が現われたので、これらに強く刺激されて、それぞれの震央を中心とする地域の地質構造とくに断層の分布がよく調べられた。本文の初めにも述べたように、小藤（1893）は断層運動が地震の原因であろうと論じて、震源の問題に先駆的な指摘をした。しかし、関東地震に関しては、後に述べるように地表の変形が複雑であったためと、震源の断層が海底にあったためもあり、山崎直方^{まさ}はじめ多くの人々により、関東地方南部でいろいろな角度からの調査が進んだにもかかわらず、地震の全貌と結びつく断層系とはとらえられなかった。

その頃には、地震にともなう断層運動が長年の間くりかえされた結果、地質現象としての断層が生成されるということは、暗黙のうちに皆が認めていたもののようである。その中であって、水準点改測で知られる変動と地塊構造とを結びつけようとした山崎（1928）の所説は、一歩先んじたものといえよう。

大正の終りから昭和の初期にかけて、断層地形の研究が大変盛んであった時期があった。その中心は辻村太郎であったが、辻村ひとりがやっていたのではなく、かなり多くの人が同じような考え方で、断層地形をとりあつかっていた。なかでも、辻村の先輩にあたる山崎はとくに、断層地塊の考えを強く持っており、どの地域をとりあげても地塊の考えで処理してゆこうという気風があった。辻村もそれに近かったが、山崎よりはやや柔軟なとりあつかいで、いわば山崎の第1近似に対して、第2近

似のようなことをねらっていたと理解される。辻村（論文：1932；著書：1942・1943）の総括は、いろいろの意味で、この時期の終りを告げるものであったといえよう。

この時期の断層地形論については、いくつかの欠点があった。筆者はこれを次の3点に要約してみたい。

(1) 議論の根拠が明示されていない場合が多かった。なぜそれを断層地形というのか、著しい高度差が直線状につづいているからだとか、または全体の起伏や傾斜と無関係に谷が直線状につづいているからだとか、あるいはなぜそれらが断層運動によってできたと解釈されるのかとか、そういうことが客観的定量的に述べてあれば、誰でも納得したと思われるが、この時期の学風は著しく情緒的、感覚的であった。筆者はこの点をもっとも重大な欠陥だと考える。そのために折角の結論に発展性を与えることができなくなってしまったと思える。

(2) 断層地形に沿って地質学的に断層の露頭が観察されるかどうか、または地質学的に断層が推定されるかどうかについてあまり気にしていなかった。気にしたのかもしれないが、少なくともそのことを明確に記述していなかった。この欠点は、戦後になって、地質学者のみならず若い地形学者たちからも指摘され、断層の観察されていない断層地形などはナンセンスだと嘲笑されたものであった。しかし、今でこそ断層はその露頭の観察によって引かれるというのが常識になっているが、大正の終りから昭和の初期にかけての地質学界では、露頭の観察された断層というのは、かなり「近代的」なことでされていたのであって（たとえば、徳田，1934），地質図上のたいていの断層は、地層や岩体の連続が説明できないところに引かれていたものだったから、山崎・辻村らが地質学的断層をあまり気にかけていなかったとしても当然かもしれない。

(3) 時機が熟していなかったといえればそれまでであるが、水平横ずれ断層地形を、ほとんど見すごしていた。あとで述べるように、この点については、地形学者でなく新進の岩石学者であった久野（1936a）によって、画期的な研究がなされていたにもかかわらず、そのあとにつづくという風潮は全くなかった。地表地震断層に水平横ずれが多いという、過去の鍵としての現在を明瞭に意識していれば、こういうことにはならなかっただろう（後註2）。

このような欠点にもかかわらず、日本中の断層地形の有力候補をくまなく枚挙しておいたことは、高く評価すべきであり、現時点でもかなり役立っており、全然無駄

であったとする（たとえば今村，1961）には当たらないと思う。

ここで、この時期のあいだに断層地形とか活断層とかに関し、健全な見かたをしていた1例を挙げておこう。それは中村（1934）の議論である。中村は近畿中部における地質構造線という論文の中で、次のように述べている。「予等の探求せんとするのは地質学で認め得られる断層……であって、地形図上または実地の地形のみから決定せんとする断層ではない。」という一方、「地形から断層の存在を予想し、断層の延長は地形に従って描くこと」という章を設けて地形の重要性を力説している。また、緒言には「活躍する断層（われわれのいう活断層）を多くの地質構造線の中から選択して後来の活動性を予知することも可能」と述べ、最後に結語で「本篇に於て断層の活動性に就いて論ずる予定であったが、此の問題は地震に関係し、……。然るに近畿の地震資料の検討を未だ充分に行っていない故、」論じられなかったとも述べている。

このような中村の考えかたは、ほとんどそのままちょうど40年後に、藤田（1974a；その説明は1974b）の第四紀地殻変動図「近畿」に見事に具体化されているのを見ることができる。藤田は、活断層と微小地震の震源分布とのよい一致を図示しているのである。

4-2 垂直ずれより水平横ずれへ

小史の目的から、はずれるけれども、この機会に筆者の用語法を述べておきたい。変動のベクトルは一般に3次元空間内に考えられるので、垂直成分1つと水平成分2つとに分けることができる。それで地殻変動は垂直変動と水平変動とに便宜上分けて議論することが多い。前者は上下変動と呼ばれることがあるが、上下は後者の東西や南北に対応することばであると考えられるので、筆者は垂直変動といっている。断層運動のベクトルも垂直ずれ vertical slip (throw) と水平横ずれ strike slip と水平縦ずれ horizontal dip slip (heave) の3成分に分けられる。水平横ずれは断層面の走向に平行なもので、水平縦ずれはそれに直交する水平のものである（後註3）。ほとんど寝てしまった断層面上で、傾斜方向に動けば、水平縦ずれ成分が最大となるので、これは水平縦ずれ断層とってよい。以上はx-y-zの直交座標系で考えた場合である。

次にx-yだけの直交座標系で考えることもできる。それは断層面を座標軸面にしたときである。この場合、横軸・縦軸と同じ用語法で、strike-slip を単に横ずれ、dip-slip を単に縦ずれと呼ぶ。したがって上の水平横ずれと単なる横ずれとは全く同義であり、縦ずれは、垂直

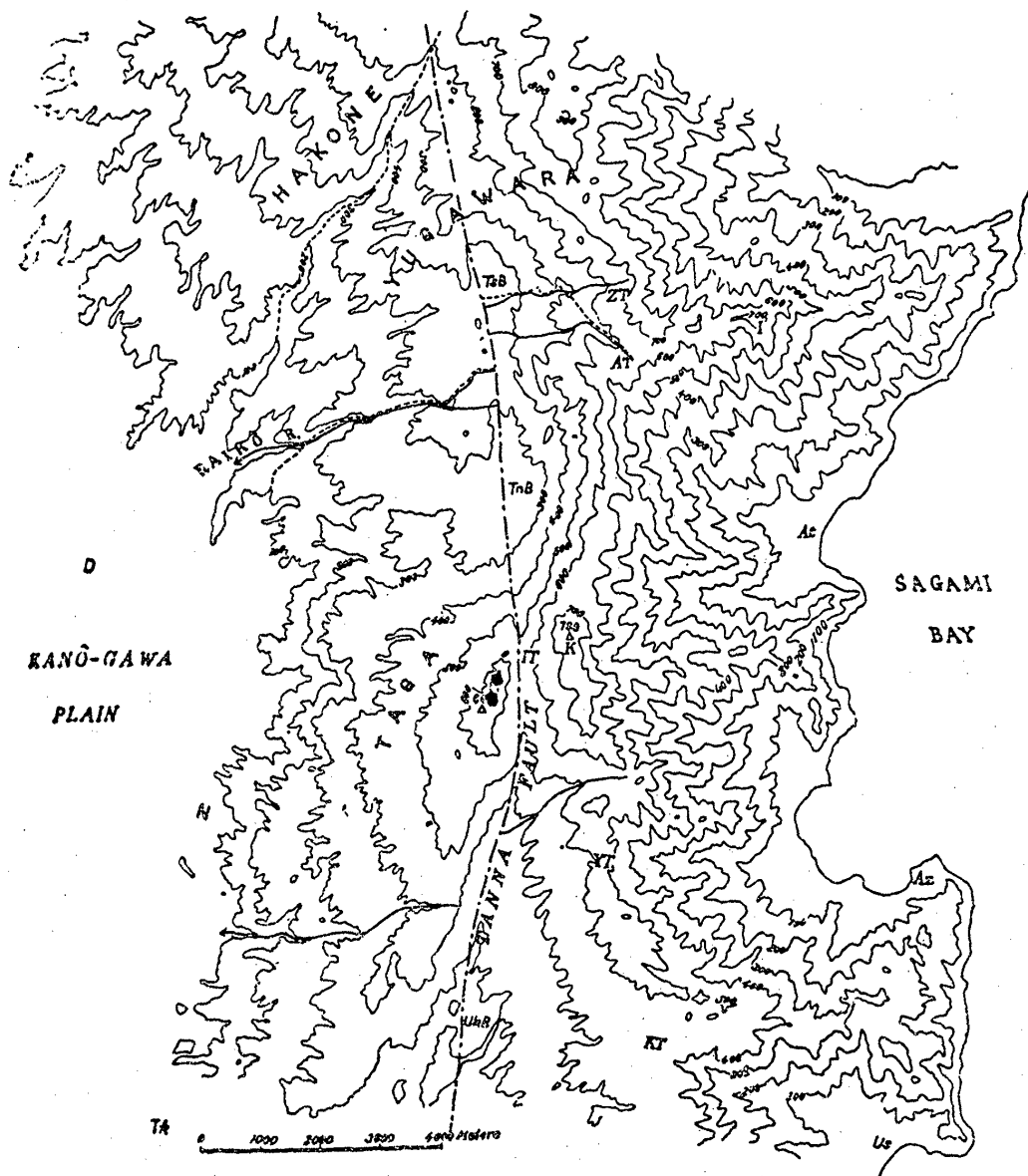
ずれと水平縦ずれとを合成したものである。正断層が展張、逆断層が短縮（引張りや圧縮ではない。ストレスでないことに注意。）をふくむというのは、自明のことながら水平縦ずれ成分の正負からきている命題である。

ここで断層屋の間では、断層面上で xy をとる、あとの名づけかたの方がひろく行われているが、実は断層面は垂直なものから水平なものまでいろいろな向きをもっているの、dip-slip 縦ずれといっても甚だしいときにはその変位ベクトルは 90° もちがうのである。そのことを考えて、筆者はどちらかといえば3次元の xyz で命名するやりかたをつかいたいとおもう。これは地震屋が押し引きをステレオ投影し偶力の向きを考えると xyz であらわすことはすぐにできるので、それとの対応も

明瞭であらう。

もちろん、名称などというものは、「地震断層」のことでもわかるように、便宜的習慣的なものであるから、どう呼ばなければならないということはなく、筆者はここで名前の提唱をしようとしているのではない。むしろ筆者が力説したいのは、断層屋が縦ずれという言葉で片づけずに、その垂直成分と水平成分との比を意識してほしいということである。

さて、横道にそれすぎてしまったが、本題にかえることにしよう。本項の標題は、研究者の注目する対象が、垂直ずれ断層だけから、かなりの程度、水平横ずれ断層へ移ったという意味であって、具体的な個々の断層そのものが、垂直ずれでなく水平横ずれであると判明したと



第3図 久野（1936b）が示した丹那断層による川の流路の横ずれ。

いう意味ではない。しかし、1960年代に入って、阿寺断層や中央構造線の一部などが、実際に、垂直ずれ成分よりも水平横ずれ成分の方が大きいことが判明したのも事実である。1960年から1970年の間は、まさに水平横ずれ断層大量発見の時期であったといえよう。この辺の事情は、杉村（1973, p. 107～181）のくわしい解説があるので、それを見ていただくことにするが、そのような時期に先立って、次の3つの研究が潜在していたことはぜひ述べておかなければならないだろう。

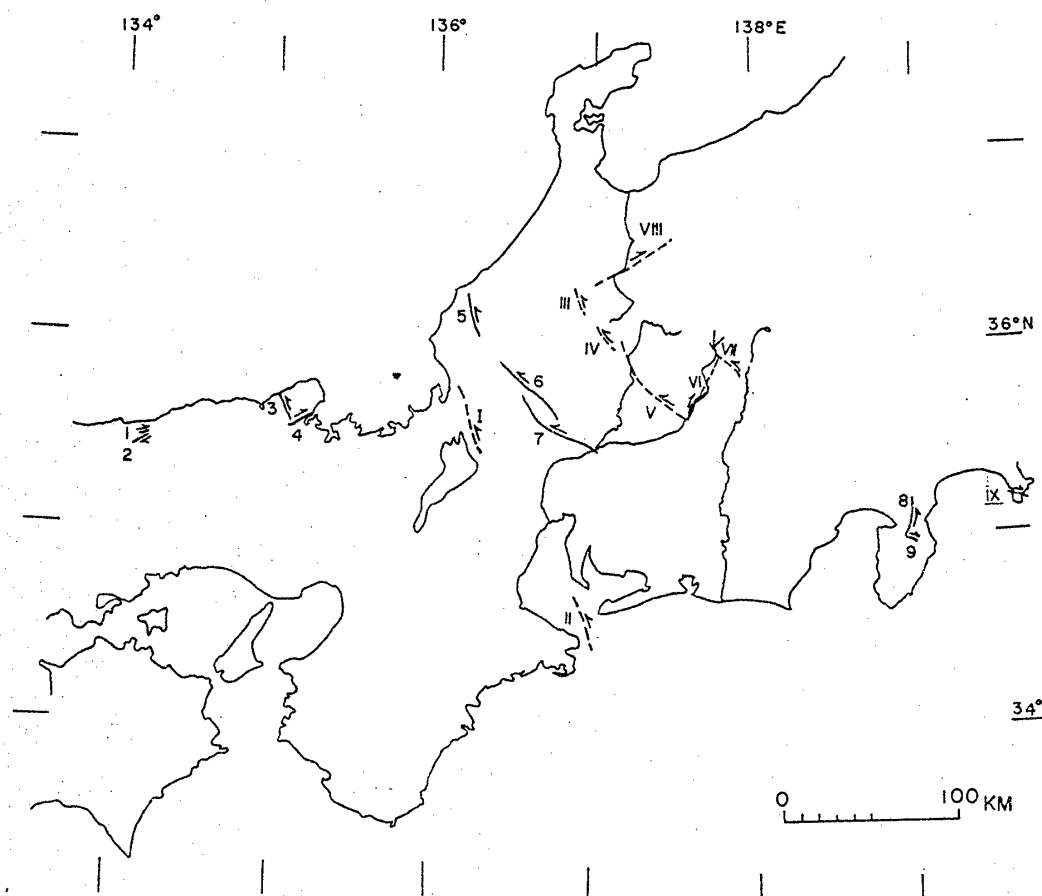
（1）久野（1936a；b）の丹那断層による川筋の鍵形のくいちがいに関する研究については、前にも挙げたように、画期的なものであったにもかかわらず、同種の研究が1960年代まで行なわれていない。たかが川のまがり（第3図）と見くびられていたのであろうが、ここには、「1つではなく、いくつもの川がどこでも同じ向きにまがっていて、それらが必ず断層線上にある」という根拠の明確さと、「変形がいつも同じ向きに進行する」という第四紀地殻変動のくせに関する勘のよさを、この研究に見出すべきだと考える。なお、大塚（1933）も、丹那断層の一部で川のずれにも

とづく左ずれを推定している。

（2）大塚（1936；著書：1942, 1952）の地表地震断層に関するまとめでは、水平横ずれ断層が過半数を占め、しかもこれらのずれの向きに地域的な規則性があるとしていることは、注目すべきことである。この、地域的な規則性については、実は大塚の独創ではなく、すでにそのころ学界で指摘されていたことのようなのであるが、上記のような大塚の唱導にもかかわらず、久野の研究と同じく、1960年代まであまり顧みられずに過ぎてきた。

（3）戦後になり、WELLMAN（1953；1955）の指摘以来、ニュージーランドでは河岸段丘の横ずれの研究が盛んになった。

1960年代になって、筆者らが活断層の研究に手をつけたときには、このような歴史的背景があったのである。個々の断層についてこの項の標題のような傾向があらわれただけでなく、広域的な水平横ずれ断層網（最初のもの：第4図）を考え、さらに地殻変動全体のなかでその位置づけをする（たとえば、藤田（1969）、藤田・岸本（1972）、杉村（1968；1971, p. 257～261）など）という



第4図 水平横ずれ活断層の規則正しい分布を最初に示したもの（杉村・松田，1965による；番号の説明は原論文にある）

段階にまで発展してきており、現在は垂直ずれより水平横ずれの時期を過ぎて、両者および水平縦ずれ成分を総合する方向へむかっているといえるのではないだろうか。もう1つ最近台頭してきた重力テクトニクスとの関係で、今残されている水平縦ずれ断層（おしかぶせ断層など）の問題も新しい方向かもしれない。

4-3 活き活きとした断層とは

活断層ということばに、かなり明瞭な定義を与えた最初は、多田（1927）であるとされているが、それによれば、「きわめて近き時代まで地殻運動をくりかえした断層であり、今後もお活動すべき可能性の大いなる断層」であるということになっている。その同じ多田（1968）は、当時をふりかえり、活断層ということばの由来が、Willis の中国（China）に関する論文で説いている active fault にあるように述べている。そこでは、地形にあらわれている断層は新しいものであるという考えに出発している由である。Active fault ということばそのものは、1906年以来サンアンドレアス断層に対して用いられたのがはじまりであろう。

ここで、「新しい」とか「きわめて近い時代」とかいう表現を、もう少し定量的にしようと思うのは、当然のなりゆきである。最近では、「第四紀、とくに第四紀後期に活動したことの断層は、活動しつつあるものと推定されるので、活断層と呼ばれる」（吉川ほか，1973，p. 396）というのが、比較的穏当な活断層の定義であるように思える。ここで、個々の断層について断層運動が何年ぐらい前、あるいは何万年前に起こったか、ということが問題になる。それがはっきりしてくれば、1つ1つの断層のどれが活断層で、どれが活断層でないか、ということとも明確に述べることができる。ところが、断層運動の年代測定は、一般的にいつて現在のところどうにもよい手段がないという状態で、よほどよい条件でもそなわらない限り、一般にはわからない。

そのようなことは、実は定義のために必要だというわけではなく、「活動しつつある」かどうかを知り、かつその活動度を知る上でどうしても必要なものであって、賞金を設けてでも、断層運動の年代測定の一般的な方法を開発したいものだと思う。歴史時代に起こった地震＝断層運動については、現にかなり明瞭な結論が得られている（松田，1975）ことからみても、年代を知ることが最重要問題の1つである。

5. 断層のひろがりや震源のひろがり

地震体積ということばがあるように、地震のエネルギーは断層面だけから発せられるものではなからう。断層

運動にともなう、かなり広い地域にわたり地表が変形することは、古くから知られていたばかりでなく、その変形が断層運動とは不可分のものであることが、最近になってはっきりしてきた。とくに、くいちがいの弾性論の適用により、関東地震のような傾いた断層面上の斜めの方向のずれによる地表の変形を算出することができるようになったのは大きな進歩である。第3節の終りの方で述べたように、丸山（1964）がその礎石となっている。これをもとにして、安藤（1971）は関東地震にともなう地表の変形を、相模湾の海底にある震源の断層運動のあらわれとして示した。このことは曲隆・曲降が、断層運動にともなうことがあるという意味で、実は地質学や地形学にとって注目すべきことであると考えられる。

普通の地学の教科書には、断層と褶曲・曲隆・曲降とをまず区分し、次にそれらを別々に説明している。断層には、せいぜい引曳り（drag）をとまなうことが述べてあるだけで、大規模な曲隆・曲降が断層運動にともなうことなどは、あまり記されていない。今後、これら2種の運動の間の関連は地質学・地形学でとりあげるべき課題ではあるまいか。

再び関東地震をとりあげるならば、安藤の明らかにした変形はさらに、関東地方南部全体、少なくとも三浦半島にひろがる活断層系にもおよんでいるという考えをもたらし（杉村，1974）。

くいちがいの弾性論では、くいちがいというのは、両側のブロックの変形の総体であって、断層面にそうずれただけではない（丸山，1969；1973）。そのため断層面すら変形してゆく。丸山の予想している断層面の変形は、左ずれの場合その両端がS字型にかたよってゆくというのであるが、それがまさに松田（1967）が経験的に得た「法則性」に一致していることは、興味深い。この末端のかたよりは、断層が有限だから生ずるのである。

丸山のことを借りれば、「力学的には断層末端の方が本質的である」のであって、これから先の新しい研究の方向としては、断層屋にとっても地震屋にとっても、末端の問題が重要視されなければならないと思う。断層が有限である以上、末端周辺でどんな歪を生じているかを明らかにしなければならないのである。地表地震断層で共役になっている場合は、丹後地震の山田断層も北伊豆地震の姫之湯断層も、ともに主な断層である郷村断層や丹那断層の末端から始まっているという点が1つの手がかりであろう。

6. 要約とあとがき

以上をまとめるつもりで、第1表をつくってみた。初

第1表 「断層と地震」研究史要約

地表地震断層を ともなった主な 地震	地震学的研究	ネオテクトニクス
1872 オーエン スバレー		
1891 濃尾	小藤 (1893) HOBBS (1907)	} 地震の断層説
1906 サンフラン シスコ	REID (1911) 弾性反発説 志田 (1917; 1921) 押し引き分布	
1923 関東		
1930 北伊豆	I型・II型・円錐 型応力が並立して いた時代	垂直ずれ断層地形 論隆盛の時代 久野 (1936) 丹那断 層の横ずれ地形 大塚 (1936) 地表地 震断層の規則性
1960 チリ		
1964 アラスカ	II型への定着と震 源断層の諸物理量 の解明の時代	水平横ずれ活断層 の大量発見の時代
1964 新潟		

め年表を作ろうと思ったが、そのためには筆者の調べがまだ不足のように感じたので、やめにし、将来年表を作る場合の根幹になると考えられるものを、大まかに要約することにした。

草稿は松田時彦・田中豊両氏に読んでいただき、いくつかのご指摘を得た。

〔後註1〕 null vector の向きは、ずれの向きと直交するので、震源断層の性格を端的にあらわしている点で便利であることを付言しておく。

〔後註2〕 断層地形の両側の高さに差がないと、はじめ一方が上がり、次に他方が上がるという、今から思うと少し滑稽にさえ感ずる解釈もあった。

〔後註3〕 断層の名前は、昔からの習慣（たとえば大塚, 1952, p. 130）にしたがい、つねにその最大成分で呼ぶことにする。

文 献

- 阿部勝征 (1974), 地震断層の運動. 科学, vol. 44, p. 139-145.
- AKI, K. (1966), Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964, part 2. Estimation of earthquake moment, released energy, and stress-strain drop from the G wave spectrum. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 44, p. 73-88.
- ANDO, M. (1971), A fault-origin model of the great Kanto earthquake of 1923 as deduced from geodetic data. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 49, p. 19-32.

- BRUNE, J.N. (1970), Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 75, p. 4997-5009.
- HOBBS, W. H. (1907), 「地震」(別項, 石本 (1935), p. 269 による)
- HONDA, H. (1931), On the initial motion and the types of the seismograms of the North Idu and the Itô earthquakes. *Geophys. Mag.*, vol. 4, p. 185-213.
- 本多弘吉 (1942), 地震波動. 193 p., 岩波書店, 東京.
- HONDA, H. (1962), Earthquake mechanism and seismic waves. *Jour. Physics Earth*, vol. 10, II, p. 1-97.
- 星野一男 (1956), 断層の観測された地震のマグニチュードについて. 地震, vol. 8, p. 160-162.
- HUZITA, K. (1969), Tectonic development of Southwest Japan in the Quaternary Period. *Jour. Geosci. Osaka City Univ.*, vol. 12, p. 53-70.
- 藤田和夫 (編) (1974a), 第四紀地殻変動図「近畿」. 構造図 3, 地質調査所.
- (1974b), 近畿地方の地質の特徴—主としてネオテクトニクスの立場から—. 土と基礎, vol. 22, X, 59-66.
- ・岸本兆方 (1972), 近畿のネオテクトニクスと地震活動. 科学, vol. 42, p. 422-430.
- IDA, K. (1959), Earthquake energy and earthquake fault. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, vol. 7, p. 98-107.
- 池辺展生・成瀬 洋 (1968), ネオテクトニクス研究史. 第四紀研究, vol. 7, p. 140-150.
- 今村学郎 (1961), 日本地形学批判. 横山次郎記念論文集, p. 333-337.
- ISHIMOTO, M. (1932), Existence d'une source quadruple au foyer sismique d'après l'étude de la distribution des mouvements initiaux des secousses sismiques. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 10, p. 449-471.
- (1933), La déformation de la croûte terrestre et la production des ondes sismique au foyer. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 11, p. 254-274.
- 石本巳四雄 (1935), 地震とその研究. 336 p., 古今書院, 東京.
- KANAMORI, H. (1972), Determination of effective tectonic stress associated with earthquake faulting: the Tottori earthquake of 1943. *Phys. Earth Planet. Interior*, vol. 5, p. 426.
- 金森博雄 (1974), 新しい地震観. 地球の物理 (日本物理学会編, 334 p., 丸善, 東京), p. 261-282.
- KASAHARA, K. (1957), The nature of seismic origins as inferred from seismological and geodetic observations (I). *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 35, p. 473-532.
- 笠原慶一 (1959), 地震の科学. 186 p., 恒星社厚生閣, 東京.
- (1967), 地震断層の諸問題. 地震, vol. 20, IV, 166-172.
- KAWASUMI, H. (1933), Study on the propagation of seismic waves (the second paper). *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 11, p. 403-453.
- Koro, B. (1893), On the cause of the great earthquake in central Japan, 1891. *Jour. Coll. Sci. Imp. Univ.*

- Japan*, vol. 5, p. 295-353.
- 久野 久 (1936a), 最近の地質時代における丹那断層の運動について. 地理評, vol. 12, p. 18-32.
- KUNO, H. (1936b), On the displacement of the Tanna fault since the Pleistocene. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 14, p. 619-631.
- MARUYAMA, T. (1963), On the force equivalents of dynamical elastic dislocations with reference to the earthquake mechanism. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 41, p. 467-486.
- (1964), Static elastic dislocations in an infinite and semiinfinite medium. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 42, 289-368.
- (1969), Stress fields in the neighborhood of a crack. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 47, p. 1-29.
- 丸山卓男 (1970), 地震波源の断層模型—地震現象解明のために—. 科学, vol. 40, p. 129-137.
- (1973), 断層地震の波源モデル. 関東地震50周年論文集, p. 147-165.
- 松田時彦 (1967), 地震の地質学. 地震, vol. 20, IV, p. 230-235.
- (1969), 活断層と大地震—地震現象解明のために—. 科学, vol. 39, p. 398-407.
- (1975), 活断層から発生する地震の規模と周期について. 地震, vol. 28, p. 269-283.
- ・岡田篤正 (1968), 活断層. 第四紀研究, vol. 7, 188-199.
- MOGI, K. (1967), Earthquakes and fractures. *Tectonophysics*, vol. 5, p. 35-55.
- 茂木清夫 (1969), 岩石破壊実験—地震現象解明のために—. 科学, vol. 39, p. 95-102.
- 中村新太郎 (1934), 近畿中部における地質構造線. 地球, vol. 22, p. 155-163; p. 328-337.
- 小川琢治 (1929), 地質現象の新解釈. 745 p., 古今書院, 東京.
- OTUKA, Y. (1933), The geomorphology and geology of northern Idu Peninsula, the earthquake fissures of Nov. 26, 1930, and the pre- and post-seismic crust deformations. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 11, III, p. 530-574.
- 大塚弥之助 (1936a), 昭和10年4月21日台湾中部地方に起こった地震に伴える地震断層. 地震研彙報別冊, vol. 3, p. 22-74.
- (1936b), 地震断層の諸特徴 (講演要旨). 地質雑, vol. 43, p. 417.
- (1942), 日本の地質構造. 272 p., 同文書院, 東京.
- (1952), 地質構造とその研究. 275 p., 朋文堂, 東京.
- REID, H.F. (1911), The elastic rebound theory of earthquakes. *Univ. Calif. (Berkeley) Publ. Geol. Sci.*, vol. 6, p. 413-444.
- 志田 順 (1917), (題不明). 東京数学物理学会講演.
- (1921), 地震学の最近. 上賀茂地震観測所における講演資料.
- 杉村 新 (1968), 第四紀テクトニクス序説. 第四紀研究, vol. 7, p. 119-126.
- (1971), 構造運動. 第四紀 (羽鳥謙三・柴崎達雄編, 348 p., 共立出版, 東京), p. 237-268.
- (1973), 大地の動きをさぐる. 236 p., 岩波書店, 東京.
- (1974), 関東地震と活断層. 関東地方の地震と地殻変動 (垣見俊弘・鈴木尉元編, 279 p., ラティス, 東京), p. 157-174.
- SUGIMURA, A. & MATSUDA, T. (1965), Atera fault and its displacement vectors. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 76, V, p. 509-522.
- 多田文男 (1927), 活断層の2種類. 地理評, vol. 3, p. 990.
- (1968), わが国におけるネオテクトニクス研究とその応用面. 第四紀研究, vol. 7, p. 137-139.
- 棚橋嘉市 (1931), 昭和6年6月2日本州中部に発生した深層地震について. 海と空, vol. 11, p. 277-288.
- 徳田貞一 (1934), 日本地体構造序論. 岩波講座, 岩波書店, 東京.
- 辻村太郎 (1932), 東北日本の断層盆地. 地理評, vol. 8, p. 641-658; p. 747-760; p. 977-992 (このうち, p. 641-658 は8号にも同じページあり, この論文は9号の p. 641-658).
- (1942), 断層地形論考. 397 p., 古今書院, 東京.
- (1943), 断層地形図説. 75 p., 古今書院, 東京.
- WELLMAN, H.W. (1953), Data for the study of Recent and late Pleistocene faulting in the South Island of New Zealand. *N.Z. Jour. Sci. Tech., B*, vol. 34, p. 271-288.
- (1955), New Zealand Quaternary tectonics. *Geol. Rundschau*, vol. 43, p. 248-256.
- 山崎直方 (1928), 地塊運動の緩急. 日本学術協会報, vol. 4, p. 12-17.
- 吉川虎雄・杉村 新・貝塚爽平・太田陽子・阪口 豊 (1973), 新編日本地形論. 415 p., 東大出版会, 東京.
- 吉山良一 (1961), 昭和36年8月19日白山国定公園付近に発生した地震の調査概報. 地震研彙報, vol. 39, p. 849-856.

Critical Review on Seismotectonic Researches on Faults

Arata SUGIMURA

(Abstract)

A fault was just a geological term until the end of the last century and has long been defined as a fracture surface against which the rock bodies have been relatively displaced. On the other hand, an earthquake has been regarded as the passage of the vibrations that spread out from the source of sudden disturbance of rocks caused by an unknown mechanism.

The widespread view in the first half of this century seems to be that the researches may be carried on independently both on faults and on earthquake foci.

There was even a strong view that the earthquakes might be caused by some earth movements other than faultings.

Recently, however, it is established that the earthquakes are due to sudden earth movements along faults. In this paper, a short history of seismological researches and neotectonic researches on faults is dealt with, so that the evolution of the idea that the cause of earthquakes is nothing but a faulting could be realized.
