

地殻活構造の研究

垣見俊弘

1. 地殻活構造とは

1年以上も前から始まり 今なお活動をやめず 連日のように新聞・テレビに報導されている松代群発地震のために 地殻が文字通り「揺れ動く大地」であることを 今日ほどわれわれに強く印象づけられた時代はないであろう。「動かざること山の如し」と 武田信玄の旗印にされた時代とは えらい違いである。

地震や活火山ほど派手な 目に見える変化ではないが 水準点や三角点の測量を 長い間にくり返してみると 地殻は平時でも わずかずつだが確実に 上ったり下ったりしていることが明らかにされている。

このような現象をいろいろ集めて整理してみると 地殻の現在の構造や動きは 過去の地質時代の地殻変動と密接な関係をもっていることがわかってきた。

ところで 地質構造は それができた時代の新・旧によって そのおもむきが大きいに違っている。

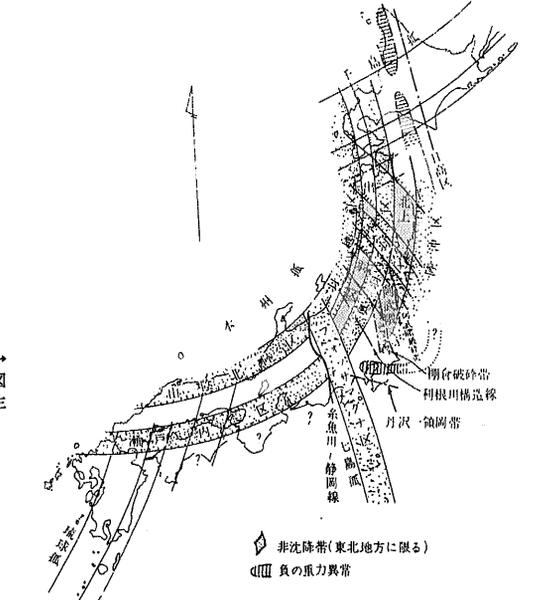
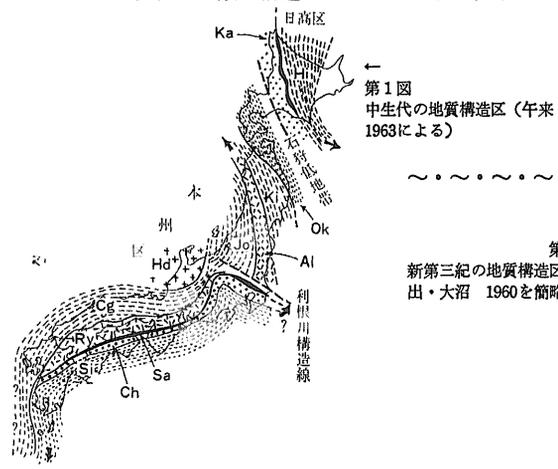
第1図と第2図を比較してみていただきたい。第1図は中生代の末にほぼ**でき上がった**構造であり 第2図は新第三紀のはじめ(今から約2,500万年前)から**始まった**構造である。第2図は コンパスと定規で書いたような図だが 大勢はよくつかまえている。地質の専門家は 日本列島の構造をこんな風に描いて 頭の中に入れていって差支えないであろう。

新しい地殻の動きは 大体において 新第三紀のはじめに発生した運動が 今日にひきつがれたものが多い。したがって 現在の地殻の構造をしらべるとき すくな

くとも新第三紀にまでさかのぼって眺める必要がある。そうでないと 現在の構造の規則性や “なぜそう動くのか” といった疑問がうまく解決できないであろう。

ここに 極端な例をあげてみよう。第3図は 1946年~56年の間の地表の垂直の動きを示した図であるが これは 地質時代から今日までに積算された地殻の動き(第4図)とは大分おもむきがちがっている。第3図で 新潟平野と常磐炭田に大きなマイナスの異常一沈下した部分一がみられるからといって 新潟一常磐をむすぶ一大“沈降帯”を考えたとしたら それはとんでもない誤りだ。新潟と常磐の地下構造は お互に何の関係もない。タネをあかせば 2つの地域は それぞれ別の人工的原因でおこった“地盤沈下”の現象を示しているにすぎない。

これほど極端でなくても 現在の地殻の短期間の動きは 過去の一地質時代の一動きとは必ずしも一致していない場合がしばしばある。多分 地殻はゆっくりした振り子のように振動的に動いていて 場所によっては過去の行きすぎを埋め合せるような動きをしているからであろう。ところが 地震研究所の松田氏によると 大地震による地殻変動一隆起や沈降 傾動 断層などの動き一をみると ほとんど例外なく 長い地質時代を通じ



◆ 非沈降帯(東北地方に限る)
□ 負の重力異常

て蓄積されてきた地殻の構造をさらに強めるような傾向一たとえば大地震で地盤が傾動する場合ならばその場所の地層の傾斜をさらに増すような方向一に動いているという。将来の地殻変動を予測したりする場合過去の地質構造に十分注意しなければならないわけである。

さてこのように新第三紀以来の地質構造はそれ以前の構造とはちがっていてしかも現在の地殻の動きにつながるものであるところからこれだけを何億年にもわたって発達してきた地質構造から一応切りはなして重点的に研究しようとする気運が世界的に高まってきた。地質構造一般が Geotectonics と呼ばれるところからこの研究分野は Neotectonics と呼ばれるようになった。日本でもここ数年の間に Neotectonics への関心が急に高まってきた。地質調査所にも去年“地殻活構造グループ”が誕生した。

“活構造”というのは東大の杉村氏が提唱した“Neotectonics”の日本語訳である。活断層や活褶曲などのことばがすでに使われているのでこれらを含めた新しい地質構造全体について“生きている地質構造”という意味を含ませたのだという。

参考までにいうと Neotectonics には新生代の地質構造という意味も含まれている。同様に Paleotectonics—古生代の構造—や Mesotectonics—中生代の構造—もあるのだが Neotectonics は現在につながる構造という点からそれらとはちがったニュアンスで使われている。したがって新第三紀以降の構造の中でもとくに第4紀のそれがより現在に近いという点で重くみられる傾向がある。日本では Neotectonics という第四紀の地質構造と思っている人もいる。

日本は世界にその例をみないほど現在の地殻変動がはげしいところである。たとえば全世界で発生する地震エネルギーのうち1割以上がせまい日本の近く

で発散しているとさえいわれている。だから日本の活構造を明らかにすることは世界の学者達から大いに期待されている。

2. 地震と地殻活構造

地殻活構造の研究は地震・火山・地すべりなどの地質現象 金属・石油・天然ガスなど資源濃集の法則性を明らかにするうえで重要な役割りを果たす。反対にまたこのような現象から活構造自身もあきらかにされてくる。

ここでは最近もっとも注目されている地震と活構造との“もちつたれつ”の関係をとり上げてみよう。

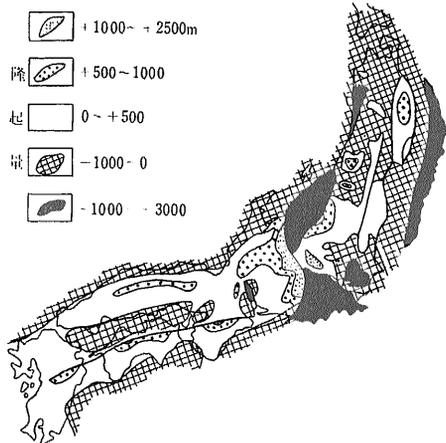
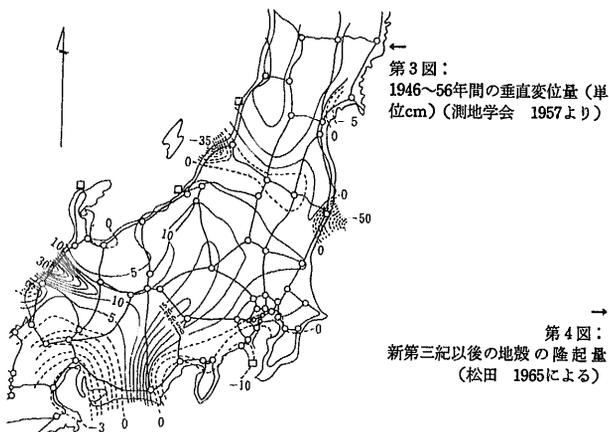
地学に興味のある人なら誰でも次のことは知ってよう。

- 1) 日本は特別地震の多い国で地球全体からみると環太平洋地震帯に属する
- 2) この地帯のなかでも太平洋西側には孤状列島が発達している日本は孤状列島からなっている

孤状列島は新第三紀以後に発達した典型的な活構造地帯なのである。

次に日本とその近海に限ってみると地震の発生数は日本中一様ではないことがわかる(第5図)。第1に東北日本と西南日本とでは分布の様子が大分ちがっているし東北日本では震央の密集部は陸上よりも東側にずれて分布している。さらに密集部をよくみると三陸沖のあたりで南北の2つに分れそうである。

ところがわれわれにとって関心のふかい破壊的地震(震源が浅くて規模の大きな地震)の分布(第6図)となると第5図とはまた違っている。東北の日本海側や紀伊半島沖など地震の発生頻度としては割にすくない所に破壊的地震はむしろ起こりやすいといえそうであ





← 第5図
日本付近のおもな地震の震央
(1900~1950年) (深発地震を除く)



→ 第6図：
破壊的地震の分布 (697~1969年)
(河角 1961による)
黒点の大小は 規模の大小を示す



る。

今度は 1つ1つの地震がどのような起こり方をして
いるかを調べてみよう。地震のおこり方は 大ざっぱ
にいうと

- ① 前震がなく 大きな地震(主震)が突然おこる——単発型
- ② 主震の前後に小規模な地震を伴う——前震・余震型
- ③ 主震といえるものがなく 地震の回数と大きさが次第に増
加し 後次第に減少する——群発地震型

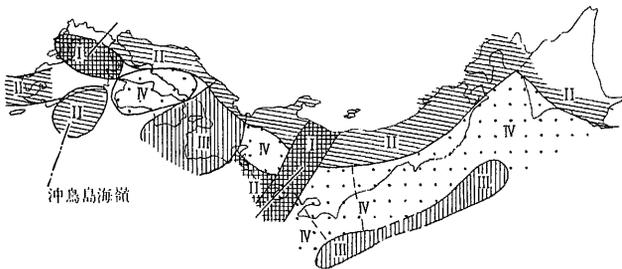
に分けられる。地震研究所の茂木氏は このような地
震のおこり方は 地殻の構造のちがいによるもので ①
②③の順序で 地殻の構造がより不均一になっていると
いう仮説をたてた。これは 均一さのちがういろいろ
な物質を破壊したときに発生する 弾性衝激波のおこり
方から類推したのである。彼は 日本中の浅い(地殻
の中の)地震のおこり方が 地域によって違うことを過
去の記録でたしかめ それから 第7図に示す日本の地
殻の破碎度—複雑さの程度といってもよい—を画いた。
この図をみると 地質家が画いた構造図(第2図)とよ
く似ていることがおわかりであろう。第8図ではもっ
とも構造の複雑なのはフオツサマグナ地域 次いで日本
海をとりまく地域になっている。この地域は 地質家
によりグリーン・タフ(緑色凝灰岩)地域とよばれ 新第
三紀の始めから 激しい火山活動と共に 地殻が沈降—
上昇をくりかえしたところと一致している。松代群発

地震がIの地域にあっているのは偶然でない。

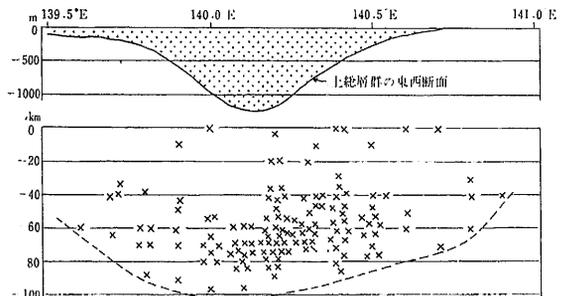
一方 北上や阿武隈山地では 古生層や中生層は激し
くもめており 地質的には グリーン・タフ地域の新第三
紀層よりもはるかに複雑な構造をもっているはずだが
第7図ではむしろ単純なところとされている。第7図
は 地震学的にみた地殻の構造をあらわしていることに
注意しよう。北上山地などの複雑に褶曲した古生層
中生層地帯は 現在は“死んだ構造”を示しているのに
すぎないのであろう。事実 この地域の新第三紀層は
ほとんど褶曲していない。第7図はしたがって 一種
の活構造図とみることができる。

もう少し範囲をせばめてみよう。第8図は 地質調
査所の鈴木氏が見つけた 関東平野におこった地震の震
源を垂直に投影した図である。地震の発生する場が関
東平野の沈降をあらわす上総層群(第4紀層)の断面と
相似形をなしていることがわかる。関東の地震の発生
は関東平野の沈降と無関係ではなさそうである。

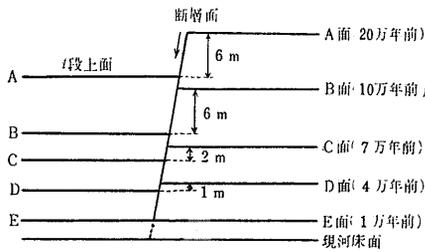
最近「地震予知」の必要性が叫ばれるようになってき
た。このためには まず 地震と地殻活構造の関係を
それぞれの地域の特性として 具体的にとらえなければ
実的なものとはなり得ないであろう。第7図や第8
図をみただけでも たとえば関東でおこる地震と フオ
ツサマグナ地域でおこる地震とは そのおこり方もよほ
どちがってくるらしいことは 想像にかたくない。



第7図：地震のおこり方から推定された 日本付近の地殻の構造
(茂木 1964による)
数字は小さいほど破碎度のいちじるしいことを示す



第8図：関東地方の震源の東西断面 (鈴木 1964による)



第9図：活断層の調査法

さきにも述べたが 最近の水準点変動だけから いつ地震がおこり どのような地変がおこるかは 予測しにくい。地震というのは 多分 地下に徐々にたくわえられた歪のエネルギーが 地殻の破壊によって 一挙に発散する現象であろう。だとすると 地震の発生や地変の予知には 最近の地形変動が 何万年にもわたる地質学的な変動の傾向から どれだけズレたかを検討する方がむしろ重要だという気がする。

地震発生そのものの「予知」ではなく 被害のおこり方を「予知」することも大切である。これにも地殻の活構造を詳しく知っておくことが必要なのは いうまでもない。活構造の研究はむしろこの方面にこそ役立つべきだという人もいる。

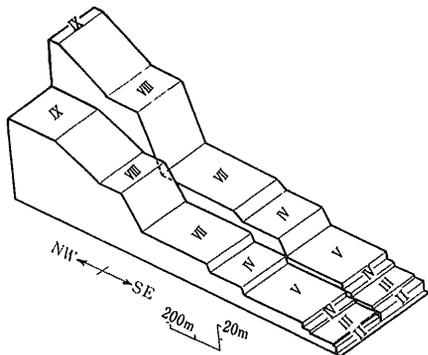
3. 活構造の研究の仕方

地殻の構造は 測地学 地球物理学 地質学の手法を総合的に用いて はじめてあきらかにされる。

測地学的な手法とは 水準測量や三角測量・検潮を繰り返しおこなって 地表面の垂直・水平変位 傾斜の変化を求めることである。地球物理学的には 地震以外にも 重力・地磁気 熱流量の測定などの手法がある。

筆者は 地質が専門なので 地質学的手法について やや詳しく紹介してみよう。

地質学的手法といっても 活構造を明らかにするうえで もっとも基礎的で重要なのは 普通の地質調査によって 堆積物や地層の性質 地史 古地理や地質構造の



第10図A：阿寺断層に切られた段丘面と段丘崖を示す模式図

変せんそのものをしらべることである。地殻の変形は地層の厚さの変化 海陸分布の変化などにきわめて敏感にあらわれてくるからである。第2図や第3図はこのような手法で 大ざっぱに推定された 一種の活構造図といえよう。

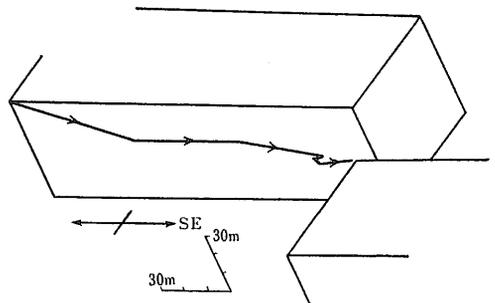
ここでは 直接に活構造を明らかにすることを目的とした手法の2～3について紹介しよう。

1) 活断層の研究

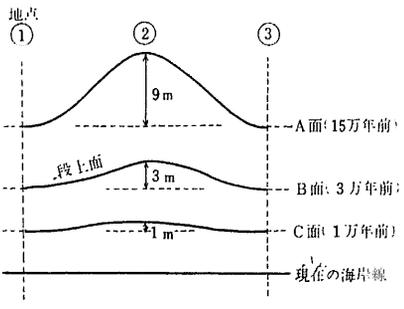
地質図にあらわれた大きな断層は 一般には一度に生じたものではなく 地質時代に何度も活動した結果 現在の大きな落差となったものである。大地震によって生じた地震断層も 地質時代にできた断層(地質断層)の再活動であることが多い。地質断層のうちでも ごく最近まで活断を続けた形跡のある断層と 地震断層を含めて 活断層という。活断層のなかでも 新旧関係のわかっている地形——たとえば段丘——を切っている場合には それぞれの地形を切る断層の落差のちがいをから 過去のある時期の変位量を次々に計算することができる。それを第9図で説明しよう。

まず段丘面A・B……Eのできた時代をしらべる。また 断層の両側で同じ時代にできた面を対比する。次いでA・B……E段丘面の 断層の両側での落差を比較する。それらが かりに第9図のようだったとすれば 次のことがわかるだろう。

- ① 断層はE面を切っていないから この断層は1万年まえから現在までは活動していない
- ② D面での落差は1m C面では2mだから C面ができてからD面ができるまでの間に1mの落差が生じたことになる ゆえに C面ができてからE面ができるまでの6年間には 断層の平均の変位率は変らなかつたことになる
- ③ 次にB面の落差のうち C面時代以降の落差を差引くと BとCとの間の3万年に動いた量がでる この図では4mであるから CとD DとEのそれぞれ3万年に動いた量1mにくらべて 4倍の値をもつ すなわち B-C間には C-E間に比べて4倍の平均“スピード”で動いたことになる。



第10図B：阿寺断層の変位量(矢印)(杉村 松田 1965による)



第11図：活褶曲の調査法

④ さいごに A面の落差は B面の落差 すなわち B時代以後に動いた量にひとしい よってA—B間の時代にはこの断層は動かなかったと考えられる

実際には とても第9図のようにはいかない。今のところは 段丘面のできた時代がわかるのは幸運な場合だけである。 落差も 一般には水平と垂直の合成された方向であるから 解析は複雑になってくる。断層に切られる前はどことどこがくっついてたかを推定するのはむづかしい。第10図は それが実測された まれな例である。

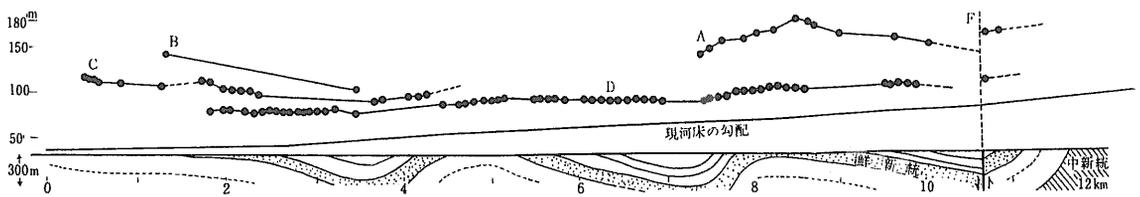
2) 活褶曲の研究

最近の地質時代に 地殻が連続的な変形をしている地域を活褶曲地域という。

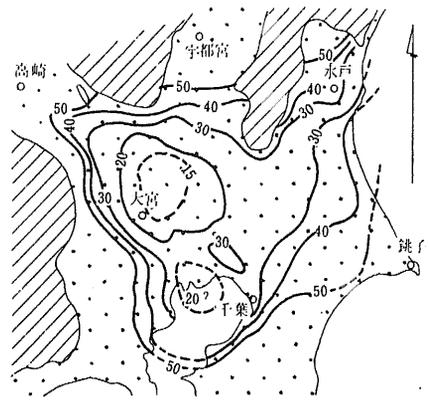
活褶曲の変形の量やその速さは 沈降している地域では 地層の厚さと 地層が堆積した当時の水底の深さによって計算される。たとえば 海拔100mのある地点で 第四紀層の厚さが1,000mあって その基底の地層が400mの水深を示す堆積物からなっているとすれば この地点の地殻は 第4紀の間にさしひき500m沈降したことになる。

一方 隆起している場所では 地形学と地質学の手法を併用する必要がある。 そのよい例が 段丘変形の研究で 現在の段丘面の地形から 段丘が作られた時の地形を差引いた分が 地殻の変形量をあらわすことになる。

第11図で原理的なことを説明しよう。 ごくかんたんに考えて A・B・Cの段丘は ① ② ③ の地点でももとは同じ高さであった(たとえば昔の汀であった)としよう。 A・B・C面の現在の高さを測量し 地点①と②の高さのちがいが 図のようであるとすると 地点①と②の間での地殻変形量は



第12図：山形県小国川にそう地質構造と段丘面の変形(杉村 1952による) A・B・C・Dの順で 段丘面の時代が新しくなる



第13図：下末吉面の海拔高度(m) (貝塚 1958から作図した)

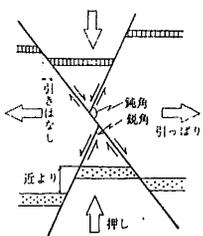
- A—B間では 6m/12万年
- B—C間では 2m/2万年
- C—現在では 1m/1万年

結局 この地域では B時代から現在まで3万年間の地殻の変形は A時代からB時代までの12万年間にくらべると 2倍の速さで進行したことがわかる。

実際には 段丘面の時代決定がむづかしいうえ 現在の地形から差引かなければならない 段丘形成時の地形をきめるのが なかなか厄介である。

第12図は 河岸段丘での段丘変形を示したものである。この場合は 現在の地形から 段丘面ができた当時の河川勾配を差引いて考えねばならない。ここでは 現在の川の勾配を参考に示してある。この図によると 段丘面が 基盤をなす新第三紀層の褶曲と同じような傾向で変形しており しかも古い段丘ほど変形量が大きくなることが読みとれる。 結局 新第三紀層を褶曲させたと同じ地殻変動が 現在まで連続しておこっていることを示している(ついでながら F地点の断層は Aの段丘を切る活断層であることもわかる)。

第13図は 関東地方に広く発達する下末吉段丘面の現在の高さを示した図である。 下末吉面は海面すれすれの所にできたと考えられているから できた当時は 高さのちがいはあまりなかったであろう。したがって第13図は 下末吉面ができた当時(約10万年前とみられる)から現在までに どれだけ高低差ができたかを示している(この場合 隆起・沈降の絶対量を出すには当時の海面の高さを引いてやらねばならない)。この図から



第14図：断層と応力との関係の1例

関東平野は ここ10万年ほどの間に 周辺部と中心部との間に 少なくとも20m以上の高低差を生ずるほどの“造盆地運動”を行なっていることが読みとれる。

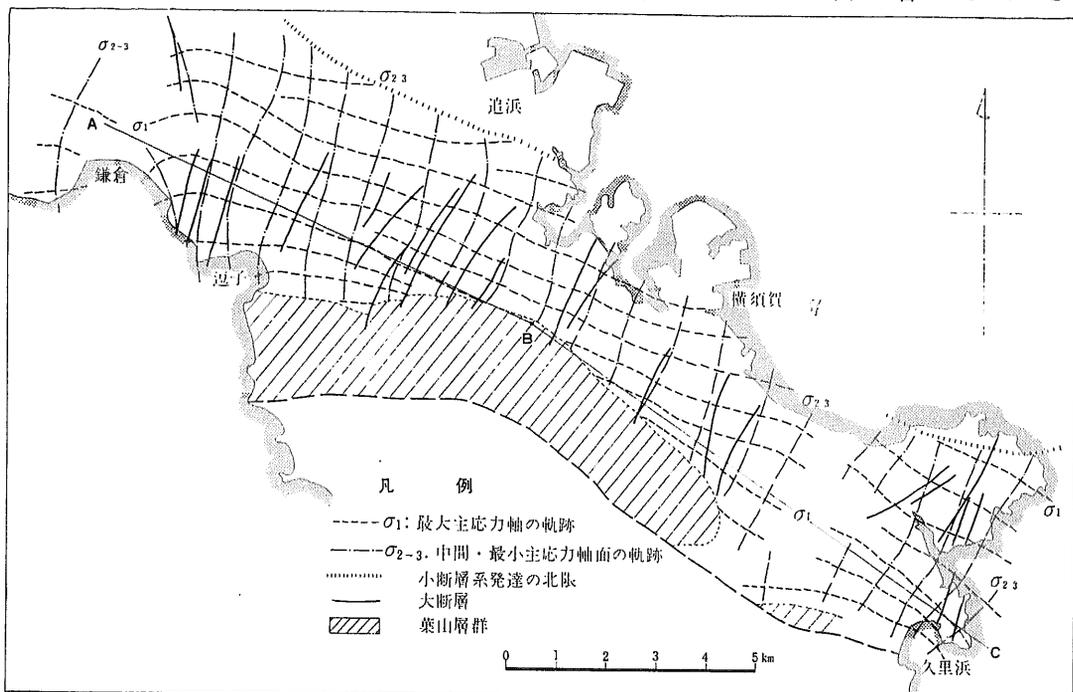
3) 地殻に働く応力場の変せんの研究

隆起・沈降・褶曲・断層など 地殻をつくる物質が変形や破壊するには 応力が必要である。地球上に磁場や重力の場があるように 地殻の中には応力の場が考えられる。応力場の性質と 岩石の物理的性質の両方から その場所の地殻の変形や破壊の性格が定まる。逆に地層の変形・破壊の仕方をしらべることによって 過去の地殻にかかっていた応力の場を推定することができる。応力の場を研究するには 地層の中に多くみられる 節理・小断層・小褶曲などを手がかりとする。これらの小構造は その場所にかかっていた応力と一定の関係をもって 規則的に生じている。

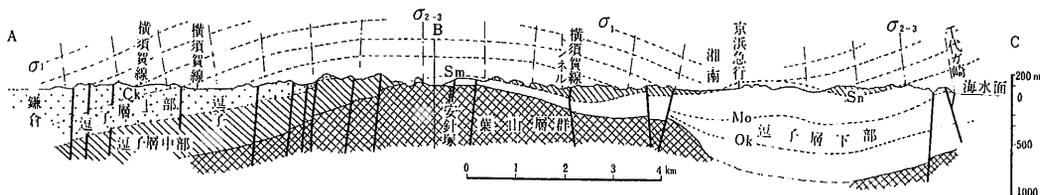
1例をあげると 同時期に生じた 落しの向きの反対な1組の正断層系(第14図)があるとすれば この断層の交わりの角度のうち 鋭角を2等分する方向では 相対的な押しの応力が最大となる。鈍角を2等分する方向は 相対的な引っ張り応力が最大の方向と一致する。交わりの角度は 応力が一定ならば岩質によって変わり岩質が一定ならば応力状態とある関係で変化する。

このような小構造を使って それがつくられた時代の応力場を復元し また別の小構造をつかって その場所にかかっていた応力場が どのように変化したかを明らかにすることもできる。小構造は 応力の化石といってもよいであろう。

第15図は 三浦半島北部に発達する小断層のうち おそらく第四紀中頃に発生した正断層系から復元した応力場である。平面図によると この断層系のできた時代には 基盤(葉山層群)の延長方向にほぼ平行な 引っ張りの応力場があったことがわかる。断面図からはこのような応力場が—また 正断層系自身も—葉山層群の隆起と密接な関係をもって発生したものであることが推定される。なお 図には書いてないが この地



第15図(A)：三浦半島北部の小断層(正断層系)から求めた応力場(垣見・平山・影山1966による)：平面図



第15図(B)：同上断面図

域には 正断層系よりも古い 逆断層系もあって それからは 正断層系の応力場とは全くちがった応力場があったことがわかっている。

この研究の分野は 始まってから日が浅く いろいろわからない点が多い。天然の岩石が地下深い所で どのような応力でどのような変形や破壊をするかは 実際の岩石で確かめる必要がある。地質調査所でもやっと今年になって 高圧試験機が入り このような実験をはじめたばかりである。一方 広い地域で 外からいろいろな力がかけられたとき どのような応力場ができ 地殻がどのように反応するかは モデル実験や計算によって求めなければならない。日本では この種の試みは 残念ながらまだほとんどなされていないといっている。

ところで 現在の地殻にかかっている応力場は どうやって調べるのだろうか？

間接的には 水準点変動の向きと量や 地震断層の動き方などから 計算によって推定されている。

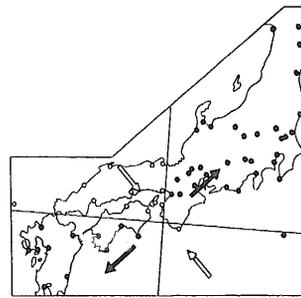
もう一つ 地震の初動分布から直接に推定する方法がある。震源から地震波がいろいろな方向の観測点に伝わって行く。各観測点で感じた たて波(P波)の最初のショックが 震源から離れる方向におこった(押し波)か 震源へ近よる方向におこった(引き波)かを調べ その地震の初動分布図を画いてみる。浅い地震では 第16図のように 震源でほぼ直交する 2本の直線によって 4地域に分けることのできるものが多い。これから この地震の発生するときには 第16図の太い矢印の方向に応力がかかっていたと考えることができる。

たくさんの地震から求めてみると 初動分布の様式もある範囲内ではほぼ一定し 地域性があるとみとめられこれから 現在の地殻にかかっている応力場を求めることができる。

地質時代の応力場と 現在のそれとが どんな関係にあるかは 大いに興味もたれる。だがそれが実現するのはまだ先のことである。地質の側からはもっと広範囲の資料を出す必要があり 地震の側ではもっと局地的な細かい資料が必要である。

4. む す び——活構造図について——

今までのべた いろいろな手法で明らかにした 地殻の活構造を表現した図を 活構造図(Neotectonic map)という。第2図 4図 7図 15図などは それぞれの立場からみた “一種の” 活構造図であるが 各種の資料を総合的にあらわした活構造図は 日本ではまだ作られていない。



第16図：
地震のP波初動分布(市川1965による)
・押し波
○引き波

最近 国連の組織のなかで 世界中の資料をあつめて 活構造図と地震構造図(Seismo-tectonic map)を作ろうという動きがあり 日本も参加して資料を集めている。

ソ連では この集りの世話役をつとめるだけあって 大分まえから総合的な活構造図ができています。きれいな図面だが 色刷りなので紹介できない。

われわれの経験や ソ連の図などを参考にする 日本活構造図には 次のような資料を盛り込みたいものである。

- ・新第三紀以来の隆起・沈降量(等高線と色で示す)
- ・新第三紀以来の地質構造区の境界
- ・新第三紀以来の主要な岩相の地域区分(堆積岩・酸性火山岩・中性火山岩・塩基性火山岩・侵入岩地域などをハッチで示す)
- ・新第三紀以来の断層 褶曲軸
- ・第四紀の各時代の海陸分布(海岸線)
- ・活火山・休火山・海底火山・カルデラ
- ・海底地形

このほかに 別図として

- ・重力異常分布図 熱流量の分布図 地震分布図 応力分布図 磁気異常の分布図なども追加したい

日本の場合には 新第三紀以来の構造のほかに 第四紀に入ってから構造図を別に作るのが便利であろう。

活構造図は 「地震予知」ばかりでなく 地学に関するいろいろな研究面・応用面での基礎資料となるものであるから 早く 良いものを出すことが望まれている。但し 良いものを出すためには

- ① 活構造を明らかにする手法そのものの開発と 岩石の物性に関する精度の向上
- ② 活構造の容れものとなっている 基盤構造 とくに平野の下の構造の解明

が一層精力的に行なわれなければならないのは いうまでもないことである。

(筆者は地質部)