

関東および中部地方の最近の造構運動と発震機構との関係について\*

鈴木 尉元\*\*

Earthquake Generating Stress and Recent Crustal  
Deformation in Central Japan

By

Yasumoto SUZUKI

Abstract

Earthquake mechanism obtained by the radiation pattern of P waves was studied in order to clarify the deep process of crustal deformation in Kwantō, Chūbu and Kinki districts. In the subsiding areas such as Kwantō plain and Sagami bay, earthquake generating stress is characterized by the high angle of maximum tension axis deeper than 30 km in depth. On the other hand, in the upheaval areas of Chūbu district and Kii peninsula, the maximum compression axis is steeper than the maximum tension in the deeper parts. These interrelations between the stress distribution in the crust and upper mantle, and crustal deformations are substantiated by the parallel arrangement of horizontal component of maximum tension and compression axes of earthquake generating stress and maximum elongation and contraction axes of strain ellipsoid obtained by the triangulation measurement. These facts indicate the earth's surface reflects sensitively the stress distribution in the crust and upper mantle.

1. ま え が き

筆者は、さきに、日本列島とその周辺地域の震源の空間分布をしらべ、それが地質構造单元ごとに固有の様式をもつものであることを明らかにした(鈴木, 1967, 1968a)。たとえば、東北日本についてみると、新第三紀における最も大きな地質構造单元である、北上・阿武隈山地などの非グリーンタフ地域、その西側のグリーンタフ地域と日本海盆に震央をもつ地震の震源は、それぞれその空間分布の様式が異なっていて、それぞれは、その境界付近で不連続的に移りかわる。さらに、深発地震と浅発地震とは、垂直方向に密接な関係をもつて活動すること、最近の造構運動(隆起、沈降)と震源の空間分布の形態とが垂直方向に関連をもっている例のあることを指摘した。これらの事実は、地震活動が地殻表面ないし浅部で観察される造構運動の深部過程を反映しているものであって、地殻表面ないし浅部の運動が主としてその垂直下方の、地殻ないし上部マントルに力学的不平衡をもたら

す変化過程によって支配されていることを示していると考えられる。

それでは、地殻ないし上部マントルでは、どのような変化過程が行なわれているのであろうか。そこでの応力状態(と地殻表面の運動との関係はどうか)を明らかにする目的で、関東および中部地方に起った地震のP波の初動分布から求められる発震機構を検討した。

謝 辞

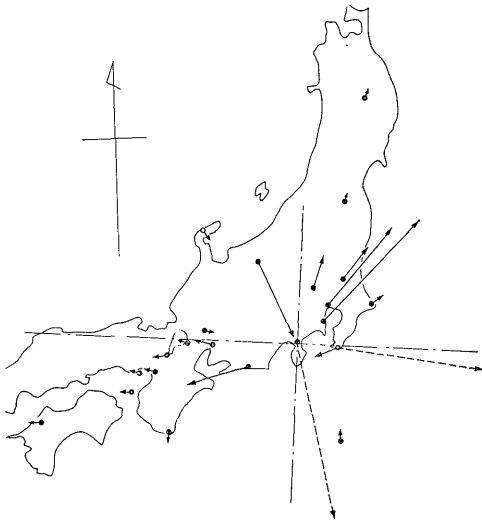
この研究にあたり終始懇篤な助言を与えられた東京大学地質学教室杉村新氏に対し、謹んで感謝の意を表す。貴重な文献の貸与、その他援助を賜った東京大学地震研究所松田時彦、中村一明氏、研究結果について討議いただいた気象庁地震課市川政治氏、地質調査所島田忠夫、三梨昂、矢崎清貫、影山邦夫、宮下美智夫、垣見俊弘氏、東京大学地質学教室飯島東、矢島敏彦氏らに感謝の意を表す。また研究にあたり終始好意を寄せられた地質調査所燃料部長井島信五郎氏、同石油課長石和田靖章氏、図面の作製等を手伝っていただいた石油課早川美津子氏にも厚く感謝の意を表す。

\* 地質調査所昭和43年2月研究発表会で講演したものに加筆修正

\*\* 燃料部

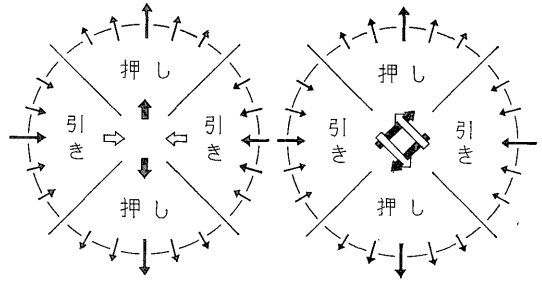
2. 発震機構

地震の波動は、震源からすべての方向に一樣に発せられるわけではない。この事実は、地震発生の機構を究明するうえで重要な鍵を提供するものである。すなわち、地表の各地点で地震波の初動が押しか引きかをしらべることによって、地震発生時の震源近傍の応力状態(起震力)を推定することができるからである。第1図は、1930年11月

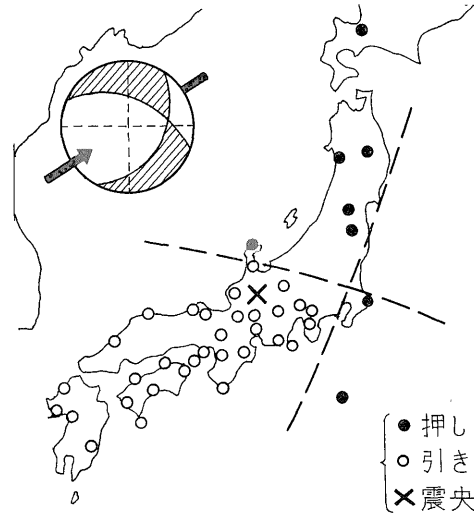


第1図 1930年11月20日北伊豆地震のP波初動の水平成分の分布 (H. Honda, 1962による)

20日の北伊豆地震のP波初動の押し引き分布である。初動の分布が、互いに直交する2本の直線(節線)によって四象限に分けられ、隣り合った象限内では初動方向が逆になっていて、相対する象限内では、同じ方向に向っていることがわかるであろう。この分布型は四象限型の押し引き分布と呼ばれている。震源付近の初動が押しならばその波動の伝播方向にある観測点の記録は押しになり、震源付近の初動が引きならば、波動の伝播方向にある観測点では引き波が観測されるから、この現象は、震源近傍

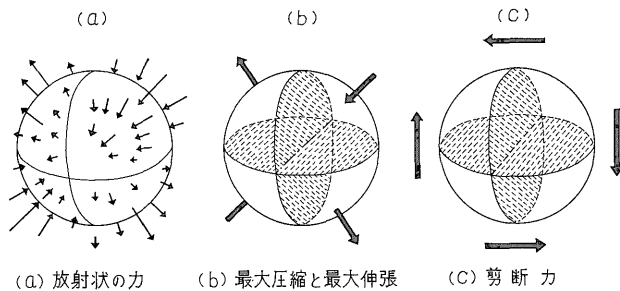


第2図 四象限型の初動分布から考えられる起震力(笠原, 1956)

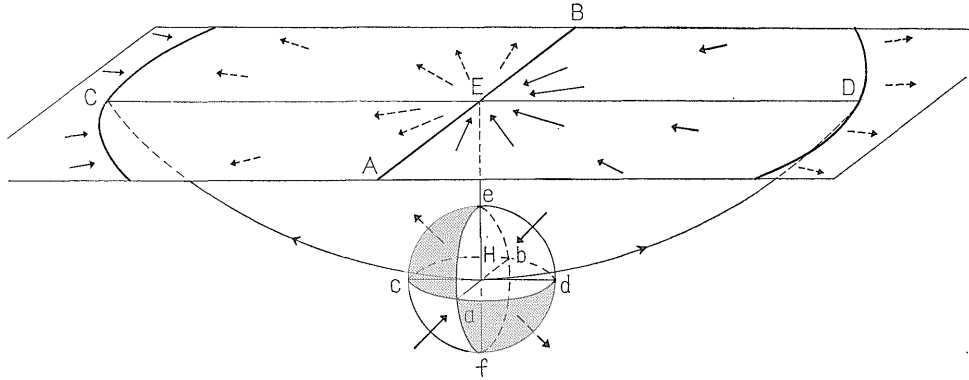


第3図 1935年4月15日の深発地震(深度280km)のP波初動分布図 (H. Honda, 1952)

に一組の押しの力と一組の引きの力が作用しているか、二組の剪断力が同時に作用する模型によって説明することができる(第2図)。実際の地震波動の場合には、節線は曲線となり主圧力(最大圧縮力)、主張力(最大伸張力)、軸の傾いた模型を考えなければならない場合が、かなり多い。第3図はこの一例で、1935年4月15日に中部地方北部に起った、深度280kmの地震のP波初動の押し引き分布図である。この場合には、第4図に示したような震源



第4図 中発および深発地震の発震機構



第5図 震源Hに発する深発地震で節面の一方が水平(abcd)で他方が垂直(afbe)な場合の地表における初動分布。実線は初動が引き、点線は押し、Eは震央(Honda, 1932)

付近において、互いに直交する平面によって分けられた球を考え、相対する部分で圧縮と伸張が交互に働くか、二組の剪断力が働くような模型を考えることによって説明することができる (HONDA, 1952)。第3図において左上の円は、節面をステレオネットに投影したものでハッチを入れた所は伸張力の働いている部分であり、他の地域は圧縮力が働いている部分に相当する。

節面の一方が水平であると、震央付近では四象限型の押し引き分布を示さず、一本の直線を境に一方で押し、一方で引きが観測される。第5図の例では、ABの左側で

押しが記録され、右側で引きが観測されるわけである。水平に Hd 方向に発した地震波は、HDに沿って次第に上向きに曲がり、D点に達する。したがって、半径EDの円の外の地域に達する地震波は、abcd面の下から来るから、円内の押し引き分布と逆の分布が観測されることになる。半径HDの大きさは、震源の深度HEによってきまる。第6図は、この型の初動分布を示す地震の一例を示す。

HONDA (1957) は、日本付近に起った地震のほとんどが、この型の模型で説明することができることを示した。

実際には、震央付近、資料によって起震歪力を解析する場合にはあらかじめ深さ、傾斜角別に節線曲線群を作図しておく、

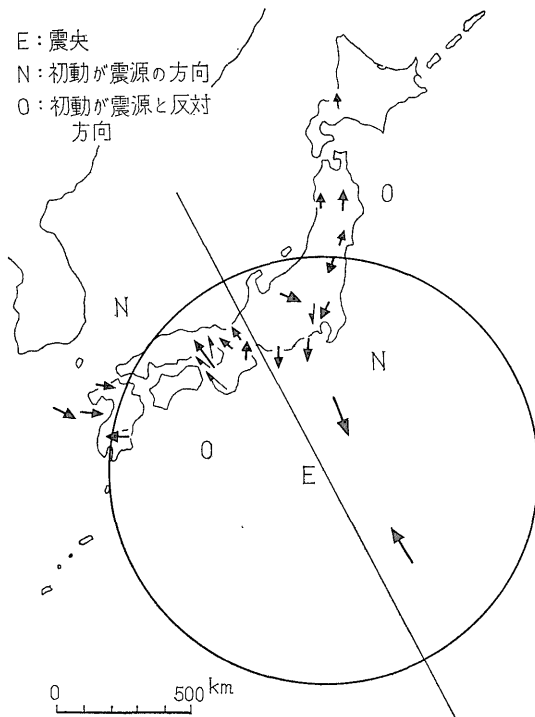
- 1) まず、1本、節線を試行錯誤法で引き、
- 2) 震央からその節線に下した垂線の長さから、その節面の傾斜角を計算する。
- 3) 節線を下した垂線を逆方向的に延長し、震央から上に求めた傾斜角の余角に相当する距離に点を決め、
- 4) 試行錯誤法で上記の点を通る他の節線を引き、
- 5) 2) のようにして節面、傾斜角を求める。(市川, 1966b)。そして、この二つの節面から、主圧力、主張力軸を求めるわけである。

以下に論ずる発震機構の資料は、HONDA et al(1952, 1956), ICHIKAWA (1961, 1962, 1965, 1966), 市川 (1966) によった。

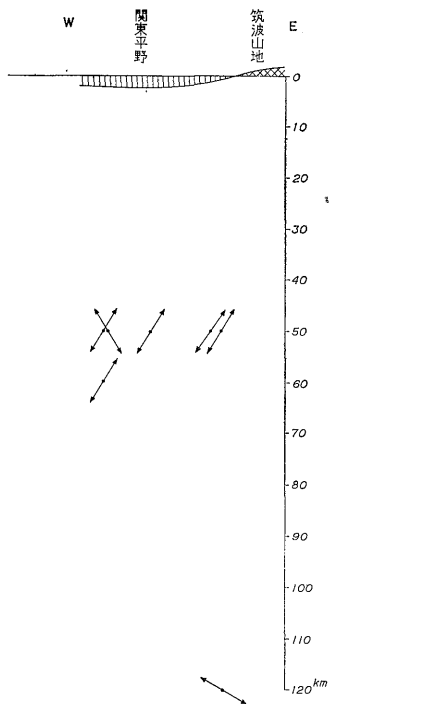
### 3. 起震力の地域的な分布

#### 3.1 関東地方

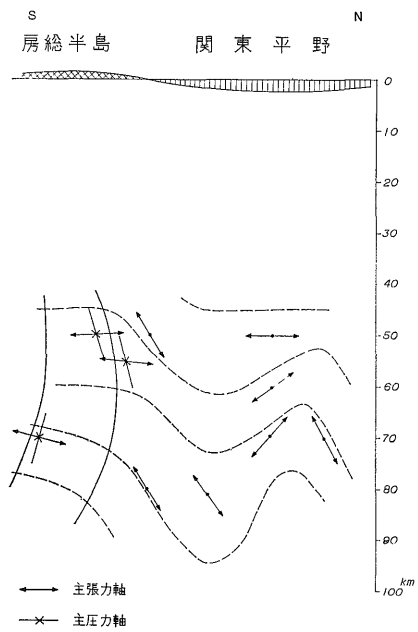
この地域に起こった地震で起震力の求められたものの主圧力、主張力軸の方向を第7図に示す。実線は主圧力軸、点線は主張力軸の方向で、矢印とその矢端の数字は軸の傾いている方向と、その傾きの垂直方向からの角度



第6図 深発地震の初動分布の例 (Honda, 1932)



第8図 筑波山地から西に切った断面への主張力軸の投影図  
主圧力軸はほとんど水平



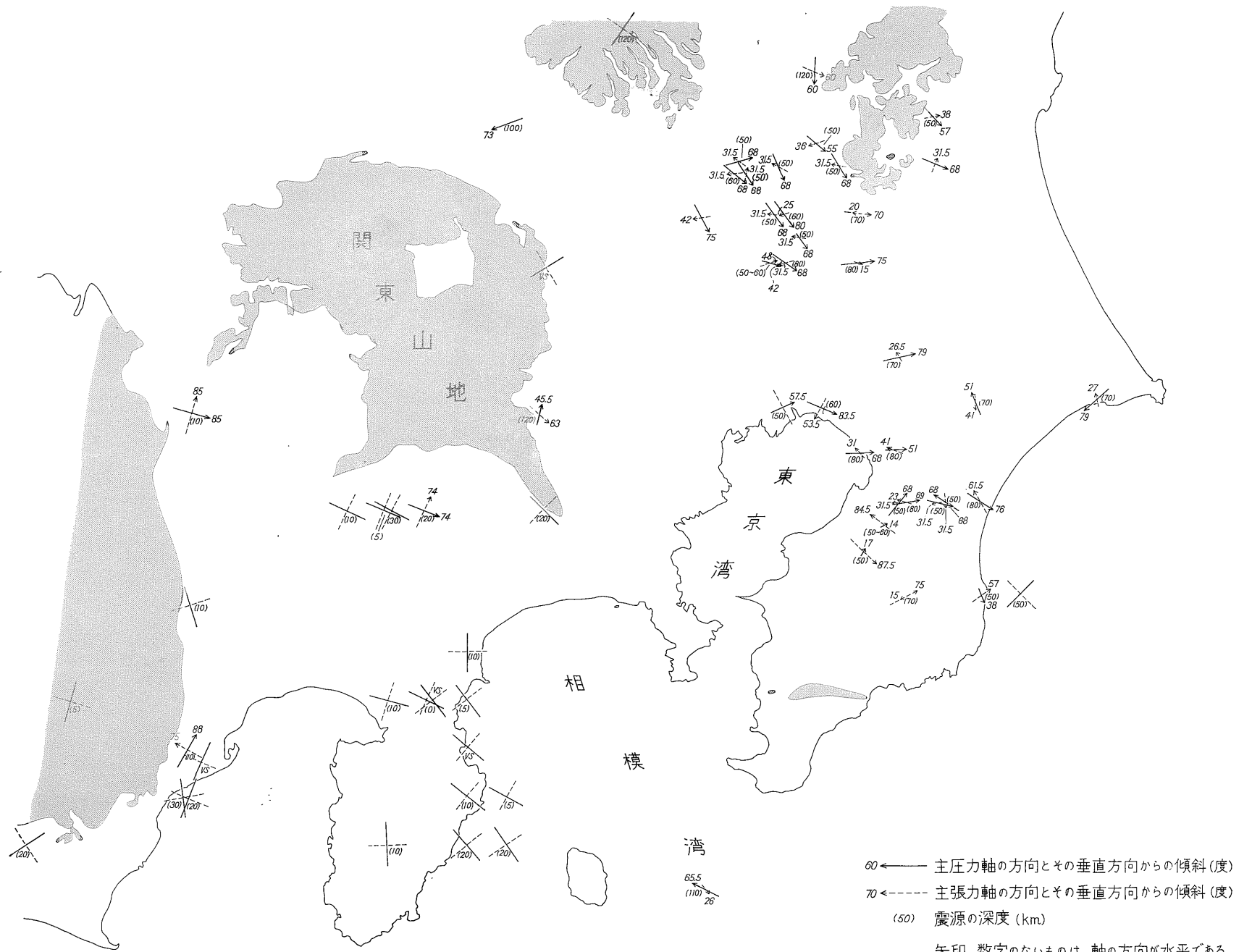
第9図 房総半島から関東平野にかけて南北に切った断面への主  
圧力軸, 主張力軸の投影図

を示す。

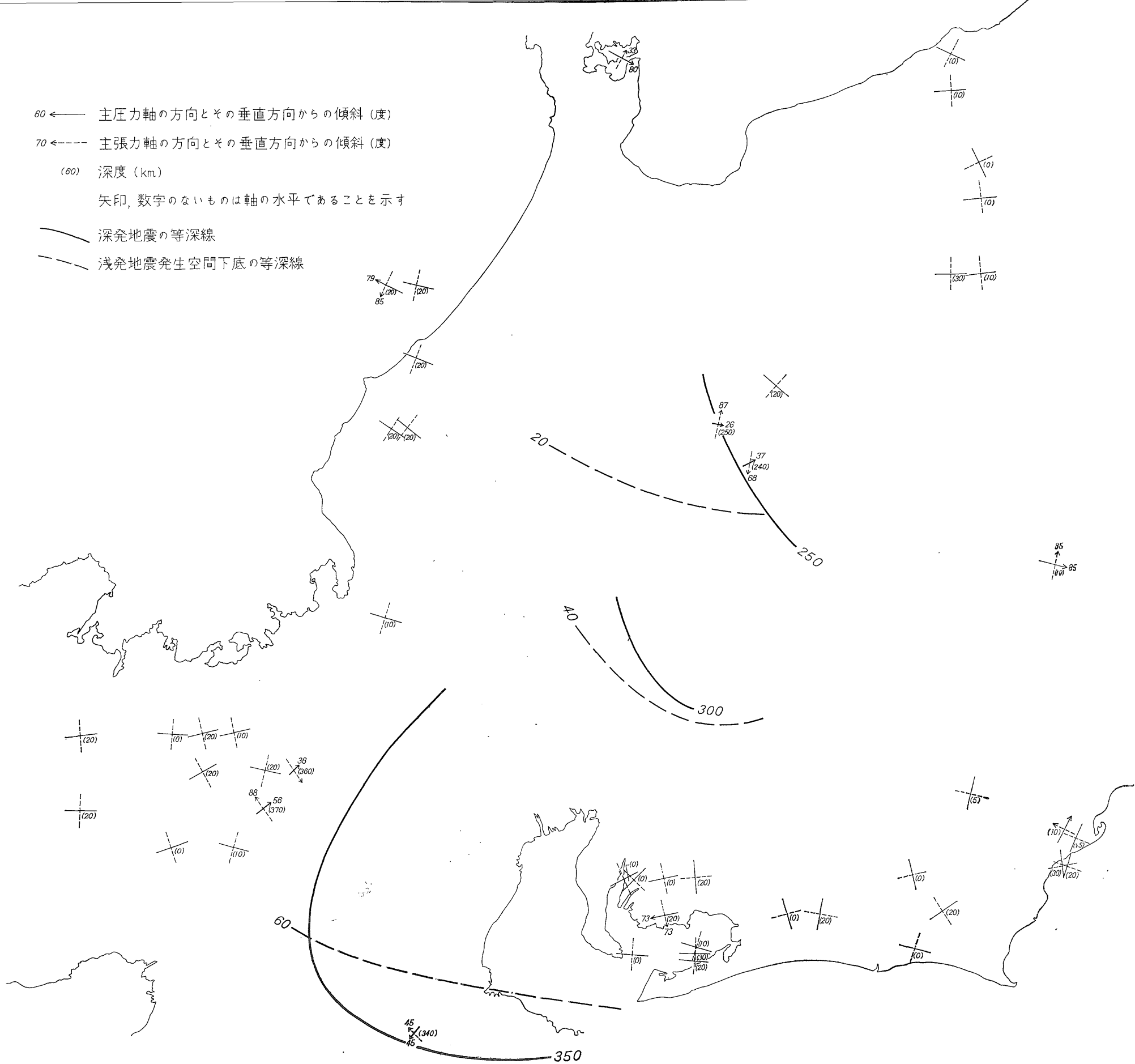
矢印と数字のないものは, 軸が水平であることを示して



第10図 主圧力, 主張力軸, 水平成分の走向線図



第7図 関東地方の地震力の主圧力軸、主張力軸の方向分布図



第11図 中部地方の起震力の主圧力軸, 主張力軸の方向分布図

いる。括弧内の数字は、震源の深度（km）を示す。

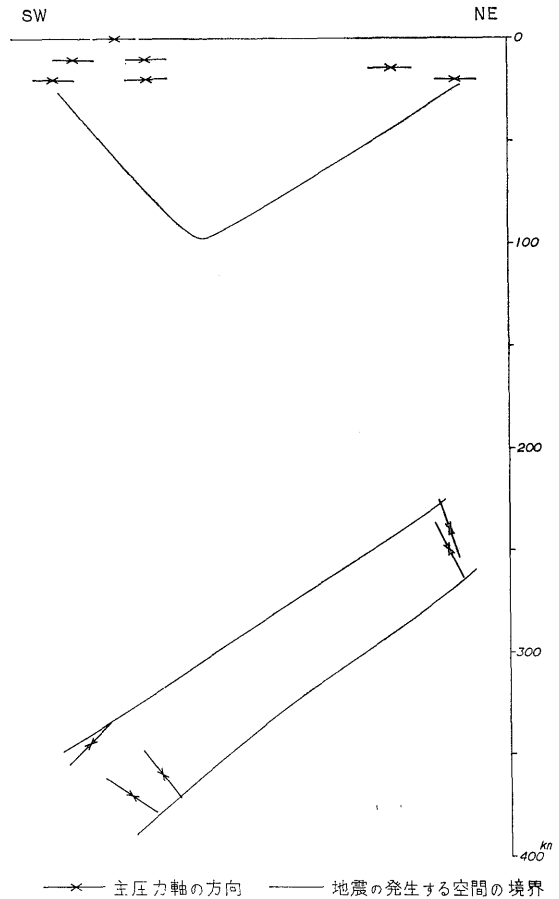
この図から、30km 以浅に起った地震の主圧力、主張力軸は水平であって、傾いている場合でも、その傾きはわずかなものであることがわかるであろう。これに対して、関東平野とその周辺地域や相模湾などに起る、50km を超える深度をもつ地震では、主圧力軸が主張力軸あるいは両軸がともに傾いている。すなわち、筑波山地の南西方から房総半島の付け根付近までの関東地方の平野部では、主圧力軸が垂直方向から $50^\circ$ ないし $85^\circ$ 位の傾きをもっているのに対して、主張力軸は $20^\circ$ ないし $50^\circ$ の傾きをもっていて、主張力軸がきわめて立っている。相模湾に発生する地震でも、主圧力軸に比して主張力軸が非常に立っていて、関東の平野部と同じ傾向がみられる。一方房総半島北部から中部にかけて発生する地震では、この関係が逆になり、主圧力軸は $15^\circ$ ないし $40^\circ$ の傾きをもっているのに対して、主張力軸は $55^\circ$ ないし $80^\circ$ 以上も傾いている。すなわち、主張力軸に対して主圧力軸が立っている。これらの関係は、筑波山地付近から西に切った断面図（第8図）および房総半島から関東平野にかけて南北に切った断面図（第9図）から、よく読みとることができるであろう。ここで、関東の平野部や相模湾にみられる、主圧力軸に比して主張力軸の立っているような起震力型をTi型、房総半島中、北部にみられる主張力軸に比して主圧力軸の立っている起震力型をPi型と呼ぶことにする。

第10図は、主圧力軸、主張力軸の水平成分の方向の等走向線図である。

主圧力軸は筑波山地ないしそれより北部では北西、南東の方向をとり、関東平野の中心に近づくに従って東西に近い方向をとるに至る。軸の傾きの方向は、南ないし東方である。一方主張力軸は、筑波山地西南方では西方に傾斜し、関東平野の南部では北ないし南に傾斜する。房総半島の中部ないし北部では、主圧力軸は北東、南西ないし北西—南東の方向をとり、主張力軸はほぼこれに直交する。軸の傾きの方向は、一定していない。相模湾周辺地域では、主圧力軸の方向はほぼ湾の方向に近い北西—南東の方向をとり、主張力軸はほぼこれに直交する。糸川川—静岡線に沿った地域では、主圧力軸の方向はほぼ同線に平行に走る。

### 3.2 中部地方

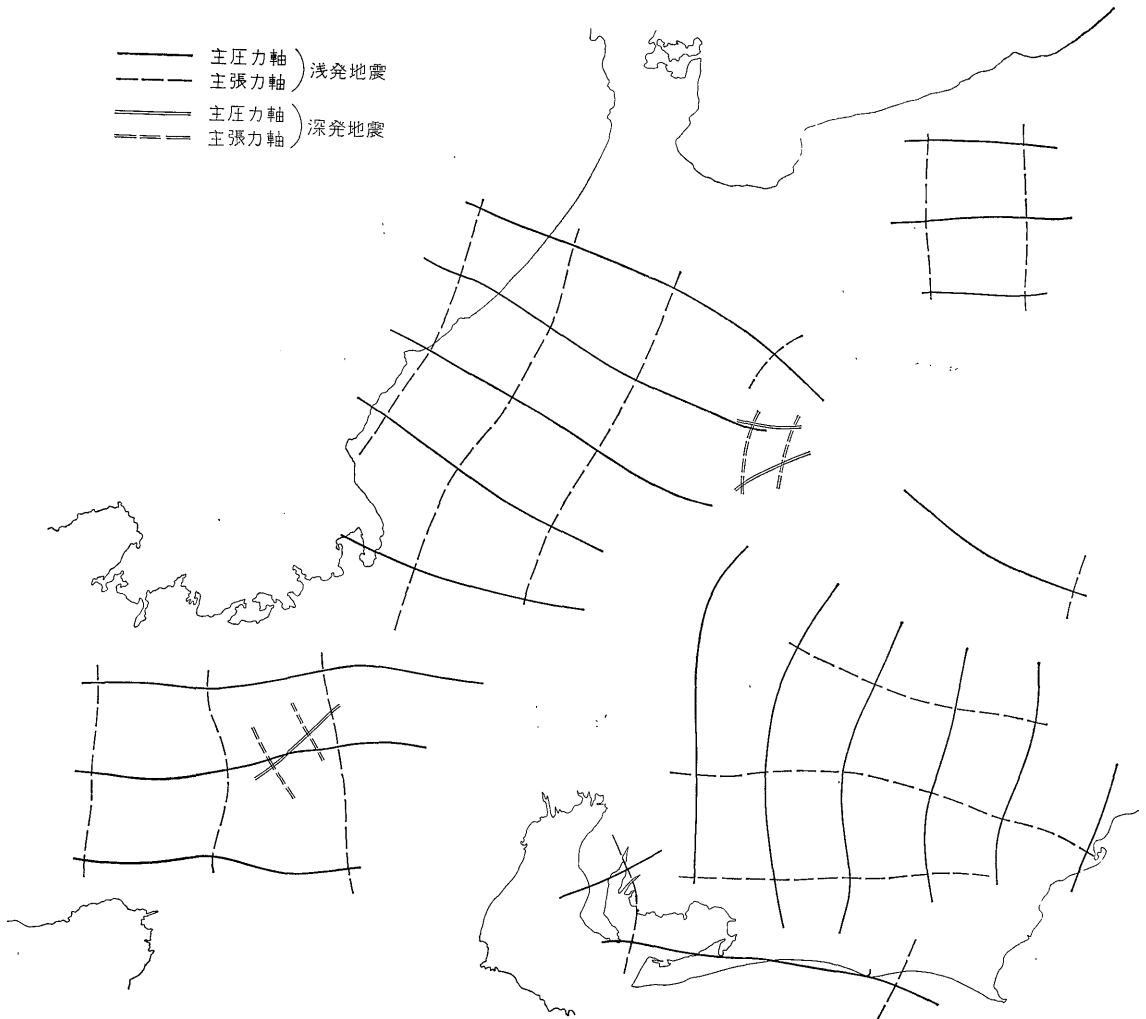
第11図に、この地方に起った地震のうち、主圧力軸、主張力軸を求められたものの方向を示す。記号および数字は関東地方のものと同じである。この地域で起震力の求められた地震は、大部分30km 以浅の深度のものである。その主圧力、主張力軸の方向は、ともに水平ないし



第12図 中部地方の北東—南西断面への主圧力軸の投影図

水平に近い傾きをもっていて、典型的な四象限型の記象を示すものである。一方深度200km を超す深発地震では、主圧力、主張力軸ともに傾くが、主張力軸に比して主圧力軸の立っているPi型の起震力を示す。すなわち主張力軸は垂直方向から $65^\circ$ ないし $90^\circ$ に近く傾くのに対して、主圧力軸は垂直方向から $25^\circ$ ないし $60^\circ$ と、ほぼ深発地震発生面に直交する傾きをもっている。これらの関係は、この地方の北東—南西断面に主圧力軸の方向を投影した第12図からよく読みとることができるであろう。

第13図に、主圧力、主張力軸の水平成分の方向の等走向線図を示す。二重線は、深発地震から求められたものである。この図から、主圧力軸がほぼ飛騨山脈の南部付近を中心に放射状の配列をとり、主張力軸がこれに直交して同心状に配列することが読みとれるであろう。ただし愛知県から静岡県南部にかけての起震力は、上にのべた一般的傾向と直交して、主圧力軸が東西、主張力軸が南北に近い方向をとる。



第13図 中部地方の主圧力軸, 主張力軸の走向線図

### 3.3 紀伊半島

この地域に起った地震の起震力の主圧力軸, 主張力軸の方向を第14図に示す。深度 30km 以浅の地震では, 主圧力軸, 主張力軸ともに水平ないし水平に近いが, それよりも深い地震では, 両軸とも傾く傾向がある。しかし主圧力軸は主張力軸よりも立っていて, 起震力型はPi型を示す。すなわち, 主張力軸は垂直方向から  $55^\circ$  以上, 水平面から  $35^\circ$  以下の傾きをもっているのに対して, 主圧力軸は垂直方向から  $13^\circ$  ないし  $61^\circ$ , 水平面から  $77^\circ$  ないし  $29^\circ$  も傾いている。そして, この主圧力軸の方向は, 地震の発生するおわん状の空間の境界付近では, その境界面に直交する傾向がある。これらの関係は, この地域に起った地震の震源と主圧力軸の方向を, 北西-南東断面に投影した第15図からよく読みとることができるであろう。

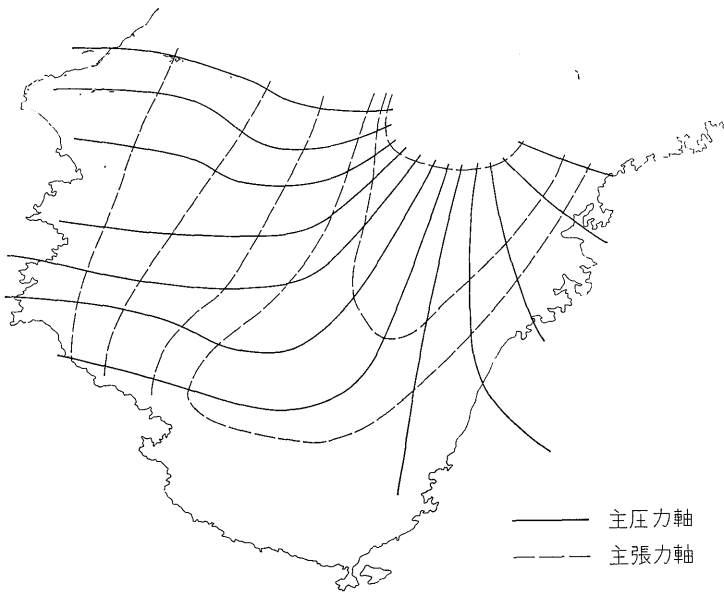
第16図は, 起震力の主圧力, 主張力軸の水平成分の等走向線図である。主圧力軸が, 半島の北東部を中心に放射状の配列をとるのに対して, 主張力軸は同地域を中心に同心状配列をすることがわかるであろう。

### 4. 最近の造構運動と発震機構との関係

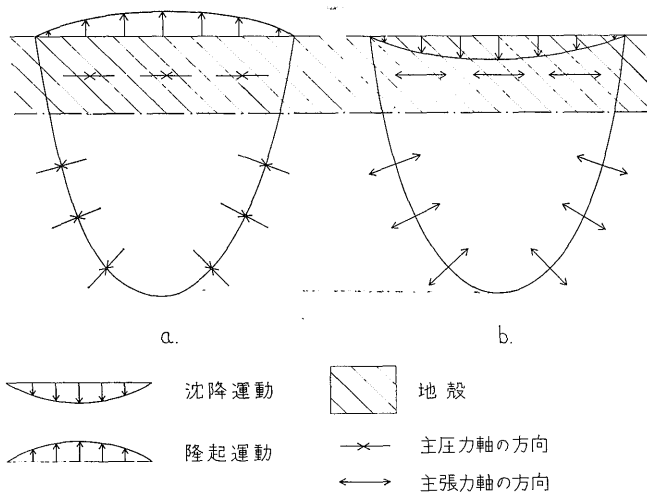
さきに, 震源の空間分布と最近の造構運動 (隆起・沈降) との密接な関連性を指摘した (鈴木, 1967, 1968a)。関東平野では, 関東造盆地運動とよばれる沈降運動の地域的な変化量と, 震源の深度分布とに平行関係が認められる。すなわち, 沈降運動の最も著しい東京湾北部地域や大宮付近には, 周辺地域よりも深い地震が発生し, 周辺に次第に深い地震の発生を見なくなる傾向が認められる。同時に地震活動も沈降の中心付近で活発で, 周辺地







第16図 主圧力軸, 主張力軸の水平成分の走向線図



第17図 隆起地域 (a) と沈降地域 (b) における起震力の状態

分布空間の下底とが平行関係にあり、隆起運動と地震活動とが関係をもつものであることを述べた。

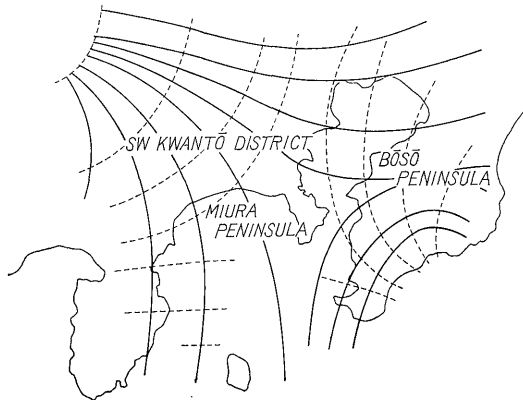
前節で筆者は、起震力の型を二つに分類した。一つは主張力軸に比して主圧力軸の立っているPi型であり、他の一つは、主圧力軸に比して主張力軸の立っているTi型である。前に述べたことから明らかなように、これら二つの型は地殻表面の隆起地域と沈降地域とに対応している。すなわち、関東平野や相模湾のように沈降運動を行なっている地域の起震力型はTi型であり、中部山地や紀伊半島のような隆起運動を行なっている地域では、Pi型

の起震力を示す(第17図)。しかもこれら起震力型は、関東平野から房総半島、すなわち沈降地域から隆起地域にかけて起る地震の起震力型の変化(第9図)からわかるように、地殻表面の運動の変化に応じて敏感に変わる。以上の事実から、隆起帯と沈降帯とは、その直下の深部の応力状態が対照的であることがわかるであろう。しかも地殻表面の造構条件に応じて、敏感にその応力状態が変化する。

この地殻表面の変形と深部の応力状態との密接な関係は、三角点の変動から求められた地殻表面の変形と起震

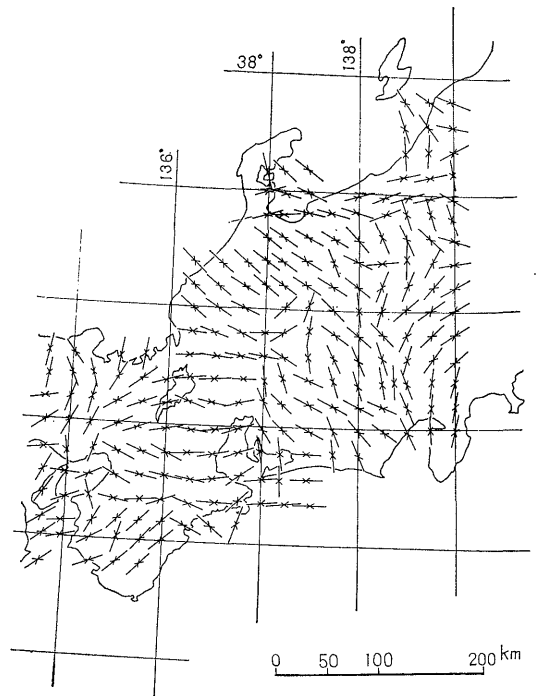


第18図a 三角点の変動から求めた歪楕円の主軸の分布図、実線—圧縮、点線—伸張 軸の長さは大体変位量に比例(Miyabe, 1931)



第18図b 伸張(点線)と圧縮(実線)の走向線(Miyabe, 1931)

力との比較からも裏付けることができる。第18図aは、1889年から1925年にかけての関東地方における一等、二等三角点の変動から求められた歪楕円の最大の伸張、最大の圧縮軸の方向の分布図である(MIYABE, 1931)。第18図bは、これをもとにして描いた最大の伸張軸と最大の圧縮軸の走向線図である。この図と第8図のP波の初動分布から求めた主圧力、主張力軸の水平成分の走向線図を比較すると、房総半島中部から関東平野中部にかけての地域の三角点の変動の最大の伸張、圧縮の方向と、起震力の主圧力軸、主張力軸の方向とがよく一致している傾向が読みとれるであろう。伊豆半島から関東山地の南部にかけての地域についても、同様な関係が認められる。関東平野から房総中部までの起震力を求めた地震の深度は、50 km以上であるから、地殻表面の変形現象が、その直下の上部マントルに及ぶ深部の応力状態を敏感に



第19図 中部・近畿地方の一等三角点の変動から求めた歪楕円の最大圧縮軸の方向分布図(Kasahara et al., 1964)

反映することが、この事実からもわかるであろう。

第19図は、中部地方以西の大体1890年代から1950年代にかけての一等三角点の変動から求めた歪楕円の最大の圧縮方向の分布図である(KASAHARA et al, 1964)。中部地方から紀伊半島にかけての最大の圧縮の方向の分布と、P波の初動分布から求められた主圧力軸の方向分布とが、良く似た傾向をもっていることがわかるであろう(注1)。関東地方におけると同様に、これら主圧力軸の方向を求めた地震の深度がかなり深いものであるから、深部の応力状態が地殻表面の変形と密接に結び付いていることがわかるであろう。

## 5. ま と め

起震力の解析から、隆起帯と沈降帯とでは、30 km以深の応力状態が対照的であることがわかった。すなわち中部地方や紀伊半島のような現在の隆起帯では、主圧力軸が主張力軸よりも立っているPi型の起震力を示すのに対して、関東平野や相模湾のような沈降帯では、主張力軸の立っているTi型を示す。しかも深部の応力状態が、地殻表面の隆起・沈降運動の配列に敏感に反映することは沈降帯である関東平野から隆起帯である房総半島の北

注1) 中部地方については、Kasahara et al. (1962), Ichikawa (1965) によっても指摘されている。

部から中部地域に入ると、Ti型からPi型に中間的な段階をはさまずにかかわることからわかる。このような不連続な応力状態の変化の仕方と垂直方向の造構運動の性格の変化の仕方との対応関係は、地殻から上部マントルの地質構造的(力学的)不連続、すなわち深部裂つかの存在によって説明できるであろう。地殻表面ないし浅部の変形が、地殻ないし上部マントルに根をもっていることは、三角点の変動から求められた地殻表面の変形と起震力との関係からも明らかである。

AKI (1966) は、1961年から1963年に日本付近で起った地震の初動分布がいくつかの型に分類でき、地域ごとに一定の傾向のあることを指摘した。これらの型は、地殻表面の運動と一定の関係をつけることができるであろう。たとえば、彼のP型の記象型は、筆者のTi型に近いもので、P型の発震機構を示す地震発生地域では、Ti型の起震力を示す地域におけると同様に地殻表面の沈降運動が対応しているものと思われる。

以上述べてきた事実は、造構運動が隆起帯沈降帯ごとの local な深部の原因に大きく支配されるものであることを示している。そして地震活動は造構運動の深部過程の表現であって、地殻表面で観察される造構運動と、地震現象とを統一して説明するモデルが可能であることを示していると考ええる。

#### 参考文献

AKI, K. (1966) : Earthquake generating stress in Japan for the Years 1961 to 1963 obtained by smoothing the first motion radiation patterns. *Bull. Earthq. Res. Inst.* 44, p. 447~471.

HONDA, H. (1932) : On the types of the seismographs and the mechanism of deep earthquakes. *Geophys. Mag.*, 5.

本多弘吉・正務 章(1940) : 本邦付近の地殻内部における起震歪力について, 験震時報, 11, p.183~216.

HONDA, H. & MASATSUKA, A. (1952) : On the mechanisms of earthquakes and the stresses producing them in Japan and its vicinity. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, Ser. 5, *Geophys.* 4, p. 42~60.

HONDA, H., MASATSUKA, A. & EMURA, K. (1956) : On the mechanism of the earthquakes and the stresses producing them in Japan and its vicinity (Second Paper). *Sci. Rep.*

*Tohoku Univ. Ser. 5, Geophysics*, 8, p. 186~205.

HONDA, H. (1957) : The mechanism of earthquakes. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophysics*, 9, Supplement, p. 1~46 ; *Pub. Dominion Obs.*, Ottawa, 20, p. 295~340.

HONDA, H. (1962) : Earthquake mechanism and seismic waves. *Geophys., Notes*, 15, p.1~97.

ICHIKAWA, M. (1961) : On the mechanism of the earthquakes in and near Japan during the period from 1950 to 1957, *Geophys. Mag.*, 30, p. 355~403.

ICHIKAWA, M. (1962) : Statistical investigation of earthquake mechanism in Kwantō district. *Geophys. Mag.*, 31, p. 243~256.

ICHIKAWA, M. (1965) : Mechanism of earthquakes occurring in central and southwestern Japan and some related problems. *Pap. Meteorol. Geophys.* 16, p. 104~156.

ICHIKAWA, M. (1966a) : Mechanism of earthquakes occurring in and near Japan, 1950~1962, *Pap. Meteorol. Geophys.* 16, p. 201~229.

市川政治(1966) : 日本付近の地震のメカニズムに関する統計的研究と二, 三の問題, 研究時報, 18, p. 1~154.

笠原慶一(1956) : 地震の科学, 190p., 恒星社厚生閣

KASAHARA, K. & SUGIMURA, A. (1964) : Distribution of horizontal secular strain in Japan, *Jour. Geol. Soc. Jap.*, 10, p. 139~145.

MATSUZAWA, T. (1964) : *Study of earthquakes*, p. 213, Uno Shoten, Tokyo.

MIYABE, N. (1931) : On the vertical earth movement in Kwantō district. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 9, p. 1~21.

中村左衛門太郎(1954) : 地震学, 318p., 内田老鶴園

鈴木尉元(1967) : 日本列島およびその周辺の震源分布について, 地震月報, 4, p. 297~298

鈴木尉元(1968a) : 日本列島とその周辺地域の震源分布についての試論, 地調報告, no.228, p.1~33.

鈴木尉元(1968b) : 関東, 中部地方の最近の造構運動と発震機構との関係について, 地調月報, vol. 19, no. 8, p.315~316

(昭和43年3月稿)