

関東地方の地震研究の問題点と地質学的課題

鈴木 尉元 (燃料部)

1. ま え が き

関東地方は日本列島のなかでも最も地震活動の活発な地域であり、日本で最初の地震学教室や地震研究所が設立された東京をその中心にもっていること、1923年には大きな災害をもたらした関東地震に見舞われたことなどのために、古くから地震に関する詳細な、またそれぞれの時代における先進的な研究が行なわれてきたように思われる。これらの研究は観測機器や観測網の整備状態、観測精度だけでなく、その時代の一般的な地学観をも反映していて、興味深いものである。それらの研究のうちには、歴史的な意味はあるにしても、現在の段階で改めて取り上げる必要のないものもあるが、積極的に取り上げて、さらに発展させなければならない問題も少なくないように思われる。

すでに5年程前になるが、関東地方の地震研究を概観することによって、現在の地震学の歴史的基盤を明らかにし、今後の課題について考えてみたことがある。1968年12月のことで、2日間にわたって、地質調査所の地震学関係を専攻している者と、構造地質学を専攻している者が集って、各自論文を紹介しあい、討論したわけである。

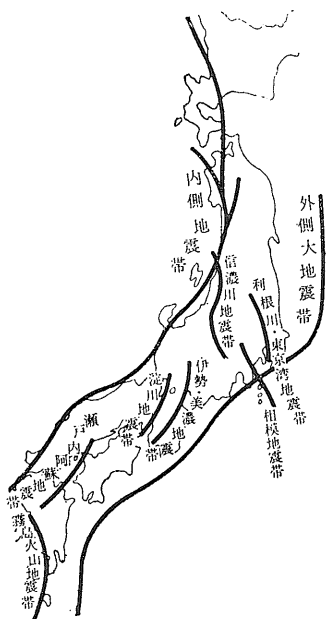
その後すぐに一文を草したが、今後の課題という点で未だ確固とした見通しが持たず、そのまましまいこんでしまった。しかし、昨年、関東地方の地震と地殻変動に関するシンポジウムが開催され、改めて考える機会をえた。その再考の結果などをまじえて、改めて書きなおしたのがこの小論である。本来ならば、連名で発表すべきであるが、個人的な見解を多くまじえ、それについて改めて討議する機会がなかったので、個人名で発表することにした。論文と一緒に読み、討議していただいた垣見俊弘・平山次郎・飯塚進(現東海大学)・藤井敬三・長谷川功・衣笠善博の諸氏に感謝するとともに、御寛恕をこう次第である。また、原稿を読んでいろいろ御批判いただいた三梨昂・小玉喜三郎・樋口茂生の諸氏(千葉県公害研究所)にも感謝する。

2. 震源の分布と地震活動様式に関する問題

関東地方の地震研究は、明治初年の外国人科学者による観測にはじまり、関谷清景・大森房吉・今村明恒らにうけつがれ発展する。この時期は、地震計が発明され、それによる地震観測がはじまり、資料が蓄積されていく段階である。また、歴史時代に発生した破壊的な地震に関する資料が精力的に収集された時期でもある。

このような観測や調査の結果、日本列島付近の地震帯の存在が明らかにされた(第1図)。すなわち、破壊的な地震の発生した地域を地図上にプロットすると、線状に配列するという事実である。そのうち最も顕著なものは、日本列島に平行して太平洋沿岸を走って走る外側地震帯と、日本海沿岸にそう内側地震帯である。このほかこれらに直交したり斜交したり平行するより小さな地震帯が見出された。関東地方について見ると、東京湾から北東にのびる利根川・東京湾地震帯、相模湾を北北東-南南西に走る相模地震帯などの存在が指摘された。なお、この地震帯の設定は、人によって、また同じ人でも時代によって異なるようである。この時代には、地震は地殻のごく浅い所に発生するもので、上記の地震帯は、地殻構造上の弱線なのだと考えられた。

これらの地震帯を明らかにしたのは、大森房吉・今村明恒らであり、その基礎は、田山実・武者金吉らによる歴史的な破壊地震史料の収集にあった。



第1図
日本の地震帯 (今村明恒による)

震源分布について 地震観測資料にもとづいて具体的に議論されるのは 観測網がある程度整備され 資料が蓄積されなければならない。したがって そのような研究があらわれてくるのは 地震研究が始まってからかなり後のことになる。

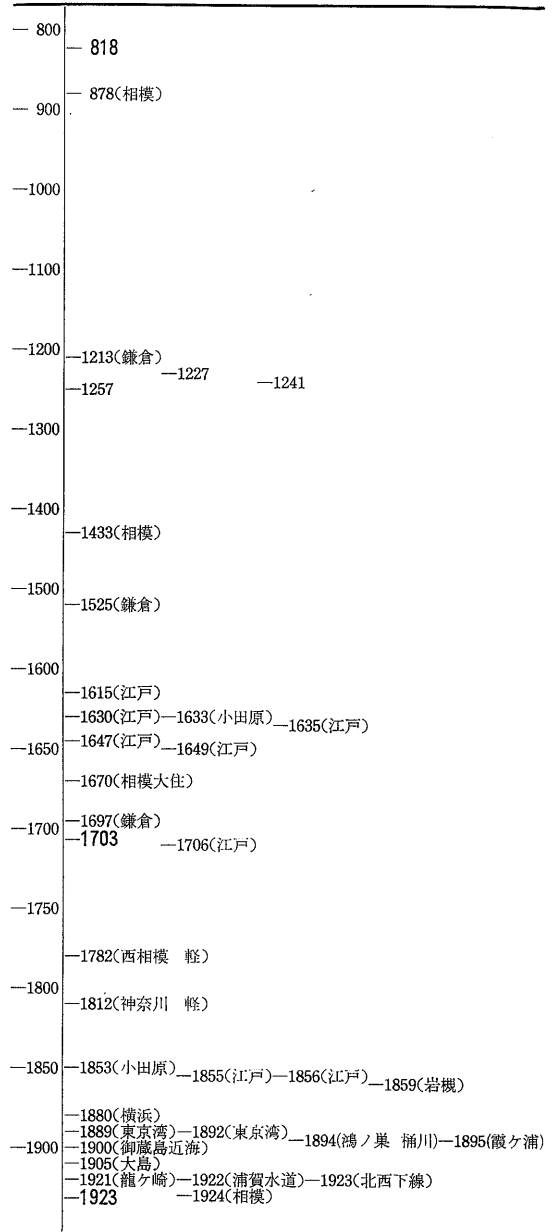
1921年の大森房吉の論文は そのような時期のもの一つである。彼は 1914年から1921年までに起った199個の有感地震の地理的分布を検討し それらが房総半島 銚子から東北—西南方にのびる地域 東京の北東方 相模湾奥などに分布し 前の二地域には準破壊的な地震の発生していることを指摘した。この時期には東京付近は静穏であったが そのうちに岩槻地震(1859)規模の地震が発生するかもしれないと考えた。また東京における有感地震の回数を調べ 数年間隔で頻度の極大があらわれるが 地震の回数の多い時期には大地震の発生はなく 頻度の極小の時期の翌年あたりに大地震の発生する傾向のあることを指摘した。彼は この現象を 多くの小さい地震が大きい地震の発生を防いでいることによるのだと解釈した。

1923年9月1日 関東一円を震撼させた関東地震が発生した。この地震の震源位置については いろいろ議論されたが 相模湾北部に落ちついたようである。ただし 後に今村明恒がのべているように このような広域的に破壊をもたらすような地震では 多くの場所で断層運動が起るもので 相模湾にそっても断層運動が行なわれたと考えられている。その運動の出発点が相模湾北部ということなのであろう。この地震に際して 房総半島 三浦半島 大磯などでは 一せいに1ないし2メートル隆起した。また 相模湾内では さらに大きな隆起沈降が行なわれたと推定されている。なおこの地震について多くの地球物理学者や地質学者が その原因について また地震学の研究方法や研究体制について発言した。それらについては 藤井陽一郎(1967)の「日本の地震学」などに詳しく議論されているのでここではふれないことにする。

1924年に保田柱二は 関東地震の余震活動を調べ それがきわめて規則的に推移することを見出した。すなわち 三浦半島以西を甲 東京から房総半島付近までを乙 東京ないし千葉県北部地域を丙の3地域に区分すると 震源は甲→乙→丙→甲の順に余震域が移動するという事実である。

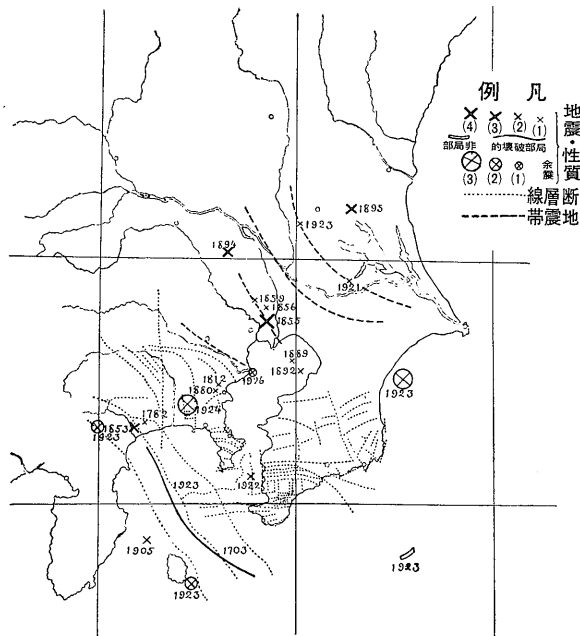
これまでの諸論文は 地震活動域とその推移をもっぱら平面的に扱ったものであった。ところが 1925年に石川高見は 関東地方に起る一つ一つの地震を 初期微動継続時間(P～S時間)を縦軸に 震央距離を横軸に

第1表 関東地方の破壊的地震年表



㊦ 太文字は広域的破壊地震 (今村明恒 1928による)

プロットすると 震央距離0の所でP～S時間が0にならず 3ないし8秒付近で交わるような分布をとることを見出した。このことは 震源の深さを考慮しなければならぬこと 初期微動継続時間と震源距離との関係を示す大森公式(浅い近地地震では 初期微動継続時間 t(秒)と震源距離Δ(km)との間に 大体Δ=7.42 tなる関係が成立する。発見者大森房吉にちなんで大森公式とよばれる)の厳密性に問題のあることを指摘した。また彼は 震源が東



第2図 関東地方の破壊的地震と断層との関係
数字は地震の発生した年(今村明恒 1928による)

京湾の長軸の方向に多少線状の分布をとることそこから鬼怒川・霞ヶ浦方面にかけて多くの震源の分布することも指摘している。

1928年に今村明恒は 関東地方の最近二百数十年間に起った破壊的地震の震央と断層線との関係をしらべ両者が密接な関係にあることを示した(第2図)。また歴史時代に起ったものをも含めて地震の年表を作り非局部大地震(広域的に破壊をもたらす地震)と局部大地震(局地的に破壊をもたらす地震)の活動が循環的に行なわれることを明らかにした(第1表)。彼はこのような現象をつぎのように解釈した。すなわち局部大地震は地震をひき起す原動力である上下あるいは水平の圧力・張力とそれにただちに屈従しない地塊がせり合いモザイク地塊がきしり合うことによって発生する。その後全地塊の運動によって非局部大地震が発生しこの圧力ないし張力が解放される。この非局部大地震に際して南東部の房総半島は隆起し北西部の笹子・丹沢方面は沈下する。ところがこのような大きな変動の起るより以前の経緯について見ると最初の数10年間は上にのべた方向とは反対方向に運動し関東地震についていうと大正9年以後傾動運動が逆転して関東地震時と同じ方向になりその発生数日前から激しい運動を示すという。したがってもし観測設備さえ整備されるならば地震予知も可能であると考えた。

これらの論文の書かれた時期は 志田順(1926)によ

るわが国における深発地震の発見 和達清夫(1927)による深発地震の存在の確認前後であったために震源は比較的浅いものと考えられていた。したがって地震発生場の推移を明らかにすること地震活動の時間的推移を明らかにし地震発生を予知する手掛りをつかむことに大きな目標があったように思われる。また地震と地質構造とくに断層との関係に注目して研究をすすめることが比較的多かったように思われる。一方地震観測がすすむにつれて歴史的な破壊地震の記録から設定された地震帯からはずれる地震もかなり多く観測されつぎの時代に地震帯という概念がほとんど姿を消す前ぶれがすでにあらわれているようにも思われる。

1931年には那須信治によって断層と地震活動とを立体的に結びつける試みがなされ発表された。関東地方は東北から関東に至る直線に近い弧と関東以西の直線に近い弧にはさまれた地域である。彼はこのような弧状の形をとった原因が大陸からの横圧力が絶えず日本列島に作用している結果であり関東地方に地震活動が活発な理由もそのような圧力が現在も作用しているためであると考えた。この圧力が日本海側から作用すると日本列島は太平洋の方へ押し出されそこに裂け目を生ずる。この裂け目は島弧に平行なものと直角なものに大別されるがそれらが弱点になって地震を発生する。各地震帯はこの裂け目に相当すると考えた(このような地震発生に関する考え方は大森房吉(1913)によってすでに発表されている。したがって当時かなり一般的なものになっていたのかもしれない。)

那須は従来の地震帯を立体的に観察しなければならないと説いた。関東地方については山崎直方(1925)の主張した相模湾海底のきわめて明瞭な断崖で代表される北西—南東方向と東京湾や房総半島で代表されるこれと直交する方向とが地形を支配する主要な方向でこれら二つの方向が震源の配列と何等かの関係があるのではないかと考えた。そして北東—南西の断面に震源を投影してそれらの関係を調べた。その結果この面に大体直角な7つの北東に傾斜した平面上に地震の頻発することが明らかになったという(第3・4図)。

これらの面は断層面と考えられるがもし関東地方に将来地震が起こるとするとこの7つの面のどれかに起るであろうと考えた。さらに主な活動地域が関東地震後北東方に漸進することから将来の活動について暗示した。またこれらの断層面と従来の地震帯との対比地塊との関係などにも言及している。

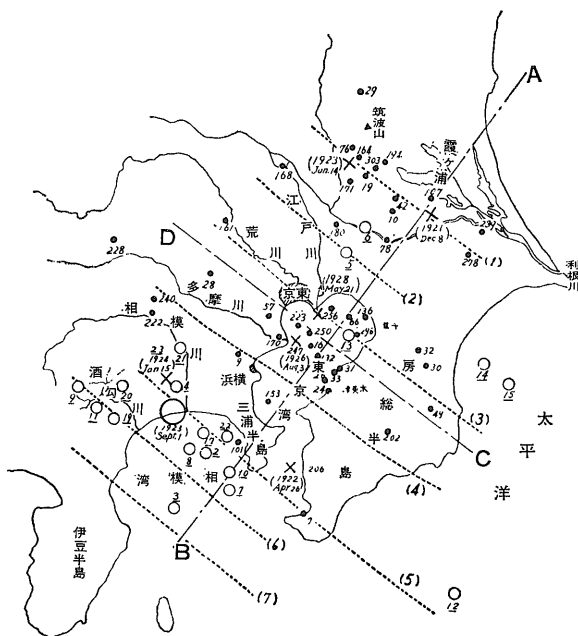
1933年に小平孝雄は関東地震後飛躍的に整備された観測網を利用してとられた1924年から1931年までの地震

記録を用いて 関東地方の地震活動と震源の分布などについて論じた。それによると 関東地方の地震は 鹿島灘や房総半島沖などの太平洋底を除くと 山岳地方に粗で低地に密になる。震源の深さは40km 台にもっとも多いが 地表近くのごく浅い所から 140km の深い所まで発生している。特別に深い所に発生した地震を除くと 一般に東京湾北部に最も深い地震が発生し そこから遠ざかるに従って 次第に震源は浅くなる傾向がある(第5図)。すなわち 東京湾北部の地下70km 付近を底にして 地表に対して45°位の傾きをもったお椀型の部分に 大部分の地震の発生することを明らかにした。この東京湾北部の地震活動の活発な地域は 重力異常の負の地域に一致することも指摘している。この事実は地殻(この場合の地殻は 現在の地殻と上部マントルを合せたものを意味している。これ以後の論文でも 同じような使い方をして例がある)内の構造状態が周囲とかなり違って いて この異常が原因で ここを中心とするいくつもの裂罅を生じ それに沿って地震が発生するのだと考えた。

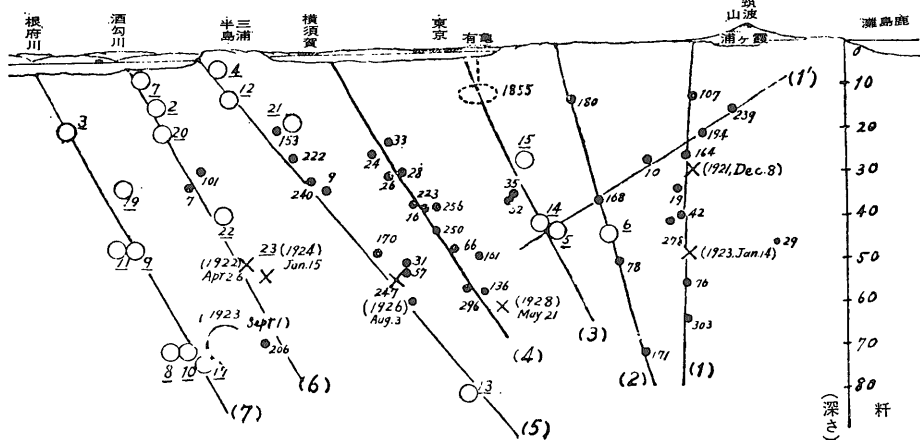
関東地方の震源の空間分布に関する研究が 1936年に 那須信治・萩原尊礼・表俊一郎によっても発表された。それによると 1924年から1935年までに発生した地震について見ると 浅い地震はほとんど関東平野の西の周辺に起り 東京湾・霞ヶ浦・鹿島灘には全く起っていない。これに対して 100kmよりも深い地震は 熊谷付近と相模湾沿岸に限って起るが 40から60kmの地震は 小平が指摘したと同様の分布をとることを示した(第6図)。そして 地震の原因を岩漿運動に求めるとすると 関東地方では 熊谷付近と相模湾の地下深所に 岩漿あるいは岩頸と思われるものがあると考えた。このように考

えるならば 利根川・鬼怒川流域と東京湾北部の2地域に地震が集中して起る理由 関東平野の西縁にそって次第に震源の浅くなる理由も ごく自然に説明できるとのべている。

同じ1936年に 永田武も震源の空間分布を論じている。彼の扱った資料は 1924年から1935年までの深さの決定された528個の地震で 小平と同様に 東京湾北部と鬼怒川と利根川にそった地域に震源が密に分布すること前の地域では70から80km 後の地域では40から50kmの深さにもっとも頻りに地震の起ることを示した。また 東京湾北部では 1924年から1930年にわたる7年間には70から80kmの深さにもっとも頻りに地震が起って



第3図 関東地方の震源と断層の分布
かっこ内の数字は断層番号で第4図に対応(那須信治1931による)



第4図
関東平野を北東一
南西に切る断面に
投影した震源と断
層との関係(那須
信治 1931による)

いるのに対して 1931年以後の5年間では 60km よりも深部にはほとんど地震の起っていないことを明らかにした。彼は これは1923年の関東地震によって地殻の下部が不安定になったが それ以後安定してきたためであると考えた。さらに 重力のブーゲー異常と震源の分布とを比較して 重力異常の勾配の大きい所に地震が頻発するが これは地下の構造が不連続的に変化していることによるもので その上層がいまだ不安定であることによるのだと考えた。

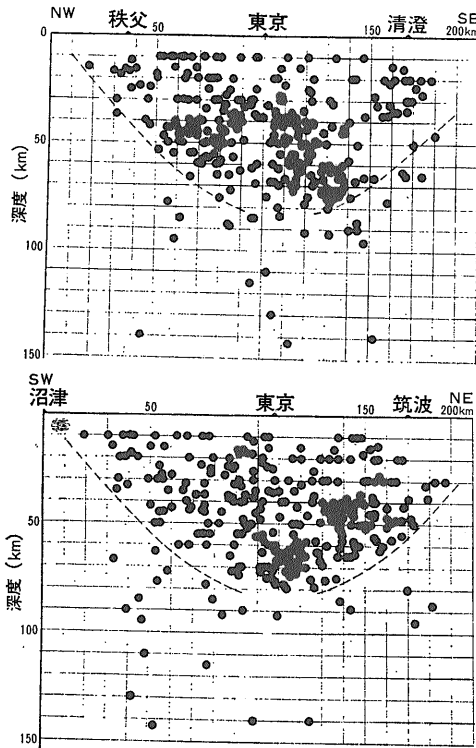
このように 1930年代になると 一方では観測所の整備拡充 他方では深発地震の存在確認という背景の下に震源の空間分布が注目され それに関する論文が相次いで発表された。しかしその解釈にあたっては 断層に結びつける考えと 岩漿の運動に原因を求める考え方があった。後者は 石本巳四雄 (1929) によって提唱された地下岩漿説の影響と考えられる。

順調に発展してきた関東地方の地震の研究も 第二次大戦と共にその足どりを止め しばらく関東の地震研究に関して見るべきものがなくなってしまう。再び震源分布について議論されるのは 第二次大戦後しばらくたってからのことになる。

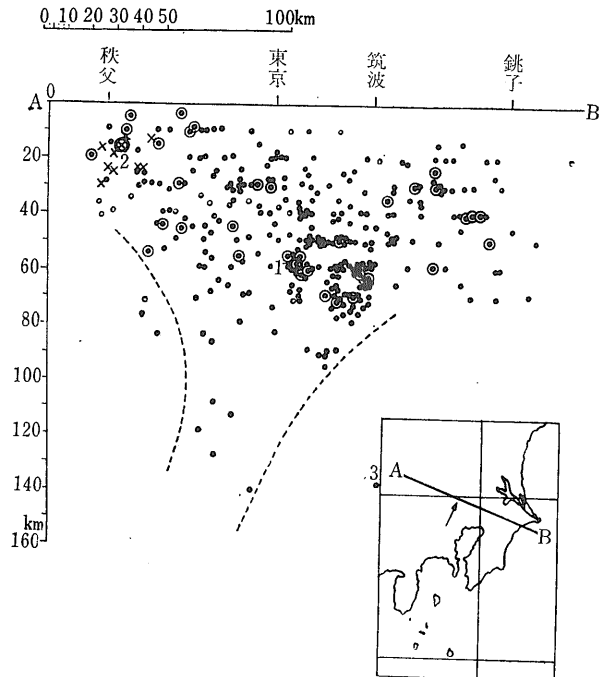
1954年になって 和達清夫と岩井保彦によって 日本

列島全体の震源分布のまとめの一環として 関東地方の震源分布にふれ 新しい資料によって 小平・那須ら・永田によって指摘された椀状ないしロート状の震源分布を再確認している。なお 和達・岩井が意図したところは 和達が1935年に発表した日本付近の中・深発地震の深度分布に見られる規則性を再検討し それを再確認することであった。

1956年には 市川政治によって再び関東地方の震源分布の問題が取りあげられている。あつかった資料は 1933年から1952年までの地震である。彼は 関東地方を東西にきざみ その間にはさまれた震源を 地表に垂直な面に投影することによって 震源の分布を立体的に観察した。その結果 関東の中部地域では西に向って傾斜する空間に 鹿島灘では最も深い所で 60km の椀状の空間内に 関東の南部地域 (主として房総半島および東京湾) では上の2つを合わせたような空間内に地震の起っていることを指摘した。すなわち 震源分布についていえば 以前から指摘されていたような椀状・板状ないしロート状の分布をとることが 今回の調査でも明らかになったとしている。また 地震エネルギーの地域的な分布を示す図を提出した(第7図)。さらに3地域について 地震のエネルギーの和の変化図と BENIOFF



第5図 関東地方の震源を北西—南東(上)および北東—南西断面に投影した図(小平孝雄 1933による)



第6図 関東地方の震源(断面ABよりも北側のもの)をAB断面に投影した図(那須信治・萩原尊礼・表俊一郎 1936による)

式の地震エネルギーの平方根の累積図をつくり完全に同一位相ではないが 3地域ともほぼ似たような傾向を呈すると見てさしつかえないと見た。このことから各地域の震源分布や地震発生の時間的継起の相違は地殻物質の相違によるものと解釈した。

筆者(1968)は1926年から1956年までの地震資料を用いて関東地方の震源分布を再検討し 従来から指摘されている椀状の震源分布を再確認するとともに その形状が約10万年前に海面付近に形成された下末吉面の現在の海拔高度や第四紀層の基底深度に平行する傾向のあることを指摘した(第8図)。すなわち下末吉面が最も低い位置にある東京湾の湾奥付近と北関東の中央部では震源の深度が深く 椀状の震源分布の底が位置するということである。このことは椀状の震源分布は関東平野の最近の造構運動である「関東造盆地運動」の深部過程の反映であることを示していると考えられる。

長谷川功・飯塚進(1969)は1926年から1966年までの震源を深度20ないし40kmごとに平面図としてまた多くの断面図を作製して関東地方の地震活動の詳細を明らかにした。

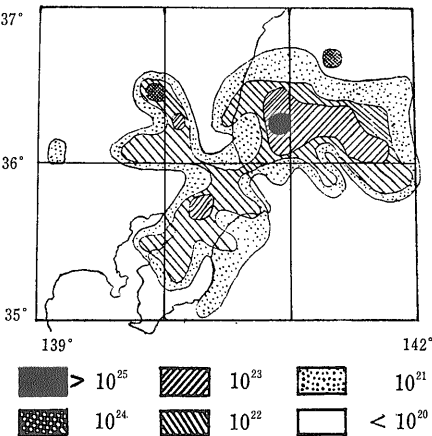
津村建四朗(1973)は関東地方におこった微小地震の分布を明らかにした。彼の用いた資料は1971年7月から1972年6月までの10ヵ月であったけれどもその間の微小地震の活動様式は長期間の気象庁の観測によるものとほぼ同じ結果がえられたという。さらに東京下の中深発地震の二層構造や茨城県南西部の震源密集地域が二つのグループに分けられることを明らかにした。

3. 発震機構の問題

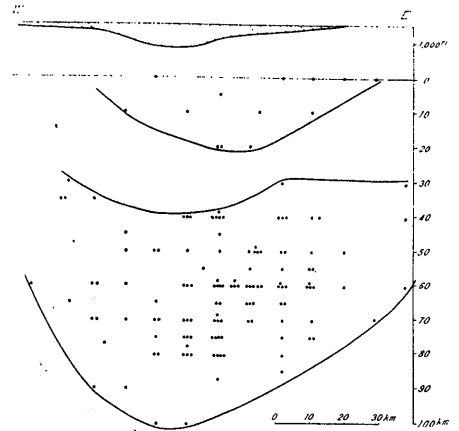
あるきまった地域に起る地震をあるきまった観測所で

観測すると その地域に特有の地震記象の型がえられる。このことは大森房吉(1905)によって注目された。さらに大森(1909)は地震の初動が縦波であることから初動の方向は地震波の進行方向と一致し一点の観測から震源の推測を行なうことを示した。

志田順(1917 1918)はある一つの地震をいろいろな観測所で観測し その初動分布をしらべるときわめて規則的な分布をとることを見出した。彼の発見した初動分布の型は二つある。一つは初動の押し・引きの分布を震央で直交する二本の直線で分けられる「四象限型」他の一つは震央に近い円内が引きで他は押しになる型である。この発見はP波初動の押し・引き分布から震源における発震機構を推定できることを示すものである。志田は前者が震源において裂罅を生じ両側の地塊が反対方向に動いたとして説明できるとしてこのような地震を裂罅地震とよんだ。後者は地下において地盤の一部が陥落したことによって説明できるとしてこれを陥落地震とよんだ。

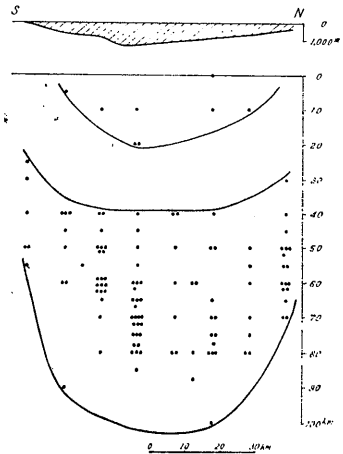


第7図
関東地方の1933年より1952年にいたる間に放出された地震エネルギーの分布図
単位はエルグ(市川政治1956による)



第8図

関東地方の1926年から1956年にいたる間の震源と上総層群基底の東西(上)および南北断面図(F)
(鈴木樹元 1968による)



その後 この発震機構の問題は多くの人によって理論的に取扱われたが 中野広 (1923) や松沢武雄 (1926) の研究がよく知られている。彼らは 無限に広がった弾性体の一点にいろいろな型の力が作用したときにどのような波動が生ずるかを理論的に研究した。これによって 発震機構の理論的基礎が与えられたといわれている。

さて 棚橋嘉一 (1931) は 岐阜県北部に起った深発地震で 双曲線によって囲まれた地域内の P 波初動は押しで その他では引きになっていることを見出した。石本巳四雄 (1932) は 深発地震の震源を頂点とする円錐を考え この円錐内では P 波初動が押しとなり その他では引きとなるような発震機構を主張した。棚橋の見出した押し・引き分布は このような機構で説明できると考えたのである。この型の発震機構は 円錐型の発震機構とよばれる。

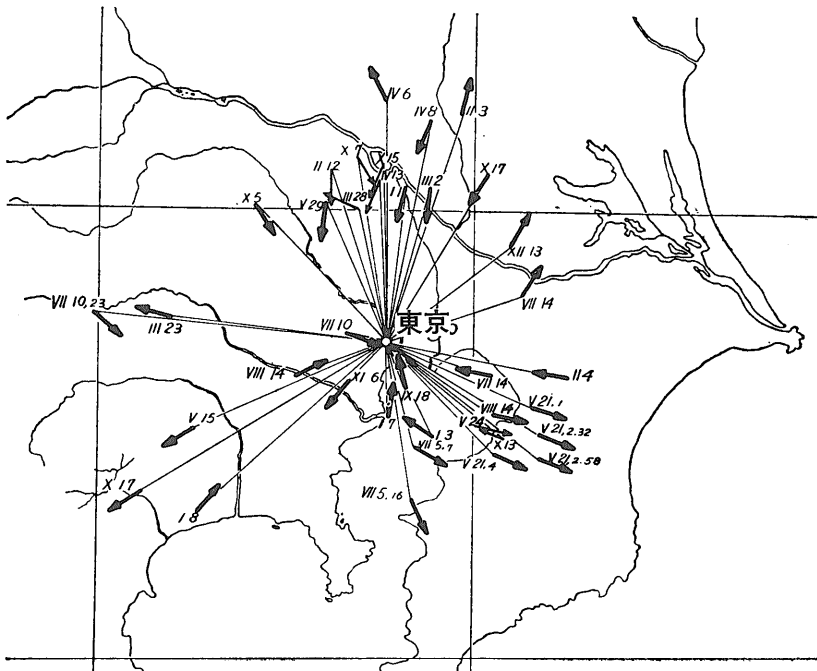
これは 発震機構研究の一般的背景であるが つぎに 関東地方の研究について見てみることにする。

岸上冬彦 (1932) は 1928年に関東地方に起った地震を 東大地震研究所と地震学教室に所属する6つの観測所で観測した結果を解析して 各地震の東西動と南北動とから初動方向を求めた。その結果 たとえば千葉県中部や関東地方北部に起る地震を東京で観測すると 初動方向が前者で引き 後者で押しになることが多いといったように 地域によって一定の傾向が見られることを

明らかにした(第9図)。このことは 地域ごとに同じような機構で地震が起ることを示していると考えた。ただし 一つ一つの地震の初動分布を見ると 志田の「四象限型」と大体一致するけれども 説明のむずかしいものもあるが 測定に問題が残されているとしている。

福富孝治 (1931) は 関東地方に起る地震波の初動の地域的特性を研究した。それによると 銚子・柿岡の観測所では地域ごとに規則性が見出されるが 熊谷・鎌倉では不規則であるとしている。さらに 個々の地震の初動分布型によって関東地方を6つのブロックに分け 地域ごとに初動分布を分ける節線方向に特徴の見られること 節線が1本の2象限型とそれが2本の4象限型の存在することをのべ 発震機構について論じた。

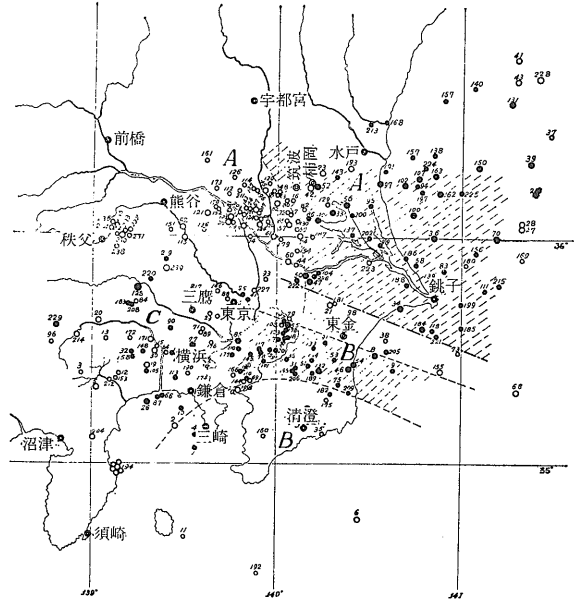
福富は 1933年に再び同地域について地震波の初動分布の問題をあつかった論文を発表した。彼は 関東地方に起る地震では 上下動が明確に読みとれることから 観測所ごとに上下動の地域性を調べた。その結果 各観測所ごとに初動方向に規則性のあることを見出した。たとえば 東京の本郷の観測所の観測結果によると 鬼怒川・小貝川流域・房総半島南部・鹿島灘沖・秩父山地・伊豆半島に起る地震は押しで始まるが 霞ヶ浦・東京湾・房総半島中部に起る地震では引きである。このような地域性を 銚子・柿岡・熊谷・鎌倉の各観測所について調べた。また 初動分布型により関東地方を3区



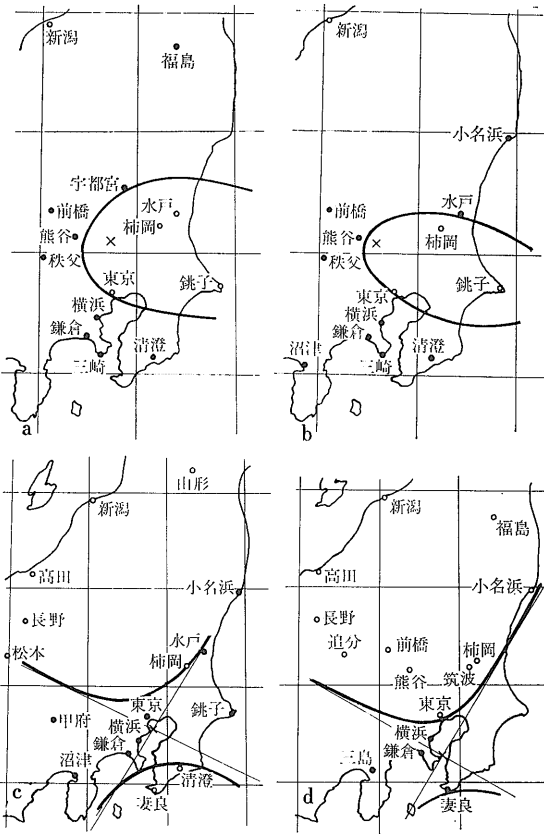
第9図
関東地方の各地で起った地震の東京における初動方向の分布図 (岸上冬彦 1932による)

分した(第10図)． 初動分布を分ける節線は 深度0～25km では双曲線型のものが多く 深度25～50km では楕円が多い(第11・12図)． これは地表の影響によるものであると考えた． 福富は 石本の円錐型の初動分布を採用したので 円錐の軸の傾きによって 節線は円・楕円・双曲線や放物線になると考えたのである(第13図)． この後しばらく第二次大戦前後の空白時代がつづく．

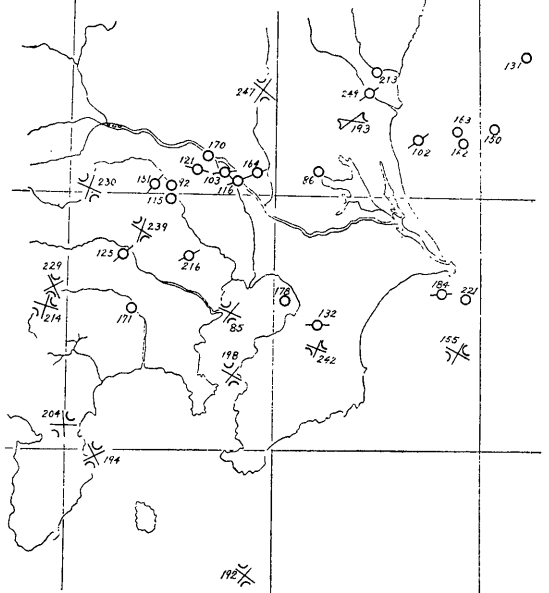
浜松音蔵 (1959) は 「地震予知のための予備調査要領」 (1959) にもとづく調査で 1928年から1958年までの東京の観測所における初動方向を調べた結果を発表した． それによると 茨城県南西部・埼玉県中部 (西埼



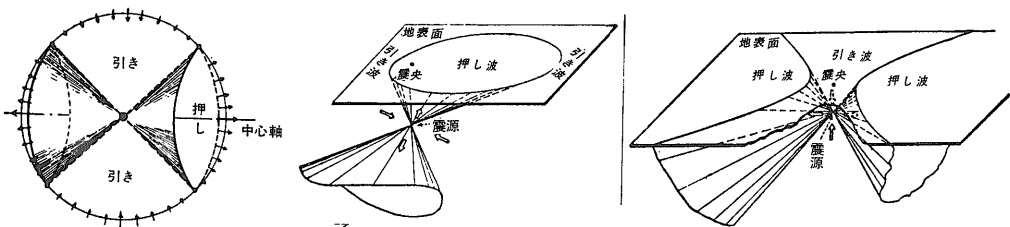
第10図 1923年9月から1931年までに発生した地震の東京・本郷における初動方向の分布図． 本郷において上向きのは白丸、下向きのは黒丸． 初動分布によってA・B・Cの3地域に区分される (福富孝治 1933による)



第11図 初動分布のいくつかの例 (a) 1928年1月1日；(b) 1928年2月18日；(c) 1926年8月3日；(d) 1930年8月17日の地震． xは震央 白丸は上方向 黒丸は下方向 (福富孝治 1933による)



第12図 関東地方における楕円の節線と双曲線の節線の分布． 円の周辺の線は主軸 ×は双曲線の漸近線 (福富孝治 1933による)



第13図 円錐型の押し波・引き波の射出と地表面におけるその分布 (笠原慶一 1959による)

玉地域)・静岡県東部(北伊豆地震など)に押しの分布地域がまとまっていること 引きの地域は 福島県沖・茨城県東岸から東方沖・銚子の近海・房総半島北部および中部にかなりまとまっていることを明らかにした。そして垂直的に0.1°間隔でさしみに切り 初動の押し引きの深さによる分布を検討した。

市川政治(1962)は 関東地方の発震機構の地域性を検討した。資料は 1950年から1960年までに起った深さ50ないし100kmの地震34個であった。それらを震源のかたまっている場所によってA(茨城県南西部)・B(千葉県中部)・C(鹿島灘)に分け 地域ごとに起震歪力の主圧力軸・主張力軸・節面の方向・断層型(正断層か逆断層か)・断層面の走向傾斜などを記載した。

この市川の発震機構の解析方法は 震源を中心にその近傍に球面を考え その面上に地表で観測された押し引き分布をひきもどして投影する。すると この面上の押し・引き分布は 中心を通り直交する2平面によって押しの領域と引きの領域に分けられる(第14図)。ひじょうに浅い地震では 押し引き分布は直交する2直線によって分けられるが これは上にのべた場合の特殊な例にあたるわけである。このような地震波の初動分布は2節面に直交する面内であって 2節面を2等分する方向(軸)に押しあるいは引きが働くことによって生ずることが 中野らによって理論的に明らかにされている。押しは初動の引きの領域にある軸で これを主圧力軸とよび 引きは初動の押しの領域にある軸で これを主張力軸とよぶ。あるいは これに等価の偶力系が働いても良い。このような応力下では 節面の方向に断層が生ずる。したがって 断層の性質やその運動方向も推定できるということになる。ただし 2つの節面のうちどちらの面にそって運動するかは P波の初動分布だけでは決定できない。

このようなモデルによる発震機構の解析は 第2次大戦前 本多弘吉をはじめとする中央気象台の技師達によって精力的に行なわれた。彼らは 100kmよりも深い

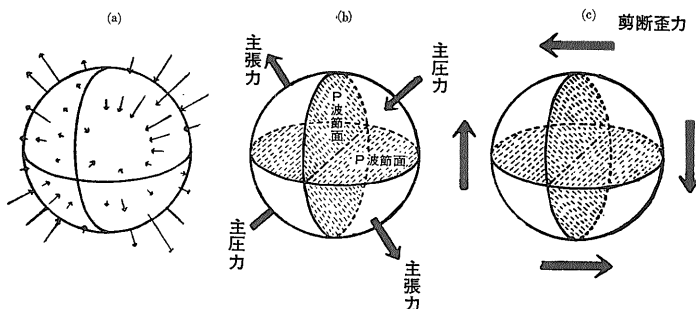
地震ときわめて浅い地震を主として扱い それらの発震機構を明らかにして行った。市川は この仕事を継承して さらに資料を蓄積している過程の論文が関東地方の発震機構の論文で 従来あまり手掛けられなかった中間の深度の地震を扱ったわけである。

市川の結果によると 関東地方の浅発地震の主圧力軸はその水平成分が島弧に直交し 垂直成分が中・深発地震面にほとんど直交するような方向をとること この傾向は 他の地域の深発地震と似たものであることを指摘している(第15図)。

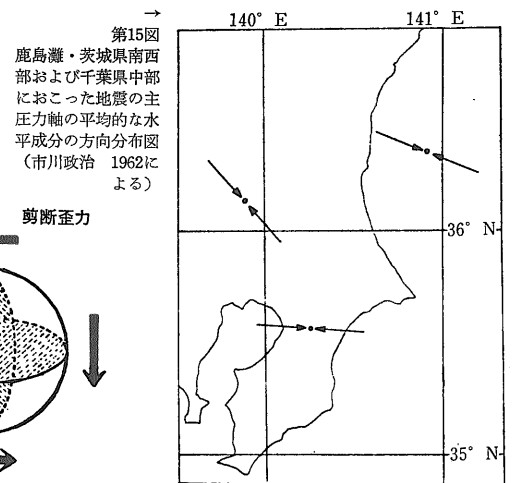
なお 円錐型の初動分布モデルが提出され それによって初動分布を説明した論文が多く書かれたが 1960年代には 世界中の地震観測網を利用して 円錐型では説明できないが象限型では説明できる地震が見出されるなどして 一般に象限型モデルが採用されるようになってきている。ただし 象限型では説明できない地震もあるようであるが この問題の解決は今後の課題であろう。

さて 近年はかなり大きな地震について P波の初動だけでなく 長周期地震計を用いて 断層の動力学的なパラメーターが求められるようになってきている。そのパラメーターは 断層の方向と拡がり 断層の変位量と変位速度 地震のモーメント 応力低下などであり 関東地震(金森博雄 1973)や1968年の埼玉地震(阿部勝征 1975)などについてそれらが求められている。

このように 発震機構の問題は 最初はある観測所で観測した地震波の初動が 地域によって一定した傾向をもっていることに気がつくたことに端を発する。や



第14図 深発地震の発震機構(本多弘吉 1942による)



→
第15図
鹿島灘・茨城県南西部および千葉県中部におこった地震の主圧力軸の平均的な水平成分の方向分布図(市川政治 1962による)

がて一つの地震について見るとその初動分布がきわめて規則的になることが見出されそれから起震歪力が求められることが理論的に明らかにされる。もっとも単純なものも 震央を通る直交する2直線によって初動分布が分けられる四象限型とよばれる型で一般にごく浅い地震に見られるものである。ところが浅発ないし中・深発地震については節線は一般に直線にならない。これに対して四象限型を拡張したモデルと円錐型のモデルが提出された。戦後高倍率の地震計が世界中に設置され発震機構の解析にそれらが利用されるようになった。その結果円錐型よりも拡張した四象限型のモデルの方が一般に観測事実に合うことが明らかになった。

なお関東地方といった具体的な地域について見ると一時代前にはその中の地域的な差違にかなり注目されたがその後日本列島全体との関係が前面に出てきてこまかい地域性にあまり注意が向けられなくなった点に問題を感じさせられる。

4. 地震活動に対する地質学の役割

以上ほぼ時代を追って関東地方の地震活動の研究を概観してきた。つぎにこのような背景をふまえて我々地質家に課せられている課題について私見をのべてしめくりとしよう。

a. 地質構造を明らかにすること

古くは新村明恒や那須信治がのべているように地震と断層との間には密接な関係がありとくに破壊をもたらすような大きな地震は地殻を切る大きな断層と密接な関係をもつものと考えられる。しかし関東地方は厚い第四紀層におおわれているために基盤の構造とくに大きな地震発生をとまうような断層の位置を明らかにすることは容易ではない。しかし近年段丘面を丹念に調べることにより周辺を断層で境され地塊的に運動する構造単元の存在が明らかにされてきた(堀口万吉 1974)。

このような構造単元は地震探査・重力分布あるいはボーリングなどによって具体的にその性状が明らかにされるであろう。現に石油や天然ガスの探査のために行なわれた地震探査の資料によると反射面がほぼ連続して取れる区間とそれのほとんど取れない区間とが見出されたり地震波の速度構造が異なっている部分などが明らかにされている。また基盤に達するような深い坑井が何本か掘られ基盤に1,000m以上にも及ぶ断層の予想される場所も見出されている。

これらの資料を総合して関東平野の構造を明らかにすることが期待される。

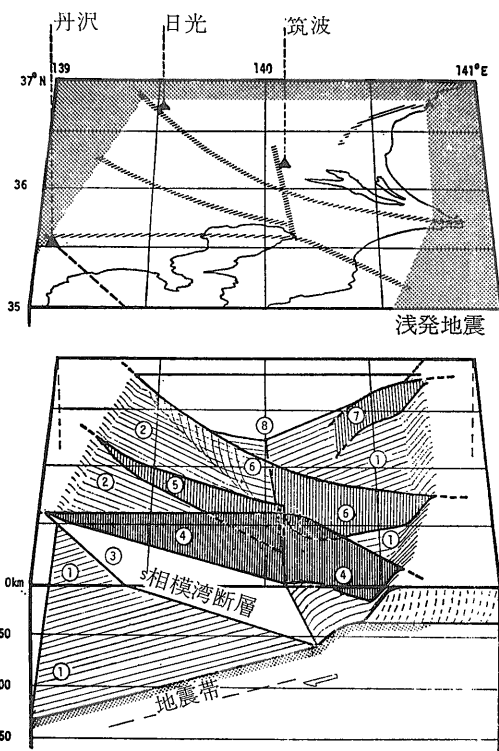
なお関東平野西縁には新第三紀・第四紀層が分布している。これらについては地質学的手法で地質構造を明らかにする必要がある。それは関東平野の地質構造としての共通性もあるはずで平野内を推定する足がかりを与えてくれるからである。

近年堆積盆地の発生の問題にメスが入れられ次第に発生の機構が明らかにされてきている。その結果堆積盆地は隆起にとまう断層の発生によってかなり急激に形成されるという事実(藤田至則 1973)は地震の問題にとつきわめて重要な意味をもっていると考えられる。それはこの段階で形成された断層がその後再活動し地震発生の場になることが知られているからである(鈴木尉元 1975)。

このような発生のしかたは鮮新統の堆積盆地にも見られるという。最近東京湾周辺において鮮新世の長沼層基底に礫層をとまう不整合が見出された(楡井久・樋口茂生・原雄・古野邦夫 1975)。この不整合は長浜層以上の鮮新・更新世の堆積の場が一たん隆起しついでかなり急速に形成されたことを示しているという意味で大変興味深く今後その実体の解明が期待される。

このように堆積盆地の発生にはじまる一連の構造発達史は地震発生場の条件を明らかにする上でも欠かすことのできない問題である。このような研究は関東平野西縁地域でまずなされなければならないであろう。なお関東平野中心部のような堆積物の厚いところでは発生期の断層は堆積物中には撓曲としてあらわれるかもしれない。

なお地震の発生する地殻ないし上部マントルの構造についても地質構造と関係させて明らかにしなければならぬであろう。この問題について宇津徳治(1956)はP波の初動方向が震央と観測所とを結ぶ線から偏ることから関東地方の地下深部の速度分布ないし地殻の厚さの分布を明らかにした。また藤井陽一郎(1968)は関東平野中心部におけるプーゲー異常の分布が地殻が下方へ10km程たわんでいることによって説明できることを示した。さらに深部の断層の分布などよりこまかい構造が明らかにされねばならないがこの問題は那須の行なったような震源のよりこまかな分布や地震活動の時間的推移などから逆に明らかにされるかもしれない。ただ筆者は関東周辺地域での地質構造と地震活動との関係から規模の大きな構造を基本的に特徴づける断層は垂直的なものであろうと予想



第16図 俯瞰した関東地方の震源分布(地震面・地震脈の想像図).
 上図は地表への投影(周辺の半影は浅発地震発生部分) 下図は地表をはいた状況を示す(笠原慶一 1974による).

している。

b. 現在の地殻変動を明らかにすること

関東地方には 一等水準点や三角点が分布している。それらの改測資料を用いて 現在構造運動はどのように進行しているかを明らかにし そのような進行課程でどこに歪が集中し 断層が形成されるかを明らかにする必要がある。ある場合には 歪が一方的に進行し 断層がそれと調和的に運動し歪が解消されるであろう。また他の場合には 歪が進行し 地殻の強度がそれにたえきれず 歪の進行と逆行するように断層が形成されるであろう。たとえば 隆起ブロックの境界付近には前者の型の断層が形成され ブロックの頂部では後者の型の断層が形成される。これらの断層にともなう地震のエネルギーの配分は 変形の型によって異なるであろう。

この意味で注目されるのは 測地的な地塊運動である。武藤勝彦・熱海景良(1929)は 関東地震後の一等水準点の改測資料を解析して 直線的に変動する単元を見出し 関東地方の測地的な地塊の分布を示した。その後 宮部直巳(1931, 1933)は 関東地方西部や房総半島で地塊運動を再確認し 地塊の区分とその運動を

より精密に決定した。

このような運動様式は 地質構造を反映しているはずで 測地的変動と地質構造との関係を今後検討する必要があるであろう。そして 現在運動が歪を蓄積するような方向に進行しているかどうか検討する必要がある。また 地殻変形と地震のエネルギーとの量的な検討も期待される。

水平的な変位・変形についても 同様の検討がなされねばならない。

c. 地震発生場の地質学的条件を明らかにすること

地震は 地殻が変形する際に 歪が集中し断層が発生するのに伴って起る。したがって 地殻の不連続の変位部と現在の地殻変動の様式が明らかにされるならば 震源の分布の意味が明らかになるに違いない。

微小地震や破壊的地震が しばしば線状に配列することが知られているが その意味は 上のようにして明らかにされるに違いない。

笠原慶一(1974)は 関東地方の破壊的地震の分布とその発震機構および微小地震の分布から 破壊的地震をひき起す活断層の分布を推定した(第16図)。しかしその実体や現在の運動との関係については推定の域を出ていないが それを具体的に明らかにすることが今後の重要な課題であろう。

d. 造構運動の機構を明らかにすること

すでに指摘したように 関東地方の震源はじょうご状あるいはロート状の分布をとるが その形態は 最近10万年程の間の造盆地運動と平行している。このことは 関東平野の運動が このような深部の過程の反映であることを示している。

発震機構は 地下深部での応力状態を反映している。これらを満足するモデルを作ること さらにこの深部での変化過程と地殻ないし上部マントルの造構運動との関係を明らかにする必要があるであろう。

e. 地震活動の時間的推移を明らかにすること

地震発生の時間的推移を明らかにし 破壊的地震を予知し 災害を未然に防ぐことが地震研究の1つの大きな目標である。この問題について 今村明恒の研究を紹介したが 河角広(1970)の69年周期説も良く知られている。このような研究を地域ごとにさらに精密にする必要がある。しかし この問題は 地下の構造や運動との関係が明らかにされて どこで どのような観測をするかといった 予知の具体的なプログラムを描く方向に向うべきであろう。