

地震予知についての最近の状況

はぎ わら たか ひろ
萩 原 尊 礼*

今日、地震予知という研究がどの程度進んでいるかという現状と、最近新聞などで報道されている南関東における地震の問題についてお話したい。

地震予知の研究計画は昭和 40 年にスタートして 7 年になる。この計画は予知に必要な観測、あるいは測定を多くの機関で行なって地震予知に必要な情報を集めることにつぎ。現在まだ研究の段階で、1つの機関が責任をもってやるという状態ではなく、大勢の協力によってやるということで成立している。

1. 地震はどのようにしてなぜおこるか

地震というのは地殻の岩石に、ある原因で非常に大きな力が働いて、岩石がそれに耐えられなくなったとき、いわゆるズリ破壊が起こって地震となると考えられている。

地震の原因がいまだわからないとか、いろいろの説があるといわれているが、地殻がズリ破壊し、それがぜい性破壊であろうということについては異論がないところである。ただその力がどういうふうにして働くかということについていろいろの説がある。今日ではその力は地殻の下にマントルという部分があるが、その熱対流によるとされている。マントルの部分が熱対流によって、表面の方では、水平に動く、それが横向きの力を地殻に与える原因であると考えられている。マントルは地震波の縦波、横波を通すから、速い振動に対しては固体であり、一方プラスチックな性質をもっているの、非常に緩慢な運動に対しては流体としての性質を示す。ではどの位の速度でマントル対流が動いているかという、大体年間 3 cm 程度のきわめて緩慢な動きである。

2. 地震予知の考え方

そういうふうに、地震が地殻岩石のぜい性破壊だとわりきっても、これは一種の破壊現象で、一般に物が破壊するというのは連続的の物理現象ではないから、それが何月何日何時何分に起こるということを予測することは原理上できないわけで、まわりのわからないいろいろな条件によって支配される。室内で岩石に力をかけてこわす

場合でも、いくら条件をそろえても、それが破壊を起こす外力の大きさ、あるいは同じ速度で力を加えても破壊の起こる時間には、バラツキが多く出るわけで、相当前から破壊に要する正確な時刻を予報することは原理的にむづかしい。

しかし、岩石などの試料に外力を加えて破壊する場合には、最初は弾性変形して、それからある所で限界をこえる。そうすると応力-ヒズミの関係が変わってきて、同じ量の応力の増加に対してヒズミがより増す。金属のように粘りのあるものだと、そういった状態になってから相当長い期間耐える、いわゆる粘りがある。地殻をつくっている岩石のおもなものは花こう岩質のもので、底の方は玄武岩質のものであるといわれているが、いずれもぜい性でもろく、弾性限界をこえるとじきに破壊がくる。

このように考えると地震予知は岩石の材料試験のようなことを考えればよい。弾性限界をこえたということをつまづ見つければ、やがて破壊が近づいて、遠からず破壊が起こる、つまり地震が起こるということが前もってわかるわけである。ところで 2 つに 1 つ問題があるのは、岩石がもろいということを述べたが、室内実験においても、岩石を破壊試験するとき、かなり静水圧を加え、温度を高くするとぜい性から延性に移ってくる。地表からの深さ 30 km に相当する圧力、温度でも、すでにぜい性から延性に移るので、弾性限界を越えても破壊が起こらないで、粘りをもってくるということが考えられる。一方自然現象をみると、30~40 km より深くても地震がたくさん起こっている。しかも地震波の初動の観測からするとやはりズリ破壊である。そういうことから、こんな深いところでも同じような破壊が起こっているということになる。そういうことに関して、最近岩石の間ゲキの静水圧が影響しているということがいわれ出してきた。つまり、岩石の間ゲキの液体圧が周囲から加わる外圧と同じぐらいになると、外圧の影響がないときのようにぜい性破壊が起こることが実験でもいわれてくるようになった。いろんな方面でこの間ゲキ水圧が問題になっているが、地震の方でもこの間ゲキ水圧によって相当深いところでもぜい性破壊が起こるのであるということになっている。岩石の間ゲキに生ずる液体は何でも

* 東京大学名誉教授 理学博士

特別講演

よいわけだが、地殻内の岩石には水が豊富にある。火山が噴火すると大量の水蒸気が出る。この水蒸気は地表からの水ではなく、地球内部からのものである。このようなことで、だいたいぜい性破壊でよかろうということになり、実験室で花コウ岩などをとってきて破壊実験をすれば、弾性限界を越えたときにどうい物理的現象が起こるかがわかる。

2.1 まず弾性限界を越えると、応力-ヒズミの状態が変わってくる、つまりヒズミの進行が急激になってくるだろう。

2.2 次に、非常に小さなクラックが発生し始める。要するに大きな破壊に先だって、非常に微小な破壊が起こる。

岩石のサンプルに小さな Pick-up をつけ、これを振幅比にして何万倍という増幅をかけて、レコーダーに描かせるとか、直接レシーバーにつないで耳で聞くと、地殻岩石のように不均一でもろい性質のものは小さなクラックがたくさんできて、衝撃性の振動が起こることがわかる。これを Elastic Shock という名でよんでいる。このショックの起こり方は岩石のぜい性、不均一性によって違う。

不均一なほど顕著に起こる、あまり不均一になるとショックがたくさん起こって、大破壊が起こらないで、破壊としての過程が終ってしまう。これは松代地震のような群発地震の場合がこれに相当するのではないかとされている。ショックがいっぱい出てくる、これを自然地震の場合に当てはめて考えると（これはいわゆる前震といわれ、大きな地震の前に小さな地震が先行するということになる。これも一つの地震の前兆とし、前震というものが期待できる。この前震は今まで場合によっては人が体を感じるようなこともあったが、普通はなにも前兆なしに突然起こったということになっている。しかし今日の発達した倍率の高い地震計で測れば、大多数の大地震は前震をともなっているのではないかと期待できる。

2.3 あとほかに現われる物理的な現象は、地殻の中を伝わる弾性波の速度が変わるだろうということである。実際、弾性限界を越えて破壊が近づくと小さなクラックがたくさん入るので、見かけ上の弾性常数を小さくする。したがって、弾性波が異常に遅くなれば破壊の前兆とみなせる。こういった前兆は室内実験結果によれば、外力が岩石の破壊強度の数 10% になると、非常に顕著に現われる。非常に小さな試料による実験をそのまま地殻という巨大な試料に結びつけるにはいろいろ問題があるが、似たようなことが成り立つとすれば、こういったことを観測することで、長期的予報ができることが期待される。

2.4 磁気的な方法で、強磁性の鉱物をたくさん含ん

だ岩石（花コウ岩はだめである）玄武岩質の岩石を一方に圧縮すると帯磁率が変わってくる。非常にわずかな量であるが、地殻の中の相当量の岩石の帯磁率が変わると、地表の地磁気の変化として現われてくるであろう。そういうことから地磁気の変化から地殻の岩石にたくわえられた Stress がわかるのではないかと期待される。

3. 地震予知のために行なう実際の観測方法

今まで述べてきたことをもとにして、地震に伴って起こるいろいろの現象をつかまえるには実際にどういことを観測すればよいか。観測するとしてもわれわれは地表で現われるなにかの変化を捕えることになる。

3.1 まず、地殻の変形を測定することである。これは測量が最も確実な方法である。

日本の一等三角点は 330 点あり、これは明治初期に第 1 回の測量が行なわれ、戦後第 2 回が計画され数年前に完了した。その間 60 年位の間がある。一等水準点は、全国の主要国道沿いに 2 km おきにあるので、延べ 2 万 km として 1 万点の測点がある、水準測量は、特別なものを除いて 30 年に 1 回再測量が行なわれていた。地震予知計画では繰返しの期間をもっと短かくし、1 等三角点の測量は 10 年間で 1 回、1 等水準点の測量は 5 年間で 1 回、やり直すことが計画されている。またこれだけでも足りないの、ある特定地区では、三角測量、水準測量も 2 年半ごとに行ない、その外に、光を使ったジオジメータで三角点間の距離を 2 年半に 1 回再測量することが計画され、測量に関しては今日まで計画通り行なわれている。

3.2 その他、土地の変動を測るには検潮 (tidal observation) がある。これから得られた平均海水面に準拠して、それが動かないとすれば、土地が上がったか下がったかわかる。これは海岸だけであるが、土地の動きの監視になる。

3.3 測量は確実であるが時間的ギャップがあるので、1 年とか 2 年とか間があくので、それを補うものとして土地の傾斜変化、あるいは土地の伸び縮みを測る、傾斜計、伸縮計を山腹に横穴を掘り、少し深いところに、障害をさけて設置して観測を行なっている。

これを地殻変動観測所と称して、現在大学の手で行なわれ、全国に十数ヶ所ある。こういうものが変形の測定に該当する。

3.4 大破壊に先だって小破壊が起こるとのべたが、そういうものを観測するものが、いわゆる地震観測で、M3 以上については現在気象庁が業務として観測している。M3 より小さい微小、極微小地震は、研究的色彩が強いので、大学の手で観測している。いずれ将来はこういった微小地震までも業務の対象として気象庁あた

りが観測するようになるものと思っている。

3.5 地震波の速度変化の観測は通産省の地質調査所が担当している。現在の試験観測は伊豆の大島で火薬を爆発させ、これを本州側の房総、小田原、伊豆で受けて、地殻中を伝わってきた地震波が、そこまで到達するのにどの位時間がかかったかを測定している。こういった同じ測定を毎年1回繰返し、どの程度の精度でいくかを調査している。現在では大体数ミリ秒： $5/1000 \sim 6/1000 \text{ sec}$ という精度で測れるので、その程度の変化があれば測定に現われてくるということがわかっている。

3.6 地磁気の測定は現在、国土地理院、気象庁、大学、水路部などいろいろの所で行なわれている。昔から地震の前に地磁気の変化が起こったという報告は実にたくさんある。

最近の室内実験から期待される地磁気の変化は実にわずかな量で、従来報告されていた変化は恐らく測定方法が非常にまずかったということによるもので、もし変化があっても現在の最高の技術でやっと検出できる程度のものである。それゆえ、現在すっかりご破算にして、やり直し、地震との関係を求めてゆく、そういうことで再出発をしているような状態である。以上のようなわけで、結局、◎測量を主体とする地殻変動の測定、◎大、中、小、地震それに極微小地震まで含めた地震活動の調査が、地震予知の主力になっているわけである。

4. 大地震にともなう地殻変動の実例

ところで、一体こういうことをやって変化が出るのかということ、現在までの経験でもそういうことを実証するものが出ている。もともと、地震予知計画ができて間もない頃、偶然の結果から、そういうものがキャッチできたことが若干ある。

4.1 特に地殻変化に関しては、非常にはっきりした変化が1964年の新潟地震の時にあった。例の新潟平野で水溶性ガスをたくさんくみ取ったために地盤沈下が起こり社会問題になった。地盤沈下の実態をきわめるということで、沈下地帯をはずれた相当広い範囲をも含めて、1年おきに水準測量を行なうことになって、測量を続けていた。そこへ新潟地震が起こった、そういった地盤沈下のおかげで、地震の直前の震源地付近の上下変動がとらえられた。新潟地震は粟島の付近が震央で、その本州側は村上市付近になるが、そこでは明治初年に第1回の測量が行なわれてから、年間1mm位の割合でゆるやかに隆起していた。年間1mmは日本では普通であって、いたる所にある。大体地震の起こる8年位前から、年間1mmが数mm \sim 10mmに加速され、そうして大地震になったことがわかった。これは、新潟地震(M=7.5)程度のものなら、測地測量によって、数年前にそれ

が起こるといふ長期的予報ができるのではないかという希望を与えた。これは長期的予報に該当するが、これだけでは実用には十分でないので、数日前、数時間前に起こる現象はなにかないか、ということになるが、その例はある。

4.2 地殻の変動が地震の直前に急激に進行する、その極端な例は、変動が人間の目で見られたということもある。特に信ぴょう性のあるものは、明治5年(1872)の島根県・浜田大地震の時、地震の20分位前に海岸で潮が急にひいた。海岸から150m沖にある島まで海底が露出して、歩いて貝を手取りしたといったような事があり、そのうち地震がきた。そのすぐ直後に、あの付近に測候所ができて、その初代所長が非常に熱心にそういったことを調査したので、この話は確実性がある。

4.3 その他に、昭和18年に鳥取地震というのがあったが、この時震央から70km離れている生野鉱山の鉱道の中に京都大学で土地の傾斜を測る器械(傾斜計)を置いてあった。それが鳥取地震の起こる6時間位前から、震央の方が持ち上がるという非常に顕著な傾動を記録した。顕著な傾斜といっても1秒角の1/4程度の角で、非常に敏感な機械ではじめて測定できるわけであるが、非常にはっきりした前兆がみえた。

4.4 新潟地震の場合であるが、地盤沈下に関連して農林省で白根市付近にたくさんの地盤沈下計を据えてあった。地盤沈下計というのは数10m、数100mボーリングをして井戸をつくり、その底に細い鉄のパイプを中に入れて下を固定し、そのパイプが地表に出てきた所で、パイプと地表の相対運動を記録するようになっている。要するに、土地が収縮すれば鉄管が抜け上がってくる。土地の上下方向の伸縮計になるわけである。これが、地震の起こる9時間ばかり前から急に、あの辺の深さのチュウ積層が急に上下方向に伸びるといふ変動を記録した。すなわち明け方からたくさんある井戸が皆同じような記録をして、午後(13時01分)に大地震が発生したので、信ぴょう性がある。地震が起こる9時間前に大きな応力の変化があったということになる。

4.5 松代地震の場合にも、旧大本営跡の横坑の中に据えてあった傾斜計が、M5位の地震が起こる前に傾斜変動が急に起こる例がたくさんあった。こういったことで、地殻変動の観測を集約して密に行なえば長期的あるいは短期的予報が行なえる可能性がある。

5. 大地震の前兆としての前震の起こり方と地震予知

大地震の前に地震活動が活発になり、前震があった例はかなりたくさんある。

5.1 最も顕著な最近の例では1930年の北伊豆の地震

特別講演

で M7.5, 19 日前から非常に多く有感地震が付近に起こっている。

5.2 その外古い所では、伊賀上野の地震とか岩手、秋田の県境で起こった陸羽地震とかで、いずれも M7 程度で、8 日前から非常にたくさんの体に感じる地震が起こった。地震の起こり方は、必ずしも段々激しくなって最高潮に達して大地震になるとは限らない。陸羽地震の場合は確かにそうであって、人々が警戒したために、火災も起こらず、死傷者も無かった。伊賀上野の場合は、ちょうど地震の起こる前日から前震が穏やかになって、もうこれですんだと人が安心したところへ、大地震になったため、地震の大きさに比べて非常に死傷者や被害が多かった。

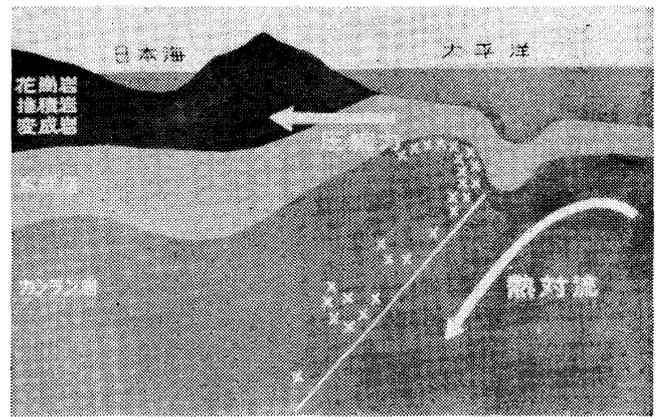
5.3 こういった前震も 1960 年に起こったチリ地震のように超大型のものは前震も大きく、33 時間前から前震が起こりだし、そのうち 3 つが M7 程度であった。つまり新潟地震をちょっと小さくした程度のものが 3 つも前震に含まれていた。こうなると、災害防止の立場からそのまた前震を予知しなければならないことになる。こういうふうに、いくつかの地震が前震を伴っている。最近の微小、極微小地震計は倍率が 10 万～100 万倍のオーダーのものであるから、こういったもので測定すれば、今まで前震が無かったと考えられたものも、前震がつかめると期待できる。今までの観測網ではただ一発ポット小さな地震が一つ起こったというのを、極微小地震の観測によると前震もあり、余震もあったという例も出てきている。

5.4 松代地震のときは、最初狭い範囲で始まって段々拡大していったわけであるが、ある新しい地域で群発地震の活動が起こる半年前から、極微小地震が発生していたということがわかった。松代地震の活動が盛んな頃は、この地震がどうなるか将来の見通しをつけて、地震情報として発表した。この場合極微小地震の観測が役に立ち、そのうちある地域で地震が起こるであろうとか、ある地域では極微小地震が起こっていないから拡大しないだろう、ということが予知できた。これは群発地震ではあったが、長期の予報に成功した例である。

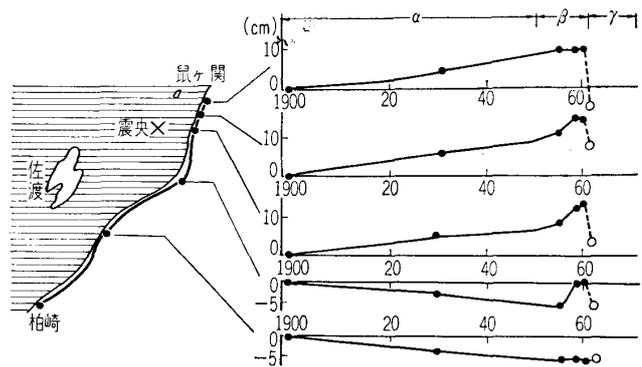
6. スライドによる説明

写真—1 マントル対流によって地殻に力が働くことを表わしたもので、厚さ 70 km くらいの堅い板が大平洋底の地殻を乗せたまま日本の方に進んできて、日本の下にもぐり込むようにマントルが流動する。そのために日本では深い地震が起こり、大平洋側から大陸の方に圧縮を及ぼす、このようなことによって地震が起こると考えられている。

写真—2 新潟地震の地震前後の地殻変動を示すもの



写真—1



写真—2 震央付近をとる水平点の地震度数年間の変動 (地理院)

で、上から 2～3 番目の曲線が、震央付近の水準点の変動を示す。最初は 1900 年頃第 1 回目、あとは 30 年おきにしか測量がないが、大体一様に年間 1 mm の割合で変化し、1964 年の新潟地震の前に急に上昇速度が速くなっているのが見られる。

写真—3 明治年間に行なわれた第 1 回目の一等三角点の測量と、戦後第 2 回目の測量が行なわれた結果から、三角点の移動がわかる。これをみると、北海道の東の端で大陸の方に向かって大きい矢印が多くみられる。それから、御前崎のあたりに大きな矢印が陸の方に向かっていて、こういうところをみると最近 100 年以上、M8 程度の大地震がこの付近ではなかったところである。三陸沖とか関東南部、紀州の沖、四国の沖など比較的最近に M8 程度の非常に大きな地震のあったところでは、そういった圧縮が開放されていることによって、三角点の大きな移動が解消されているのがわかる。それゆえ、その時期は別問題として M8 近くの大地震の起こる可能性のある所として、北海道の東の方、それから御前崎付近 (遠州灘) だけしか今のところないだろうということがいわれる。

写真—4 大地震は昔から繰り返して起こるといわれているが、昔から、何回か大地震の記録があって、100 年以上大地震を経験していないところを特定地域として決め、ほかより特別に詳しく測量などをやろうとしている。特に危険地域という意味ではない。地震予知の面からいっ

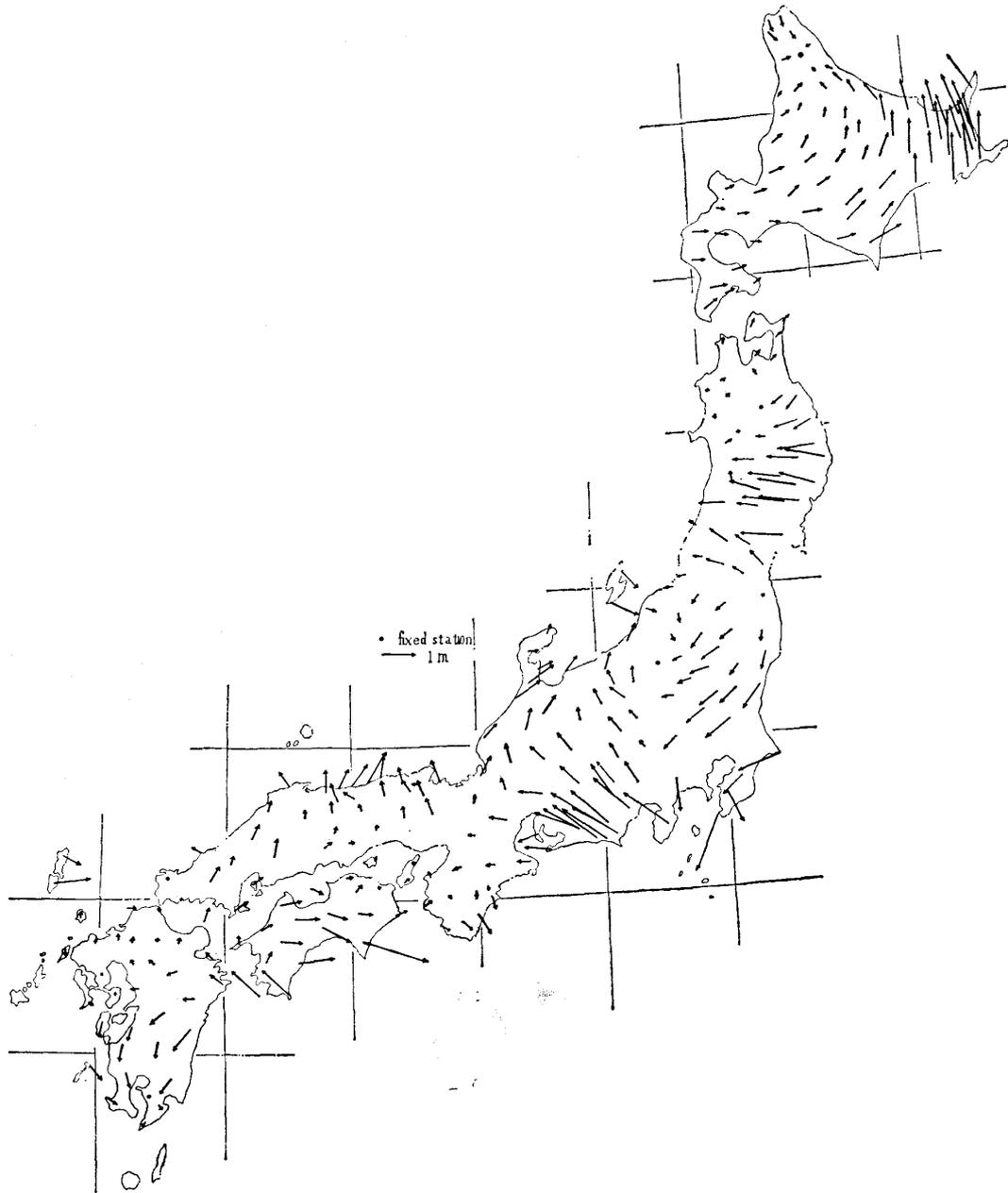


写真-3



写真-4

て特定地域ということにしたのが、写真-4 に示す白い四角の部分で、北海道の東、秋田県の中央から山形県に至る日本海の沿岸地方、長野県北部から新潟南西部にかけての地域、もう一つは島根県の松江：よくいう出雲の辺、あとは琵琶湖の周辺である。琵琶湖周辺はMが7に近い地震が昔はひん繁に起こったが、最近では静かである。

それから御前崎付近、伊予灘、安芸灘の付近は昔からM7程度の地震がかなり起こっているが、最近では起こっていない。

京阪地方は非常に重要な地域であるからということで特定地域に入れられた。こういうことをやっていると、房総半島の水準測量で、非常に異常な隆起が認められたということで、特に灰色に塗ってある関東南部が観測強

特別講演

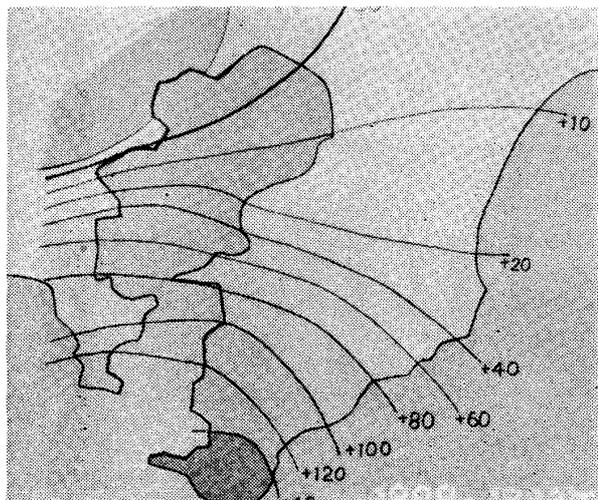


写真-5

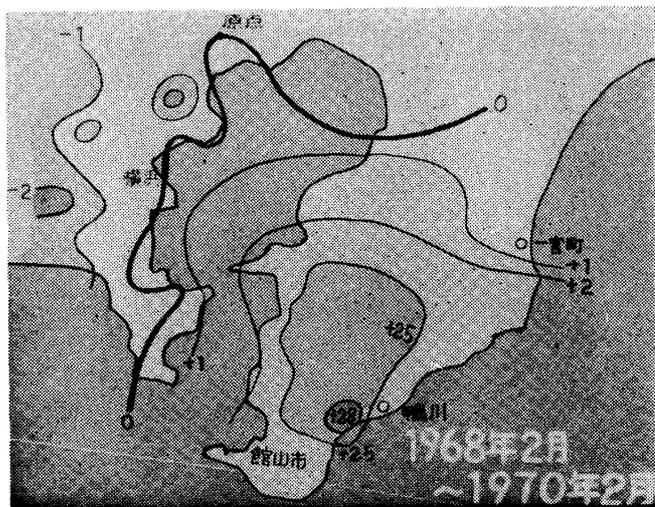


写真-8

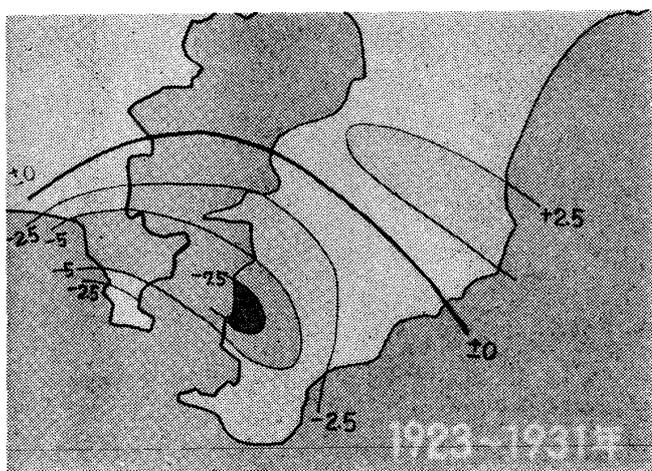


写真-6

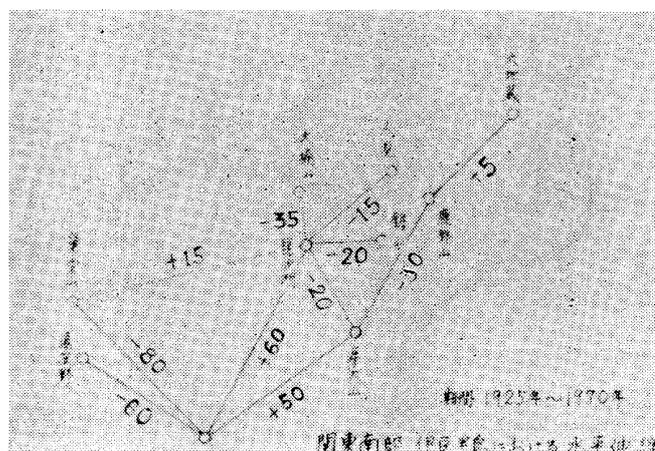


写真-9

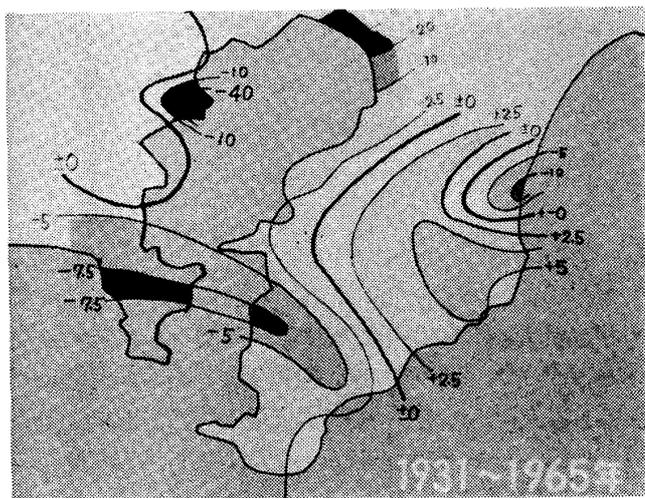


写真-7

化地域ということになった。

写真-5 これ以南関東の問題が起こったわけであるが、写真-5 は大正 12 年 (1923 年) の大地震の直後に行なわれた測量と明治年間に行なわれた測量との比較である。これをみると大地震の変動で (単位は cm) 房総半島、三浦半島とも根もとの方はあまり動かないが、南端が 140 cm, さらに南の突端では 180 cm, 地震と同時

に隆起が起こった。

写真-6 大地震後 8 年位して 1931 年にまた測量が行なわれた。それをみると隆起した反動で、8 年間に 2.5 cm 程度のゆるやかな沈降が起こっている。

写真-7 1965 年に測量がまた行なわれた。その間 30 数年間ゆるやかに下がっている。

写真-8 その後、こういった関係を調べていると、2 年間に 2 cm と非常に大きな量が出てきた。最近の 2~3 年間に急に隆起が激しくなった。房総半島が年間 10 mm の割合で隆起を続けることは非常に異常である。これが果たして地震に結びつくかどうかわからない。とにかく異常は異常だからこういった測量を強化することになった。

写真-9 三角点間の距離はジオジメーターによって測る。最近ジオジメーターにレーザー光線を使うようになったので昼間でも 20~30 km 離れた距離の測定ができるようになった。そのため精度も上がった。三角点間の距離は、1925 年の関東地震の後に行なわれた旧三角測量から計算された距離と、ジオジメーターで測った距離を比較すると (単位は cm), 大島と房州の房大山との

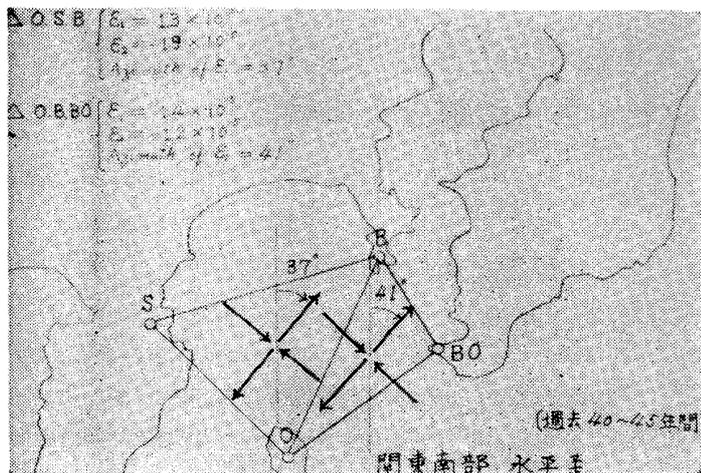


写真-10

アシャーのような変形であって、変形量は 1×10^{-5} 程度で、これより最大ヒズミを計算しても 3×10^{-5} 程度である。大地震が起こり地殻に破壊が起こって、断層が生じた場合に地表の変形は大体 10^{-4} 程度である。このことから、地殻は地表で 10^{-4} というヒズミが生じるまで耐えられると考えられているから、 10^{-5} 程度ではまだ破壊にはほど遠いと考えられる。

写真-11 これはデジジメーターの写真である。

写真-12 この図は国土地理院の測量計画で今年は測量網を相模湾の沿岸にめぐらす。三角点に囲まれた区域のヒズミがわかるので変わり(歪)測量と名づけている。こういった水平距離の変化からいえば、関東南部の地殻は破壊にはほど遠いことになる。一方隆起

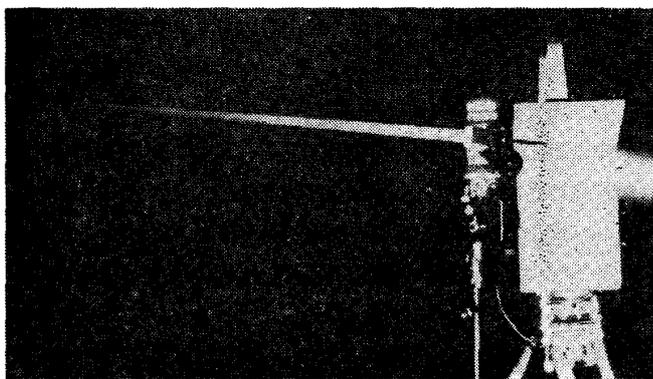


写真-11

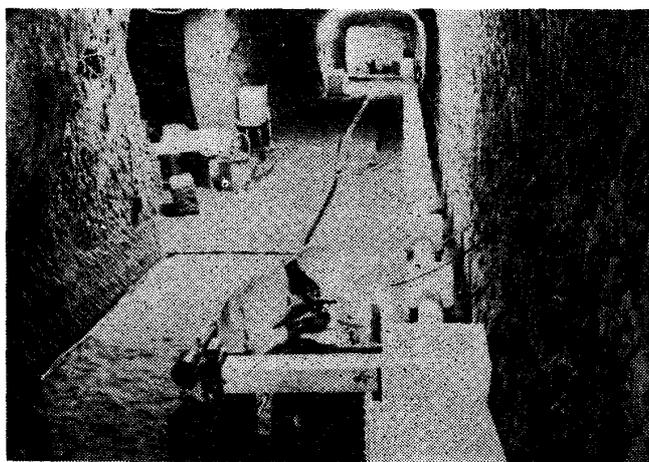


写真-13

間が 50 cm 伸びて、大島と伊豆は何 10 cm が縮まったことがわかった。50~80 cm という非常に大きいようであるが、三角点間の距離で割るとヒズミとしてはそれほど大きくない。

写真-10 この測量結果から計算すると相模湾はあまり面積変化はしてない。つまり北西、南東の方向に圧縮をうけ、それと直角方向に引張りをうけている。ピユ

は非常に速い速度である。両者は調和しないのであるが、これが一体どういうことになるかは、これからこういった測定を強化しながら解決していくものと思う。

写真-13 これは房総半島の鋸山のところにある地震研究所の地殻変動の観測所である。白いフォームポリエチレンにくるまってる中に水晶の棒がある。これを標準にして地表の伸び縮みを記録する。そのほかガラス管の両方に水を入れた容器があり、土地の傾斜による水面の高さの違いを 1 mm の 1/1000 位まで読みとる傾斜計が設置してある。

(本稿は昭和 46 年 5 月 31 日に行なわれた土質工学会「春季講演会」の講演を「土と基礎」編集委員会でまとめたものである。

(文責 清水・新藤委員)

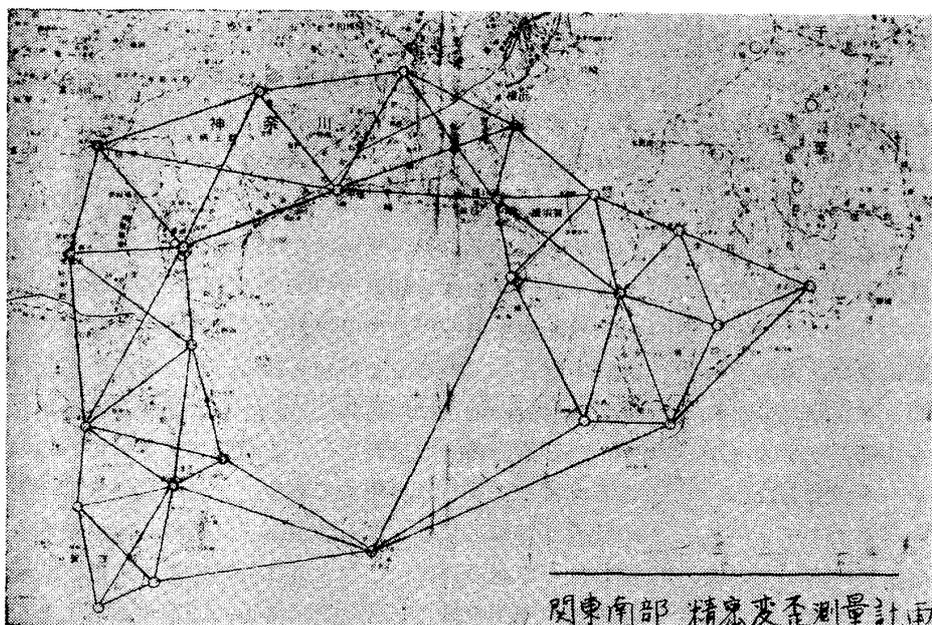


写真-12