

大地震は必ず来る



力武常次

1——はじめに

最近東京や横浜で地震をよく感じるという説がある。専門家からみると、関東地方の地震活動が特にひどくなったとは思われないが、今年は大正12年<1923>の関東大地震の50周年にあたるし、6月には北海道根室沖に大きな地震があるなど、世間の人びとの関心は地震に集っている。

この5月、米国コロンビヤ大学ラumont地質研究所の若手研究者C.H.ショルツ博士は筆者宛の手紙で、「南関東に発生したと伝えられる土地の異常隆起は、私たちの理論によるならば、マグニチュード<M>7ぐらいの地震が数年以内に発生する前兆である」と警告してきた。これが外電などを通じて報道されたので、ちょっとした騒ぎとなった。またそのころ、資源衛星アーツ1号のとった関東地方の写真に2本の直線らしきものがみられ、大地震のもととなる活断層でないかなどと書きたてられて、住民の不安のたねとなった。折も折、小松左京氏のSF「日本沈没」がベストセラーとなり、ほんとうに、沈没するとは思わないまでも、今にも日本列島に変異が起こるのではないかと神経をとがらす人も多くなった。はては「赤とんぼが無数に飛んで来た」とか「蛇があらわれた」とか、あることないこと大地震の前兆であるうというようなわけで、昭和48年は地震談義にあけくれたようである

目次

- 1——はじめに
- 2——京浜地区の地震歴
- 3——関東地震のメカニズム
- 4——プレート運動
- 5——圧縮される日本列島
- 6——地殻歪と地震発生確率
- 7——地震予知の諸方法
- 8——地震予知の実用化

2——京浜地区の地震歴

江戸時代の約250年の間に震度5以上と推定される江戸の地震は21回あったとされている。明治のはじめから約100年間に東京で震度5を記録した地震は、関東地震直後の余震を除いて14回ということになっている。しかし、江戸時代については

記録もれがあるかもしれないと思われる。

横浜についても、東京とあまり変わらないであろうと思われるが、1908年12月28日の山梨県の地震や1909年3月13日の房総沖地震などでは、横浜では震度5を記録したが東京では4のようである。横浜測候所は明治29年<1896>8月1日に設置されたが、同所における震度5以上の観測記録は第1表のようになっている。

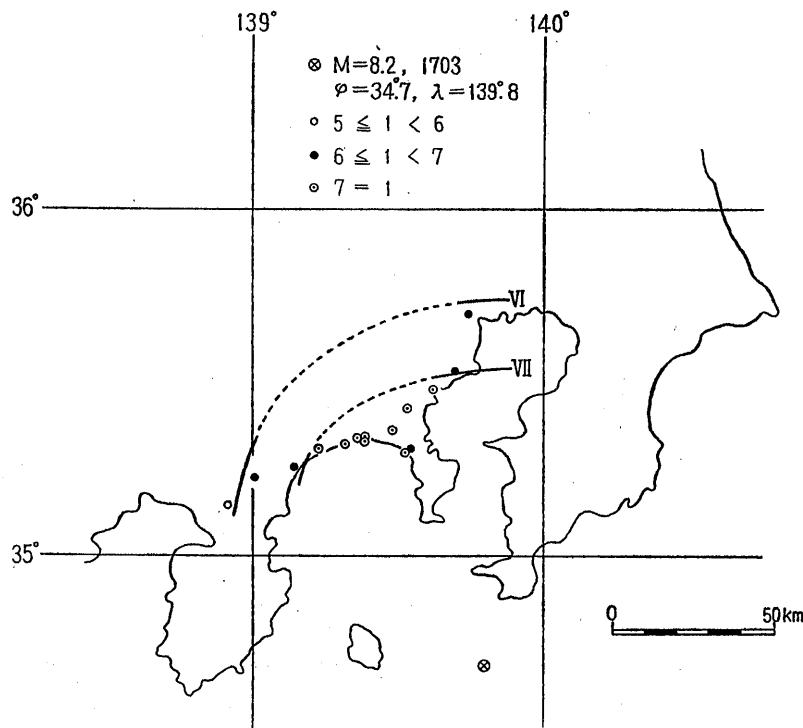
第1表 横浜において震度5以上を観測した地震の表

年	月	日	マグニチュード(M)	震度
1909<明治42>	3	13	7.7	5
※1922<大正11>	4	26	6.9	5
※1923<大正12>	9	1	7.9	6
※1924<大正13>	1	15	6.9	5
1928<昭和3>	5	21	6.1	5
1929<昭和4>	7	27	6.3	5
1930<昭和5>	11	26	7.1	5
※1931<昭和6>	6	17	6.4	5

※>東京でも同じ震度の地震

図1 元禄16年の地震の震度分布

<⊗印：震央>



マグニチュードくふつうMであらわし、地震の規模を示す量で、震度とは異なる。震度はある特定の場所のゆれ方の程度を示す量で、Mが大きくとも震央から遠い地点では震度が小さい。逆にMが小さい地震でも震央に近ければ震度は大きくなる。1923年の関東大地震はM7.9、1964年の新潟地震はM7.5、1971年ロスアンゼルス郊外で被害の出たサンフェルナンド地震はM6.6、1972年ニカラガのマナグァ地震はM6.2であった。100メガトンの核爆弾のエネルギーはM8.2に相当し、広島型原爆のエネルギーはM5.2にすぎないが8に近いような特大級地震は相模湾を震源域として、歴史上3回発生していて、京浜地区では震度6またはそれ以上となっている。これらの地震は元禄16年<1703, M8.2>、天明2年<1782, M7.3> および大正12年<1923, M7.9>である。818, 1433, 1643年にも同種の地震があったという解釈もあるがあまりはっきりしない。

図1は元禄16年の地震の震度分布で、横浜は震度7に達しているようである。この震度分布は関東地震のときとよく似ているが、元禄の地震のほうがやや規模が大きく、震央も外洋に寄っていたらしい。いずれにしても、京浜地区は相模湾から発生する特大級の地震および東京湾など直下に発生するM6~7級の地震の両方によって、ほぼ同じぐらいの頻度で震度6以上の烈震、激震に襲われてきたといえよう。

3 関東地震のメカニズム

死者 99,331 人、行方不明者 43,476 人、家屋全壊 128,266、半壊 126,233、焼失 447,128<理科年表による>というようなすさまじい被害を出した大正12年<1923>の関東地震はどのようにして起きたのだろうか。

相模湾の東部、伊豆大島と三浦、房総両半島の中間ぐらいに深い海底キャニオンが北西~南東の方向に走っていて相模トラフとよばれている。トラフとは溝という意味である。相模トラフは房総の

先端をまわって、やや東に方向を変え、ついには日本海溝につながっている。最近、いろいろな調査から、相模トラフは断層が地表を切る線らしいことがわかってきた。

相模トラフに沿って、1605、1703および1923年など巨大地震が起こっていることは顕著な事実である。1923年の関東大地震のときには、房総、三浦両半島の先端は1~2mはねあがり、両半島にある三角点はいずれも南東方向に2~3m移動したことが知られている。このような地殻変動および世界中で観測した地震の波を解析した結果、つぎのような結論が得られている。

国府津付近から相模トラフに沿って、長さ130kmにわたって断層が出現し、断層の東北側の地塊は、西南側の地塊に相対的に6mぐらい南東にずれ、同時に3mぐらい前者が後者にのしあがったとすれば、地震のときの地殻変動を説明できる。断層面の幅は65km、その傾きは北東方向に30度ぐらいである。このような変位の様相を模式的に示すと図3のようになる。これが関東地震のメカニズムである。

図2 関東、東海地域のプレート・モデルと1600年以降の巨大地震

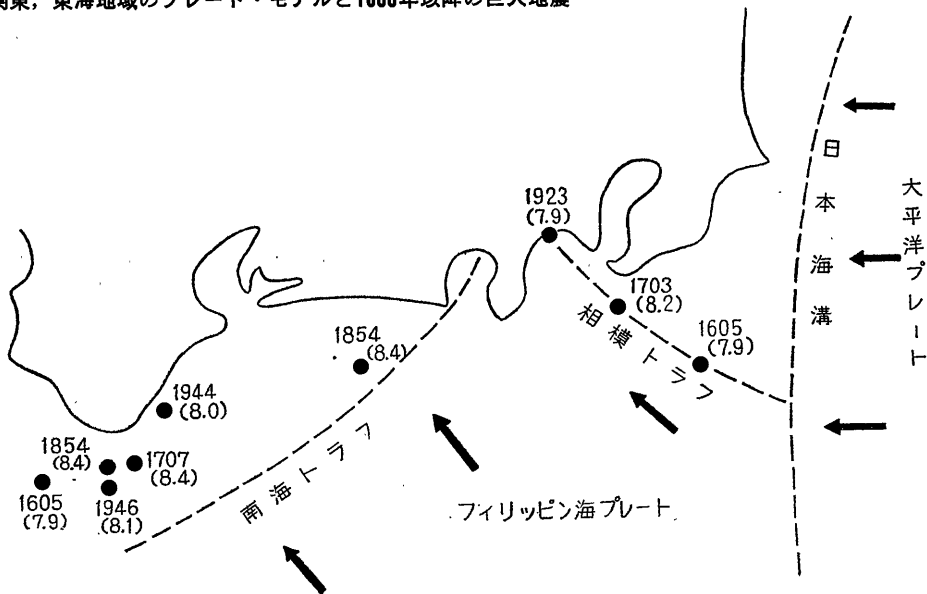
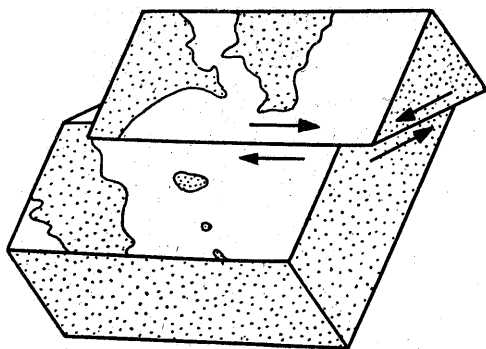


図3 関東地震の際の断層運動の模式図



ついでではあるが、駿河湾から四国の沖合にかけて、南海トラフとよばれる海底キャニオンがあり、このトラフは図2に示したように、東海、南海沖合いに発生する巨大地震に関係が深いようである。

4 プレート運動

関東地震のメカニズムは一応わかったとして、どうして地殻をたち切るような断層が出現するのだろうか。ここで話はいささか雄大になる。

大西洋の中央には、中央大西洋海嶺とよばれる海底山脈が南北にえんえんと連らなっている。この海嶺はアメリカの南をまわってインド洋にはいり、そこで二つにわかれて、1本は近海へ、他の1本はオーストラリアの南から、東太平洋海嶺とよばれる海底山脈につながって、ついにはカリフォルニア湾にはいつている。1960年代から海底の調査が多く、国々によって詳しく行なわれるようになってきたが、海嶺で中小規模の地震がたくさん起こっていること、また地球内部から流れ出てくる熱量<これは震殻熱流量とよばれる>が地球全体の平均値よりはるかに多いことなどがわかってきた。

現在の考え方としては、海嶺は地球の割目であって、そこでは地球内部の物質がわき出してきてい

るということになっている。地殻は大陸では厚さ30~50km、海底では5~10kmであるが、その下はマントルとよばれている。マントルは地震の波のような早い運動に対しては、固体のようにふるまうが、何百万年というようなタイムスケールのじわじわ働く力に対しては、水あめのように流動する性質を示すらしい。

地球は隕石のようなものが集ってできたと考えられているが、隕石に含まれている放射性物質は自然崩壊して熱を発生する。地球は半径6400kmもあるので、この熱は外には逃げにくく、地球生成以来蓄積して、地表付近と深さ2000kmを越えるマントルの底との間には2000~3000℃ぐらいの温度差があると考えられる。つまり、やかんの底をガスの火で熱したと同じような状態になっていて、熱対流が発生する。海嶺はこの熱対流がわき出してくる場所である。

海嶺直下にわきあがってきた高温のマントル物質は、海底をもり上げて海底山脈をつくる。地殻熱流量も当然多くなる。海底直下で冷え固まったマントル物質は新しい海底をつくる。この新しい海底は約100kmの厚さの板状岩石圏となると考えられ、プレートとよばれる。マントルからどんどん新しい物質を供給されるとするならば、新しい海底はどうしても左右にわかれて広がって行くことになる。

東太平洋海嶺でいうならば、東に向つたプレートは中南米大陸の下にもぐりこんで行く。ニカラガ、ペルー、チリおよびその沖合などに起こる地震はこのプレートの運動による。

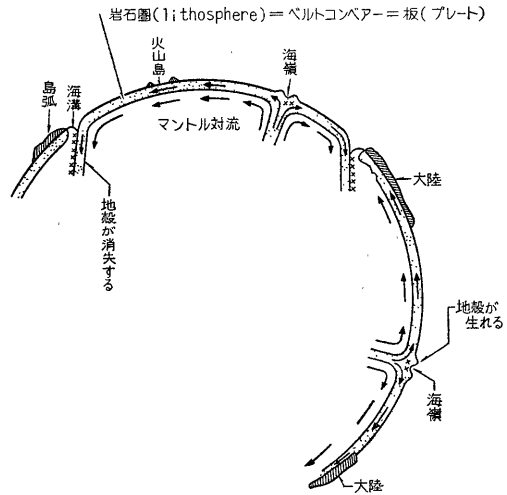
一方、西に向つたプレートはえんえんと太平洋を渡って、アリューシアン、千島、日本列島に押し寄せて、これら孤状列島前面の海溝で地球内部にもぐりこんで行く。プレートの運動速度は地磁気の測定から求められているが、詳しい話はここでは省略し、その速度が年間2~5cmであることを

述べるにとどめよう。年間数cmというゆっくりしたスピードであっても、億をもって数える年数の間には太平洋を渡るぐらいの距離を動くわけであるから、海底はいつも更新されている。図4はプレートが生産され移動し、そして消失するありさまを模式的に示した図である。

上述のような考え方は「海底拡大説」とよばれ、1960年代に発展した地球科学の新しい考え方で、旧来の学説を根底からくつがえしてしまったといえよう。このような考え方にたてば、大陸を移動させることもまんざら不可能ではない。現在では海底拡大説はさらに発展して、「プレート・テクトニクス」とよばれるようになった。プレート・テクトニクスによれば地球の表面は何枚かのプレートでおおわれていて、プレートの内部ではあまり変化がないが、プレートとプレートの境目では地

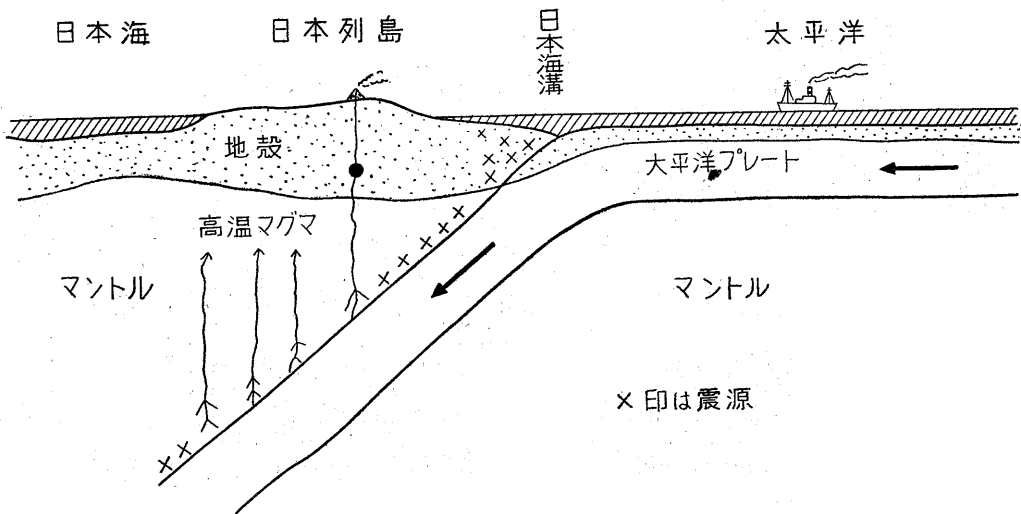
震、火山、造山作用などが起こることになっている。幸か不幸か、日本はちようどこのような境目に位置しているので、いろいろな地学現象がさかんである。

図4 プレートの生成と消失



5 圧縮される日本列島

図5 日本列島の断面図



プレート・テクトニクスをもつと具体的に日本列島にあてはめて考えてみよう。図5はたとえば東北日本や北海道の模式的断面図である。東から押

し寄せてくる太平洋プレートによって、列島前面の地殻は圧縮されるとともに引きずりこまれて、深い日本海溝をつくる。ここでは地殻熱流量も小

さい。プレートはむりやりにもぐりこんで行くので、深さ500kmを越えるような深発地震も発生する。もぐりこみに伴う摩擦熱によってマグマ<溶けた溶岩>が発生し、上昇して火山となる。このことはまた裏日本から日本海にかけての高地地殻熱流量を説明する。図5のプレート・モデルは日本の地学現象の大筋を説明できるものといえよう。

プレート運動によって圧縮され、引きずりこまれた地殻は、変形があまりひどくなると、ついに破壊してしまう。地殻の強度には限りがあるからである。その限度は歪^{ひずみ}にして1万分1のぐらいといわれる。つまり1kmにつき10cmぐらい縮んだり伸びたりすると、地殻は破壊してしまうわけである。そうすると、たまりにたまっていた歪エネルギーは地震波となって四方八方に広がり、同時に歪んでいた地殻は歪ゼロの状態に戻ろうとして反発する。この反発によって海底は急激にもち上げられるので、海面には巨大な海水の壁ができ、これが崩れて大津波となる。これが日本の太平洋沖合に発生する巨大地震のメカニズムである。

北海道東部の根室付近は数十年の間沈降を続けていることが知られている。また根室と網走を結ぶ方向に地殻が縮んでいることが、後に述べるような測地測量によって知られていた。また根室沖合には、1894年M7.9の地震があつて以来、80年にわたって大地震がなかった。陸上の地殻変動から、海溝軸のあたりの変形を推定すると、そのあたりの歪はもうだいたい限界値に達していると考えられ、筆者の試算では現在までに地震の発生する確率は80%を越えていた。

このような事情であるので、本年4月衆議院科学技術振興対策特別委員会に参考人としてよばれた際、根室沖合の危険度が高いことを申述べておいた。また6月11日の某紙文化欄に、地震の危険度の高いのは根室沖合と遠州灘と書いておいたとこ

ろ、6月16日に根室半島沖にM7.4といわれる地震が現実^{じじつ}に発生し、地震予知理論もまんざらうそではないということになった。今回の地震のメカニズムは予想されたメカニズムとは必ずしも一致しないようであるので、歪エネルギーがまだ残っている可能性もある。

6———地殻歪と地震発生確率

太平洋プレートのような第1級プレートの他に、2次的にいくつかのプレートがあることが知られている。図2に示したように、相模トラフ、南海トラフおよび日本海溝で境されるプレートはフィリピン海プレートとよばれ、北西方向に進行しようとしている証拠がある。相模トラフはこのプレートと陸のプレートとがすれちがうところに当たっているわけである。関東地震のとき、フィリピン海プレートが北西方向に急激に動き、陸のプレートの下にもぐりこんだことは既に述べた通りである。このような地殻の変動はどうやって調べるのであろうか。

5万分の1地図などをみると、山の頂上などに三角形の印が画かれている。これは三角点とよばれ、その位置が三角測量によって精密に求められていて、地図のもととなっている。三角測量というのは、一つの基線の長さを精密に測っておいて、その両端と隣接する三角点を結ぶ直線と基線とのなす角度を測って、その三角点の位置を求める。このような操作をつぎからつぎにやって、ついに日本全土をカバーする三角網を完成するというわけである。

三角測量は莫大な労力と経費とを必要とする作業で、日本全土の1等三角測量は明治年間に1回、昭和になって1回行なわれている。しかし、大地震にみまわれた地域では、三角点の正確な位置を

知るために復旧測量が行なわれてきた。2回の測量を比較すると、その二つの測量の期間に進行した地殻変動が求まることになる。

最近ではジオディメーターとよばれる器械が開発され、数十km離れた距離を1cmぐらいの精度で測定することができるようになった。この器械は、レーザー光線を発射して、遠くに置いてある反射板から反射してきた光の干渉を用いて距離測定を行なう。これを光波測量とよび、三角測量にくらべ手軽でしかも精度がよいので、今後三角測量は光波

測量に切りかえられると思われる。

関東地震直後の三角測量の結果と、最近国土地理院によって実施された光波測量の結果とを比較して、1925~1971の46年間に南関東の各三角点間の距離がどう変化したかを求めたのが図6である。驚くべきことには、伊豆大島と伊豆半島伊東の距離は1mも縮まり、房総半島先端と伊豆大島の距離は70cmも伸びたということがわかった。また房総半島内では、だいたい南北に20cmぐらい縮んでいることがわかった。

図6 1925~1971の時期の南関東三角点間距離の変化(単位:cm)

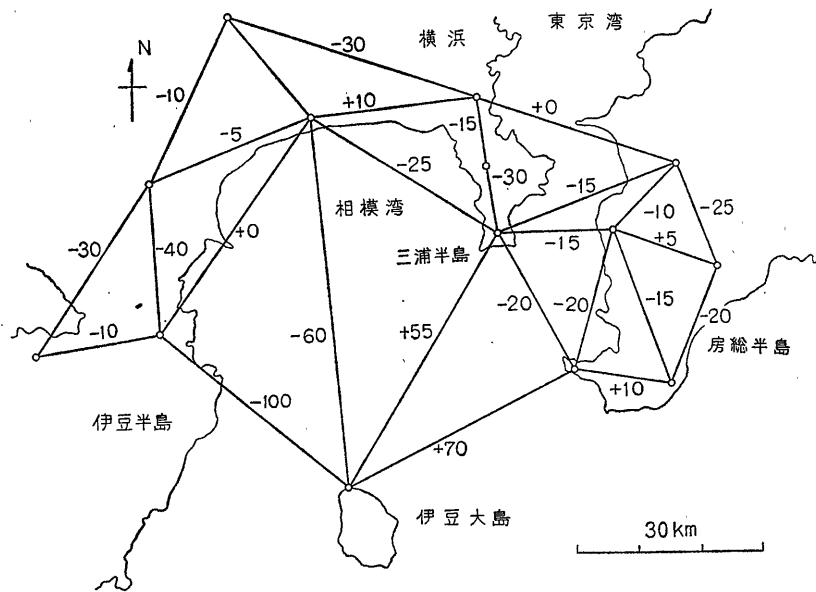
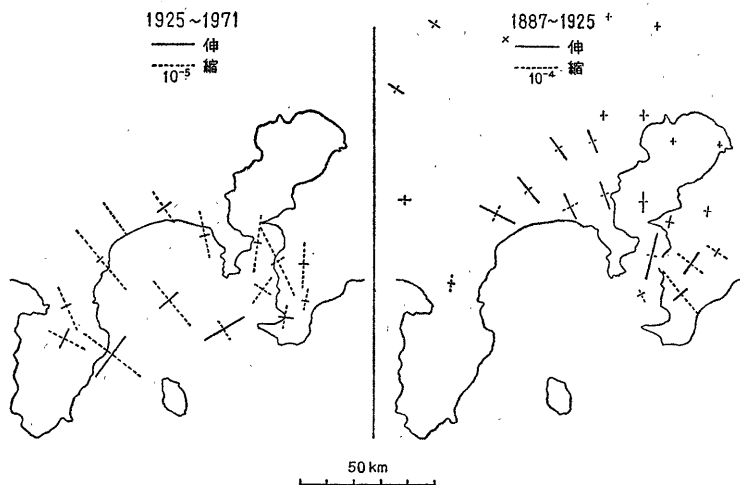


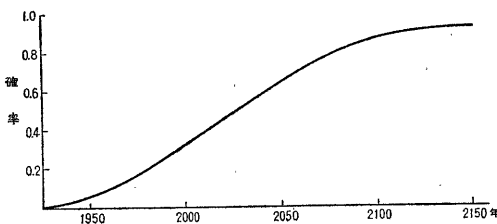
図7 最近46年間の土地の伸縮<左>, 関東地震に伴う土地の伸縮<右>



このような地殻変動を歪としてあらわしたのが図7である。図7の右の図は、関東地震をはさんだ期間、つまり関東地震のときの水平歪の主軸を示した図で、湘南や三浦地区ではほぼ南東、房総ではほぼ南北に伸び、その量は 10^{-4} < 1万分の1 > 近くに達していることがわかる。しかし、最近の46年間では、左の図にみるように、伸縮が右の図と全く逆方向になっていて、スケールが図の10倍になっていることに注意すると、その絶対値は右の図の約3分の1になっている。つまり46年間に地震のときの変化の3分の1が回復したわけであるから、単純に考えるならば、あと92年たつと、3分の2ががつけ加えられるので、また大地震が相模湾から起こってもよい状態になるというわけである。

地殻の限界歪の統計に基いて、上記の歪の進行速度を仮定して、関東地震からある時期までに地殻が破壊する——つまり大地震が起こる確率を求めると図8のようになっていて、現在その確率は20%、あと50年たつと50%、さらに50年たつと80%を越えるということになる。

図8 関東地震直後からある時期までに再び相模湾地震の発生する確率



確率の評価は各人の人生観によるようで、神経質な人は20%でもこわいと思うし、のんきな人は80%でもまだ20%残っているから大丈夫だと思うであろう。しかしとにかく確率が数量化されて求められているのだから、行政当局は各種施策の参考としてほしい。確率というものは厄介なもので、

確率1%でもその事象が起こらないとはいえない。しかし、全くの私見としては、関東地震の再来はまだ当分先きのことであろうと思われる。しかし、京浜地区直下で起こるM6~7級の地震については、じゅうぶんのデータはないが、警戒する必要がある。

今までは、もっぱら水平歪の話であったが、土地の昇降ということも地殻変動の監視にとって重要である。国道沿いに2kmおきに、水準点が設けられていて、水準測量によってその高さが詳しくわかっている。2回の水準測量の差をつくれれば、その期間の土地の昇降がわかるというわけである。1969年ごろ、房総半島に異常隆起があることが、水準測量の結果から伝えられたが、その後の詳しい調査では、この異常は目下のところ消滅したようである。

ここで遠州灘のことにちよっとふれておこう。図2にみられるように、フィリピン海プレートは北西向に進行しようとしているが、このプレートは南海トラフのあたりで、地球内部にもぐりこんで行くと考えられる証拠がある。駿河湾沿いの沈降、南アルプス南部の西北西方向への収縮などがこのプレートのもぐりこみに関連していると仮定するならば、遠州灘沖合いの地殻はほとんど限界歪に近い状態にあると考えられ、地震発生確率は相当に高いと思われる。ここでは1854年、M8.4の超巨大地震があつてから、120年間にわたって地震がない。現在みられる地殻変動の範囲から判定して、もし一発で起こるとすると、やはりM8級の地震を警戒しなければならない。

7 地震予知の諸方法

今までは測地測量による地殻歪を根拠とする地震予知の方法を論じてきたが、ここではその他の方

法についても概観することにしよう。測量は本質的に間欠的であるので、地殻変動を連続的に監視するために、地殻変動観測所が設けられ、きわめて僅かの土地の傾斜変化や伸縮を検出することのできる傾斜計および歪計が設置されている。神奈川県下では三浦半島の先端に近い油壺に地殻観測所がある。

地震活動の程度を知ることも地震予知のために重要である。注目すべきことには、目下のところ相模湾東部には有感地震はもちろん、M3以下の微小地震もほとんど起きていない。だからといって、この地域が地震製造能力をもたないというわけではなく、関東地震や元禄地震およびその余震などはみなここから発生しているのである。この地域の歪が進行していることを考えるならば、関東地震のとき発生した断層はなんらかの理由で再び固着し、目下フィリピン海プレートの運動による歪の蓄積に耐えていると考えざるを得ない。プレート運動は相当長い期間健在であろうから、いつの日か限界歪を超えて大地震の再来となることは間違いない。この意味で「大地震は必ず来る」ことになる。

現在地震活動が活発ではないが、いつの日か大地震が発生すると思われる地域がロスアンゼルスの方北方100 kmのサンアンドレアス断層上に想定されている。この地震は手まわしよく、パールブラッサム地震と名づけられていて、もし起こるとM8.4、死者3100、損害240億ドルと予想されている。

ソ連やアメリカでは、地震発生の前に、その地域を通過する地震波の速度が変北することが報告されている。また土地の異常隆起、電気抵抗変化、地下水位変化などが同時に起こることがしばしばあるとされている。これらの現象を統一的に説明するために、いわゆる「岩石膨張説」<ディラタンシー説>が提唱されている。日本ではショルツ

君の筆者宛手紙によって紹介されたので、もっぱらショルツ理論ということになっている。

この理論の概略はつぎのようなことである。プレート運動などによって、地殻内の歪力が高くなると、岩石に微小割目ができ、いわばさがさになって体積がふえるので、土地が隆起するとともにその部分を通過する地震波の速度が減少する。つぎに周囲から地下水がこの割目に流れこむことによって、地下水位が変化するとともに電気抵抗が減少する。水の流入によって、いわゆる間隙水圧が高まり、岩石内部の破壊面はすべりやすくなるので、ついに破壊して地震となる。

日本でもショルツ理論にあげられるような前兆現象があらわれているか否かは目下調査中であり、必ずしもショルツ理論通りにはいかない面もある。しかしこの理論に沿った観測を進めることは、観測の能率をあげるためには望ましいことであり、ショルツ理論は有力な作業仮説であるといえよう。

この他にも地磁気や地電流の変化を調べたり、活断層を調べるなどして地震予知を実現しようとしている。

8———地震予知の実用化

筆者の考えでは、実用的地震予知には三つのステップがあると思われる。第一には測地測量によって求めた地殻の歪の蓄積状態から、地震発生確率を求めることである。これはいわば長期予報に相当する。つぎにショルツ理論に述べられている各種変化をキャッチして、中期または短期予報とする。第三のステップとしては、震源の破壊過程に直接かかわりあうと思われる現象を捕えて、数日～数時間前の超短期予報とする。この第三のステップについては、今のところ断片的なデータしか

なく、確固とした見通しはない。

日本の地震予知研究計画は、1965年以来約50億円の予算を投入して、もっぱら測定の強化、観測所の新設など地震予知に必要な基礎的データの集積に努めてきた。しかし、社会的要請もあり、1974年度からは約3倍のスケールの予算で、地震予知の実用化を急ぐことになった。

まず全国をカバーする「精密測地網」システムが設定される。これは約6000点にのぼる1、2等三角点の光波測量を5年間隔で行なうもので、地殻歪の蓄積状況が手にとる如くわかるであろうと期待される。つぎに微小地震観測をオンラインで電子計算機に結び、リアルタイムで震源決定などの処理を行なうシステムがつくられる。またケーブル方式によるリアルタイム海底地震計観測網も設置される予定である。

しかし何にもまして要請されることは、責任ある予知体制の確立であろう。現在国土地理院におかれている地震予知連絡会は、会長以下パートタイムであり、行政的に何らの権限も予算ももたない。これでは責任ある予知を要求するほうが無理であろう。早急にもっと強力な機関を設立しなければならない。

<東京大学地震研究所教授>