

[特別講演] 最近の地震予知研究について

東京大学名誉教授 萩原尊礼

はしがき

地震は、地殻あるいはその下のマントル層上部の岩石にひずみが貯えられ、それがある限界に達したとき、突然にせん断破壊が生じることによって起ると考えられる。地震の予知は、このような破壊が、どの程度の規模で、どこに、いつ起るかを予測することである。したがって、ある地域の地殻にどの程度のひずみが貯えられているかを、何かの方法で測ることができれば、いつ破壊が起るかの予測ができるはずである。岩石の破壊実験から知られるように、岩石試料に加わる応力を増加してゆくと、次第にひずみは進行し、やがて弾性限界を越すと、塑性変形が生じるようになってひずみは前よりも急速に進行し、間もなく主破壊が起る。岩石のように脆性で不均質な物質の場合は、弾性限界を越える頃から、小破壊（小さなクラック）が多数発生し、弾性限界を越えてから主破壊に至る時間は短い。このような破壊に至る一連の過程は、工学におけるコンクリートの破壊試験で見られるものと大へん似ている。コンクリートは一種の人造岩石であるからである。ただ、地震は地下かなり深いところで起るから、圧力、温度が共に高いので、それを考慮に入れる必要がある。

岩石のひずみが進行し、主破壊が近づくと、それに伴っていろいろの物理現象が生じることが期待できる。前記の小クラックの発生もその一つであるが、そのほか岩石の中を伝わる弾性波速度の変化、電気伝導度の変化、また磁性を持つ岩石では磁気的性質の変化などが考えられる。これらの現象を測定することも主破壊の予測の一助となることが期待される。

最近、岩石の破壊には水が大きな役割を演じることが問題になってきた。つまり、岩石の間隙水圧の増加が岩石のせん断破壊を起しやすくするのである。実際に、地下深くへの水の注入や、ダム貯水が小地震を誘発した例もある。元来、地殻やマントルの岩石は何らかの形で水を豊富に持っているので、地震と水の関係は重要である。

また、高圧下における岩石の破壊実験によると、主破壊が起る前に多数のクラックを生じ、そのため体積膨脹を生じることが明かになっている。「岩石膨脹説」、*「Dilatancy model」*などと呼ばれているものがこれである。地下の岩石にこのような膨脹が起れば、地表の隆起となって現われるであろうから、このような現象の観察も地震予知に役立つであろう。

最近日本で「ショルツ理論」として報道されているものは、このようなクラック発生による岩石の膨脹とクラックへの水の流入を組み合わせることによって、地震発生前に起る一連の現象を説明しようとするものである。

このように考えると、地震予知は一見容易なようであるが、実際にはいろいろと困難な問題がある。一般に破壊という現象は、突発的、非可逆的な現象であって、それがいつ発生するかは多くの不確定要素に支配されるから、それを「正確に」に予報することは本質的に困難なことである。同じ、予知、予報と言っても、地震のそれは日食・月食の予報や天気予報とは異質なものである。また、地殻岩石のひずみの測定を例にとって見ても、我われが測定できるものは、地表面のひずみだけに限られてし

まうし、地殻あるいはマントル上部という大きな体積に応力、ひずみが何十年、何百年という長い時間に徐々に貯えられるのであるから、小さな試料で短時間に行なって得た実験室の知識をそのまま適用できない場合もある。

日本で地震予知の研究が、特別な予算の裏付けを得て計画的に行なわれるようになったのは、1965年以來である。この計画は、大学、気象庁、国土地理院など多くの関係機関がお互に協力して、日本全域にわたって必要な地球物理学的な測定、観測を行ない、大地震発生に先立って現われる諸現象を捕えようとするものであった。この計画は、その後の研究の進歩や測定技術の発達に伴って多少の修正は加えられたが、今日でもその本筋は変わらない。本年度からは、第三次の五年計画に入った。

次にこの計画の概要を述べ、南関東、北海道東部、東海地方など最近話題になっている地震予知問題を例にとって、地震予知研究がどこまで進んできたかをお話したいと思う。

1. 日本全域にわたる観測

1. 測地測量の繰りかえし

日本全域にわたって地殻の変形を調査する目的で、測地測量を繰りかえし行なっている。この仕事は国土地理院の担当である。はじめは、水準測量と角測量を主体とする三角測量とに重点が置かれたが、レーザー光線を使う光波距離測定器の発達に伴い、三角点間の距離測量の繰り返しから地殻の水平ひずみの変化を求める方法が大きな役割を演じるようになった。これらの測量の繰り返しの間隔は次の通りである。

水準測量	一等水準測量	全国延べ 20,000 km	5年ごとに繰りかえす
三角測量	一等三角測量	全国 330 点	10年 "
距離測量	一、二等三角点間の距離	全国 6,000 点	5年 "

2. 検潮器による海岸昇降の検知

日本の全海岸の約 100 km ごとに置かれた 70 カ所の検潮所（気象庁 37、国土地理院 18、その他 25）の観測データは海岸昇降検知センターに送られ平均海水面が求められ、海岸地域の土地の昇降が監視されている。

3. 気象庁の地震観測網

日本およびその周辺で起るマグニチュード（以後 M と略記する）3 以上の地震の震央、深さ、発生時刻、マグニチュードなどを決定するほかに、発震機構や地震波の速度変化などを調べることは気象庁の業務となっている。気象庁は地震予知計画に基づき、既に全国 67 カ所の気象台、測候所に新しい磁気テープ記録式の地震計を配置した。M 3 までの地震を洩れなく検測することになると、年間約 1 万個の地震を処理することになるから、作業のすべてを自動化する必要がある。気象庁では 1975 年を目標とし実現を急いでいる。

気象庁では、このほか海底ケーブル方式による太平洋中の海底地震計の設置計画を進めているが、さし当り御前崎沖の数カ所に地震計が置かれることになろう。

Ⅱ．特定の地域での観測

1．測地測量の繰りかえし

地殻の変形と地震発生との関係をさらに詳しく知るためには、測地測量の繰りかえし間隔はさらに縮める必要があるので、特定の地域に限り、水準測量や距離測定の間隔を2・5年に、または必要に応じてさらに縮める。

2．土地の傾斜・伸縮変化の連続観測

長期計画の一つとして、水管傾斜計、水晶管伸縮計による連続観測を行なうための観測所の建設が進められて来たが、本年ひとまず完了した。現在、このような観測所は全国に20あり、主として大学に属している。

このほか、気象庁では井戸の底に置く圧力型のひずみ計の設置を計画しており、さし当り関東と東海地方の10カ所に設けることになっている。この器械は土地の体積変化を測定するものである。

これらの器械観測は、一つの地点における地殻ひずみを連続的に記録するものであって、前記の測地測量が面積をカバーできるが、時間的には間欠的なデータしか得られないという欠点を補うものである。

3．微小地震の観測

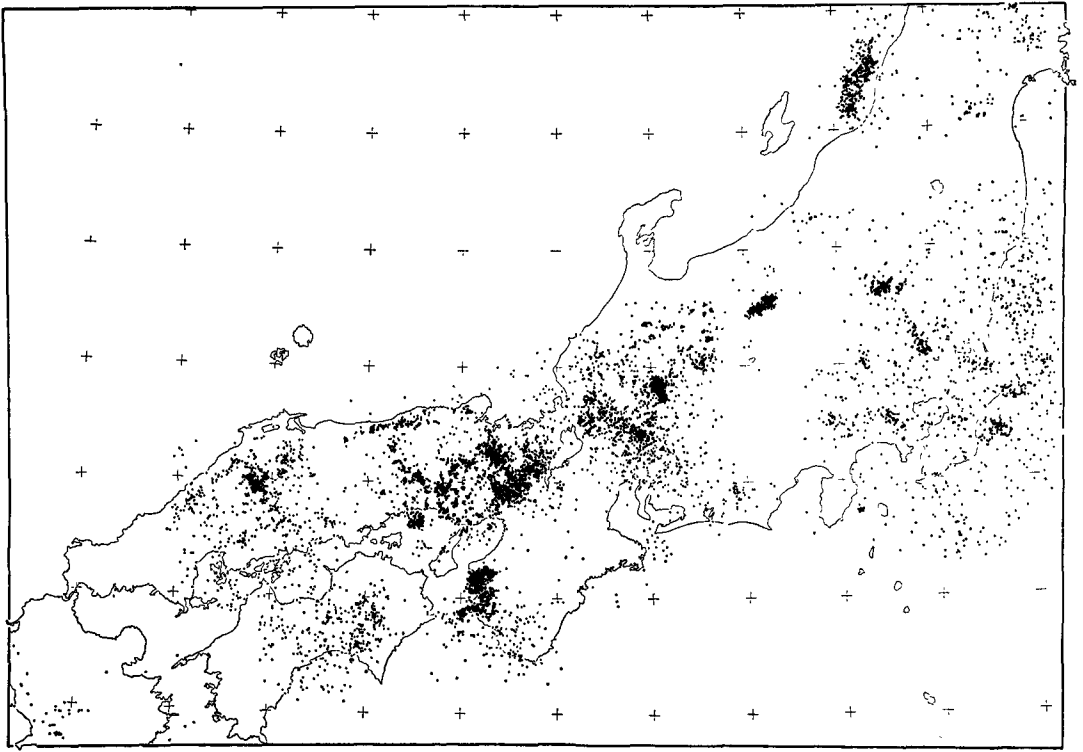
Mが3より小さい地震を微小地震と称している。長期計画の一環として、この微小地震の観測を行なう観測所の新設を行ってきたが、本年をもってひとまず完了した。微小地震の観測は研究的色彩が強かったので主に大学が担当してきたが、現在微小地震観測所の数は全国で20である。高感度の地震計をもってしても、微小地震の探知距離は短かいから、ある地域の微小地震の活動状況を捕えるためには上記の観測所は少くも数カ所の衛星観測点を持つことになっている。これらの観測点の数は現在全国で約100に達している。

ある地域での地震の発生回数は、Mが小さくなるほど多くなる。大体Mが1減ると発生回数は10倍になる。仮に日本全域のM1以上の微小地震を洩れなく観測したとすると、その数はおそらく1年間に100万個を越えるであろう。このような莫大な数の地震を処理することは大へんなことであるが、数が多いから抜取検査の方法を使うことができる。また、地震活動が定常的であるならば、短期間の観測で活動の全ぼうをつかむことができる。例えば、従来の地震観測では10年も20年もかかって得た震源分布のパターンを僅か半年か1年の観測でつかむことができる。

微小地震観測はこのように優れた点を持っているが、なんといっても、地震の数が多いのでその処理に労力がかかる。新しい五年計画では、全国の観測をすべてテレメタテリング方式とし解析も自動化することになっている。

第1図は現在までにいろいろの観測所が、異なった期間に決めた震央を一つの地図の上書きこんだものである。これによって現在日本で起っている微小地震活動のおよそのパターンを知ることができ、地質構造、活断層などとの関係がかなりはっきりした場所があることが分ってきた。

岩石の破壊実験によると、不均質性が高いほど主破壊の前にクラックがたくさん発生し、これが衝撃性の弾性波として観測される。自然の場合は、小クラックの発生は微小地震として観測されるはずであるが、実際に大きな地震の前にたくさんの微小地震がいわゆる「前震」として観測されたという



第1図 微小地震の震央分布（尾池和夫による）

例は意外に少ない。前震を生じやすい地域とそうでない地域があるようである。

地震の縦波の速度と横波の速度の比 V_p/V_s が大きい地震の発生する少し前に著しく減少し、地震発生の直前にそれが元の値に戻るという現象が中央アジアのソ連の研究所で発見され、地震の長期予報にも短期予報にも役立つと報告されたが、その理由は長い間分からなかった。微小クラックの発生による岩石膨脹（ V_p が著しく減少する）とクラックへ周辺からの水の流入（ V_p が元の値に戻る）によってこの現象が理論づけられ、 V_p/V_s の変化の測定は今や世界的ブームになっている。しかし、ソ連やアメリカで V_p/V_s の変化が前兆として認められたという地震は、いずれもM5より小さい地震であって、いわゆる大地震ではない。日本でもこの研究は今盛んだが、被害を起こす程度の地震（Mが6以上）について、どうもはっきりした結果が出ていない。今後日本では、微小地震の観測によってこの現象を究明することになるだろう。

4. 地震波の速度変化

V_p/V_s の値ではなく、人工地震によって直接 V_p の変化を測定しようとする作業が、地震予知計画の一環として1968年以来地質調査所によって続けられている。研究の第一段階として、伊豆大島で爆破を行ない、P波の到着時刻を本州側の多数の場所で観測することとし、毎年1回同じ観測を続けて来た。今までのところ、P波の到着時刻は5ミリ秒の精度で測定できることが分ったが、この観測精度を越えるような変化は起っていない。したがって、今のところ相模湾の下の地殻を伝ってくる

P波の速度に0.1%以上の変化は起っていないと言える。

5. 活断層の調査

活断層とは、現世を含めた新しい地質時代に活動し、今後も活動することが予想される断層のことである。断層は大地震に伴って生じる場合が多いから、活断層は将来大地震の起る可能性のある場所ということになる。活断層の調査は、大学、地質調査所、国立防災科学技術センターなどの協力によって進められてきた。

活断層は、その活動の度合によってA、B、C三階級に分けられている。その活動が始まった年代から現在に至るまでの断層の総変位量を調べ、1000年当りの平均変位量が1～10mをA級、0.1～1mをB級、0.1m以下をC級としている。日本ではカリフォルニア州にあるサン・アンドレアス断層の一部に見るように、常時ズルズルと動いている断層はない。日本の内陸では、全く同じ場所に大地震が起るのは、およそ1000年に1回だと考えられているから、A級の断層ではその度に1～10mの変位が生じることになる。地震予知の立場から特に注目すべき断層は、A級の断層で数百年活動した形跡がなく、近い将来大地震が起って活動するかも知れない断層である。A級断層として知られているものに、糸魚川・静岡構造線、北伊豆断層、跡津川断層、阿寺断層、根尾谷断層、山崎断層、中央構造線の一部などがある。

6. 東京および周辺の観測

東京は歴史時代を通して、しばしば局地的な破壊地震に見舞われてきた。特に安政2年(1885)の江戸の大地震は東京直下に起ったものである。東京は日本にとって重要な地域であるから、諸種の観測を行なうべきであるが、軟かい地層が厚く堆積しており、交通機関や工場の振動の影響があるので、地表で精密な器械観測を行なうことができない。また、地下水の過剰汲み上げによる地盤沈下が進行しているので、水準観測も地殻変動検出のためには役に立たない。そこで国立防災科学技術センターでは、埼玉県岩槻市に3500mの深井戸を掘り、その底に微小地震計と傾斜計を設置して昨年からの観測を行なっている。ここでは3200mの深さで、先第三紀層からなる堅い岩盤に到達し、雑振動はきわめて少ない。このような深井戸観測は、東京周辺にさらに少くも2カ所が必要であるが、同センターでは1976年までにそれを実現しようと努力している。

7. 地磁気変化の観測

省略。

Ⅲ. 研究促進のための連絡会

地震予知が早く実用化の段階に達してほしいという強い社会的要請に答えて、1969年に「地震予知連絡会」が設けられた。連絡会の委員は、大学の研究者と気象庁、国土地理院など地震予知関係の観測を担当している関係機関の職員から成っている。観測に基づく地震予知に必要な資料はすべて連絡会に送られ、土地隆起や地震活動の増加など何か異常な現象が発見された場合は、連絡会はその地域の観測を強化したり、さらに必要な場合にはあらゆる種類の観測を投入することを図ることになっている。

IV. 最近の話題

1. 南関東の観測強化

1969年に房総半島で行なった水準測量の結果は、1965 - 1969年の3カ年間に同半島の南部が3cmほど隆起したことを示した。それまではこの半島は、紀伊半島、室戸半島など大太平洋に面した半島と同じく南下がりの傾動を続けていると思われていたので、南部が年間1cmも隆起することはきわめて異常なことと考えられた。地震予知連絡会は南関東の観測を強化することを決めたが、この要求に答え房総半島および三浦半島の水準測量は毎年1回行なわれることになった。この結果を見ると、1965 - 1973の8年間という長い期間について見ると、房総半島はやはり南下りの傾動を続けていることが分った。ただし、このようなゆるやかな変動に短周期でフラクチュエートする上下運動が重なって、ことが知られた。1969年の測量で異常隆起と疑われたのは、このフラクチュエーションによるものと解釈される。南関東の観測強化に伴い、国土地理院は1970 - 1972にわたって、南関東の三角点間の距離測量を密に行ない、その測量結果を1923年の関東大地震直後に行なった復旧三角測量の結果と比較した。両者の差は、関東大地震から最近まで約45年間に蓄積された土地のひずみと解釈できる。これによると、房総半島は南北に圧縮され、相模湾一带は北西 - 南東の方向に圧縮されている。この変化は関東地震に伴って生じた変化のちょうど逆になっている。水平面内の最大せん断ひずみは相模湾が一番大きく、 3.9×10^{-5} のところがある。従来経験から、地殻は水平最大せん断ひずみが、 1×10^{-4} で破壊すると考えられているから、この値ではまだ破壊は起らないことになる。したがって、近い将来に相模湾に関東大地震が再来するとは考えられない。

2. 1973年6月の北海道根室東方沖の地震

北海道の東部では大きな地殻変動が続いていた。最近行なわれた同地域の三角測量の改測は、同地域が北西・南東の方向に強く圧縮されていることを示し、水準測量の改測は、同地域が太平洋の方に傾動し、根室付近では年当り1cmの沈下が続いていることを示した。一方、根室半島沖の太平洋地震帯には「地震活動の空白部」が存在し、将来の大地震発生場所として注目されていた。地震予知連絡会は1969年にこの地域を特定地域として測量をひん繁に行なうようにした。1973年6月17日の大地震(M7.4)は、まさにこの空白部に起った。そして余震はこの空白部を埋めるように起ったのである。ここまでは予想通りのいきごとと言えるが、その時まで進行していた北海道東部の大きな地殻の変形が、この地震によって元に復帰するという現象が少しも見られなかったことは我われの予想に全く反することであった。この種の地震は、太平洋の堅いプレートが島弧の真下にもぐり込むことに帰因すると考えられているが、それではなぜその時必ず起る「はね返り」の現象、つまりひずみの解消が陸地部に現われなかったかについて考えてみなければならない。

3. 東海地方の観測強化

今年のはじめに、地震予知連絡会は東海地方の観測を強化することに決めた。古い記録によると、東海地方の沖合(遠州灘)では1498, 1605, 1707, 1854年に巨大地震が起っている。特に1854年(安政元年)の地震では、三島から浜松付近に至る街道沿いの町や村が震度7程度の震動に見舞われ大被害を生じ、海岸は大きな津波に襲われている。

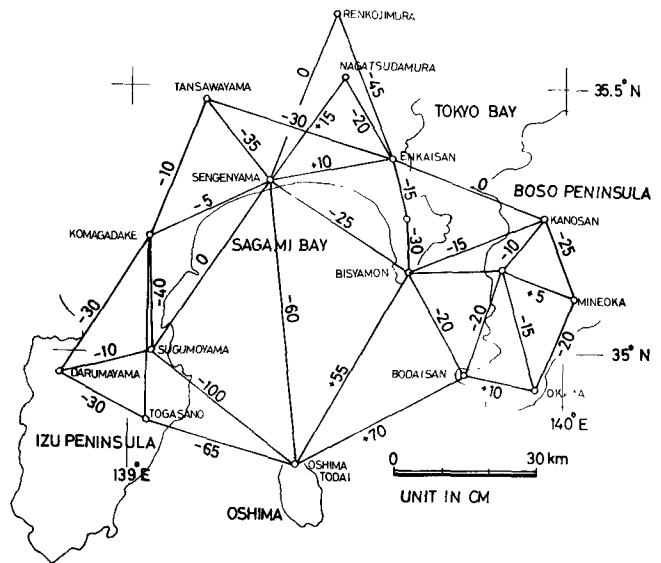
気象庁の観測によると、東海地方の沖合には顕著な地震活動の空白部が存在している。また、水準

測量によると、1889-1967の約80年間に駿河湾一帯の地域は約30 cmの沈降を生じている。御前崎付近での三角測量や距離測量によると、この地域の土地は東西方向への圧縮が続き、最近それが加速されたかに見える。

連絡会の決定にしたがって、国土地理院は東海地方の広い面積にわたって、二等三角点間の距離測定をはじめようとしている。各三角点間の距離は8~10 kmである。気象庁は御前崎候所構内に200 mの井戸を掘り、その底に微小地震計と傾斜計を据えた。名古屋大学はこの地方に微小地震の観測網を設けることになった。東京大学は東海大学の協力を得て、東海地方の沖合でアンカード・ブイ方式の海底地震計で短期間の微小地震観測を行なうことを計画している。これらの微小地震の観測は V_p/V_s の変化の検出に重点が置かれることになっている。

第 2 図
南関東の三角点間の距離変化

大正12年の関東大地震の後から最近まで45年間に進行した地殻のひずみと見る事ができる。



第 3 図
南関東の主ひずみと最大せん断ひずみ

房総半島の最大せん断ひずみは小さく、相模湾に最高値 3.9×10^{-5} が見られる。

