

# 関東地方南部のサイスミシティと最近の地殻変動および速度変化の予備的考察

## ～地震予知をめざして③～

飯塚 進

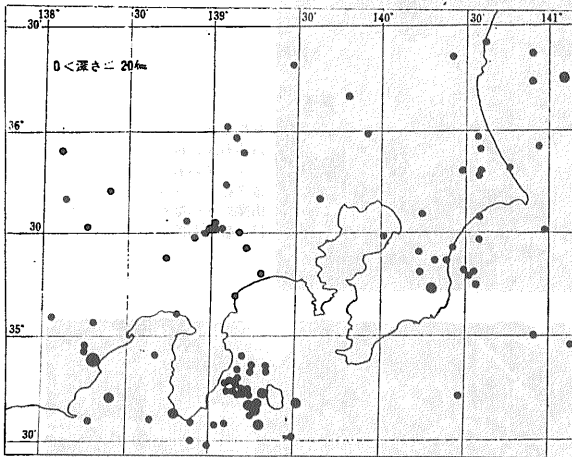
今回は まずはじめに実験地として選ばれた 関東地方南部の地震活動 地震の分布などについて簡単にみておきたい。つづいて最近話題になっている房総・三浦両半島の隆起現象や関東地震の“69年周期説”についてもふれる。また実験により検出される速度の変化量は一体どの程度かを知っておくために 若干の予備的考察も試みることにする。

っているのではなかろうか。 実験を開始するに先立って「いつ どこで どのくらいの規模の地震が起こっているか」を明らかにするため 気象庁の観測データのそろっている1926年から1966年までの41年間について 時間的には10年きざみ 震源の深さは 20km きざみに マグニチュード別の地震の分布を調べたのであるが その一部をここでは紹介しておく。

### 7. 関東地方南部を中心とする地域に起こる地震の時間的空間的分布

最初の実験地として相模湾を中心とする関東地方南部が選ばれたことは このシリーズの一回目に書いたが 一体関東地方の問題の地域には どのように地震が起こ

第1図(a)～(e)は 1957年から1966年の10年間に起こった地震の深さ別 マグニチュード別分布図である。ただし60km よりも深い地震は 気象庁ではマグニチュードを決めていないので この図では全部同じ大きさの白丸で示してある。 これらの図の特徴をあげてみると

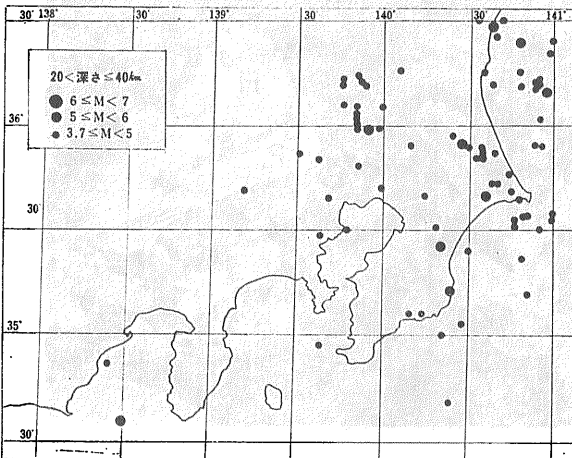


第1図 a

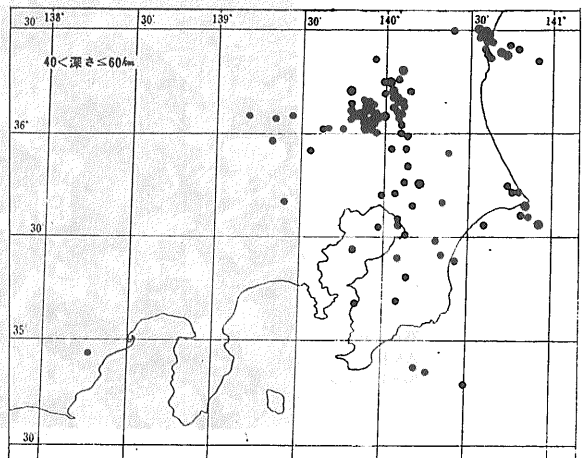
㉑深さ 20km まで。 大島西方海域で群発的にM=5前後の地震が また静岡付近にMが6以上の地震が発生している (Mはマグニチュードを表わす)。

㉒深さ 20～40km。 ほとんどの地震が東部で起こっていることである。 深さ 20km 未満の地震は全域にわたり散発的に起こる傾向にあるが この深さになると明らかに一定の場所に片寄ってくる。 大島西方には全く起こっていないことから この地域の地震が極浅発性的のものであったことがわかる。

㉓深さ 40～60km。 上記㉑㉒の範囲までが地殻とそれに接するマントル最上部に起こる地震であるが 40km 以深になるとすべてマントル内で起こる地震である。 この深さの地震の最大の特徴は 筑波山付近や那珂湊付近などある特定の場所に集中的に起こることである。 そのようすはまさに“地震の巣”と呼ぶにふさわしい。

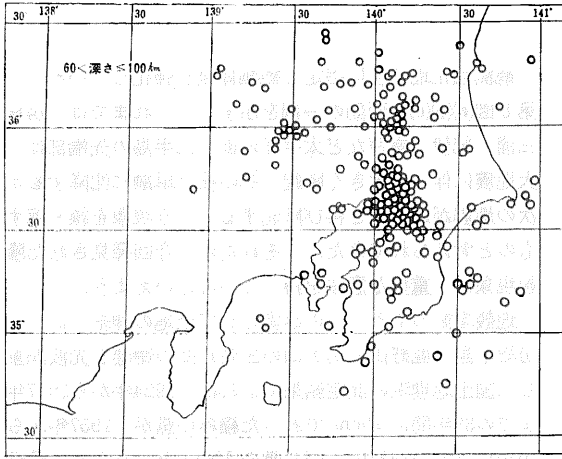


第1図 b

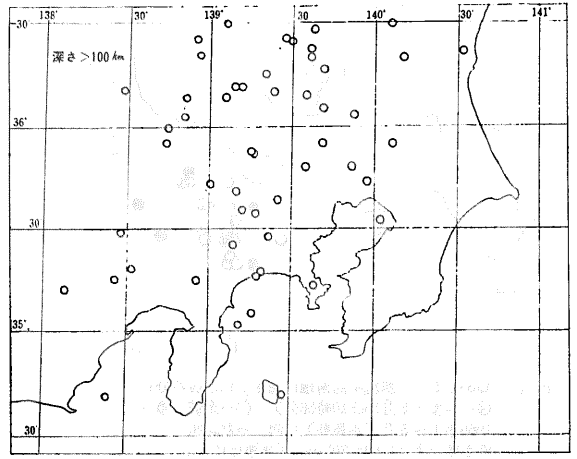


第1図 c

第1図 a～e 1957年から1966年までの10年間に関東地方に起こった地震のマグニチュード別 深さ別分布。 深さが60kmよりも深い地震のマグニチュードは決めていない。



第1図d



第1図e

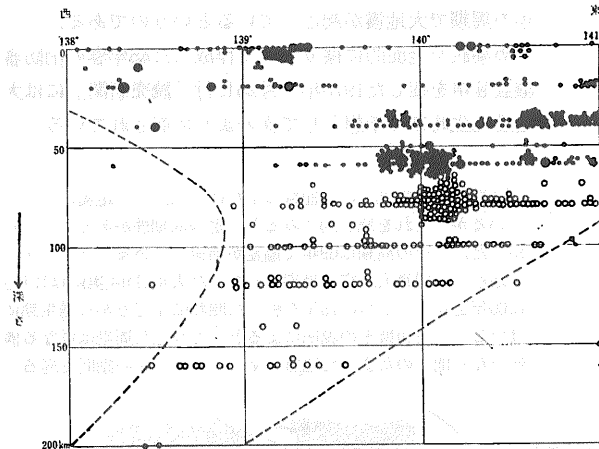
①深さ60~100km. 千葉県北部の“地震の巣”が特徴的である。

②深さ100km以上. この深さを越えると全体として西方へ移動し散発的になる。

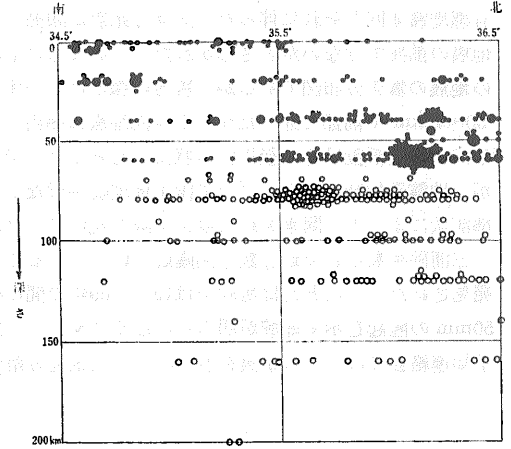
以上の結果をまとめて東西・南北両垂直断面に震源を投影した図を描いてみたのが第2図(a)(b)である。地震の巣の位置が一目瞭然である。また東西断面に点線で示したような地震がほとんど起こらない空白地帯の

存在することが著しい特徴である。これはいかえれば東の海域から西の内陸側へ向かって斜めに地震の起こる領域がくさび状にいくんでいることを示している。そして深さが増すとともに地震の数は減少しこの地域では200kmより深い地震は過去41年間1度も観測されたことはない。このような特徴は第3図(a)(b)に見る通り実は日本列島全体の特徴の一部を成していることもおわかりいただけると思う。

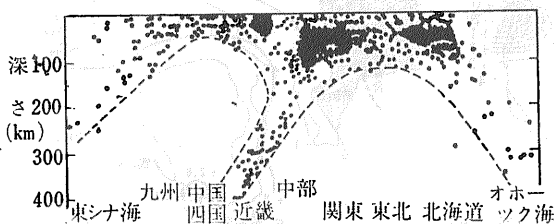
関東地方に起こっている地震の大きさばな特徴は以上



第2図(a) 震源分布の東西断面図(1957~1966) 点線の外側は地震のほとんど起こらない所である

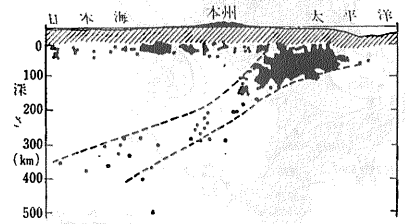


第2図(b) 震源分布の南北断面図(1957~1966)

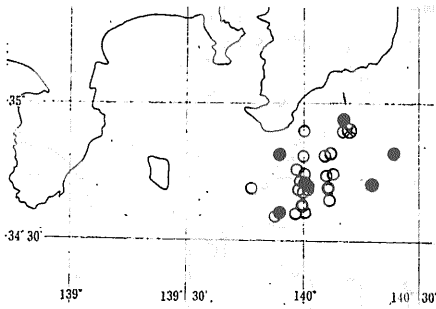


第3図a

第3図 日本付近の地震の垂直分布 (a)は島弧に平行する断面 (b)はそれに直交する断面である。(勝又・験震時報vol. 20より)



第3図b



第4図 1969年5月 房総半島南端に発生した地震の分布  
 ⊙・本震(5月15日10時56分) ⊖・余震 ●  
 1969年1~5月(本震前)に起こった地震  
 深さはいずれも50~70km。(気象庁による)

のようなものであるが われわれが関心を持つのは主として地殻とマントル最上部付近に起こる地震である。被害をもたらす大地震はほとんど地殻の中で起こり 浅い地震ほど被害は大きくなる傾向があるからである。したがって40~50km 以浅の地震 とりわけ地殻内地震の発生状況に注意しておく必要があるわけである。

### 8. 最近における関東地方南部の

#### 地殻変動と関東地震の周期説について

##### 8.1 隆起に転じた房総・三浦の地殻変動

昭和44年5月15日から26日にかけて 房総半島南端で有感地震4回とそれに伴った小規模な余震が頻発し 大地震の前兆ではないかとさわがれた。第4図はそれらの地震の震央分布図であるが、震源の深さは いずれも50~70km で前節で述べたマントル内地震に相当している。地震活動はその後平常の状態にもどったのであるが、地震予知計画にもとづいて国土地理院が行なった水準測量によって 関東大地震以後沈降を続けていた房総・三浦両半島などで最近数年間隆起に転じていることが発見された。たとえば房総では1965~69年の間に40~50mm の隆起を示す地域が明らかになるに及んで 地震予知連絡会では この事実を重くみて 関東地方南部を

「観測強化地域」に指定し観測体制を強化している。第5図(a)(b)(c)に変動の一例を示す。これまでは 房総三浦 紀伊 室戸など太平洋に面した半島の先端部は大地震に伴って大きく隆起しその後は単調に沈降するが次の地震が起こると再び隆起するという現象を繰り返すものと考えられてきた。それだけに今回発見された隆起現象は 重要な意味を持っているといえよう。

地殻変動のもう一つの事実として土地の伸縮がある。房総半島で鹿野山と房大山の三角点間の距離を光波測量した国土地理院の測定結果によれば 1924年から1957年までの33年間に10cm であった縮みの量が 1957年から1970年までの13年間に同じ量の10cm というように最近縮み方が加速されているらしいことが明らかになった。

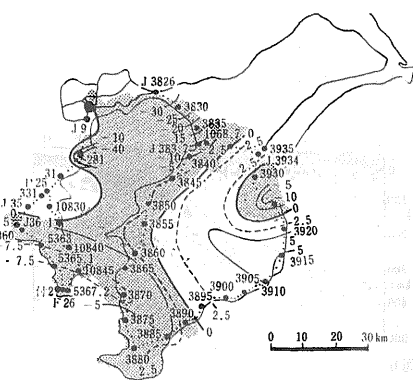
これらの観測事実が直ちに大地震の発生に結びついていのかどうかは今のところ断定できないけれども 要注意の段階にはいったことだけは確かであろう。

#### 8.2 関東地震の'69年周期説

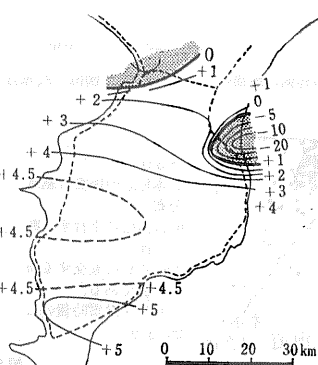
関東地方に大地震の発生が近づいているという推定のもう一つの根拠に「周期説」があげられている。新聞などで何回となく報道されているのでご存知の方も多いと思うが これは東大名譽教授の河角広氏が過去のデータを統計的に整理した結果 関東地方南部には69年±13年の周期で大地震が起こっているというのである。

周期説を全面的に採り入れて作成した45年春の消防審議会答申を報じた1970年3月25日付「読売新聞」には大地震発生時期の予想として次のように記されている。

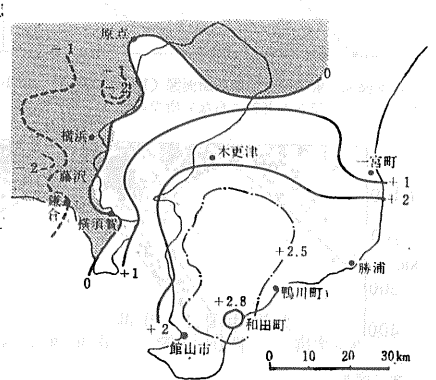
「関東地方南部では 記録の上だけで22回の大地震が発生しているが これを統計的にみると一定の周期性があることがわかった。その周期は69年で偏差が前後13年あることから次の大地震は 関東大地震の周期にあたった大正11年(実際は12年)に69年を加え さらに13年を引いた昭和53年ごろから発生期にはいる。河角博士の説明によると こうした周期は単なる偶然でなく地下のたまった地震エネルギーが一定の期間を経ると



第5図(a) 房総・三浦半島水準点変動図  
 期間1931~1965 単位は cm

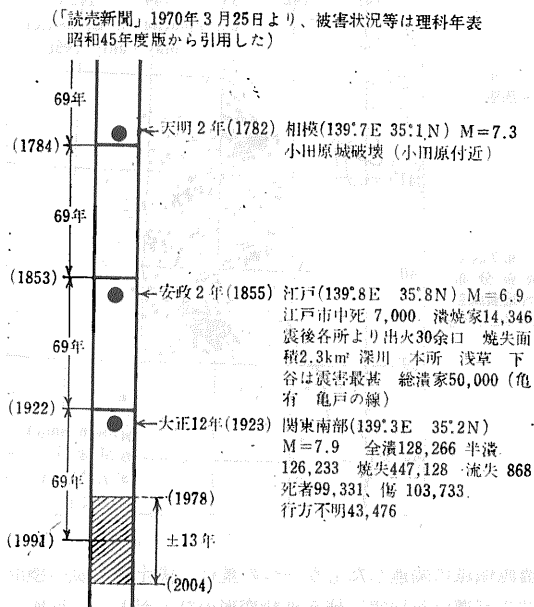


第5図(b) 房総半島水準点変動図  
 期間1965~1969 単位は cm



第5図(c) 房総・三浦半島における最近2年間(1968年2月~1970年2月)の上下変動 単位は cm(第5図はいずれも国土地理院による)

第1表 関東地方南部の大地震発生年表



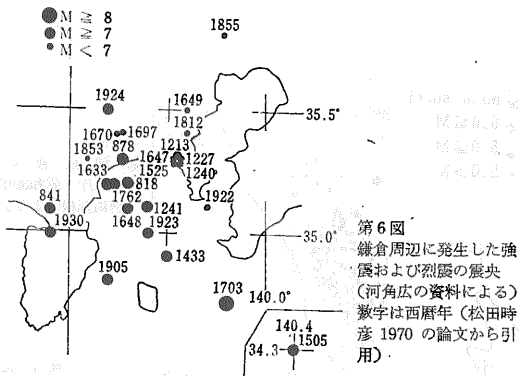
爆発するもので 過去の例をとっても 天明の大地震は前回の周期から67年後に 安政の大地震は71年後に 大正の大地震は70年後といずれも周期の1, 2年前後に発生しているという

第1表はこのようすを年表にまとめたもので 上記の新聞にのった図に一部手を加えてつくり直したものであるが この年表から 69年周期説は有力な統計的根拠を持っていることがうなずけるであろう。したがって来たるべき震災にそなえる意味からも 69年周期説は十分考慮されなければならないと思う。

なお参考のために 河角氏が調査された過去に鎌倉周辺で起こった局地的大地震の震央分布図を第6図にかかげておく。

### 9. 予想される地震波速度の変化量

実験に先立って 速度変化の期待値を見積っておくことは結果を解釈する上にもまた見通しをたてる上でも重要なことである。これまで地震波速度は震源領域を通過する際に変化すると書いてきたが 一体震源領域とはどのような空間的大きさを持つものなのだろうか。もちろんそれは大きな地震ほど大きいであろう。すなわちそれは 地震の規模 (マグニチュード) によって異なるであろう。まず震源域の大きさを決めることから始めることにしよう。



### 9.1 震源領域の大きさ

震源領域の大きさは いろいろな観測事実によって説明されている。まず第一に「余震面積」がある。ある大地震が起こると、それに続いて多数の余震がその周辺に発生する。第7図 (a) (b) は 1964年の新潟地震と1968年の十勝地震の例であるが このように本震を含む余震の震央分布域の面積を「余震面積」とよんでいる。この「余震面積」(A)とマグニチュード(M)の間には次のような関係が成り立つことを1955年に気象庁の宇津・関の両氏が発見した。

$$\log A = M + 6 \quad \text{①}$$

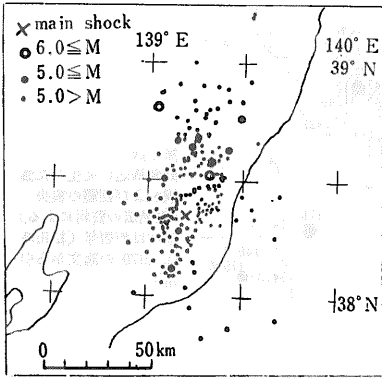
この式は「宇津・関公式」と名づけられ 地震学者の間では有名になっている。

二つめには 坪井忠二氏が提唱した「地震体積」という考え方である。この考えを簡単に説明すると次のようになる。

岩石にはある一定の強度限界があり したがってある一定体積にたくわえることのできるひずみエネルギーには限度がある。この限度をこえると破壊が起こって たまっていたひずみエネルギーが地震のエネルギーとして放出されるわけであるが 大きな地震というのはこのひずみエネルギーのたくわえられていた領域が大きいことを表わしている。すなわち 大地震には大きな体積が、小さな地震にはそれに応じた小さな体積が対応するというわけである。この領域 (体積) のことを「地震体積」と名づけた。そこで「地震体積」とMとの関係を求めてみよう。

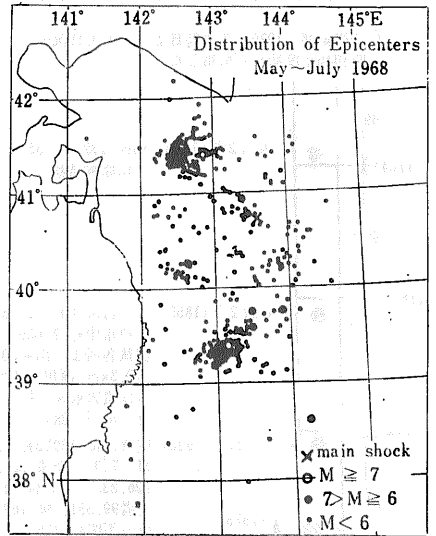
普通 地震のMとエネルギーEの間には 有名なグーテンベルグ・リヒターの公式が成り立つ。

$$\log E = 1.5M + 11.8 \quad \text{②}$$



第7図(a)  
新潟地震の余震分布  
(気象庁：昭和39年6月16日新潟地震調査報告より)

第7図(b)  
十勝沖地震の余震分布  
(気象庁：1968年十勝沖地震調査報告より)



一般に岩石の単位体積当りにたくわえうるひずみエネルギーの限界は、3,000 エルグ程度である。いま震源領域を半径  $r$  の球と考え（第8図）この球の中に強度限界までエネルギーがたくわえられたとすれば、全体のエネルギー  $E$  は②式から

$$\log E = \log\left(\frac{4}{3}\pi r^3 \times 3000\right) = 1.5M + 11.8 \quad (3)$$

となる。この式から

$$\log r = 0.5M + 2.6 \quad (4)$$

または

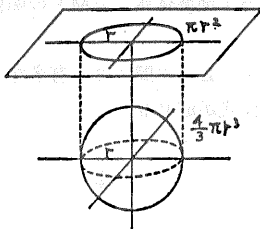
$$\log \pi r^2 = 1.0M + 5.7 \quad (5)$$

となる。⑤式で  $\pi r^2$  というのは、球を地平面へ投影した円の面積に他ならず（第8図）もし余震がこの「地震体積」の中に起こるものならば  $\pi r^2$ こそ「余震面積」 $A$  に他ならない。

すなわち⑤式は

$$\log A = 1.0M + 5.7 \quad (6)$$

これは前記の「宇津・関公式」①とまさに一致している。



第8図  
地震体積としての半径  $r$  の球と  
その地表面への投影図

震源領域に関連したもう一つの量は、国土地理院の檀原毅氏が導いた地震に伴う地殻変形のひろがり（地震の  $M$  との関係である。いま変形の範囲を近似的に円とみなして半径を  $r$  とすると、いろいろな地震についてまとめた結果

$$\log r = 0.51M + 2.73 \quad (7)$$

という関係が成り立つことがわかった。この式は  $r$  と  $M$  との関係であるが、面積  $A$  に換算してみると  $A = \pi r^2$  であるから

$$\log A = \log \pi r^2 = 1.02M + 5.96 \quad (8)$$

となる。これはまた「宇津・関公式」①とよく一致している。このことは余震面積と地殻変形の範囲が同じものであること、つまり変形したところから余震が起こることを示している。

このように「余震面積」「地震体積」「地殻変形の範囲」などと地震の  $M$  との間に成り立つ経験式は、表現は異なるが、同一の事実を表わしていることがわかる。

（くわしくは、坪井忠二著「新・地震の話」（岩波新書）をみていただきたい。）

### 9.2 期待される走時の変化量

われわれは速度の時間的変化をキャッチすることをねらっているのであるが、実際に観測にかかる量は直接速度ではなくて、速度が変化したために変わる波の伝わるのに要する時間、すなわち「走時」である、ということ

第2表 地震のマグニチュードと地震体積の半径との関係

M	8.6	8.0	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0
r	80	40	25	13	8	4	2.5	1.3	0.8	0.4

をまず始めに注意しておきたい。

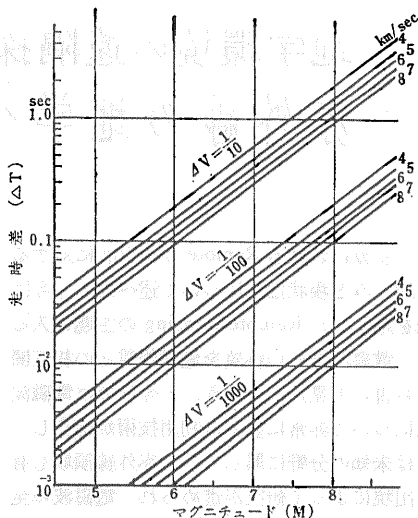
ここでは半径  $r$  の球の地震体積が速度変化をもたらす領域だとみなして、④式をつかって期待される走時の変化量を見積ってみることにしよう。まずはじめに  $M$  と  $r$  の関係を第2表にまとめておく。(  $M=8.6$  はこれまでに知られている最大の地震。  $M<4.0$  は省略した)

地震体積の中では速度  $V$  が平常時の値からわずかに変化して  $\Delta V$  だけ速くなったとし、そこを地震波が距離  $L=2r$  (球の直径) にわたって通過する間にどれだけの走時差が現われるかを計算してみる。走時差を  $\Delta T$  とすれば

$$\Delta T = L \left( \frac{1}{V} - \frac{1}{V + \Delta V} \right) \quad (9)$$

である。正確には  $V$  は場所の関数であり、仮りに  $V$  が一定の場合でも  $\Delta V$  は場所によって異なると考えられるが、ここでは地震体積内で場所によらず一定と考えることにする。 $\Delta V$  の予想値としては、高圧実験の結果などから高々1%であろうといわれているが、他方自然地震の観測からは10%以上にも達するという報告もありはつきりしたことはわかっていない。そこでいま  $\Delta V$  としては、0.1%、1%、10%の3通りを考え、標準の速度値としては  $V=4, 5, 6, 7, 8$  km/secの5通りの場合について④式と⑨式から  $M$  と  $\Delta T$  の関係を算出した。すなわち、あるマグニチュードの地震が起こる場合にその震源域を通過する地震波の走時は、平常の場合にくらべてどれだけ変化するかを表わすもので、第9図がそのグラフである。ここで  $V=4\sim 6$  km/secは地殻上部の7km/secは地殻下部の8km/secはモホロピッチ不連続面(地殻とマントルの境界で、地震波の速度が不連続的に大きく変化する。モホロピッチは発見者の名前、略してモホ面ともいう)直下の速度に対応すると考えていただきたい。

第9図をみる場合に注意すべき点は、この節の最初に述べたように、実際に観測にかかるのは速度そのものではなく、速度が変化した結果生ずるところの走時の変化量(走時差)であるということである。したがって計算の過程では  $M$  を与えて  $\Delta T$  を算出したのであるが、このグラフを利用する場合は、今度は逆に観測された  $\Delta T$  の値から  $\Delta V$  を仮定してマグニチュードにしていく位の地震が期待されるかを知ることができるわけである。



第9図 走時差と速度およびマグニチュードとの関係  
縦軸は対数目盛になっていることに注意

たとえば、走時差  $\Delta T$  が0.1秒と観測された場合、 $\Delta V$  を1%とすれば  $M=7.5$  ぐらいの地震、10%とすれば  $M=6.0$  ぐらいの地震に相当する。一方あるマグニチュードの地震について考えると、速度がおそいほど走時差は大きくなり、これは震源領域が浅い所にあることに対応するので、被害の大きい浅い地震ほど検知率は高いことを表わしている。いずれにしても速度変化によってもたらされる走時差はそれほど大きな量にはならず、精度の高い観測が要求されることは、以上の簡単な予備的考察によっても明らかになったといえよう。

(筆者は 物理探査部)

文 献

長谷川功・飯塚進(1969): 爆破地震による地震波速度の変化の観測(第1報)——実験フィールドの Background について(関東地方に起こる地震の時間的空間的分布)——地質調査所月報 vol. 20 no. 4 p. 37  
 勝又護(1955): 日本付近の地震の垂直分布 験震時報 第20巻 第2号 p. 21  
 国土地理院地殻活動調査室(1969): 房総・三浦半島地域における地殻活動状況 地震予知連絡会会報 第1巻 p. 25  
 国土地理院地殻活動調査室(1970): 最近の関東南部の地殻変動 地震予知連絡会会報 第3巻 p. 25  
 松田時彦(1970): 南関東の地質と活断層 東大地震研究所地震予知観測センター資料 第1号 p. 9  
 宇津徳治・関彰(1955): 余震区域の面積と本震のエネルギーとの関係 地震 第2輯 第7巻 p. 233  
 坪井忠二(1967): 新・地震の話 岩波新書  
 塚原巖(1966): 松代地震に関連した地殻の上下変動 測地学会誌 vol. 12 p. 18  
 飯塚進他4名(1969): 爆破地震による地震波速度の変化の観測(第2報)——第1回実験結果(主として走時について)——地質調査所月報 vol. 20 no. 5 p. 19