

震 源 (第 10 報)*

Mohorovičić 層中の地震の初動分布型式

高 木 聖**

On the Origin of Earthquake (the 10th paper)

Types of distribution of initial motions of earthquakes in the Mohorovičić layer

S. TAKAGI

Training School for Meteorological Observer

This paper explains the type of distribution of initial motions of earthquakes which occurred in the Mohorovičić layer by mechanisms of the magma-explosion theory.

§ 1. 序

わが国にはじめて Mohorovičić 層につき紹介されたのは岡田武松博士であると、須田皖次博士は述べておられる⁽¹⁾。それから間もなく大正 14 年 (1925) 和達清夫博士が日本にもこの層のあることを実証せられた⁽²⁾。それとほとんど期を同じくして須田博士も、この層中の地震につき初動分布のあり方について詳しく論述された⁽³⁾。しかし、実際の地震についての研究はなかった。それから多くの研究者がこの層のことについてふれてきた。松沢武雄博士はこの層中にまた一つの層があると考えておられる⁽⁴⁾。国富信一博士は関東大地震について、はじめてこの層を利用して初動分布を説明しようとせられた⁽⁵⁾。しかし、これは河角広博士も指摘せられたように⁽⁶⁾、その節線の引き方はまちがっていた。水上武博士は日本の沢山の地震に対して応用せられた⁽⁷⁾。

これらの研究にもかかわらず、この層の存在を認めない研究者もある。また、この層の深さも、

* Received Feb. 28, 1953

** 中央气象台研修所

(1) 須田皖次 ; モホロビチック波の利用に就いて (一), 海と空 第 5 卷 (大正 14, 1925)

(2) 和達清夫 ; 但馬地震に於けるモホロビチック波に就いて, 気象集誌 第 3 卷 (大正 14, 1925)

(3) 須田皖次 ; モホロビチック波の利用に就いて (二), 海と空 第 5 卷 (大正 14, 1925)

(4) T. Matsuzawa ; Observation of Some of Recent Earthquakes and their Time-Distance Curves, Part. I 震研彙報 第 5 卷 (昭 4, 1929)

(5) 国富信一 ; 関東大地震の験震学的考察, 験震時報 第 3 卷 (昭 4, 1929)

(6) 河角 広 ; 浅路地震の発震機巧, 初動分布と地殻構造, 地震 第 6 卷 (昭 9, 1934)

(7) T. Minakami ; Distribution des mouvements initiaux d'un séisme dont le foyer se trouve dans la couche superficielle et détermination de l'épaisseur de cette couche, 震研彙報 第 13 卷 (昭 10, 1935)

その中を伝播する波動の速度も確定的にはなっていない*。これを確定するためには沢山の地震についてそれらを求めてみる必要がある。

従来、初動分布の節線を引くとき、あまりにも定性的であったため、しばしばまちがって引いている例がある。国富博士も指摘せられたように、中村左衛門太郎博士の関東大地震の調査もちがっていた(8)。それで本文ではそれを定量的に引くようにしようと試みたものに過ぎない。

§ 2. 走時曲線

多くの浅い地震の走時曲線を取ってみると、明らかに mo. 層(以後、簡単のため、Mohorovičić 層のことをこう呼ぶことにする。)を認めざるを得ないのであるが**、ここではその存在論はやめて、初めからこの層は存在するものと仮定する。そうするとまだ転向円の出ない前の走時曲線は、震源における発震時 t_0 、P 波が地表へ達するまでの時間 \bar{t} 、地表での発震時 t 、震源の深さ h 、震央距離 Δ 、mo. 層中の P 波の速度 v とすると、

$$t = \bar{t} + t_0 = (\sqrt{h^2 + \Delta^2}/v) + t_0 \quad (2.1)$$

である。これはまた

$$\frac{(t-t_0)^2}{(h/v)^2} - \frac{\Delta^2}{h^2} = 1 \quad (2.2)$$

とも書け、双曲線を示す。すなわち、転向円の出ない前の走時曲線は双曲線である。

したがって、その漸近線は $t - t_0 = \pm \Delta/v$ (2.3)

となり、漸近線の走向が mo. 層中の震波の速度を示すことになる。従来、双曲線のほとんど直線となったあたりの走向をそのまま震波の速度に取る習慣であったが、それは $\frac{h}{\Delta}$ の非常に小さいあたりに求めなければならず、仮に h を 50~60 km とすれば、 Δ は 500~600 km あたりを取らなければならない。これは事実上困難である。将来、各測候所で P および \bar{P} を読取るようになれば別であるが、従来は、たゞ双曲線の形を延長するだけのことであるから危険である。次に漸近線が t 軸を切る点 t_1 は (2.3) から $t_1 - t_0 = 0$ (2.4) であり、すなわち、 t_1 は震源での発震時 t_0 を示すことになる。

次に双曲線が t 軸を切る点 t_2 は (2.2) から $\Delta = 0$ として求まる。すなわち、

$$t_2 - t_0 = \pm h/v \quad (2.5)$$

となり、(2.4)、(2.5) から $t_1 - t_2 = \pm h/v$ (2.6)

として、地震の深さを求めることができる。

すなわち、漸近線の走向から v が求まり、その t 軸を切る点を双曲線が t 軸を切る点との間隔から深さ h を求めることができる。

(8) 中村左衛門太郎；関東大地震調査報告、震災予防調査会報告 第100号(大正14, 1925)

* 爆破地震動研究グループ；地殻構造と爆破地震学、自然 第7卷(昭27, 1952)

** 高木 聖；震源(第9報)、験震時報 第17卷(昭28, 1953)

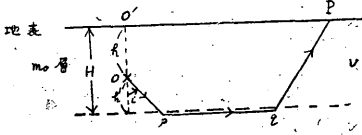


Fig. 1

次に轉向円外の走時曲線について考えてみる。これは第1図の $O'pqP$ なる経路を通るものであって、 mo 層の下層を P 波が伝播する速度を v 、 mo 層の厚さを H 、震源から地表に達するまでの時間を τ とすれば、地表での発震時 t は、

$$t = \tau + t_0 = \frac{Op}{v} + \frac{pq}{V} + \frac{qP}{v} + t_0$$

である。ところが、ここに mo 層からその下層への入射角 i は、

$$\sin i = v/V \quad (2.7)$$

であるから、 $t = \frac{H-h}{v \cos i} + \frac{\Delta - (H-h) \tan i - H \tan i}{V} + \frac{H}{v \cos i} + t_0$

$$= \frac{\Delta}{V} + \frac{(2H-h)\sqrt{V^2-v^2}}{vV} + t_0 \quad (2.8)$$

となり、右辺の第2、第3項は常数項であるから、走時曲線は直線を示す。その走向は第2層中の P 波の速度 V を与える。この直線の t 軸を切る点 t_3 をみると、(2.8) から

$$t_3 - t_0 = \frac{(2H-h)\sqrt{V^2-v^2}}{vV} \quad (2.9)$$

となるので、(2.4) と (2.9) から H を求めることができる。すなわち、

$$H = \frac{1}{2} \left\{ \frac{vV}{\sqrt{V^2-v^2}} (t_3 - t_1) + h \right\} \quad (2.10)$$

ところが、ここに轉向円の半径も同時に求まる。すなわち、双曲線 (2.2) と直線 (2.8) との交点 D がそれである。この点は \overline{Op} を通る時間と、 \overline{OpqP} を通る時間との等しい点であるから、

$$\frac{\sqrt{h^2 + D^2}}{v} = \frac{D}{V} + \frac{(2H-h)\sqrt{V^2-v^2}}{vV} \quad (2.11)$$

$$\therefore D = \frac{v}{\sqrt{V^2-v^2}} (2H-h) + 2 \frac{V}{\sqrt{V^2-v^2}} \sqrt{H(H-h)}$$

である。また、 $H = \frac{1}{2} \left\{ \frac{vV}{\sqrt{V^2-v^2}} \left(\frac{\sqrt{h^2 + D^2}}{v} - \frac{D}{V} \right) + h \right\}$ (2.12)

となる。(2.10)、(2.12) から

$$t_3 - t_1 = \frac{\sqrt{h^2 + D^2}}{v} - \frac{D}{V} \quad (2.13)$$

が成立しなければならぬ。これから

$$h^2 = \left\{ v(t_3 - t_1) + \frac{v}{V} D \right\}^2 - D^2 \quad (2.14)$$

として h を求めることもできる。実はこれから h を求めたほうがよいかもわからない。というのは、 D, V, t_3 は比較的鋭敏に求められるからである。 t_1 を求めるのは、よほど技術を要するのであるが、あらかじめトレーシングペーパーなどに走時曲線を作っておいて、それを上にあてて引けば簡単である。この際、 v をあらかじめ仮定しなければならない難点はあるけれども、わが国では大体 5 km/sec として大差ないようである。

次に t_1 と t_2 とはどちらか決まれば必然的に決まるものであるから、もし、(2.14), (2.10) から、 h, H を求めたならば、その h が正しいかどうか、すなわち、 t_1 の位置が正しいかどうかをためすために、(2.6) で求めたものと一致するかどうか調べてみる必要がある。逆に (2.6), (2.10) から h, H を求めたならば、(2.14) がそのチェックに役立つのである。これらの関係をすべて満足しなければ完全な走時曲線とはいえない。この点はしばしば無視されている。

§ 3. 節 線

以上のようにして h および H が決まった。しかし、走時曲線のみからではなく、初動分布の節線からも h を決めることができる。まず、円錐型の分布について述べる。

頂角 2φ の円錐の軸が鉛直軸 z から zy 平面内で角 θ だけ傾いているとすると、円錐の方程式は

$$x^2 + (\cos^2\theta - \tan^2\varphi \sin^2\theta)y^2 - 2\sin\theta\cos\theta(1 + \tan^2\varphi)yz + (\sin^2\theta - \tan^2\varphi\cos^2\theta)z^2 = 0 \quad (3.1)$$

であり、これと $z=h$ なる平面（地表）との交線を求めると、

$$x^2 + (\cos^2\theta - \tan^2\varphi \sin^2\theta)y^2 - 2\sin\theta\cos\theta(1 + \tan^2\varphi)hy + (\sin^2\theta - \tan^2\varphi\cos^2\theta)h^2 = 0. \quad (3.2)$$

これは二次曲線である。

これを次のように変形する。

i) $\tan\varphi \neq \cos\theta$ の場合

$$x^2 + (\cos^2\theta - \tan^2\varphi \sin^2\theta) \left\{ y - \frac{\sin 2\theta}{\cos 2\theta + \cos 2\varphi} h \right\}^2 - \frac{2\sin^2\varphi}{\cos 2\theta + \cos 2\varphi} h^2 = 0. \quad (3.3)$$

これは原点を $\left(0, \frac{\sin 2\theta}{\cos 2\theta + \cos 2\varphi} h \right)$ に水平移動することによって、

$$\frac{\xi^2}{\frac{2\sin^2\varphi}{\cos 2\theta + \cos 2\varphi} h^2} + \frac{\eta^2}{(2\sin 2\varphi)^2 h^2} = 1 \quad (3.4)$$

なる形となる。これは楕円又は双曲線である。

α) $\cot\theta > \tan\varphi$ の場合は

$$\frac{\xi^2}{a^2} + \frac{\eta^2}{b^2} = 1 \quad (3.5)$$

の形となり、楕円となる。ここに

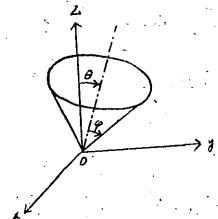
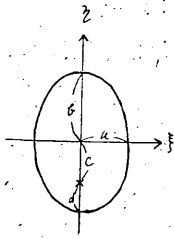


Fig. 2



$$a = \sqrt{\frac{2\sin^3\varphi}{\cos 2\theta + \cos 2\varphi}} h, \quad b = \pm \frac{\sin 2\varphi}{\cos 2\theta + \cos 2\varphi} h \quad (3.6)$$

である。この楕円を第3図とすれば、この図の c は水平移動量と等し

$$c = \frac{\sin 2\theta}{\cos 2\theta + \cos 2\varphi} h \quad (3.7)$$

である。

実際観測のほうから求まるものも、これら a, b, c であって、これ

Fig. 3 ×: Epicenter の間には

$$\frac{a}{b} = \frac{1}{\sqrt{2} \cos \varphi} \sqrt{\cos 2\varphi + \cos 2\theta}, \quad \frac{c}{b} = \frac{\sin 2\theta}{\sin 2\varphi} \quad (3.8)$$

なる関係が成立し、 h に無関係である。これから θ, φ を求めることもできる。しかし、一方観測のほうからは、 c よりも第3図 d のほうが限定される場合もある。その時は

$$\frac{d}{b} = 1 - \frac{c}{b} = 1 - \frac{\sin \theta \cos \theta}{\sin \varphi \cos \varphi} \quad (3.9)$$

であり、一般に d は

$$d = \frac{\sin 2\varphi - \sin 2\theta}{\cos 2\theta + \cos 2\varphi} h \quad (3.10)$$

である。

また、 c と b との関係は、 φ のいかんによって $c \cong b$ となるもので、 $\varphi > 45^\circ$ のときは $c < b$ であり、楕円内に震央は必ずあるが、 $\varphi < 45^\circ$ の場合は $c \geq b$ となる場合があり、震央は必ずしも楕円内にあるとは限らない。しかし、 $\varphi = 45^\circ$ の場合は震央は必ず楕円内となる。

(β) $\cot \theta < \tan \varphi$ の場合は (3.4) は

$$-\frac{\xi^2}{a^2} + \frac{\eta^2}{b^2} = 1 \quad (3.11)$$

の形となり、双曲線である。

このとき、観測から限定される量は第4図の b, c であり、

$$\frac{c}{b} = \frac{\sin 2\theta}{\sin 2\varphi} \quad (3.12)$$

であるから、 h に無関係である。これから θ, φ を求めるのであるが、それはまた漸近線の交角 X より

$$\tan X = \frac{a}{b} = \frac{1}{\sqrt{2} \cos \varphi} \sqrt{\cos 2\varphi + \cos 2\theta} \quad (3.13)$$

なる関係を満足しなければならない。この二つの関係から θ, φ は決

定される。

次に、 d のみしか求まらない場合は φ をあらかじめ決めておかないかぎり θ は求まらない。

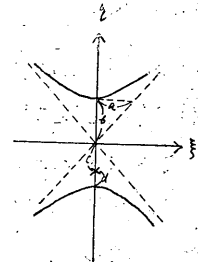


Fig. 4 ×: Epicenter

このときも φ の如何により $c \cong b$ の場合が生じ、 $\varphi > 45^\circ$ のときに震央は双曲線の一つの中に求まることもあり、その頂点にあることもあるが、 $\varphi < 45^\circ$ のときは必ず震央は双曲線の外にある。 $\varphi = 45^\circ$ のときは震央は必ず双曲線外にある。

a, b, c, d のなまの値は (3.6) (3.7) (3.10) と全く同じ関係式である。

ii) $\tan\varphi = \cot\theta$ の場合

$$x^2 - 2 \begin{pmatrix} \cot\theta \\ \text{or} \\ \tan\varphi \end{pmatrix} hy + \left\{ 1 - \begin{pmatrix} \cot\theta \\ \text{or} \\ \tan\varphi \end{pmatrix}^2 \right\} h^2 = 0. \quad (3.14)$$

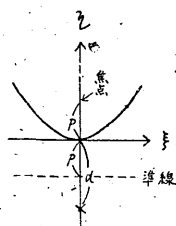


Fig.5 ×: Epicenter

これは原点を $\left\{ 0, \begin{pmatrix} -\cot 2\theta \\ \text{or} \\ \tan 2\varphi \end{pmatrix} h \right\}$ へ水平移動することによって、

$$2 \begin{pmatrix} \cot\theta \\ \text{or} \\ \tan\varphi \end{pmatrix} h \eta = \xi^2 \quad (3.15)$$

となり、拋物線である。このとき初動分布から求まるものは第5図の d である。 d は

$$d = \begin{pmatrix} -\cot 2\theta \\ \text{or} \\ \tan 2\varphi \end{pmatrix} h \quad (3.16)$$

である。もし、 h が求まっていれば、 φ, θ は求まる。

この d も φ が 45° より大きいか小さいかにより位置が決まる。 $\varphi > 45^\circ$ のときは震央は拋物線の中になり、 $\varphi < 45^\circ$ のときは震央はその外にある。 $\varphi = 45^\circ$ のときは拋物線の頂点上にある。

以上は轉向円内のことであるが、轉向円外では第2層中を通過してきた波動が先に現われるので、全然趣が異なっている。mo. 層から第2層へ屈折する波の臨界角 i は、

$$\sin i = v/V \quad (3.17)$$

によって決まる。ここに v は mo. 層中の震波の速度であり V はその下の震波の速度である。したがって、震源 O からこの角を半頂角とした下向きの円錐内の波は皆第2層へ屈折する。そうしてふたたび第2層から mo. 層に屈折して表面に達する。したがって、轉向円外の節線はこの円錐内の形が裏返しになって現われるはずであるが、地球の表層の弯曲率はかなり小さいから、轉向円外の節線はほとんど直線になるものと考えてよい。したがって、その“押し”であるか“引き”であるかを調べるにはほとんど角 i で入射する部分を考えればよいことになる。今、mo. 層の厚さを H とし、

$$H = h + h' \quad (3.18)$$

として、第2層上面と円錐との交線を調べると、その方程式は (3.2) と同様に

$$x^2 + (\cos^2\theta - \tan^2\varphi \sin^2\theta) y^2 + 2\sin\theta \cos\theta (1 + \tan^2\varphi) h' y + (\sin^2\theta - \tan^2\varphi \cos^2\theta) h'^2 = 0 \quad (3.19)$$

となる。

次に, i なる半頂角を持った円錐の方程式は

$$x^2 + y^2 = z^2 \tan^2 i \quad (3.20)$$

であるから, これが第2層と交わる交線は

$$x^2 + y^2 = h'^2 \tan^2 i \quad (3.21)$$

となる.

(3.19) と (3.21) の交点を求める. この2式から

$$(\cos^2 \theta - \tan^2 \varphi \sin^2 \theta - 1)y^2 + 2 \sin \theta \cos \theta (1 + \tan^2 \varphi) h' y + (\sin^2 \theta - \tan^2 \varphi \cos^2 \theta + \tan^2 i) h'^2 = 0 \quad (3.22)$$

を得る.

i) $\cos^2 \theta - \tan^2 \varphi \sin^2 \theta - 1 \neq 0$ のとき

$$y = \left(\cot \theta \pm \frac{\sec i}{\sin \theta \sec \varphi} \right) h', \quad (3.23)$$

$$\therefore x = \pm \sqrt{\tan^2 i - \left(\cot \theta \pm \frac{\sec i}{\sin \theta \sec \varphi} \right)^2} h', \quad (3.24)$$

$$\therefore \frac{x}{y} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sin \theta \sin i}{\cos \theta \cos i \pm \cos \varphi} \right)^2 - 1}, \quad (3.25)$$

したがって, 深さのいかんにかかわらず x/y は変わらない. これは製図上都合のよいことである.

ii) $\cos^2 \theta - \tan^2 \varphi \sin^2 \theta - 1 = 0$ のとき,

$$y = - \frac{\sin^2 \theta - \cos^2 \theta \tan^2 \varphi + \tan^2 i}{2 \sin \theta \cos \theta \sec^2 \varphi} h', \quad (3.26)$$

$$\therefore x = \pm \sqrt{\tan^2 i - \left(\frac{\sin^2 \theta - \cos^2 \theta \tan^2 \varphi + \tan^2 i}{2 \sin \theta \cos \theta \sec^2 \varphi} \right)^2} h', \quad (3.27)$$

$$\therefore \frac{x}{y} = \pm \sqrt{\frac{4 \tan^2 i \sin^2 \theta \cos^2 \theta \sec^2 \varphi}{\sin^2 \theta - \tan^2 \varphi \cos^2 \theta + \tan^2 i} - 1} \quad (3.28)$$

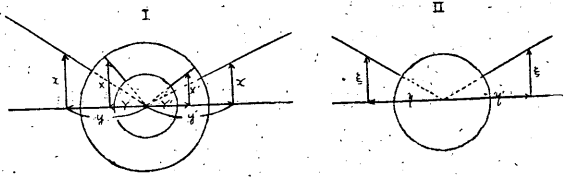
となり, やはり x/y は深さに無関係に決まる.

これらの点と震央とを結ぶは転向円外の節線は求まる. これから曲線の型と, 転向円外の節線の開きと, 震央の位置の関係は深さにはよらないで, 軸の傾き θ と円錐の頂角 φ のみよることがわかったから, あらかじめ各 θ, φ につきそれらの関係を求めておけば, これと相似形を描くようにして節線を引けば大きなまちがいをしないですむことがわかる. これは大切なことであって, 定性的に節線を引いたのでは往々にして描けない節線を引いていることがある. たとえば, 水上武博士の「地殻の上層内に震源を有する地震の初動分布と不連続層の厚さ」中の Fig. 7, Fig. 10 は博士の $v/V = 5.5/7.5$ ではどうしてもできない図である.

第1表は岩石の爆発説から必然的に生ずる円錐の半頂角 $\varphi = 45^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ$ に対する θ

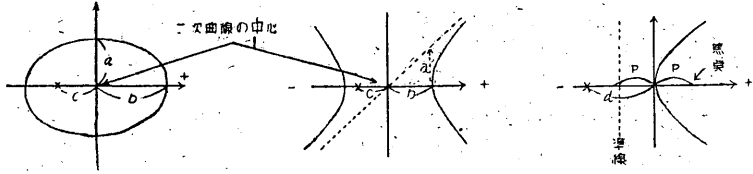
(1) 転向円外初動分布

このらんiの土は図に示した象限のものが+で、その隣のものが-であることを示す。土iの+は転向円外は全部押しであることを示し-はそれが全部引きであることを示す。



(2) 転向円内初動分布

このらんcの土は震央が二次曲線の中心の+側か-側かを示す。iは双曲線であることを示す。hは地震の深さ



(3) 震波線の臨界角

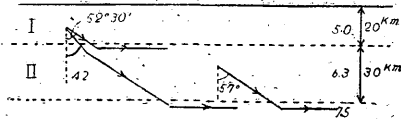


Fig. 6

の5°おき間隔に求めた数値である。この数値の符号などは第6図により判断していただきたい。ここに注意すべきは、従来考えられていたmo.層は筆者の研究によれば、松沢博士と同様に*、やはり2層に別れていて、上の層は地表から20kmくらいまででP波の速度は5.0 km/secくらい、第2層はその下30 kmくらいまでで速度は6.3 km/secくらい、その下は速度7.5 km/secくらいから漸次増していることがわかった。これについての詳しいことは前報に書いた**。それに基づいてこれらの表および図は作製された。

第7図はこれらの表に基づいて描いた初動分布型式である。深さのいかにかわららずこの型式になる。

§ 4. 結 び

以上初動分布から地震の深さを求める方法並びに走時曲線から mo. 層の厚さを計算する方法を述べ、両方から求めたものが一致しなければならないことを強調し、初動分布の節線を描くにあたり定量的に行うよう特に強調した。

今後 \bar{P} または P^* 波等の検測を各測候所で実行したならば、沢山の例からわが国における mo. 層の厚さ並びにその中の速度などを確定することができるであろう。またこの研究の結果、多くの区分不可能に陥っていた初動分布が難なく解決がついた。しかも、それは岩しょう爆発説を裏付けるように解決がついたのである。この事例については別冊として報告するつもりである。

* (4) を参照のこと

** 高木 聖：震源(第8報)、(第9報)、験震時報 17 卷(昭28, 1953)

第1表 (1) A 型 初 動 分 布 (非 对 照 押 円 錐 型) I

層 θ	I				I				I				
	$\varphi=50^\circ$	$\varphi=70^\circ$	$\varphi=50^\circ$	$\varphi=70^\circ$	$\varphi=70^\circ$				$\varphi=50^\circ$				
	X/Y	X'/Y'	x/y	x'/y'	a	b	c	a/b	a	b	c	a/b	
0°	-i		+i		2.747h	2.747h	0	1.000					
5°	-1.595		+i		2.840	2.935	+0.795h	0.968					
10°	-3.021		+ 0.7812		3.186	3.694	+1.966	0.863					
15°	-3.602		+ 1.998		4.203	6.428	+5.000	0.654					
20°	-3.700		+ 3.809		∞	∞	+ ∞	∞					
25°	-3.530		+ 8.620		i3.789	5.226	-6.228	i0.725					
30°	-3.279		+123.4		i2.576	2.417	-3.256	i1.067					
35°	-2.992		-11.81		i2.041	1.516	-2.217	i1.347					
40°	-2.709		- 5.887		i1.727	1.086	-1.664	i1.591					
45°	-2.442		- 3.945		i1.518	0.839	-1.306	i1.810					
50°	-2.202		- 2.960		i1.371	0.684	-1.048	i2.005					
55°	-1.976		- 2.336		i1.262	0.580	-0.848	i2.177					
60°	-1.767	-0.361	- 1.889		i1.181	0.508	-0.684	i2.326					
65°	-1.576	- 0.663	- 1.549		i1.120	0.456	-0.544	i2.455					
70°	-1.395	- 0.916	- 1.270	- 0.202	i1.073	0.420	-0.420	i2.560					
75°	-1.223	- 1.165	- 1.025	- 0.705	i1.040	0.394	-0.306	i2.643					
80°	-1.058	- 1.431	- 0.7990	- 0.683	i1.018	0.377	-0.201	i2.701					
85°	-0.892	- 1.734	- 0.5674	- 1.290	i1.005	0.367	-0.099	i2.736					
90°	-0.725	- 2.095	- 0.2745	- 1.673	i1.000	0.364	0	i2.748					
95°	-0.539	- 2.545	- 2.176		i1.005	0.367	+0.099	i2.736					
100°	-0.300	- 3.156	- 2.927		i1.018	0.377	+0.201	i2.701					
105°		- 4.036	- 4.208		i1.040	0.394	+0.306	i2.643					
110°		- 5.481	- 7.125		i1.073	0.420	+0.420	i2.560					
115°		- 8.441	-22.60		i1.120	0.456	+0.544	i2.455					
120°		-18.20	+18.80		i1.181	0.508	+0.684	i2.326					
125°		-89.04	+ 6.277		i1.262	0.580	+0.848	i2.177					
130°		+12.29	+ 3.585		i1.371	0.684	+1.048	i2.005					
135°		+ 6.283	+ 2.344		i1.518	0.839	+1.306	i1.810					
140°		+ 3.988	+ 1.583		i1.727	1.086	+1.664	i1.591					
145°		+ 2.736	+ 1.015		i2.041	1.516	+2.217	i1.347					
150°		+ 1.898	+ 0.4535		i2.576	2.417	+3.256	i1.067					
155°		+ 1.254	+i		i3.789	5.226	+6.228	i0.725					
160°		+ 0.626	+i										
165°	+i		+i										
170°	+i		+i										
175°	+i		+i										
180°	+i		+i										

震槽
中央
は内

一
双
曲
線
内

一周上

双

曲

線

外

双

曲

線

外

周

上

槽

円

内

震源 (第10軸) — 高木

層 θ	II		II								
	$\varphi=50^\circ$		$\varphi=70^\circ$			$\varphi=50^\circ$					
	ξ/η	ξ'/η'	a/b	b	c	a/b	b	c			
0°		-i	1.000	2.747h	-32.5	0					
5°		-i	0.968	2.935	-36.5	+(0.795h-14.3)					
10°	-0.9069		0.863	3.694	-52.0	+(1.966"-36.3)					
15°	-1.572		0.654	6.428	-107.2	+(5.000"-95.7)					
20°	-1.918		$p=1.374h$			$+ \infty$					
25°	-2.127		$d=-(1.192h-8.5)\infty$								
30°	-2.214		i0.725	5.226	-98.2	-(6.228"-104.6)					
35°	-2.215		i1.067	2.417	-41.7	-(3.256"-46.6)					
40°	-2.156		i1.347	1.516	-23.5	-(2.217"-27.3)					
45°	-2.061		i1.591	1.086	-14.8	-(1.664"-17.7)					
50°	-1.947		i1.810	0.839	-10.0	-(1.306"-12.2)					
55°	-1.820	-0.3299	i2.005	0.684	-7.0	-(1.048"-8.6)					
60°	-1.683	-0.6376	i2.177	0.580	-5.1	-(0.848"-6.3)					
65°	-1.546	-0.8799	i2.326	0.508	-3.9	-(0.684"-4.6)					
70°	-1.408	-1.114	i2.455	0.456	-3.0	-(0.544"-3.4)					
75°	-1.268	-1.353	i2.560	0.420	-2.5	-(0.420"-2.5)					
80°	-1.130	-1.611	i2.643	0.394	-2.1	-(0.306"-2.1)					
85°	-0.9869	-1.903	i2.701	0.377	-1.8	-(0.201"-1.8)					
90°	-0.8416	-2.243	i2.736	0.367	-1.7	-(0.099"-1.7)					
95°	-0.6865	-2.656	i2.748	0.364	-1.6	0					
100°	-0.5088	-3.189	i2.736	0.367	-1.7	+(0.099"-1.7)					
105°	-0.2707	-3.901	i2.701	0.377	-1.8	+(0.201"-1.8)					
110°		-4.949	i2.643	0.394	-2.1	+(0.306"-2.1)					
115°		-6.690	i2.560	0.420	-2.5	+(0.420"-2.5)					
120°		-10.24	i2.455	0.456	-3.0	+(0.544"-3.4)					
125°		-22.54	i2.326	0.508	-3.9	+(0.684"-4.6)					
130°		+93.24	i2.177	0.580	-5.1	+(0.848"-6.3)					
135°		+14.24	i2.005	0.684	-7.0	+(1.048"-8.6)					
140°		+7.270	i1.810	0.839	-10.0	+(1.306"-12.2)					
145°		+4.602	i1.591	1.086	-14.8	+(1.664"-17.7)					
150°		+3.130	i1.347	1.516	-23.5	+(2.217"-27.3)					
155°		+2.154	i1.067	2.417	-41.7	+(3.256"-46.6)					
160°		+1.387	i0.725	5.226	-98.2	+(6.228"-104.6)					
165°		+0.6524									
170°		+i									
175°		+i									
180°		+i									

- 10 -

震 震 時 報 18 卷 2 号

震 央 は 内
楕 円

拋物線内

一 双 曲 線 内

一 周 上

一 双 曲 線 外

双

曲

線

外

+ 周 上

+ 双 曲 線 内

+ 拋 物 線 内

楕

円

内

第1表 (2) B型初動分布(対照押円錐型)

層 θ	I				I			II		II					
	$\varphi=60^\circ$		$\varphi=60^\circ$		$\varphi=60^\circ$			$\varphi=60^\circ$		$\varphi=60^\circ$					
	X/Y	X'/Y'	x/y	x'/y'	a/b	b	c	ξ/η	ξ'/η'	a/b	b	c			
0°	$+i$		$+i$		1.000	1.732 <i>h</i>	0		$+i$	1.000	1.732 <i>h</i>	-15.7	0		
5°	$+i$		$+i$		0.984	1.790	+0.359 <i>h</i>	震央は楕円内	+1.507	0.948	1.790	-16.9	+0.359 <i>h</i>	-5.4	
10°	+ 0.9640		$+i$		0.938	1.970	+0.778		+4.118	0.938	1.970	-20.5	+0.778	-12.0	
15°	+ 2.118		$+i$		0.856	2.370	+1.365		+8.936	0.856	2.370	-28.6	+1.365	-22.2	
20°	+ 3.634		+ 0.5390		0.730	3.258	+2.419		+28.71	0.730	3.258	-46.6	+2.419	-41.7	
25°	+ 6.467		+ 1.260		0.535	6.060	+5.360		-42.29	0.535	6.060	-103.2	+5.360	-99.5	
30°	+ 14.66		+ 2.061		$p = 0.866h$ $d = -0.577h$	∞	∞	拋物線内	-13.92	$p = 0.866h$ $d = -(0.577h-2.9)$	∞	∞	拋物線内		
35°	-284.7		+ 3.316		$i0.563$	5.485	-5.940		-8.615	$i0.563$	5.485	-100.3		-(5.940)	-102.5
40°	-15.02		+ 5.955		$i0.807$	2.660	-3.006	双曲線内	-6.320	$i0.807$	2.660	-43.3	-(3.006)	-45.0	
45°	-7.977		+17.43		$i1.000$	1.732	-2.000		-5.002	$i1.000$	1.732	-24.8	-(2.000)	-26.0	
50°	-5.503		-24.65		$i1.161$	1.236	-1.461	双曲線外	-4.139	$i1.161$	1.286	-15.9	-(1.461)	-16.6	
55°	-4.195		-7.507		$i1.298$	1.029	-1.130		-3.510	$i1.298$	1.029	-10.9	-(1.130)	-11.3	
60°	-3.367		-4.423		$i1.414$	0.866	-0.866	周上	-3.020	$i1.414$	0.866	-7.9	-(0.866)	-7.9	
65°	-2.790		-3.113		$i1.512$	0.758	-0.670	双曲線外	-2.629	-0.2964	$i1.512$	0.758	-6.0	-(0.670)	-5.0
70°	-2.352	-0.3330	-2.353		$i1.591$	0.685	-0.508		-2.304	-0.5720	$i1.591$	0.685	-4.6	-(0.508)	-3.9
75°	-2.003	-0.5996	-1.844		$i1.653$	0.635	-0.366	双曲線外	-2.023	-0.7780	$i1.653$	0.635	-3.8	-(0.366)	-2.6
80°	-1.714	-0.8150	-1.464	-0.2964	$i1.697$	0.602	-0.238		-1.778	-0.9683	$i1.697$	0.602	-3.2	-(0.238)	-1.7
85°	-1.485	-1.022	-1.152	-0.6188	$i1.724$	0.584	-0.117	双曲線外	-1.554	-1.157	$i1.724$	0.584	-3.0	-(0.117)	-0.8
90°	-1.232	-1.232	-0.8814	-0.8814	$i1.732$	0.577	0		-1.350	-1.350	$i1.732$	0.577	-2.9	0	
95°	-1.022	-1.458	-0.6188	-1.152				-1.157	-1.554						
100°	-0.8150	-1.714	-0.2964	-1.464				-0.9683	-1.778						
105°	-0.5996	-2.003	-1.844					-0.7780	-2.023						
110°	-0.3330	-2.352	-2.353					-0.5720	-2.304						
115°	-2.790		-3.113					-0.2964	-2.629						
120°	-3.367		-4.423					-3.020							
125°	-4.195		-7.507					-3.510							
130°	-5.503		-24.65					-4.139							
135°	-7.977		+17.43					-5.002							
140°	-15.02		+5.955					-6.320							
145°	-28.47		+3.316					-8.615							
150°	+14.66		+2.061					-13.92							
155°	+6.467		+1.260					-42.29							
160°	+3.634		+0.5390					+28.71							
165°	+2.118		$+i$					+8.736							
170°	+0.9640		$+i$					+4.118							
175°	$+i$		$+i$					+1.507							
180°	$+i$		$+i$					$+i$							

以下対称

以下対称

第1表 (3) C 型 初 動 分 布 (対 照 引 円 錐 型)

層 θ	I		I			II		II				
	φ=45°		φ=45°			φ=45°		φ=45°				
	X/Y	X'/Y'	a/b	b	c	ξ/n	ξ'/n'	a/b	b	c		
0°	+i	-i	1.000	1.000h	0			1.000	1.000h	- 6.4	0	
5°	+i		0.982	1.015	+0.176h		+i	0.982	1.015	- 6.7	+(0.176h - 1.8)	
10°	-0.8022	+ 4.161	0.969	1.064	+0.364	震央は楕円内	+i	0.969	1.064	- 7.6	+(0.364 - 3.9)	
15°	-1.403	+13.24	0.931	1.155	+0.577		+i	0.931	1.155	- 9.3	+(0.577 - 6.4)	
20°	-1.742	-35.62	0.876	1.305	+0.839		-0.6451	-1.061	0.876	1.305	- 12.2	+(0.839 - 10.0)
25°	-1.909	- 8.812	0.801	1.556	+1.192		-1.311	-1.061	0.801	1.556	- 17.0	+(1.192 - 15.5)
30°	-1.964	- 5.318	0.707	2.000	+1.732		-1.462	-1.462	0.707	2.000	- 26.0	+(1.732 - 24.8)
35°	-1.940	- 3.834	0.584	2.924	+2.747		-1.540	-1.540	0.584	2.924	- 44.5	+(2.747 - 43.8)
40°	-1.866	- 2.987	0.416	5.759	+5.671		-1.560	-1.560	0.416	5.759	-101.6	+(5.671 -101.2)
45°	-1.762	- 2.418	p=0.5h	∞	∞	周上	-1.540	p=0.5h	∞	∞	周上	
50°	-1.645	- 2.007	d=0	∞	∞	周上	-1.492	d=0	∞	∞	周上	
55°	-1.517	- 1.681	i0.416	5.759	-5.671	双曲線外	-1.423	i0.416	5.759	-101.6	+(5.671 -101.2)	
60°	-1.382	- 1.407	i0.584	2.924	-2.747		-1.423	i0.584	2.924	- 44.5	+(2.747 - 43.8)	
65°	-1.248	- 1.174	i0.707	2.000	-1.732		-1.336	i0.707	2.000	- 26.0	-(1.732 - 24.8)	
70°	-1.111	- 0.9597	i0.801	1.556	-1.192		-1.240	i0.801	1.556	- 17.0	-(1.192 - 15.5)	
75°	-0.9726	- 0.7550	i0.876	1.305	-0.839		-1.137	i0.876	1.305	- 12.2	-(0.839 - 10.0)	
80°	-0.8307	- 0.5411	i0.931	1.155	-0.577		-1.025	i0.931	1.155	- 9.3	-(0.577 - 6.4)	
85°	-0.6777	- 0.2857	i0.969	1.064	-0.364		-0.9069	-0.2550	i0.969	1.064	- 7.6	-(0.364 - 3.9)
90°	-0.5110	-0.5110	i0.982	1.015	-0.176	-0.7796	-0.4795	i0.982	1.015	- 6.7	-(0.176 - 1.8)	
95°	-0.2857	-0.6777	i1.000	1.000	0	-0.6414	-0.6414	i1.000	1.000	- 6.4	0	
100°	-0.8317	- 0.5411				-0.4795	-0.7796					
105°	-0.9726	- 0.7550				-0.2550	-0.9069					
110°	-1.111	- 0.9597				-1.025	-1.137					
115°	-1.248	- 1.174				-1.137	-1.240					
120°	-1.382	- 1.407				-1.240	-1.336					
125°	-1.517	- 1.681				-1.336	-1.423					
130°	-1.645	- 2.007				-1.423	-1.492					
135°	-1.762	- 2.418				-1.492	-1.540					
140°	-1.866	- 2.987				-1.540	-1.560					
145°	-1.940	- 3.834				-1.560	-1.540					
150°	-1.946	- 5.318				-1.540	-1.462					
155°	-1.909	- 8.812				-1.462	-1.311					
160°	-1.742	-35.62				-1.311	-1.061					
165°	-1.403	+13.24				-1.061	-0.6451					
170°	-0.8022	+ 4.161				-0.6451						
175°	+i	+ 1.304					+i					
180°	+i	-i					+i					

震 央 時 報 18 卷 2 号

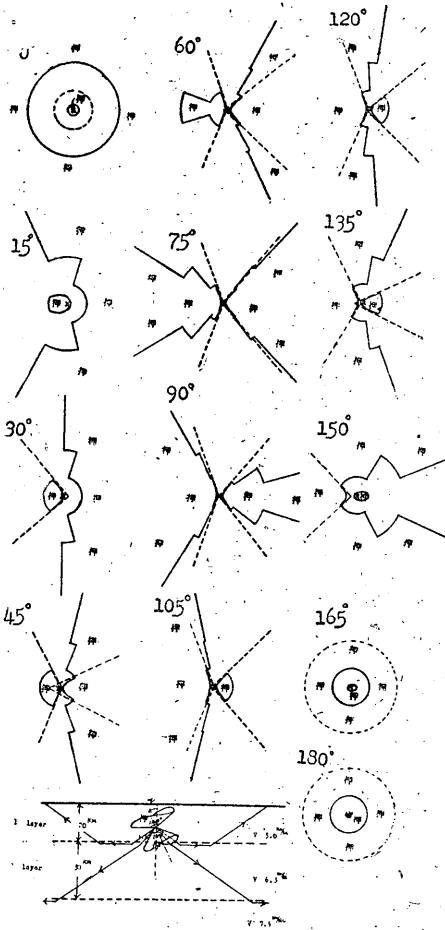


Fig. 7 (1) Types of distribution of initial motion in the I layer (A mechanism)

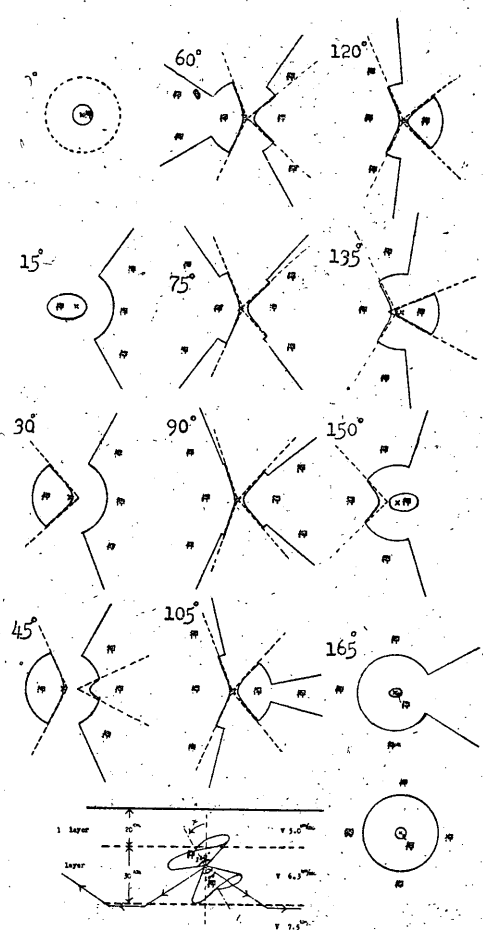


Fig. 7 (2) Types of distribution of initial motion in the II layer (A mechanism)

附録 I — mo. 層中の四象限型地震の節線

地震を四象限型と考え、mo. 層中に起る地震の初動分布の型式について定量的に節線を求めてみ

よう。この場合はすべて平面と平面との交わりとして求められる。四象限を形作る二平面の交わりを主軸とし、この軸が垂直の座標軸 z と θ なる傾きを有し、 z 軸と主軸とを含む方向に y 軸を取り、四象限を形作る一つの平面を yz 面との角を φ とすれば、四象限を形作る平面の方程式は

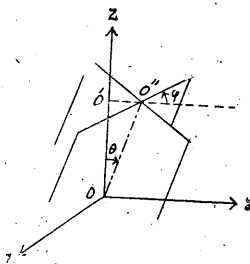


Fig. 8

$$\sin\varphi \cdot x + \cos\varphi \cos\theta \cdot y - \cos\varphi \sin\theta \cdot z = 0, \quad (I. 1)$$

$$\cos\varphi \cdot x - \sin\varphi \cos\theta \cdot y + \sin\varphi \sin\theta \cdot z = 0 \quad (I. 2)$$

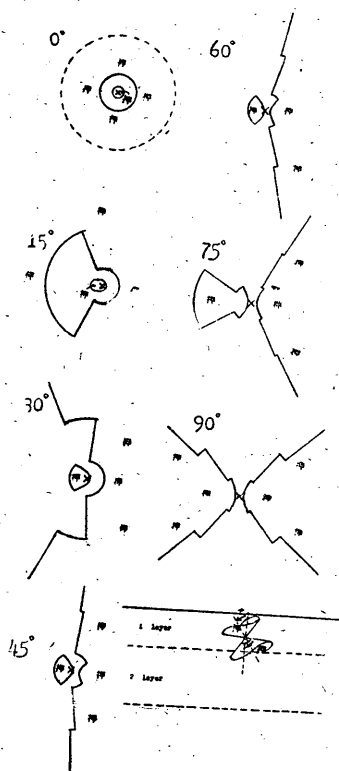


Fig. 7 (3) Types of distribution of initial motion in the I layer (B mechanism)

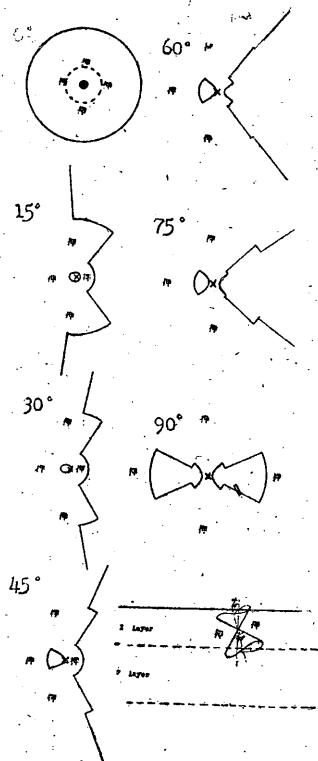


Fig. 7 (4) Types of distribution of initial motion in the I layer (C mechanism)

の二つである。これらが地表 $z=h$ と交わる直線は、 $\varphi \neq 0, \varphi \neq 90^\circ$ として、

$$x = -\cot\varphi \cos\theta \cdot y + \cot\varphi \sin\theta \cdot h, \tag{I. 3}$$

$$x = \tan\varphi \cos\theta \cdot y - \tan\varphi \sin\theta \cdot h \tag{I. 4}$$

である。震央を O' 、(I.3) (I.4) の交点を O'' とすれば、

$$O'O'' \equiv n = \tan\theta \cdot h. \tag{I. 5}$$

すなわち、 n は φ にはよらないで、深さ h と主軸の傾き θ とで決まる。

次に、(I.3), (I.4) の y 軸との傾きを χ_1, χ_2 とすれば、

$$\tan\chi_1 \tan\chi_2 = \cos^2\theta \tag{I. 6}$$

なる関係があり、 θ は求められる。したがって、(I.6), (I.5) から h も求まる。

本文同様 $mo.$ 層の厚さを H とし

$$H = h + h' \tag{I. 7}$$

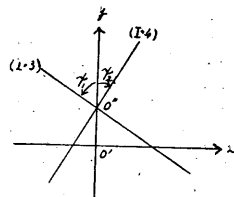


Fig. 9

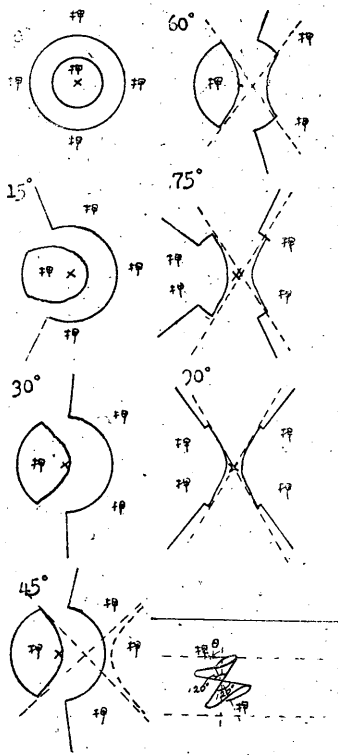


Fig. 7 (5) Types of distribution of initial motion in the II layer (B mechanism)

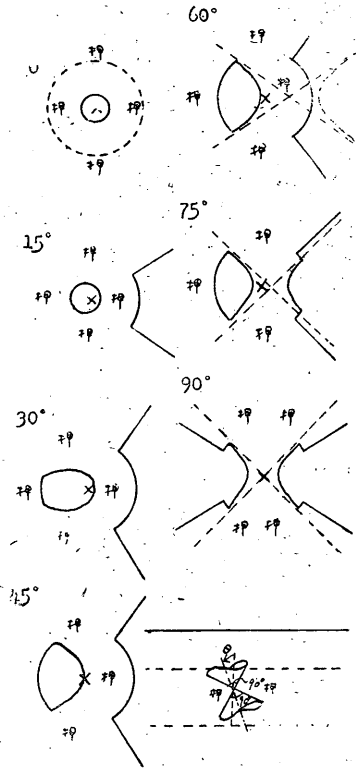


Fig. 7 (6) Types of distribution of initial motion in the II layer (C mechanism)

として、第2層上表と (I.1), (I.2) との交線を求めると、

$$x = -\cos\varphi\cos\theta \cdot y - \cos\varphi\sin\theta \cdot h', \quad (I.8)$$

$$x = \tan\varphi\cos\theta \cdot y + \tan\varphi\sin\theta \cdot h' \quad (I.9)$$

となり、これらは (I.3), (I.4) とそれぞれ平行である。y 軸を切る点を O''' とすれば、

$$O'O''' = -\tan\theta \cdot h' \quad (I.10)$$

となる。

次に、転向円を作る円錐と mo. 層の下面との交わりは臨界角を i とすれば、

$$x^2 + y^2 = \tan^2 i \cdot h'^2 \quad (I.11)$$

なる円である。この円と (I.8), (I.9) との交点と O' を結ぶ直線は転向円外の節線となる。(I.8)

(I.11) より、

$$y = \frac{-\cot^2\varphi\sin\theta\cos\theta \pm \sqrt{\tan^2 i (1 + \cot^2\varphi\cos^2\theta) - \cot^2\varphi\sin^2\theta}}{1 + \cot^2\varphi\cos^2\theta} h', \quad (I.12)$$

$$x = -\cot\varphi \cos\theta \quad (y \text{ と同一}) - \cot\varphi \sin^2\theta h', \tag{I.13}$$

$$\therefore \frac{x}{y} = \frac{-\cot\varphi \sin\theta \mp \cot\varphi \cos\theta \sqrt{\tan^2 i (1 + \cot^2\varphi \cos^2\theta) - \cot^2\varphi \sin^2\theta}}{-\cot^2\varphi \sin\theta \cos\theta \pm \sqrt{\tan^2 i (1 + \cot^2\varphi \cos^2\theta) - \cot^2\varphi \sin^2\theta}} \tag{I.14}$$

となり、その交点は h' によらない。同様に (I.9), (I.11) から他の交点が求まるが、これらはかなり複雑であるので、この式から交点の位置を求めるよりも、 h' によらないことがあったので、作図的に求めたほうが簡単である。第 2 表にはそれに必要な二直線の方角並びに $\frac{n}{h}$ を求めておいた。

第 2 表

θ	0°		15°		30°		45°		60°		75°		90°	
	$\tan\varphi$ $\cos\theta$	$\cos\varphi$ $\cos\theta$	$\tan\varphi$ $\cos\theta$	$\cos\varphi$ $\cos\theta$	$\tan\varphi$ $\cos\theta$	$\cos\varphi$ $\cos\theta$	$\tan\varphi$ $\cos\theta$	$\cos\varphi$ $\cos\theta$	$\tan\varphi$ $\cos\theta$	$\cos\varphi$ $\cos\theta$	$\tan\varphi$ $\cos\theta$	$\cos\varphi$ $\cos\theta$	$\tan\varphi$ $\cos\theta$	$\cos\varphi$ $\cos\theta$
5°	0.087	11.430	0.084	11.041	0.075	9.898	0.062	8.081	0.044	5.715	0.023	2.960	0	0
25°	0.466	2.145	0.450	2.072	0.404	1.858	0.329	1.517	0.233	1.073	0.121	0.556	0	0
45°	1.000	1.000	0.966	0.966	0.866	0.866	0.707	0.707	0.500	0.500	0.259	0.259	0	0
$\tan\theta \equiv \frac{n}{h}$	0		0.268		0.577		1.000		1.732		3.732		∞	

附録 II — mo. 層を認めないで波線が曲るとしての四象限型節線*

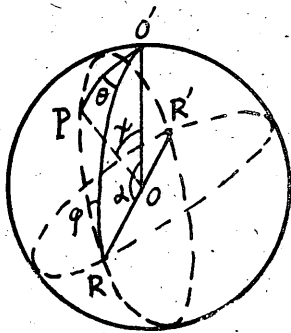


Fig. 10

この場合の研究はすでに本多弘吉博士などにより詳しく行われている⁽¹⁰⁾。しかし、ここではそれらよりも少し異なった方法で求める。このほうが便利がよいようである。

第 10 図で O を震源、O' を震源球上のその垂上の点（震央を指向す）、断層面を RR'P とし、RR' は断層面と節面との交線とし、RR' と OO' とのなす角を α とする。断層面と震源球との交円上の任意の一点を P とし、面 OO'P と面 OO'R との交角を θ 、断層面 PRR' と面 O'RR' との交角 φ 、 $\angle POO' \equiv \chi$ とする。各 θ に対する χ が求めれば、それ

は断層面よりの射出角であるから、その地表へ達する点は、和達の表⁽¹¹⁾から求めることができる。球面三角形 PRO' において、

* 波線が曲らないものとして深さを求めたものに H. Grafe: Über die Deformation der Erdoberfläche durch Scherungskräfte im Herd von Erdbeben. Zeitschrift für Geophysik X. (昭 9, 1934)

- (10) 竹花峰夫：昭和 7 年 7 月 25 日琵琶湖附近の深発地震に就て。験震時報 第 7 卷 (昭 9, 1934)
本多弘吉、伊藤博：昭和 14 年 4 月 21 日日本海北部の深発地震。験震時報 第 11 卷 (昭 15, 1940)
本多弘吉、正務章：本州附近の地殻内部に於ける起震歪力に就いて、同上
- (11) K. Wadati, K. Sagisaka and K. Masuda: On the Travel Time of Earthquake Waves (Part I), Geophysical Magazine VII (昭 8, 1933)

$$\sin \widehat{PR} \cos \varphi = \cos \chi \sin \alpha - \sin \chi \cos \alpha \cos \theta, \quad (\text{II. 1})$$

ここに

$$\sin \widehat{PR} = \frac{\sin \theta}{\sin \varphi} \sin \chi \quad (\text{II. 2})$$

なる関係があるから、(II. 1) は

$$\tan \chi = \frac{\sin \alpha}{\sin \theta} \frac{1}{\cot \varphi + \cos \alpha \cot \theta} \quad (\text{II. 3})$$

となり、 α 、 φ を与えると各 θ に対する χ が求まる。

一方、波線と速度との関係から、第11図のように記号を取れば、

$$\frac{r}{v} \sin \chi = \frac{r_0}{v_0} \cos e_0. \quad (\text{II. 4})$$

ここに、 v 、 v_0 は震源および地表における波動の速度とする。これから地震の深さと速度を与えれば各 φ に対する入射角 e_0 が求まる。和達の表には $\cos e_0$ を α と記入してあるが、これから e_0 に対する震央距離が求まる。

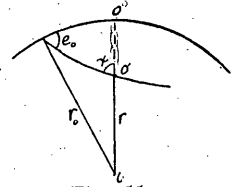


Fig. 11

まず、震央 O'' と R の地表への到着点 R'' とを結び、 O'' を頂点として $O''R''$ と θ を取り、いま、求めた震央距離をその上に取れば、この点は節線上の点である。このようにして節線を描くことができる。

しかし、逆に初動分布から深さを求めることはむずかしい。けれども、他のなんらかの方法で地震の深さが求められているときは、比較的容易に他の要素を求めることができる。 R'' が初動分布上に求まるとすれば、 $O''R''$ の距離から和達の表のその深さの部分から $\cos e_0$ がわかり、(II. 4) から $\sin \chi$ を求めれば、この χ は α である。すなわち、主軸の傾きが求まる。

次に、 O'' を通り $O''R''$ と直角な直線と節線との交点までの距離から同様和達の表を用いて $\cos e_0$ を求め、(II. 4) からそれに相当した χ を求め、(II. 3) から $\cos \varphi$ を求めることができる。

それには

$$\cot \varphi = \frac{\sqrt{2} \sin \alpha}{\tan \chi} - \cos \alpha \quad (\text{II. 5})$$

を用いればよい、同様にして、もう一方の交点からも、 φ が求まり、これはチェックに役立つ。こうして、断層面の鉛直面との傾きが出る。

α が 90° のとき、すなわち、主軸が水平のときは、簡単に深さが求まる。和達の表中 $O''R''$ に等しい距離のらんで $\cos e_0$ が極大になる場合の深さがそれである。

mo. 層を認めない場合の種々の初動分布は本多博士の研究を参照されるとよい⁽¹²⁾。

— 昭. 22. 10. 15 —

この論文も戦争のため、かくも発表が遅れたことをいかに思う。

— 1952. 6. 20 —

(12) (10) 参照