

昭和七年七月二十五日
琵琶湖附近の深發地震に就て

竹花峰夫

一、緒言 昭和七年七月二十五日午後五時二十五分頃、琵琶湖西岸地方に震源の深さ三百呎以上の深發地震の發生を見た。同地方は若狭灣、八丈島と連なる深發地震帯に屬する。著者は氣

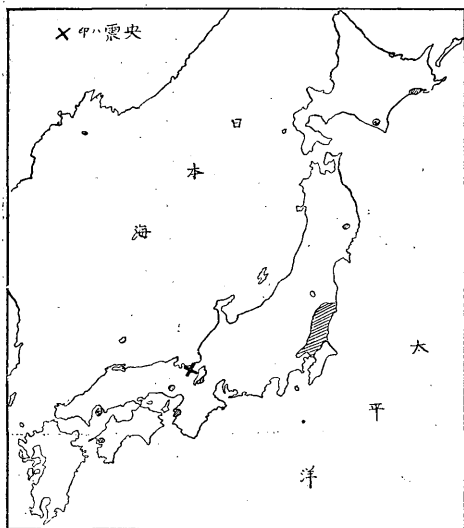
象要覽所載の觀測値に加ふるに各地測候所長の御好意により中央氣象臺長宛御送附下さつた、該地震記象紙或はその寫眞を基とし本地震の震央及び震源の深さ等を成る可く正確に求め、特に初動並びに記象型から發震機構を推定し其等の關係を調査したものである。

二、異常震域 各地測候所及管内觀測所の報告に依る有感覺區域は第一圖の斜線を附した部分で、之に依つて見ると關東地方東部で略まとまつた區域をなし他は極めて小局部的有感覺地が全國に散在し、最も遠くは、北海道の釧路に及んでゐる概して從來の顯著深發地震に比して有感覺區域は狭い様である。

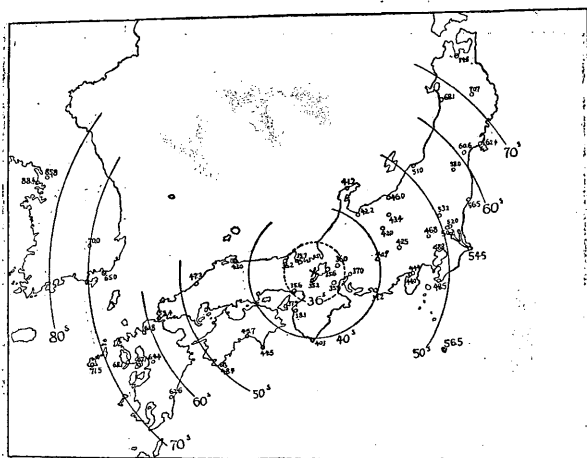
三、震央の位置 各地測候所に於ける發震時、初期微動、初動方向等より決定した震央は東經百三十五度五十二分、北緯三十五度十三分即ち琵琶湖西岸比良岳附近に當つてゐる。

四、震源の深さ 震央に最も近き觀測所は震央より約二十五呎

第一圖 異常震域



第二圖 等P—s線圖

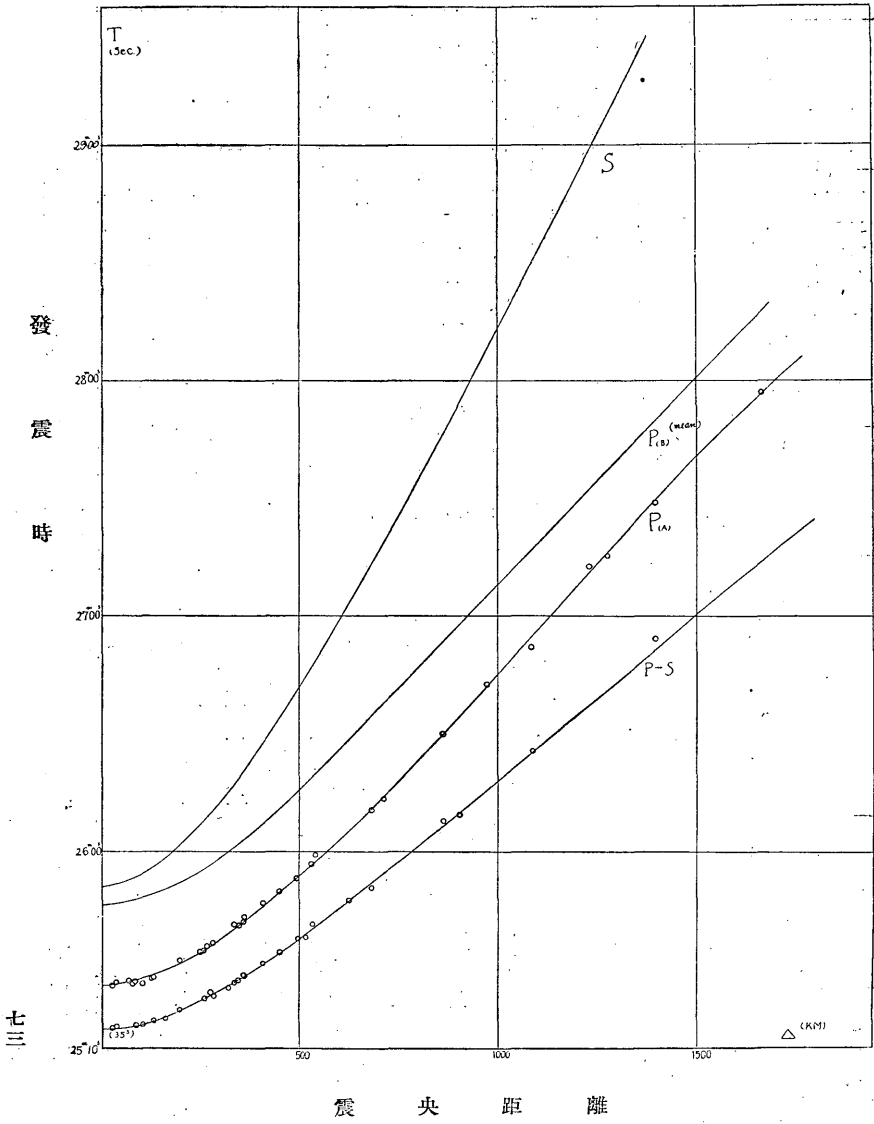


距つた京都であり、我が國に於ける觀測は最遠樺太の敷香に及び震央からは約千六百六十軒に達してゐる。震央附近の觀測網は可なり稠密で且つヴキーヘルト式地震計を有する測候所も多く走時曲線及び震央に於ける初期微動時間等は割合に正確に求めることが出来るから震源の深さを決定するには走時曲線の彎

曲點に依る方法及び震央に於ける初期微動時間より決定する方法を用ひることにする。
 (1) 走時曲線の彎曲點による方法—今P波の走時曲線より彎曲點の位置を見出すために震央距離(Δ)各百軒に對する $d\Delta/dT$ の値を求めると次表の如くなる。

Δ (軒)	TPA(秒)	$d\Delta/dT$	TPB(秒)	差 (秒)
0	46.5	—	46.5	0.0
100	48.5	—	48.5	0.0
200	52.3	17.4	52.4	0.1
300	57.9	14.1	58.1	0.2
400	65.6	12.5	66.2	0.6
500	74.1	11.3	75.7	1.6
600	83.1	10.5	85.7	2.6
700	93.1	9.9	96.2	3.1
800	103.3	9.4	106.8	3.5
900	114.2	9.2	117.5	3.3
1000	125.4	9.0	128.1	2.7
1100	136.5	9.0	138.8	2.3
1200	148.0	9.0	149.6	1.6
1300	159.5	9.1	160.1	0.6
1400	170.7	9.2	170.6	-0.1
1500	181.4	9.2	181.1	-0.3

第三圖 走時曲線



之より彎曲點の震央距離は約千百杆前後となるから、本多技師が曩に北伊豆地震及伊東地震で求められたる最深點の深さと震央距離の關係を表はす「グラフ」を用ひると震源の深さは約三百六十杆となる。

(2) 震央に於ける初期微動に依る方法—第三圖に於ける初期微動走時曲線より震央に於ける初期微動時間を求めると三十五・〇秒となる。鷺坂氏が計算された震源の深さと震央に於ける初期微動との關係を表はす「グラフ」によつて震源の深さを求めると約三百六十杆となる、以上の結果から本地震の震源の深さは約三百六十杆位であることがわかる。第三圖中、走時曲線Bは和達、鷺坂、益田三氏が北伊豆地震の際に求められた地震波速度から震源の深さ三百六十杆の場合に就て計算された走時曲線であつて本地震の走時曲線と極めて良く一致してゐる。即ち

前表に於て「P」は本地震の走時表で、「P₁」は三氏の算出された走時表であつて、兩者の差は最大約三・五秒である。

又第三圖の走時曲線より震央に於ける發震時を求めると十七時二十五分二十六秒となり、震源に於ける推定發震時を求めると十七時二十四分三十九秒七となる。

四、初動分布 震央及び走時曲線等は全國各地の總計九十箇の測候所の報告に依つて決定したものであつて、之等の觀測表は氣象要覽(昭和七年七月)に記載せられてあるから本文では省略することにして、今初動分布を決定するためにヴェーヘルト地震計を有する觀測所二十數ヶ所を選んで次表に掲げることにする。次表中最大動(全振幅)は著者が記象紙或はその寫真から讀み取つたもので、其他の値も各測候所の報告とは多少異つてゐるものもある。

觀測所	發震時	初動		最大動(全振幅)		初期微動 繼續時間	震央距離 杆
		P波	S波	P波	S波		
京都	二七 ^時 二五 ^分 二六 ^秒 ・〇	北七・五	北一五・一	北一二・四	北二一 ^{ミクロン} ・八	三五・二	二五
彦根	二七・三	東二・四	東三五・六	上下一二 ^{ミクロン} ・二	北二一 ^{ミクロン} ・八	三五・六	三五
龜山	二七・三	北二・〇	東三〇・〇	南四二・七	南二一 ^{ミクロン} ・八	三五・四	六七

八 柿 富 東 濱 熊 松 高 三 沼 長 輪 甲 潮 洲 和 豐 神 岐
 丈 岡 崎 京 田 谷 山 知 島 津 野 島 府 岬 本 山 岡 戸 阜
 島

五〇・九	四七・〇	四三・五	四二・一	四一・四	四一・七	三五・七	三六・八	三七・六	三八・二	三六・七	三五・〇	三五・四	三二・六	二八・一	二七・九	二五・六	二六・〇	二七・二
北南	徵	徵	徵	東北	徵	東北	東北	西南	東南	東南	東北	西北	西北	西北	東北	東南	西北	西北
一一 七八 二六				一 六四 二九		一 九七 〇〇	四 三一 五七	三 一五 五〇	一 九三 〇〇	二 四八 〇九	二 二四 一六	三 二二 四五	六 三一 五二	五 〇三 二六	三 五七 〇〇	一 七九 一五	三 八二 〇〇	六 五六 〇二
上	上	下	下	下	下	下	下	下	下	下	上	下	下	下	下	下	下	下
二 六 六	九 〇			六 三 五		二 三 一	二 〇 〇	二 四 七	二 〇 〇	二 一 三	五 〇 〇	三 九 〇	二 二 五	一 三 四	二 〇 五	一 六 四	二 二 〇	一 七 三
東南	東南	西南		西北	東北		西南			東北	西北	東北	東南	東南		西北		東北
三七 四一	八四 八二	四四 〇三		六六 〇八	六七 六一		六四 四九			九二 三〇	〇八 三〇	〇五 〇〇	九五 五三	七六 五五	二六 六六	七七 七三		七八 六一
三四 九〇	三二 〇六	三一 〇六	一四 二八	二一 〇四	三一 〇〇		八七 四九	八五 九三		二二 〇二	二二 〇八	二二 〇八	二二 〇五	二二 〇四		五二 六三		三三 〇二
六三	一〇	三六	一〇	一〇	片振		二〇 二	二六		六〇	七六	一五	二六 〇	一八 八				四七 四
一二 七五 二八	二二 七二 〇一	三一 一一 一六	二一 〇九 九〇	三〇 六八 五六一	一二 六四 一〇		一 一八 六七	九 七六 四六		二 七三 四〇	三 四〇 〇〇	五 二七 〇六	四 一八 八〇	二 一七 八八	一 一六 八一		二 七九 〇〇	五 〇〇 〇〇
六五	七三	一五 七	一〇 五	一六 三			三六	一四 六		二九 〇	三四 七	五〇 九	六八	一九		一〇 五		三〇 八
五六 ・五	五二 ・〇	四八 ・五	四八 ・八	四七 ・三	四六 ・八	四五 ・一	四五 ・七	四四 ・四	四四 ・〇	四四 ・〇	四一 ・二	四二 ・五	四〇 ・一	三七 ・九	三八 ・一	三六 ・二	三五 ・六	三六 ・〇
四三 九	四〇 七	三六 〇	三五 七	三四 六	三三 四	三一 九	二七 九	二七 四	二六 九	二六 一	二五 八	二四 九	一九 六	一三 〇	一二 六	一〇 一	八六	八四

仁	富	盛	秋	長	宮	熊	福	福	銚
川	江	岡	田	崎	崎	本	岡	島	子
三〇・二	一三・四	一〇・五	〇七・一	〇五・八	二六・〇	五九・三	五六・九	五五・三	五一・〇
西北	東北	西南	東南	東北	東北	東北	東北	東北	東北
九・二	八・七	七・〇	三・〇	七・二	二・二	三・〇	〇・〇	五・八	四・三
上	下	下	上	下	下	下	下	上	上
九・五	二・五	一・六	二・七	三・七	一・〇	三・五	〇・四	九・四	九・四
			西北	西北	東南	西南	東北	東北	東北
			五・六	五・一	二・五	八・二	三・三	六・六	六・六
			二・八	一・九	三・八	五・六	三・四	二・二	一・九
			四・八	一・八	四・八	五・三	六・六	八	八
			八・〇	一・六	九・五	四・二	一・三	一・八	一・八
			二・四	八・〇	三・八	一・六	一・一	三・七	三・七
			八・八	七・〇	六・八	六・四	六・一	五・八	五・四
			八・四	七・五	六・八	六・二	六・一	五・八	五・四
			八・六	七・一	六・二	五・四	五・三	四・九	四・五
			八・三	七・一	六・二	五・四	五・三	四・九	四・五

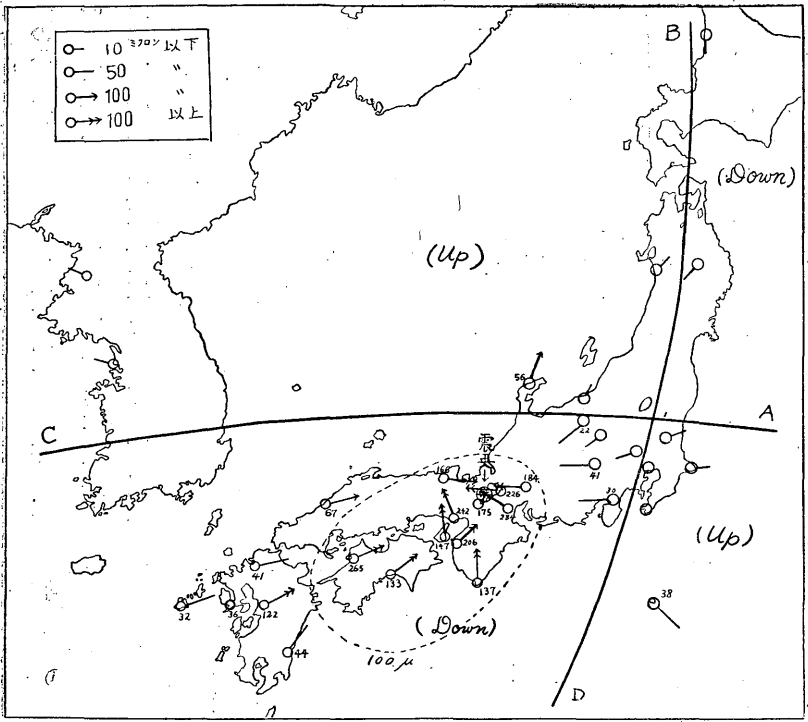
此表に於けるP波の初動方向を大きさに比例して地圖上に記

入して見ると第四圖の如くなる。即ち長野・追分・熊谷・三島を境として、震央を含む本州西部一帯は極めて明瞭な下方動（疎波）であつて、之に對する輪島・秋田、仁川、平壤は稍不明瞭ながら上方動（密波）を示し、又關東東部即ち、銚子、柿岡、八丈島等でも上方動で、八丈島では比較的明瞭に現れ、盛岡及び羽幌に至つて再び下方動を表はしてゐる。即ち從來の地震で屢々考へた様にAC及BDなる二つの節線を引き交點Oを中心

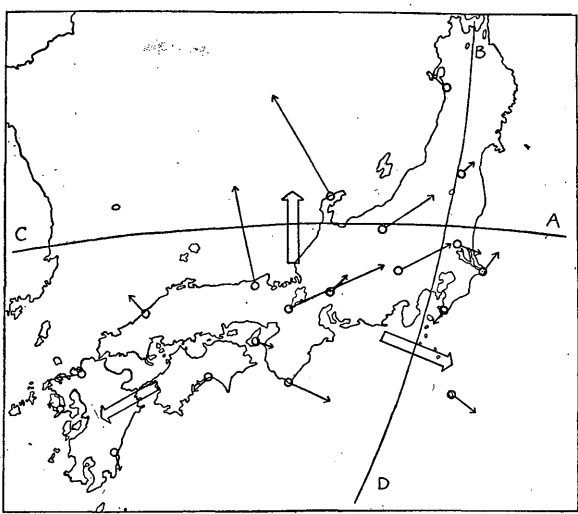
とする四つの部分に分つことが出来る。

又圖中觀測所の傍に附した數字は初動の大きさ（水平・垂直成分）を組合したものをマイクロンを單位として表はしたものである。圖中に點線で示した様に震央を含み南西に延びた略楕圓形の地域で初動の大きさが最も大きくAC・BDの二つの節線の近くでは初動の大きさは極小である。次にS波の初動方向を大きさに比例して地圖上に記入して見ると第五圖の如くなる。之等は何れもS相の極めて明瞭なもの

第四圖 初動分布圖

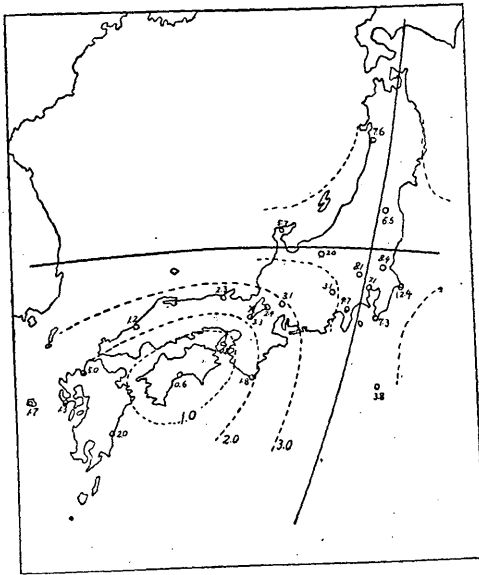


第五圖 S 波初動分布



のみを取つたもので上下動のS相は不明瞭なものが多いので、水平成分のみを取ることとした。圖中の大きな矢印は大體の初動方向の傾向を表はしたものであつて大きさはP波初動の場合とは反對に二つの節線の附近では大きく中間部では略小さい様

第六圖 P,S 最大動の比



である。

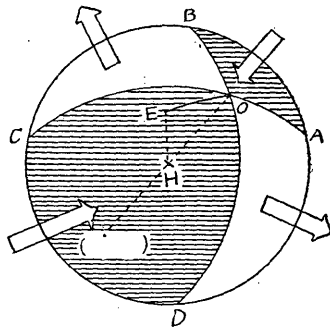
次に記象型の配布を見る爲にP相及S相の最大全振幅を夫々

[P]或は[S]で表はし[S][P]の分布圖を作ると第六圖の如くなり震

央より南西に最小な部分があり節線の附近では最大となる。即ち最大全振幅も節線の近くではS波の振幅がP波に比して非常に大きいのに反して震央より南西の部分即ち洲本、高知等は[S][P]の値が〇・八及び〇・六であるからS波の振幅よりもP波の振幅の方が大きいことがわかる。

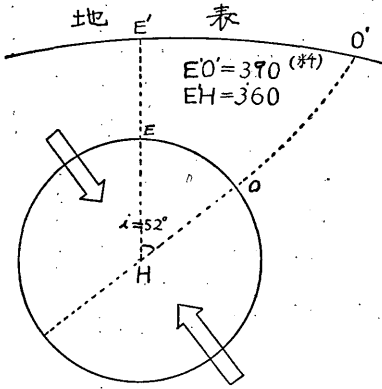
五、發震機構 前章の初動分布等から推測し得る發震機構は本

第七圖 震源に於ける機構



多技師が前號で發表された機構で説明することが出来る。即ち氏は多くの淺層地震の場合の初動方向が震央を交點として直交する二つの節線によつて四部分に分れることから、初動及び記象型が震源に於ける地殻の運動即ち發震機構に依つて支配され

第八圖



ことを示し、深發地震の場合にもこの考へが適應されることを説明されて居る。即ち震源の極めて深い地震では第七圖に於けるが如く、震源Hのまはりに或る大いさの球を考へ其の中心H點を過り互に直交する二つの平面AOC及びBODで球面を四等分し、その二平面の交線をOHとする。OHは鉛直EHと或る傾きをもつてゐるとする。圖中陰影を附した部分即ちCOD及びAOBでは球の中心に向ひ、他の部分即ちAOD及びBOCの部分では中心と逆に向く様な變位が起つたと考へると地表に於ては第四圖の如き初動分布を生ずる。

既に初動分布
圖(第四圖)に明
らかなる如く、

二つの節線は震
央を夾んだ兩側
にあり、その交
點は震央から遙
かに距つた點に
あることを示し
た、即ちこの距

離を地圖上で測つて見ると約三百九十軒となる之は震源に於てOH軸が鉛直EHと或る傾きをなしてゐると考へることが出来る。今この傾角を i とすると、震源の深さは三百六十軒であるから。

$$\frac{r \sin i}{V} = \frac{r_0 \sin i_0}{V_0} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{V_0}{\sin i_0} = \left(\frac{dT}{d\Delta} \right)_{O'} \dots \dots \dots (2)$$

但前式に於て r_0 はO'點(第八圖)に於ける射出角の餘角、 V_0 はO'點に於ける見かけの速度である、即ち第八圖に於てE'は震央、E'Oが鉛直線、O'が節線の交點であるから(1)(2)式より。

$$\sin i = \frac{r_0}{r} V \left(\frac{dT}{d\Delta} \right)_{O'} \dots \dots \dots (3)$$

此式に於て i が求むる傾斜角であり $\left(\frac{dT}{d\Delta} \right)_{O'}$ は走時曲線より求めることが出来るから。

$$E'H = 360 \text{ 軒} \quad E'O' = 390 \text{ 軒}$$

$$r = 6007 \text{ 軒} \quad r_0 = 6367 \text{ 軒}$$

$$\left(\frac{dT}{d\Delta} \right)_{O'} = 0.088 \quad V = 9.6 \text{ 軒/秒} \quad \therefore i = 52^\circ$$

となる。又第七圖に於てEOH面とAOC面との夾角を同様の

方法で求めると約二十八度となる。従つてBOD面とのなす角は約六十二度となる。

次にかゝる發震機構を有する初動の大きさの配布は本多技師に依ると震源に於ける變位の大きさは球面を四等分する二つの大圓の近くでは小さく、其等の中間では極大であると、第八圖に於ける震源Hを原點としOHを軸とした球座標に關して($\sin 2\theta \sin \varphi$)に比例するとし實際地表面で觀測される初動の大きさを

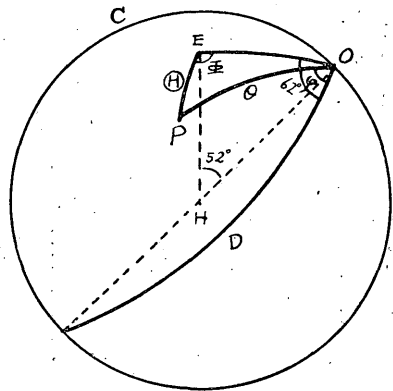
$$a = \sqrt{\frac{\sin \theta}{\Delta \sin \epsilon_0} d \Delta} \sin 2\theta \sin \varphi \dots \dots \dots (4)$$

なる式に於けるaに比例する量として與へられてゐる。此式に於て $\sqrt{\frac{\sin \theta}{\Delta \sin \epsilon_0} d \Delta}$ は震央距離に逆比例する量即ち震央距離の増大するに従つてエネルギーの減少することを表す量でdΔは鉛直とθの角をなし、震源からθの増すと方向に一度の開きをもつて射出された震波線が地表に於て持つ幅で、 ϵ_0 は其點に於ける射出角である。

第九圖に於てEは球と鉛直線との交點、OC及びODを節線、Hを震源とすると、COD象限内にある任意の點Pに就て考へると

$$\angle POD = \varphi \quad \widehat{OP} = \theta$$

第九圖



八〇

$\widehat{OE} = 52^\circ$ $\widehat{EOD} = 62^\circ$
 となるから

$$\angle PEO = \varphi \quad EP = \theta$$

とすると球面三角形OEPからθφはθφの函数として與へられる。即ち一般に

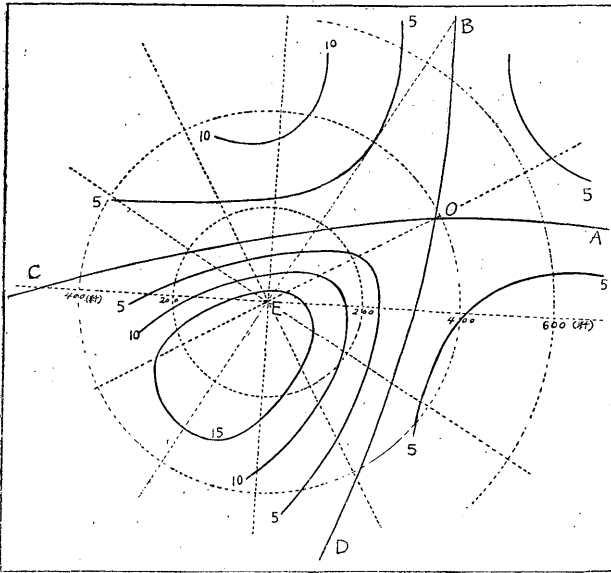
$$\cos \theta = \cos 52^\circ \cos \beta + \sin 52^\circ \sin \theta \cos \varphi' \dots \dots \dots (5)$$

$$\sin \varphi = \frac{\sin \theta \sin \varphi'}{\sin \theta} \dots \dots \dots (6)$$

$$a = \sqrt{\frac{\sin \theta}{\Delta \sin \epsilon_0} d \Delta} \sin 2\theta \sin \varphi \dots \dots \dots (7)$$

即ち本地震の場合には(4)式の代りに(7)式を用ひることになる。
 (5)(6)式に於ける φ はOEを基線として、Oを原点として測つた
 値で、第九圖の場合ならば

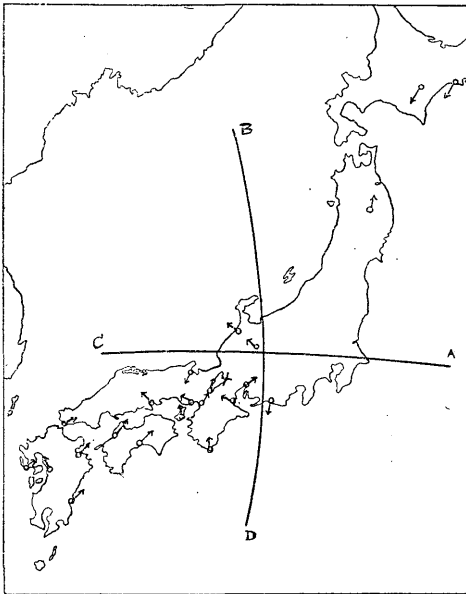
$$\varphi' = \angle EOP = 32^\circ - \varphi \dots \dots \dots (8)$$



第十圖 $\sqrt{\frac{\sin \theta}{\Delta \sin e_0 d \Delta}} \sin 2\theta \sin \varphi$

となる。

之等の式から θ を與へて a 及び θ の値を求め、震央Eを
 原点として、OEを基線として、 θ で決定される點に a の値
 を入れて見ると第十圖の如くなる。之と第四圖に於ける實測値
 と比較して見ると略一致してゐることが認められる。



第十一圖 彦根附近の地震の初動分布

六、彦根附近の地震の發震機構に就て、大正十五年七月二十七
 日に今回の地震に類似した深發地震が彦根附近に發生してゐる

この地震に就ては和達先生が氣象集誌にその調査された結果を發表されてゐる。今氏が實測された各地測候所の初動方向を地圖上に記入して見ると第十一圖の如き分布を得る、即ち大體の傾向からA C、B Dなる節線を引くことが出来る。又氏は該地震の記象の特長として近畿以西の觀測はP波が頗る大きく、S波と同程度なるに反し、中部以東の觀測はP波が極めて微弱でS波が明瞭で且振幅の大なる事實を指摘して居られる。即ち之等は本地震の特長と全く同一な記象型を有するものであり、又初動分布から云つても、殆ど今回の地震と同一の發震機構を有するものと考へられる。

又昭和六年六月二日本州中部益田川附近に發した深發地震とも類似的の初動分布であつて本地震と同様な發震機構を有するものと考へられる。

終りに臨み本文を草するに當り種々御指導下された國富、本多兩先生に厚く御禮を申し上げる次第である。

引用文献

- 一、本多弘吉 驗震時報第五卷第一號
- 一、和達、鷺坂、益田 氣象集誌第十卷第八號
- 一、鷺坂清信 驗震時報第四卷第一號
- 一、本多弘吉 驗震時報第六卷第一號

一、和達清夫 氣象集誌第五卷第六號

(昭和七年十月二十八日氣象學會にて發表)