

地震波速度

鷺坂清信

一、緒言 此處に北丹後烈震と岩手縣小國地震とに依つて得られた走時曲線から震波速度を計算せんとするものである。昭和六年十一月四日岩手縣小國に震央を有する地震につき本多技師の實地踏査の結果によれば其の震源は小國村の南東部の殆んど地表近くにあり極めて局發的のものであると云ふ。而して此の地震の震源が地表にあるといふ觀察は震度が震央附近の狭小の部分にのみ強烈で小被害を伴つた事と、餘震が頻發した事とによるものである。尙又後に述べる走時曲線の形からも震源が地表にある事が推定される。而して此の地震の記象は震央距離四五百軒迄のP波及びS波の發震時刻が明瞭に讀み取れるが故に、此の範圍につき走時曲線を取扱ふ事とする。而して此の材料から東北地方に於ける深さ七十軒迄のP波及びS波の速度並びに其の比等を得た。又大森公式に該當する式で此の地方に於ける地表面震源に關する精密なる式を得る事が出來た。

次に昭和二年三月七日の北丹後烈震は稀に見る大地震であつて其の記象は可也遠距離まで明瞭に記録され其震央の位置並びに其の震源が殆んど地表面にあるといふ事も明かになつた、故に此の走時曲線から震波速度を算出して置く事は無意義の事ではないと考へ其の計算結果を報告する次第である。

尙北丹後烈震の震源が地表にあるといふ事は著者は和達博士や本多技師と同様、此の地震の走時曲線を北伊豆烈震の走時曲線と比較して主張するものであるが、藤原博士は模型的實驗により此の震源が地表にあるといふ説を提出されて居る。又我々は北伊豆烈震、伊東強震、新潟縣三島郡地震、岩手縣小國地震等により、斷層或は小龜裂等の地變が地表面に現出し、多くの前震、餘震を伴ふ如き地震の震源は概ね地表にあらうといふ觀念を経験的に得た。然れば此の事からも北丹後烈震は地表に震源を有するものならんかと考へらる。更に和達博士の説に依れば一般に大地震源は地表にありといふ。然らば何の位の淺い所に此の地震の震源があるかといふに著者は地震源の大きさを考へるならば其の震波の焦點は地表面にありと考へるのである。

二、岩手縣小國地震 此の地震の震央は東經百四十一度四十二分、此緯三十九度三十分の地點にして、緒言に述べた如く本多氏の實地踏査に依つて決定したものであるが、之は他の方法即ち各地測候所の地震計に記録された初動方向、或は發震時刻又は初期微動時間等を用ひて決定したものと一致する事は勿論である。

今此の地震の觀測表を記せば次の如くである。

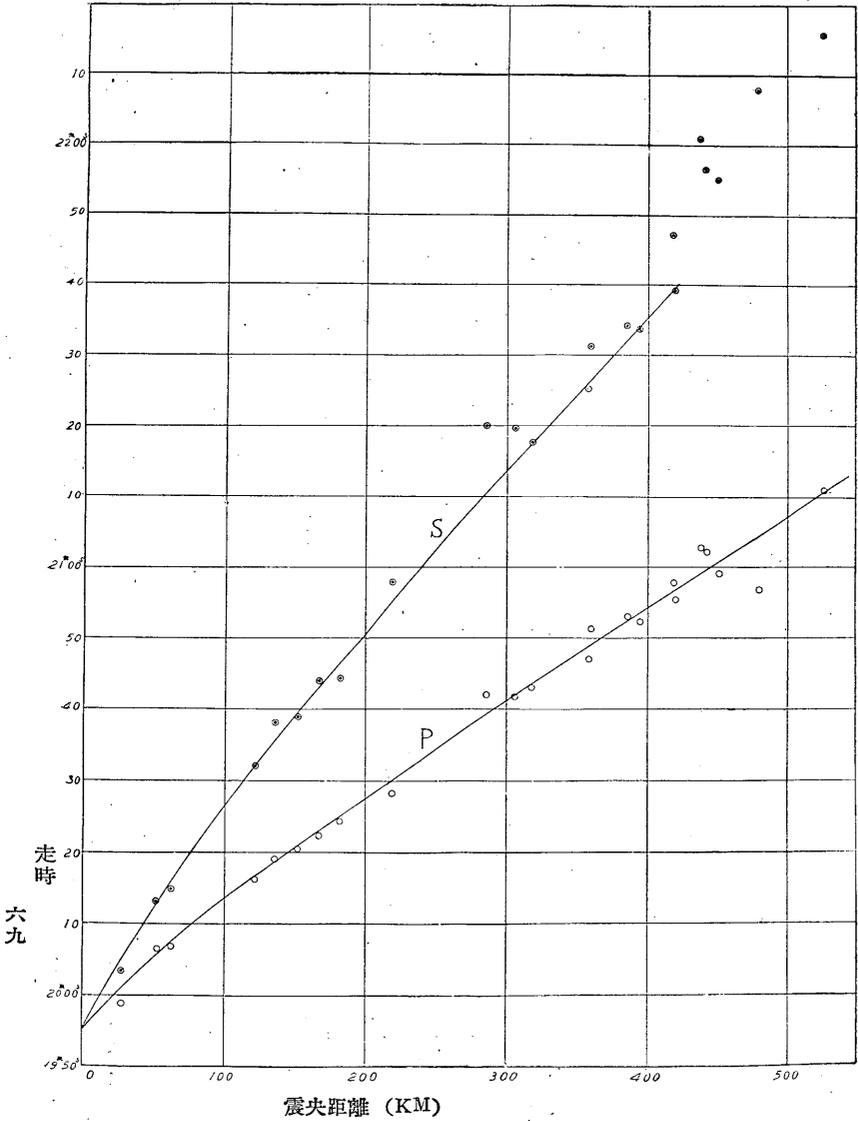
第一表 小國地震觀測表

觀測所名	發震時	S波發現時	初期微動時間	震央距離
宮古	一、一九、五九、 二〇、〇六、七	二〇、〇三、五	四、五	二七
盛岡	〇七、	一三、四	六、七	五二
水澤	一六、四	一五、	八、	六二
石卷	一九、二	三二、二	一五、八	一二二
秋田	二〇、六	三八、二	一九、〇	一三六
仙臺	二二、五	三九、〇	一八、四	一五二
青森	二四、五	四四、〇	二一、五	一六七
山形	二八、四	四四、五	二〇、〇	一八二
福島	四一、八	五七、九	二九、五	二一九
浦河	四二、〇	二一、一九、七	三七、九	三〇六
新潟	四三、一	二〇、〇	三八、〇	二八六
室蘭	四六、七	一七、六	三四、五	三一八
函館	四七、	二七、七	四一、	二六五
水戸	五一、三	二五、二	三八、二	三五八
宇都宮	五二、三	三一、三	四〇、〇	三六〇
札幌	五三、一	三三、七	四一、四	三九五
波子	五五、四	三四、二	四一、一	三八六
銚子		三九、二	四三、八	四二〇

今此の表よりP波及びS波の走時曲線を描けば第一圖の如くなる、圖中○印はP波に關するもので●印はS波に關するものである。此の走時曲線の震央附近の形が上に凸なる所からして震源は地表にありと考へらる。

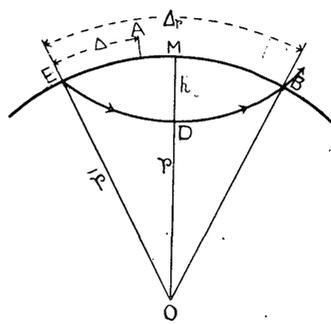
三	布	根	高	松	柿	輪	旭	長	追	東	熊	横	釧
鳥	良	室	田	本	岡	島	川	野	分	京	谷	濱	路
									二一、〇二、一				
一四、一	一一、六	一一、二	〇八、一	〇七、七	〇六、七	〇五、七	〇三、一	〇二、七		五九、〇	五七、八	五六、八	五六、八
	一七、八					〇九、八			二二、〇〇、八	五六、四	五五、〇	二一、四七、一	二二、〇七、八
五四、七	六六、二	五三、六	四七、六	六〇、〇	五三、八	六四、一	五二、九	五八、一	五四、三	五六、〇	四九、三	七一、〇	四四、六
五四〇	五二八	五一八	三九九	四八六	三八〇	四七八	五三八	四三八	四四二	四五一	四一九	四八〇	四五〇

第一圖 小國地震の走時曲線



斯くの如き地表震源に對して。深さの増すに従つて震波速度が連続的に増加するといふ假定の下に
 ベートマン、ヴァイトヘルト、ヘルグロッツ等に依つて誘導された、震央距離と其處に達する震波の最深點と
 の關係式は次の如くである。

$$\log_e \frac{r}{r_0} = \frac{1}{\pi^2} \int_{\Delta=0}^{\Delta=\Delta} \frac{g d\Delta}{r} \quad (1)$$



第二圖

如きものである。

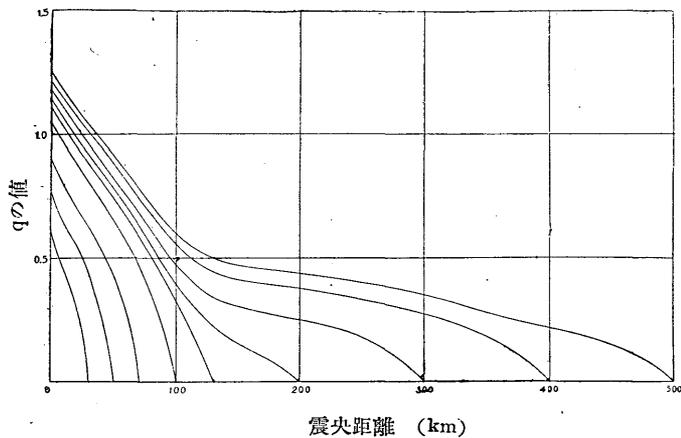
此の圖に於いてOは地球の中心、EMBは地表面、Eは其の面上にある
 震源を示すものとする。Bなる觀測點の震央距離を Δ とし、之に對する
 或種の震波例へばP波の軌道をEDBとし其の最深點と地球の中心との
 距離を r とせば(1)式により此の Δ に對する r を求むる事が出来る故従つ
 て此の震波の達し得る深さ h を知る事が出来る。(1)式に於ける g は次の

$$\text{cosh } h = \frac{\left(\frac{d\Delta}{dT}\right) \Delta = \Delta r}{\frac{d\Delta}{dT}} \dots\dots\dots 0 \leq \Delta \leq \Delta_r \dots\dots\dots (2)$$

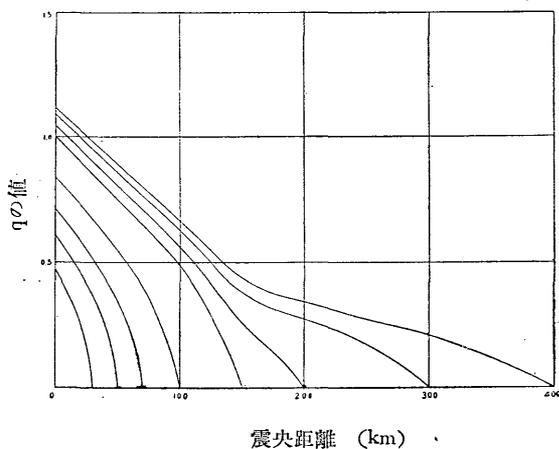
即ち $\text{cosh } h$ は $\frac{d\Delta}{dT}$ の函數である。今第一圖の走時曲線から見掛の速度 $\frac{d\Delta}{dT}$ を讀み取つて表示すれ

ば第二表の如くなる、之を用ひて區間 0 から $4r$ までの $\cos^2 q$ の函數の形が決定する從つて双曲線函數表に依り同じ區間に於ける q なる函數の形を決定する事が出来る。今方眼紙上に q を縦軸に Δ を横軸に取つて記入し、此の圖の面積を面積計（プランニメーター）又は天秤にて (1) 式を積分し此の $4r$ に對應する

第三圖 P波に關するqの曲線



第四圖 S波に關するqの曲線



r を求むることが出来る。更に Δr をかへて同様の計算を行へば他の震波線に對する Δr と r との關係が知れる。今例として小國地震につき種々の Δr に對する q の圖を示せば第三圖及び第四圖の如くなる。

次に或る震波線の最深點 r に於ける震波速度 v_m と其の震波線の射出點に於ける見掛の速度 $\frac{d\Delta}{dT}$ との關係は次の如くである。

$$V_m = \frac{q}{\frac{d\Delta}{dT}} \dots\dots\dots (3)$$

然れば此の式と前の結果から Δ 、r 及び V の對應する値を求むる事が出来る。斯様にして求めた値を表示すれば第二表の如くなる。

第二表 岩手縣小國地震

P 波		S 波	
Δ	軒	Δ	軒
一〇	〇	一〇	〇
二〇	〇	二〇	〇
三〇	〇	三〇	〇
四〇	〇	四〇	〇
五〇	〇	五〇	〇
T_p	秒	T_s	秒
一〇、三		一〇、六	
六、五		七、一	
四、四		二、八	
四、五		二、七	
四、五		二、七	
$\frac{d\Delta}{dT}$	軒/秒	$\frac{d\Delta}{dT}$	軒/秒
五、五〇		三、〇	
五、〇〇		三、〇	
三、六		三、〇	
七、四		三、二	
h_p	軒	h_s	軒
〇		〇	
V_{pm}	軒/秒	V_{sm}	軒/秒
四、二〇		二、七〇	
四、二〇		二、七〇	
四、二〇		二、七〇	
$\int_0^{\Delta r} \frac{d\Delta}{dT}$		$\int_0^{\Delta r} \frac{d\Delta}{dT}$	
二、三、一		一、九、四	
二、三、一		一、九、四	
二、三、一		一、九、四	

七〇	一三、八	六、〇二	一二	六、〇一	三八、六	二三、一	三、四二	一〇	三、四二	三一、六
一〇〇	一八、五	六、七二	二〇	六、七〇	六一、一	三一、三	三、七一	一六	三、七〇	五一、三
一三〇	二二、八	七、〇七	二五	七、〇四	七七、六					
一五〇						四四、〇	四、一七	二八	四、一五	八八、六
二〇〇	三二、四	七、二五	三〇	七、二一	九三、四	四五、三	四、三一	三四	四、二九	一〇七、四
三〇〇	四六、一	七、四八	四一	七、四三	一二九、五	七八、三	四、四七	四五	四、四四	一四二、二
四〇〇	五九、二	七、七七	五七	七、七〇	一七九、〇	一〇〇、三	四、五七	五五	四、五三	一七三、八
五〇〇	七一、八	七、九六	七〇	七、八七	二二一、四					

此の表に於いて注意すべき事は同じ△に對する最深點の深さ h_p と h_s との相違である。此處に h_p はP波に關する最深點の深さ、 h_s はSに關するものである。今若し同じ△に對して此の二つの値に相違があるならばそれはP波とS波の軌道の違ふ事を意味する。實際に第二表につきて見るに大體に於いて同一軌道を通ると言へようが尙之が決定には更に調査の必要がある。

第二表から直ちに第三表を作ることが出来る、此の表によりて見るにP波とS波の速度の比は殆んど一、七〇なる一定の値をもつ。又同表中のKは

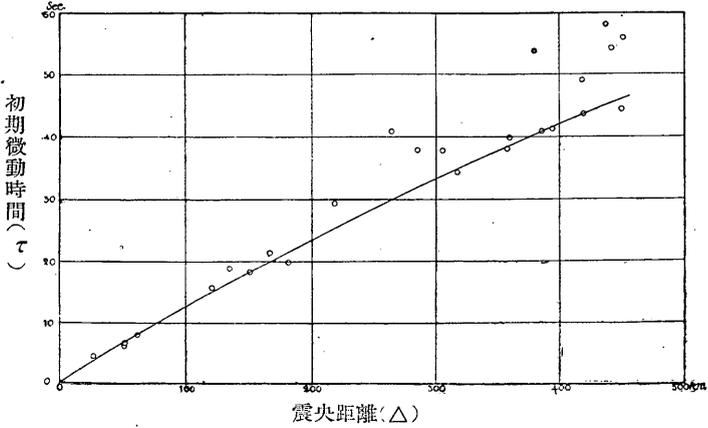
$$K = \frac{V_p V_s}{V_p - V_s} \quad (4)$$

なる値にして、PS波の速度或は或る點の大森係數とも見るべきものである。

第三表 小國地震による震波速度

深さ h	P波の速度 V _p	S波の速度 V _s	速度の比 V _p /V _s	大森係数 K
七〇	七、八、七		(平均) 一、七〇〇	
六〇	七、七、七		一、七〇〇	一一、〇
五五	七、六、九	四、五、三	一、六九	一一、〇
五〇	七、六、〇	四、四、九	一、六九	一〇、九
四五	七、五、二	四、四、四	一、六九	一〇、七
四〇	四、四、二	四、三、八	一、七〇	一〇、五
三五	七、三、三	四、三、〇	一、七二	一〇、〇
三〇	七、二、一	四、二、〇	一、七三	九、六
二五	七、〇、四	四、〇、七	一、七三	九、二
二〇	六、七、〇	三、八、八	一、七二	八、七
一五	六、二、九	三、六、六	一、六九	八、四
一〇	五、七、九	三、四、二	一、六五	八、〇
五	四、二、〇	二、七、〇	一、五六	七、五

第五圖 P-S△圖



次に第一表より初期微動時間曲線を描けば第五圖の如くなる。

今此の圖の曲線を表はす式を作れば次の如くなる。

$$\tau = 0.131\Delta - 0.65 \times 10^{-4} \Delta^2 \quad \text{O} \leq \Delta \leq 400\text{km} \quad (5)$$

$$\tau = 0.134\Delta - 0.85 \times 10^{-4} \Delta^2 \quad \text{O} \leq \Delta \leq 200\text{km} \quad (6)$$

τ は初期微動時間にして、 Δ は震央距離である。之東北地方に於ける地表震源に關する大森公式に相當するものである。即ち初期微動時間を測定すれば震央距離 Δ は此の二次方程式の根として與へられる。此の根の根號の前の符號は勿論負號を取るべきである。震央距離が二百軒以下の場合(6)式の方が精確であるが(5)式も四百軒以内に於いて相當よくあてはまる。今此の式の誤差表を次に掲げる。

第四表 小國地震の△、T及び(5)(6)式の誤差表

観測所名	發震時	初期微動時間	震央距離	の(5)式による計算値		の(6)式による計算値	
				τ	δ ₁	τ	δ ₂
宮津	一八、二七、四三、五	一	一八	〇	〇	〇	〇
			豊岡	六、五	十〇、一七	六、五二	十〇、〇二
				一、二、六	十〇、一五	一、二、六〇	十〇、〇〇
				一、八、三	十〇、一一	一、八、二八	十〇、〇〇
				二、三、五	十〇、一〇	二、三、五〇	十〇、〇〇
				三、三、二	十〇、二五	三、三、五〇	十〇、〇〇
				四、二、一	十〇、一〇	四、二、一〇	十〇、〇〇

三 北丹後地震 此の地震の震央は郷村斷層に取り東經百三十五度二分、北緯三十五度三十九分の地點とした。此の震央は初動方向の分布、等初期微動線、或は等發震時線等を用ひて求めたものと一致する。今此の地震につき観測表を次に記載する。但し表中震央距離は百萬分の一の地圖上で測定し之に地圖の誤差の補正を施したものである。

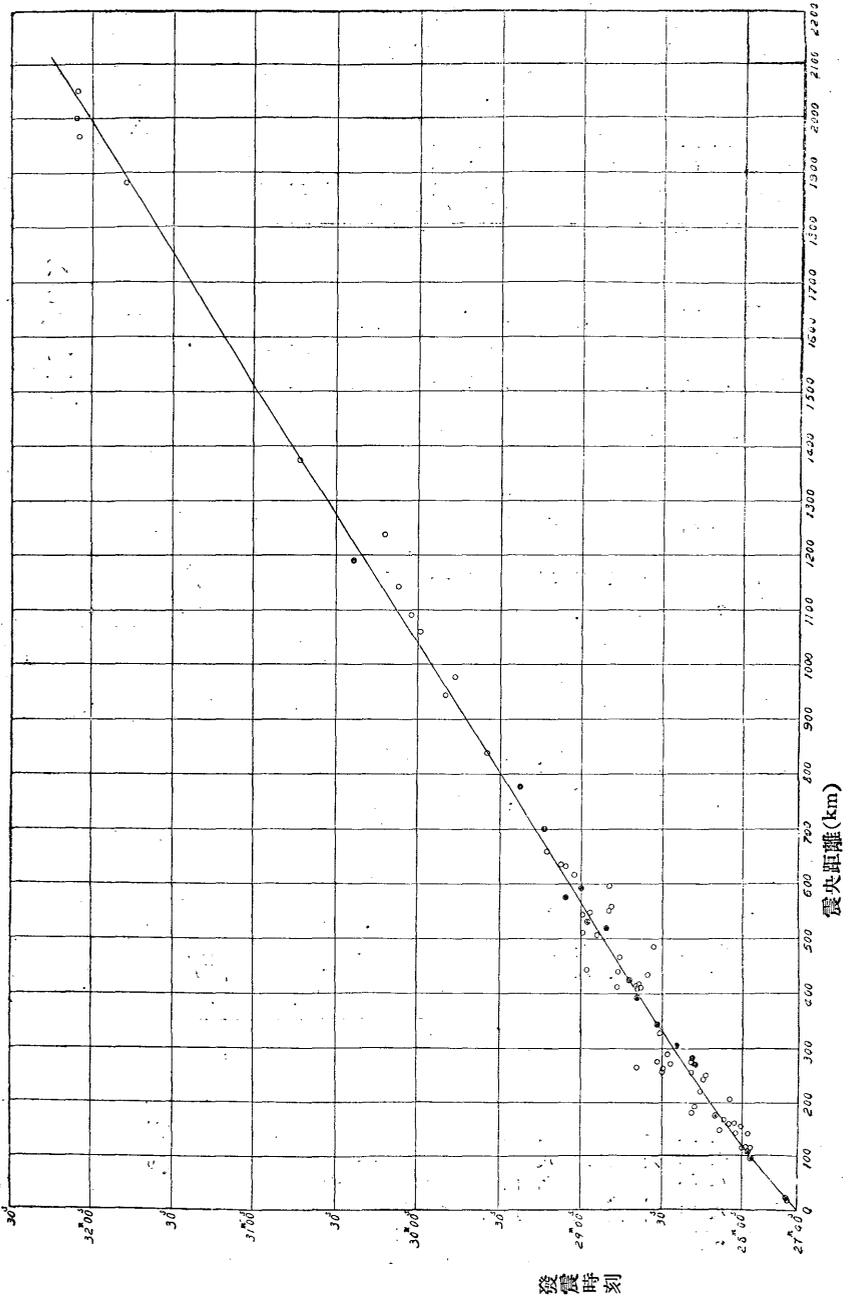
第五表 北丹後烈震

観測所名	發震時	初期微動時間	震央距離
宮津	一八、二七、四三、五	一	一八
			豊岡
			四三、八
			三、〇
			二三

釜山	四九、	六六、〇	五五七	八丈島	二七、	一	六〇六
嚴原	五〇、〇	七二、〇	五四九	根室	二九、五	一七六、八	一二三
水戸	五〇、	五七、〇	四九四	函館	三五、二	一〇五、〇	八四二
銚子	五〇、六	七〇、三	五一九	札幌	四六、五	一二〇、〇	九七八
熊本	五四、六	七三、	五〇八	宮古	五一、	七六、〇	七五〇
羽幌	五七、	一二四、〇	一一一四	帶廣	五九、	一一五、〇	一〇五九
山形	五七、五	六八、四	五四七	旭川	三〇、〇五、	一五、一	一〇八九
宮崎	五七、九	七七、一	五三一	釧路	〇七、	一三〇、三	一四三
宇都宮	五七、九	六三、六	四四二	大連	一二、	九七、〇	一二三九
佐賀	五九、六	七三、一	五一二	石恒島	二〇、	一八八、〇	一六四〇
温泉岳	二九、〇〇、	七一、八	五四六	父島	二三、六	二四四、二	一一九一
仙臺	〇〇、三	六三、〇	五九二	室蘭	二九、	一〇〇、〇	九一二
鹿兒島	〇二、八	九〇、七	六一五	大泊	四三、	一	一三七五
長崎	〇六、〇	七七、〇	五七四	臺中	四八、	三〇二、〇	一八七九
秋田	〇六、〇	七八、五	六三三	膨湖	三一、三一、	二三二、〇	二〇〇六
石巻	〇七、八	六五、六	六三四	臺北	五一、	一八四、〇	一七五一
水澤	一二、八	七八、〇	六六一	恒春	三二、〇五、六	三四三、七	二〇五〇
盛岡	一三、八	七八、	七〇〇	臺東	一〇、	二一三、〇	一九六六
仁川	二三、一	八九、	七七七	臺南	一三、	二〇一、〇	二〇〇〇
名瀬	二五、〇	一三六、六	九六六	敷香	三三、二九、〇	一四二、〇	一六六六

此の表によりP波の走時曲線を作れば第六圖の如くなる、圖中◎印はウイーヘルト地震計を用ひて觀測せるを示せるものである。

第六圖 北丹後烈震P波走時曲線



此曲線を用ひて前節と同様の計算によりて求めた Δ 、 h 、 V の對應する値を表示すれば次表の如くなる。

第六表 北丹後烈震

Δ	T	$\frac{d\Delta}{dt}$	h	V	$\int_0^{\Delta r} g^{\Delta} d\Delta$
二〇〇〇〇 一五〇〇〇 一〇〇〇〇 七〇〇〇 六〇〇〇 五〇〇〇 四〇〇〇 三〇〇〇 二〇〇〇 一五〇〇 一〇〇〇 六〇〇 三〇〇 二〇〇 一〇〇 〇 群	二六、一、〇 一九八、七 一三五、八 九七、五 八五、〇 七二、四 五九、五 四六、四 三二、五 二五、一 一七、三 一〇、八 五、五 三、七 一、九 〇 秒	八、一四 八、〇六 八、〇〇 七、九七 七、九五 七、八七 七、七二 七、四三 六九、三 六六、一 六、二三 五、九〇 五、六一 五、五〇 五、三七 五、二二 群/秒	一六〇 一二〇 九二 八三 七九 七一 六〇 四六 二九 二〇 一一、 五、七 二、四 群	七、九三 七、九一 七、八八 七、八六 七、八五 七、七八 七、六四 七、三八 六、九〇 六、五九 六、二二 五、八九 五、六一 群/秒	五〇七、五 三七八、八 二九二、四 二六一、四 二四八、九 二二三、六 一八九、七 一四四、五 九〇、二五 六二、〇〇 三五、九五 一七、六五 七、二〇

扱第六圖の走時曲線に注意するに七百軒以上の處は尙觀測材料不足なるが故に此の第六表の値は△の七百軒以内の値につき採用すべきであると思はれる。次の第七表は第六表から直ちに作る事が出来る。

第七表 各深さのp波速度表

h	Vp
km	km/sec
0	5.22
5	5.83
10	6.16
15	6.40
20	6.60
25	6.79
30	6.93
35	7.10
40	7.23
45	7.35
50	7.47
60	7.64
70	7.77
80	7.85
100	7.89?
120	7.91?
160	7.93?

此の表中百軒以上の深さに相當する値は第六表に照して信用をおくことは出来ない。又淺い部分に於いて本多技師や著者が求めた値と幾分相違することについても、それが實際違ふものか或は此の地震の震央附近の測が不充分なることに歸因するかは、なほ斷定することは出来ない、此の表の中間の値に對しては本多技師が北伊豆烈震で求めたものと一致してゐる。

次に第五表中の初期微動時間は驗震時報第三卷第一號に國富技師が調査報告せるものを主とし、缺除せる部分は氣象要覽に依つて補つたものであるが、その値が不規則でP-S₁圖を作ることが出来なかつた。従つてS波の走時曲線も得られなかつた。

終りに臨んで御助言下れた國富技師、本多技師に感謝する次第である。尙圖を描いて下さつた本臺地震掛三浦秀正氏に厚く御禮を申述べらる。

文 献

一、本多弘吉 驗震時報 第五卷 第一號

1. F. Weichert und L. Geiger. Physik. Zeitschr. No 7, 11. Jahrgang, 1910.