

# 振 幅 曲 線

森 田 稔\*

1. 緒 言 地震波の振幅が地震現象の解明にとつて有力な鍵の一つであることは論を俟たない、然るに我國に於ける比較的最近の研究が之に深い關心を拂つた外は、定量地震學の主流は過去現在を一貫して走時偏重に傾き、振幅は敬遠され來つた觀がある。其結果は當然種々の困難に逢着し、終に到達すべき目標に達する能はずして、徒に其周圍を低迷してゐる様な現狀に到らしめた。目標に向つて之以上近附くことは獨り走時のみの力では成し得ない。振幅こそ其缺を補ふ最も有力な因子として、近時特に其研究が要請される所以である。本文の計算は此様な主旨の下に爲された。

こゝに著者が振幅曲線と稱するものは、地震波各相の振幅を震央距離の函數として表したものであつて、主な目的は遠地々震の波相の驗測に直接資せんとするに在る。従つて振幅には地震計によつて直接觀測さるべき地表面の振幅を擇んだ、此様な計算は嘗て部分的には Gutenberg,<sup>(1)</sup> Jeffreys<sup>(2)</sup> 等によつて試みられ、又近くは深發地震の直達波につき伊藤氏<sup>(3)</sup>に依つても與へられてゐる。しかし走時曲線が直達反射種々の波相に就て、又  $0^\circ$  から  $180^\circ$  迄連續した震央距離に對して、既に曲線として立派な形態を具へ、地震波の驗測其他に充分に利用されてゐるのに對し、振幅の方は未だ計算された相の數も少く、震央距離の範圍も斷片的であつて、斯の如く纏つた形が與へられてゐない。著者は之を走時曲線と同程度に迄整備し、走時曲線に對應するだけの形態と利用價値とを與へ様と試みたのである。此仕事の價値は兎も角として、これは相當な勞力を要する仕事であつて、計算は現在地表面地震の場合につき内核には觸れない波相のみ而も異種反射波は一回反射波 (PS 及び SP) までを終つたのみであるが、取敢ず結果を報告して批判に俟ち度いと思ふ。

2. 振幅計算の方法 上にも述べた如く、本文で計算したのは内核に觸れない波相のみであるから、計算式の中には内核表面に於ける反射屈折の影響は入つて來ない。又外殻に於ける不連續は無視する方針をとつたので、Gutenberg や Jeffreys の計算に於て考慮された様な 45 km 不連續面の

\* 仙臺地方氣象臺

- (1) L. Geiger und B. Gutenberg, Ueber Erdbebenwellen V, VI; B. Gutenberg, Ueber Erdbebenwellen VII A. Gött. Nachr. 1912~1914; B. Gutenberg, Die Geschwindigkeit der longitudinalwellen im Erdinnern. Gerl. Beitr. Geoph. 17 (1927) 356~365.
- (2) H. Jeffreys, On the Amplitudes of Bodily Seismic Waves. M. N. R. A. S. Geoph. Suppl. 1 (1926) 334~348.
- (3) 伊藤 博, 深發地震波動の振幅計算用の表, 驗震時報, 11, 229~234.

影響も考へに入れてゐない。考慮したのは地表面に於ける反射の影響のみである。

計算式は Gutenberg により厳密な式<sup>(1)</sup>が與へられ、その各項が逐一充分な検討を経た結果<sup>(2)</sup>を考慮して、次の如き近似式を採用した。即ち  $n$  回反射波（直達波を含む）の地表面振幅水平上下各成分は

$$u = K \frac{U(U')}{W} A_1 A_2 \dots A_n \sqrt{\frac{\rho v}{\rho_0 v_0}} \sqrt{\frac{\sin i}{\sin \Delta \cos i_{0i}}} \frac{ds}{d\Delta} F(\theta, \varphi) \dots \dots \dots (1)$$

を以て表されるものとした。

こゝに (1) 式中の各記號は次の如き意味を有する。

1)  $K$  は震源に於けるエネルギーに關係する量で、本多博士の  $\mathfrak{U}$  と似た様な意味を持ち、 $P$  波と  $S$  波とで異なる。

2)  $U, U', W$  は地表面に於ける反射係數で、入射角の振幅に對する地表面の振幅の比を表し、 $U$  及び  $U'$  は水平動、 $W$  は上下動に於ける比を表す。實際の場合には次の 5 種類がある。

$P$	$U$	$P$ 波が入射した場合、	入射波と地表面水平動との振幅の比
$P$	$W$	"	" 上下動 "
$S$	$U$	$SV$ 波 "	" 水平動 "
$S$	$W$	"	" 上下動 "
$S$	$U'$	$SH$ 波 "	" 水平動 "

入射角に關係なく常に 2.

3)  $A_1, A_2, \dots$  は反射波に就き夫々第 1 回、第 2 回、 $\dots$  の反射に於ける反射係數で、入射波に對する反射波の振幅の比を表す。實際の場合には次の 5 種類がある。

$P$	$A_P$	$P$ 波で入射し、	$P$ 波で反射する場合の振幅の比
$P$	$A_S$	"	$SV$ 波 "
$S$	$A_P$	$SV$ 波 "	$P$ 波 "
$S$	$A_S$	"	$SV$ 波 "
$S$	$A'_S$	$SH$ 波 "	$SH$ 波 "

入射角に關係なく常に 1.

4)  $\rho, v, i$  震源に於ける密度、震波速度並びに入射角  
 $\rho_0, v_0, i_{0i}$  地表面 " " " "  
 (但し入射角は最後のもの)

(1) 例へば Handbuch d. Geophysik, IV, 1 (1929) 59 頁 (161).

(2) 同上 195~203 頁.

5)  $F(\theta, \varphi)$  所謂發震機構に関する項。地表面地震の場合は單に  $F(\varphi)$  となる。P 波と S 波とで異り、又 SV 波と SH 波とでも異なる。

偖て本文に於ける振幅曲線計算の意圖は主として走時曲線の缺を補ひ、相の判定、讀取に資せんとするに在るので、今後の計算を専ら其立場より進めて行くこととする。先づ (1) 式の  $K$  が地震の規模によつて異なることは上述の意圖と直接關係はないが、P 波と S 波とによつて異なることは讀取上に深い關係を持つ。しかし只今のところ之等兩者の關係に就ては地表面地震に於ては確かな據り所が無く、僅かに深發地震に就き本多博士と三浦氏<sup>(1)</sup>の結果が参照されるのみである。

それによると、今 P 波に對する  $K$  を  $K_P$ 、S 波に對する  $K$  を  $K_S$  とすれば、震源域の半径が P 波の波長に較べて遙に小さい時は  $K_S/K_P=5.20$  であるが、此値は兩者の比が  $1/\pi$  位より大きくなると急に小さくなり、終に  $K_S/K_P < 1$  となることさへある。而して實例に於ても此様な場合の少くないことが示され<sup>(2)</sup>てゐる以上、本文の計算では  $K$  は暫く除外して取扱ふより外はない。次に最後の項  $F(\theta, \varphi)$  であるが、之も亦他の項とは性質を異にし、それ自身で獨立な分布を持つものであるから、矢張り暫く除外して取扱ふこととする。

又本文では震源が地表面に在る場合のみを取扱ふ故、 $\rho v = \rho_0 v_0$  で、此項は 1 となる。

かくて本文では (1) 式を次の如く見做し、之によつて計算を行ふこととする。

$$\frac{u}{w} = \frac{\rho U}{W} A_1 A_2 \cdots A_n \sqrt{\frac{\sin i_0}{\sin \Delta \cos i_{0l}} \frac{di_0}{d\Delta}} \cdots \cdots (2)$$

但し  $i_0$  は地表面入射角である。

3. 各波相に對する計算式 (2) を更に具體化して實際の諸種の反射波に對する計算式を與へる。直達波は反射波の特別な場合として取扱ふ。

#### 1) 同種反射波の場合

PP, PPP, SS 等の如く同一種類の波が連続反射される場合。この場合は  $i_{0l} = i_0$  であつて

$$\sqrt{\frac{\sin i_0}{\sin \Delta \cos i_{0l}} \frac{di_0}{d\Delta}} = \sqrt{\frac{\tan i_0}{\sin \Delta} \frac{di_0}{d\Delta}}$$

且つ  $A_1 = A_2 = \cdots = A_n \equiv P A_P, S A_S$ 、或は  $s A'_S (=1)$

なる故、P 同種  $n$  回反射波に就ては

$$\frac{u}{w} = \frac{\rho U}{\rho W} P A_P^n \sqrt{\frac{\tan i_0}{\sin \Delta} \frac{di_0}{d\Delta}} \cdots \cdots (3)$$

S 同種  $n$  回反射波に就ては

(1) H. Honda and T. Miura, On the Amplitude of the P and the S Waves of Deep Earthquakes. (Third Paper). Geoph. Mag. 11 (1938), 299~305.

(2) 同上 304 頁。

$$\frac{u}{w} = \frac{sU}{sW} sA_s^n \sqrt{\frac{\tan i_0}{\sin \Delta} \frac{di_0}{d\Delta}}, \quad (SV) \dots\dots\dots (4)$$

$$u = 2 \sqrt{\frac{\tan i_0}{\sin \Delta} \frac{di_0}{d\Delta}}, \quad (SH) \dots\dots\dots (5)$$

之等に於て  $n=0$  とおけば直達波の場合となる。

2) 異種反射波の場合

$PS, SP, PPS$  等の如く異種類の波が反射される場合 ( $SH$  波は與らない)。この場合は更に

2.1) 最初と最後の波相が同じ場合 例:  $-PSP$

2.2) 最初が  $P$  波で最後が  $S$  波の場合 例:  $-PPS$

2.3) 最初が  $S$  波で最後が  $P$  波の場合 例:  $-SSP$

の 3 つの場合に分れる。

何れの場合も、今  $P$  波として反射する回数を  $p$ ,  $S$  波として反射する回数を  $q$ , ( $p+q=n$ ) とすれば、

2.1) では  $i_{0l} = i_0$  なる故

$$\frac{u}{w} = \frac{{}_P U, {}_S U}{{}_P W, {}_S W} {}_P A_P^p \cdot {}_S A_S^q \sqrt{\frac{\tan i_0}{\sin \Delta} \frac{di_0}{d\Delta}} \dots\dots\dots (6)$$

2.2) では

$$\sin i_0 = k \sin i_{0l}, \quad \text{但し } k \equiv V_P/V_S$$

なる故

$$\sqrt{\frac{\sin i_0}{\sin \Delta \cos i_{0l}} \frac{di_0}{d\Delta}} = \sqrt{k \frac{\tan i_{0l}}{\sin \Delta} \frac{di_0}{d\Delta}} = \sqrt{k \frac{\tan i_0}{\sin \Delta} \frac{di_{0l}}{d\Delta}}$$

であつて

$$\frac{u}{w} = \frac{{}_S U}{{}_S W} {}_P A_P^p \cdot {}_S A_S^q \sqrt{k \frac{\tan i_{0l}}{\sin \Delta} \frac{di_0}{d\Delta}} \dots\dots\dots (7)$$

或は  $= \quad \quad \quad \sqrt{k \frac{\tan i_0}{\sin \Delta} \frac{di_{0l}}{d\Delta}} \dots\dots\dots (7')$

2.3) では

$$\sin i_{0l} = k \sin i_0$$

なる故、同様にして

$$\frac{u}{w} = \frac{{}_P U}{{}_P W} {}_P A_P^p \cdot {}_S A_S^q \sqrt{\frac{1}{k} \frac{\tan i_{0l}}{\sin \Delta} \frac{di_0}{d\Delta}} \dots\dots\dots (8)$$

或は  $= \quad \quad \quad \sqrt{\frac{1}{k} \frac{\tan i_0}{\sin \Delta} \frac{di_{0l}}{d\Delta}} \dots\dots\dots (8')$

(3) より (8') 迄の式によつて實際の計算が行はれた。

4. 反射係数の計算 上式に於ける  $A, U, W$  等の反射係数は表層の Poisson 比と震波の地表面入射角とによつて定まる量であるが、假りに Poisson 比を到る所一定とすれば、入射角従つて震央距離のみの函數となる。

入射角の函數としての  $A, U, W$  等の實際的計算は平面波に就て既に多くの人々<sup>(1)</sup>に依つて行はれてゐる。併し何れも本文の目的には入射角の與へ方が粗過ぎるので、著者は松澤博士と同様  $\sigma = 1/4$  の場合に就き、更に入射角の細かい變化に對する之等の量の計算を遂行した。其結果は他の場合の参考にもならうかと思はれるので、第 1 表に示した。但し入射角  $85^\circ$  及  $90^\circ$  の場合は松澤博士の結果を借用したものである。

次節第 2 表に示す如く、 $1^\circ \leq \Delta \leq 103^\circ$  即ち内核に引掛らない直達波の現れる範圍での地表面入射角の變域は大體  $7^\circ < i_0 < 28^\circ$  である。而して  $A, U, W$  等を震央距離  $1^\circ$  毎に與へるためには、之等の量の地表面入射角大體  $1^\circ$  毎の變化を計算して置けばよい。そして其範圍は大體上記の變域でよい譯であるが、他の場合の参考にも資するため第 1 表に示す程度に詳しく計算して置いた。計算式は松澤博士のものに據つた。

5. 地表面入射角と震央距離との關係 兩者の關係に就ては  $\Delta \leq 1500$  km の範圍は和達博士等<sup>(2)</sup>の詳しい値がある。それ以上の遠距離に對しては古い材料によるもの、或は粗い間隔で計算されたものは若干あるが、最近の觀測に基いて計算された詳しいものは見當らない。本文の計算には詳しい値を必要とするので、著者は Gutenberg-Richter の 1939 年走時表<sup>(3)</sup>に據つた。

此走時表は地球の表層 40 km を取除いた内側の部分に對するものであつて、其様な假想的地球の表面に於ける縦波の見掛の速度  $\bar{v}$  が震央距離  $1^\circ$  毎に與へてある。そこで

$$\sin i_0 = (r_0 - 40) v_0 / r_0 \bar{v}$$

の關係により、地表面速度  $v_0$  を與へると、地表面入射角  $i_0$  が假想地球上の震央距離  $1^\circ$  毎に計算出来る。之を實際の地球上の震央距離の函數として表せばよい。それには表層 40 km の厚さに對

(1) L. Geiger und B. Gutenberg, Ueber Erdbebenwellen (前出)

G. W. Walker, Surface Reflection of Earthquake Waves. Phil. Trans. Roy. Soc. London., **218** (1919) 373~393.

H. Jeffreys; Reflection and Refraction of Elastic Waves. M. N. R. A. S. Geoph. Suppl., **1** (1926) 321~334.

松澤武雄, 平面波の表面反射の一例. 地震, **4** (昭 7) 7~21.

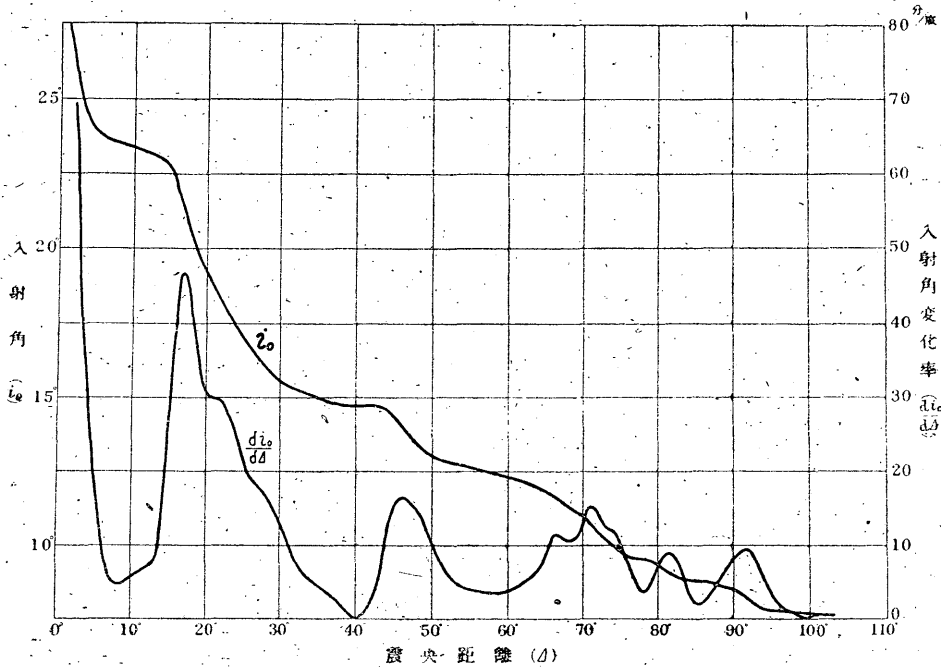
(2) K. Wadati, K. Sagisaka and K. Masuda, On the Travel Time of Earthquake Waves. (Part I) Geoph. Mag., **7** (1933), p. 96~99, Table 2.

(3) B. Gutenberg and C. F. Richter, On Seismic Waves (Forth Paper) Gerl. Beitr. Geoph., **54** (1939). p. 97, Table 1.

する震央距離の補正を施せばよいのであつて、この補正は和達博士等の表を用ひて行ふことが出来る。即ち上の如くして計算された  $i_0$  に對する  $H=40$  km の場合の震央距離  $\delta\Delta$  を同表より求め、之を2倍したものを以て其補正とするのである。

$v_0$  として和達博士等と同様、本多博士<sup>(1)</sup>が與へた値 3.20 km/秒 を採り、震央距離  $1^\circ$  より  $1^\circ$  毎に  $103^\circ$  迄計算した結果は第2表の如くである。  $\Delta=15^\circ$  迄は和達博士等の表により、それ以上は Gutenberg-Richter の表によつて計算したものである。第1圖は第2表の關係を圖示したものであ

第1圖 地表面入射角及入射角變化率



る。圖で見る通り、 $\Delta=15^\circ$  の邊に格別の不連続は生じてゐないが、上述の如く2つの異なる走時曲線を継ぎ合はせたことは確かに問題ではある。Gutenberg-Richter の表のみで最初から計算することも出来るが、同表によると、 $15^\circ$  位より小さな範圍では  $\bar{v}$  の變化が實際有り得ると思はれるよりも餘りに小さく與へられてゐて信を置き難いので、止むを得ず上述の方法を擇んだ。

6.  $di_0/d\Delta$  (3) から (8') 迄の振幅計算式に於て、振幅に最も大きな影響を與へる項は  $di_0/d\Delta$  である。第2表の  $i_0(\Delta)$  函數から  $di_0/d\Delta$  を計算して同表に掲げた。計算は直達波の場合は Comrie の方法<sup>(2)</sup>に據り、同種反射波の場合は同じ震央距離に於て1回反射波は直達波の  $1/2$ 、2回反射波

(1) H. Honda, The Velocity of P Wave in the Surface Layer of the Earth Crust Geoph. Mag., 4 (1931) 29~38.

(2) L. J. Comrie and H. Jeffreys, A Smoothing Device Applied to the New Seismological Tables. M.N.R.A.S. Geoph. Snpl., 3 (1932) 10~13.

は 1/3 等として計算した。異種反射波の場合は夫々の反射波に対する  $i_0-\Delta$  曲線を作つて、それより作圖的に求め、然る後平滑化した<sup>(1)</sup>。

7. 計算結果 上の如くして、直達波 1~3 回同種反射波並びに 1 回異種反射波に就て地表面振幅を計算した結果を第 3~5 表並びに第 2~5 圖に示す。但し振幅は何れも絶対値をとつてある。又振幅の桁数が  $di_0/d\Delta$  の数字と較べ或部分は有効数字を超えて少し多く採過ぎてあるが、之を一々  $di_0/d\Delta$  の有効数字通りにすると、桁数が甚だ不揃となるので、一様に数字 3 桁宛を擧げておいた。

この結果は、第 2 節に斷つた通り、震源に於けるエネルギーに依る項  $K$  及び發震機構に關係する項  $F(\theta, \varphi)$  の影響は何れも除外してある。故に之を實際の地震（淺發地震）に適用するに當つては、場合に應じ、次の如き注意を要する。

第 1 に、或る一つの地震の記象から此曲線を参照して波相を決定しようとする様な場合には、 $P$ 、 $SV$ 、 $SH$  並びに其の同種反射波の振幅は互に同一尺度でないことに注意すること。即ち  $P$  群、 $SV$  群、 $SH$  群の振幅は直接比較してはならないこと。

第 2 に、或る一つの地震の異なる場所に於ける振幅を比較する様な場合には、上の注意の他、各群同志でも振幅は同一尺度でないことに注意すること。

第 3 に、異なる地震につき比較せんとする様な場合には、上の注意の他、更に震源に於けるエネルギーの大きさによつて尺度を變へる必要があること。

但し以上の注意は何れも嚴密な驗測を目的とする場合に對する注意であつて、夫程の嚴密さを要求しない様な比較驗測には、大體の目安として之等の曲線を其まゝ適用してよいであらう。

計算の結果得られた數値と曲線とに就て 2, 3 興味ある事實を指摘すれば

1)  $P$  及び其の同種反射波と  $SV$  及び其の同種反射波とでは、水平動の振幅と上下動の振幅との大小關係が逆である。前者は水平動より上下動が大きく、後者は上下動より水平動が大きい。

2)  $SH$  及び其反射波の振幅は概ね（表では常にであるが、發震機構を考へに入れて） $SV$  及び

(1) 異種反射波の  $di_0/d\Delta$  は直達波のそれを用ひて計算することも出来る。例へば  $PS$  に就ては、その反射地點迄の震央距離を  $\Delta_P$ 、反射地點から先を  $\Delta_S$ 、又  $P$  波としての地表面入射角を  $i_P$ 、 $S$  波としての  $i_S$  とすれば

$$\frac{d\Delta}{di_0} = \frac{d\Delta_P}{di_P} + \frac{d\Delta_S}{di_S}, \quad \frac{d\Delta}{di_0} = \frac{d\Delta_P}{di_S} + \frac{d\Delta_S}{di_P}$$

之等の中  $d\Delta_P/di_P$  及び  $d\Delta_S/di_S$  は夫々第 2 表から震央距離  $\Delta_P$  及び  $\Delta_S$  なる  $di_0/d\Delta$  を求めれば其逆數として與へられる。又簡単な計算により

$$\frac{d\Delta_S}{di_P} = \frac{\cos i_P}{k \cos i_S} \frac{d\Delta_S}{di_S}, \quad \frac{d\Delta_P}{di_S} = \frac{k \cos i_S}{\cos i_P} \frac{d\Delta_P}{di_P}$$

となることが示されるので、之亦上と同様にして求められる。斯の如くして  $PS$  に對する  $di_0/d\Delta$  は直達波の其等より計算されるのである。其他の異種反射波に就ても同様である。

其の同種反射波の振幅より大である。

3) 以上の結果として  $S$  波の水平動の振幅は上下動に比し遙に大きい場合の多いことが頷かれる。

4)  $PS$  と  $SP$  とは走時の上では區別がないが、振幅は圖の如く異なる。即ち水平動に於ては  $PS$  の方が遙かに大きく、上下動に於ては反對に  $SP$  の方が僅かに大きい。この 2 つの相は結局分離不可能乍ら、其大小關係は明かに存するのである。

以上の關係はすべての震央距離に對して成立する。

8. 曲線に関する 2, 3 の注意 上に得た曲線の一部は Gutenberg, Jeffreys 等の曲線と大體同様の傾向を辿つてゐることは、夫々の圖を比較して見れば明瞭である。しかしこのことは本文の計算の基礎がもともと之等觀測者の材料に依つてゐることを考へれば、或程度迄當然のことであつて、殊更に述べ立てる程でもないであらう。

計算された曲線を見ると、相當に凹凸が烈しい。之は結局  $di_0/d\Delta$  の値の定め方に依るものであつて、著者は前述の如く、走時表で  $1^\circ$  毎の地表面入射角を求め（震央距離の極く小なる所は 20 km 毎の値を用ひた）、之より Comrie の方法で  $di_0/d\Delta$  を求めたのであるから、結局  $5^\circ$  宛の値を平滑化したこととなる。しかしそれでも未だ實際の記象との對比に當つては少し不便と思はれる位曲線の凹凸が烈しい。この不便は驗測者が更に適當に曲線を平滑化して使用することによつて避けられ度いと思ふ。

直達波の曲線を見ると、 $\Delta=11^\circ$  邊まで急降し、それから急に上昇して  $\Delta=16^\circ$  邊で極大に達し、以後再び急降してゐる。この急昇部分を除く前後の部分は夫々和達・鷺坂・益田の走時曲線及び Gutenberg-Richter の走時曲線のみによつて計算したところであるから、夫々の急降は其等の走時曲線を是認する限り眞のものであるが、急昇してゐる部分は兩走時表の繋ぎ合せの部分であつて、果して眞のものかどうかは疑問である。前述の如く、之等兩種の曲線は幸に第一次の不連続は現れない程度の平滑を繋ぎ合せが出来るのであるが、その微係數迄が實際のものを表すかどうか、疑の餘地は残るのである。直達波に於ける此部分の不安は又各種反射波の夫々該當する距離の所に現れて來るのであつて、其の影響する所は相當遠くまで及ぶ。この弱點は將來何等かの方法が匡正したいと思ふ。

9. 結 語 走時曲線と併用し、主として遠地々震波相の判定に資する目的で振幅曲線を作製した。本文では地表面地震に對する

- 1)  $P$  及びその同種反射波 (3 回反射波迄)
- 2)  $S$  及び其の同種反射波 (同上,  $SV$  及び  $SH$  に分つ)
- 3) 異種 1 回反射波



の曲線を先づ與へた。その際假定として、地球外殻には不連続面は無いのとし、又地表面に於ける Poisson 比は  $1/4$  で、そこに於ける反射は平面波として行はれるものとした。

計算の結果、 $P$ 、 $S$  並に其の反射波の大小關係が明かにされた。又同時到達波  $PS$  と  $SP$  との振幅の相違が分明した。

之等の曲線は直達波の震央距離  $11^\circ \sim 16^\circ$  に當る範圍で 2 種の走時曲線を繋ぎ合せて得られたので、其部分に多少の不安がある。しかし其正否は、兎も角之等の曲線を実際の觀測と比較することに依つて定まる。驗測家諸氏の使用と批判を御願する次第である。

本計算には本多博士より懇切な御注意を頂き、又長友本間正作氏よりは種々有盛な御助言を得た。實際の計算に當つては仙臺地方氣象臺員諸氏の助力を煩し、川添初嬢は圖表の作製を助けられた。記して深甚の謝意を表す。

(昭和 17 年 11 月 仙臺地方氣象臺にて)

第 1 表 地 表 面 入 射 角 及 反 射 係 數

$\sigma = 1/4$  とす

$i_0(P)$	$i_0(S)$	$PAP = sAs$	$PAs$	$sAP$	$PU$	$PW$	$sU$	$sW$
0°	0°	- 1	0	0	0	2	- 2	0
1	0 35'	- 0.9996	0.0403	- 0.0232	0.0403	1.9997	- 1.9999	0.0232
2	1 09	- 0.9981	0.0805	- 0.0463	0.0806	1.9986	- 1.9994	0.0463
3	1 44	- 0.9958	0.1207	- 0.0698	0.1208	1.9968	- 1.9986	0.0698
4	2 19	- 0.9925	0.1606	- 0.0929	0.1610	1.9941	- 1.9973	0.0930
5	2 53	- 0.9883	0.2004	- 0.1159	0.2011	1.9909	- 1.9959	0.1161
6	3 28	- 0.9832	0.2398	- 0.1389	0.2411	1.9868	- 1.9941	0.1392
7	4 02	- 0.9772	0.2789	- 0.1618	0.2810	1.9821	- 1.9920	0.1622
8	4 37	- 0.9702	0.3177	- 0.1846	0.3208	1.9766	- 1.9896	0.1852
9	5 11	- 0.9624	0.3559	- 0.2073	0.3603	1.9704	- 1.9867	0.2081
10	5 45	- 0.9537	0.3937	- 0.2298	0.3998	1.9635	- 1.9838	0.2310
11	6 20	- 0.9442	0.4309	- 0.2519	0.4390	1.9559	- 1.9804	0.2534
12	6 54	- 0.9338	0.4676	- 0.2739	0.4780	1.9476	- 1.9767	0.2759
13	7 28	- 0.9225	0.5036	- 0.2959	0.5167	1.9386	- 1.9728	0.2985
14	8 02	- 0.9104	0.5389	- 0.3177	0.5553	1.9289	- 1.9685	0.3207
15	8 36	- 0.8977	0.5734	- 0.3388	0.5935	0.9187	- 1.9641	0.3425
16	9 10	- 0.8840	0.6072	- 0.3601	0.6314	0.9076	- 1.9592	0.3646
17	9 43	- 0.8696	0.6401	- 0.3808	0.6690	0.8960	- 1.9541	0.3862
18	10 17	- 0.8544	0.6722	- 0.4017	0.7064	0.8836	- 1.9488	0.4080
19	10 50	- 0.8387	0.7032	- 0.4217	0.7432	0.8707	- 1.9432	0.4291
20	11 23	- 0.8223	0.7334	- 0.4415	0.7797	1.8572	- 1.9374	0.4500
21	11 57	- 0.8048	0.7626	- 0.4618	0.8160	1.8427	- 1.9312	0.4715
22	12 30	- 0.7873	0.7908	- 0.4808	0.8518	1.8282	- 1.9251	0.4918
23	13 02	- 0.7690	0.8179	- 0.4996	0.8870	1.8129	- 1.9186	0.5120
24	13 35	- 0.7500	0.8439	- 0.5185	0.9220	1.7968	- 1.9119	0.5324
25	14 08	- 0.7305	0.8688	- 0.5368	0.9565	1.7803	- 1.9050	0.5523
26	14 40	- 0.7106	0.8926	- 0.5546	0.9904	1.7634	- 1.8981	0.5717
27	15 12	- 0.6900	0.9152	- 0.5725	1.0239	1.7457	- 1.8908	0.5913
28	15 44	- 0.6693	0.9366	- 0.5895	1.0568	1.7278	- 1.8835	0.6101
29	16 15	- 0.6479	0.9568	- 0.6065	1.0893	1.7091	- 1.8760	0.6290
30	16 47	- 0.6262	0.9758	- 0.6230	1.1212	1.6900	- 1.8684	0.6475
32	17 49	- 0.5820	1.0101	- 0.6547	1.1831	1.6506	- 1.8531	0.6831
34	18 50	- 0.5368	1.0393	- 0.6850	1.2426	1.6096	- 1.8375	0.7174
36	19 50	- 0.4909	1.0635	- 0.7133	1.2996	1.5670	- 1.8220	0.7502
38	20 49	- 0.4444	1.0826	- 0.7413	1.3540	1.5230	- 1.8065	0.7816
40	21 47	- 0.3976	1.0968	- 0.7675	1.4056	1.4777	- 1.7912	0.8115
42	22 43	- 0.3513	1.1060	- 0.7925	1.4542	1.4315	- 1.7767	0.8396
44	23 39	- 0.3052	1.1105	- 0.8166	1.4999	1.3843	- 1.7629	0.8661
46	24 32	- 0.2636	1.1104	- 0.8394	1.5418	1.3370	- 1.7507	0.8901
48	25 24	- 0.2168	1.1058	- 0.8618	1.5809	1.2886	- 1.7395	0.9127
50	26 15	- 0.1746	1.0970	- 0.8838	1.6162	1.2402	- 1.7305	0.9332
52	27 04	- 0.1341	1.0843	- 0.9056	1.6479	1.1915	- 1.7235	0.9515
54	27 51	- 0.0961	1.0680	- 0.9277	1.6756	1.1431	- 1.7197	0.9675
56	28 36	- 0.0609	1.0483	- 0.9504	1.6990	1.0950	- 1.7193	0.9810
58	29 19	- 0.0287	1.0256	- 0.9743	1.7179	1.0473	- 1.7232	0.9918
60	30 00	0	1	- 1	1.7321	1	- 1.7321	1
65	31 33	+ 0.0532	0.9255	- 1.0775	1.7433	0.8844	- 1.7833	1.0065
70	32 52	+ 0.0718	0.8376	- 1.1878	1.7107	0.7719	- 1.8958	0.8877
75	33 54	+ 0.0389	0.7343	- 1.3598	1.6130	0.6583	- 2.1112	0.9313
80	34 39	- 0.0790	0.6028	- 1.6486	1.4029	0.5301	- 2.5112	0.8100
85	35 07	- 0.355	0.402	- 2.181	0.971	0.349	- 3.28	0.5620
90	35 16	- 1	0	- 3.267	0	0	- 4.899	0

第 2 表

$\Delta$	$i_0$	$di_0/d\Delta$	$\Delta$	$i_0$	$di_0/d\Delta$	$\Delta$	$i_0$	$di_0/d\Delta$
1°	27° 58'	*540 %	36°	14° 50'	3.6 %	71°	10° 36'	15.2 %
2	25 40	* 68.0	37	14 46	2.9	72	10 22	14.0
3	24 46	* 41.7	38	14 43	1.7	73	10 08	12.2
4	24 05	29.6	39	14 43	0.6	74	9 58	11.9
5	23 46	16.5	40	14 43	0.0	75	9 47	10.1
6	23 42	7.9	41	14 43	0.8	76	9 33	7.3
7	23 35	4.9	42	14 43	2.6	77	9 30	5.1
8	23 31	5.2	43	14 39	6.9	78	9 30	3.5
9	23 27	4.9	44	14 32	11.5	79	9 23	5.3
10	23 20	5.5	45	14 14	14.7	80	9 19	7.6
11	23 16	6.3	46	13 57	16.5	81	9 09	9.0
12	23 09	6.7	47	13 43	15.8	82	8 59	8.9
13	23 01	( 7.5)	48	13 25	14.6	83	8 48	6.2
14	(22 54)	(14.3)	49	13 11	12.5	84	8 45	3.1
15	(22 46)	(26.9)	50	13 00	9.6	85	8 45	2.0
16	22 05	(40.3)	51	12 53	7.8	86	8 45	2.1
17	21 10	46.5	52	12 46	5.6	87	8 38	3.5
18	20 20	42.3	53	12 39	4.9	88	8 38	4.3
19	19 45	35.6	54	12 39	4.3	89	8 31	5.3
20	19 16	30.5	55	12 32	3.9	90	8 27	7.8
21	18 44	29.6	56	12 28	4.3	91	8 17	9.1
22	18 18	29.6	57	12 25	3.5	92	8 06	9.7
23	17 46	27.9	58	12 21	3.5	93	7 56	7.9
24	17 17	25.3	59	12 18	3.5	94	7 49	5.0
25	16 55	21.4	60	12 14	3.5	95	7 46	3.1
26	16 37	18.8	61	12 11	4.3	96	7 46	1.8
27	16 19	17.8	62	12 07	5.3	97	7 42	1.2
28	16 01	16.3	63	12 00	5.6	98	7 42	0.8
29	15 44	15.0	64	11 53	6.6	99	7 42	0.0
30	15 33	12.6	65	11 50	9.0	100	7 42	0.6
31	15 18	10.2	66	11 39	11.2	101	7 42	0.9
32	15 11	8.6	67	11 22	11.2	102	7 39	
33	15 04	6.2	68	11 11	10.4	103	7 39	
34	14 57	5.2	69	11 08	10.9			
35	14 54	4.3	70	10 54	13.0			

\* 印は外挿値

第 3 表 直 達 波 及 同 種 1 回 反 射 波

$\Delta$	$\dot{P}$		$S_V$		$S_H$	$\Delta$	$PP$		$SS_V$		$SS_H$
	$u$	$w$	$u$	$w$	$u$		$u$	$w$	$u$	$w$	$u$
2	29.93	54.10	53.12	28.15	61.20	4	10.74	19.42	5.42	2.88	30.60
4	12.74	24.73	24.19	12.10	27.54	8	4.77	9.25	3.42	1.72	13.78
6	5.25	10.38	10.15	4.99	11.57	12	1.99	3.97	1.54	0.757	5.78
8	3.66	7.29	7.13	3.48	8.08	16	1.39	2.77	1.11	0.543	4.04
10	3.33	6.69	6.54	3.16	7.40	20	1.27	2.56	1.06	0.511	3.72
12	3.22	6.54	6.39	3.07	7.22	24	1.28	2.61	1.10	0.528	3.76
14	4.415	9.075	8.875	4.215	10.00	28	1.73	3.55	1.55	0.737	5.08
16	6.50	13.88	13.58	6.23	15.20	32	2.57	5.50	2.62	1.20	7.66
18	5.64	13.19	12.92	5.45	14.24	36	2.36	5.52	3.07	1.30	7.30
20	4.20	10.42	10.22	4.08	11.16	40	1.81	4.48	2.73	1.09	5.76
22	3.59	9.52	9.24	2.99	10.02	44	1.61	4.24	2.73	1.04	5.30
24	2.99	8.19	8.16	2.34	8.80	48	1.35	3.76	2.59	0.925	4.60
26	2.34	6.70	6.70	2.00	7.16	52	1.08	3.14	2.24	0.767	3.78
28	2.00	5.94	5.94	1.63	6.32	56	0.939	2.83	2.07	0.684	3.36
30	1.63	5.07	5.00	2.23	5.30	60	0.777	2.42	1.81	0.579	2.84
32	1.26	4.02	3.97	1.24	4.20	64	0.612	1.955	1.49	0.465	2.28
34	0.932	3.02	2.98	0.917	3.15	68	0.460	1.49	1.15	0.352	1.73
36	0.745	2.44	2.41	0.734	2.54	72	0.374	1.22	0.94	0.288	1.42
38	0.496	1.63	1.61	0.488	1.70	76	0.357	1.175	0.911	0.275	1.36
40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
42	0.589	1.94	1.92	0.580	2.02	84	0.308	1.015	0.787	0.238	1.17
44	1.19	3.98	3.93	1.18	4.14	88	0.634	2.12	1.66	0.497	2.44
46	1.32	4.61	4.56	1.305	4.78	92	0.721	2.51	2.01	0.575	2.86
48	1.16	4.20	4.15	1.14	4.34	96	0.645	2.34	1.91	0.525	2.64
50	0.879	3.29	3.26	0.869	3.40	100	0.506	1.90	1.57	0.417	2.12
52	0.645	2.465	2.44	0.638	2.54	104	0.380	1.45	1.21	0.316	1.62
54	0.548	2.12	2.10	0.543	2.18	108	0.332	1.28	1.07	0.277	1.42
56	0.531	2.08	2.06	0.525	2.14	112	0.330	1.29	1.09	0.277	1.43
58	0.467	1.85	1.83	0.463	1.90	116	0.299	1.18	0.996	0.252	1.31
60	0.456	1.82	1.80	0.451	1.87	120	0.301	1.20	1.02	0.254	1.32
62	0.649	1.22	2.20	0.544	2.28	124	0.373	1.50	1.28	0.315	1.66
64	0.589	1.425	2.41	0.584	2.49	128	0.415	1.71	1.46	0.355	1.88
66	0.738	3.10	3.08	0.731	3.18	132	0.544	2.29	1.97	0.468	2.50
68	0.665	2.91	2.89	0.659	2.98	136	0.512	2.25	1.96	0.447	2.44
70	0.711	3.19	3.17	0.704	3.26	140	0.575	2.58	2.27	0.505	2.79
72	0.679	3.22	3.19	0.674	3.28	144	0.582	2.76	2.46	0.518	2.96
74	0.587	2.90	2.88	0.584	2.95	148	0.532	2.60	2.36	0.479	2.80
76	0.432	2.22	2.21	0.429	2.26	152	0.421	2.17	1.965	0.382	2.30
78	0.294	1.52	1.51	0.293	1.55	156	0.309	1.61	1.45	0.281	1.70
80	0.421	2.22	2.21	0.419	2.26	160	0.483	2.55	2.33	0.306	2.70
82	0.427	2.34	2.33	0.426	2.38	164	0.554	3.035	2.785	0.509	3.20
84	0.243	1.37	1.36	0.242	1.39	168	0.362	2.04	1.88	0.334	2.14
86	0.199	1.12	1.12	0.199	1.14	172	0.365	2.055	1.895	0.337	2.16
88	0.279	1.59	1.59	0.279	1.62	176	0.825	4.115	3.81	0.669	4.32
90	0.365	2.13	2.12	0.364	2.16	180	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
92	0.382	2.32	2.31	0.381	2.35	184	0.991	6.02	5.63	0.926	6.29
94	0.260	1.64	1.635	0.260	1.66	188	0.479	3.02	2.83	0.449	3.14
96	0.155	0.983	0.980	0.155	0.994	192	0.233	1.48	1.39	0.219	1.54
98	0.102	0.653	0.650	0.102	0.660	196	0.135	0.865	0.814	0.127	0.894
100	0.088	0.566	0.564	0.088	0.572	200	0.105	0.673	0.633	0.099	0.675

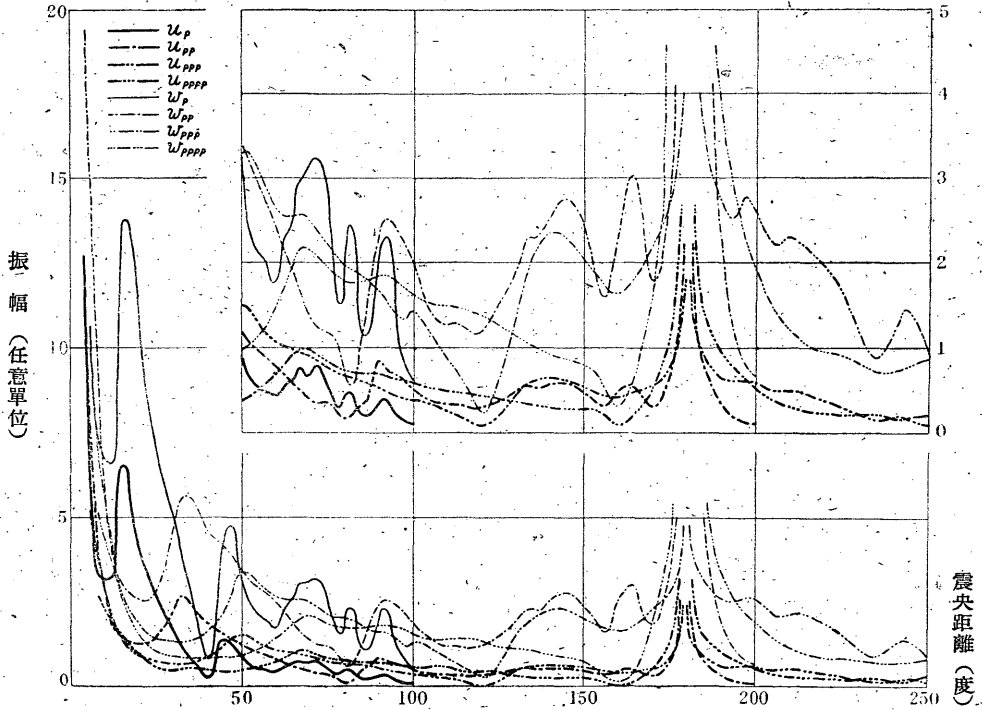
第 4 表 同種 2 回 及 3 回 反 射 波

$\Delta$	PPP		SSSV		SSSH	$\Delta$	PPPP		SSSSV		SSSSH
	u	w	u	w	u		u	w	u	w	u
6	5.16	9.32	0.738	0.391	20.44	8	2.77	5.01	0.113	0.060	15.32
12	2.33	4.53	0.636	0.317	9.02	16	1.34	2.60	0.138	0.069	6.92
18	1.00	1.98	0.312	0.153	3.86	24	0.571	1.13	0.071	0.035	2.92
24	0.709	1.41	0.234	0.114	2.72	32	0.407	0.813	0.055	0.028	2.06
30	0.652	1.31	0.227	0.111	2.50	40	0.422	0.848	0.062	0.030	2.12
36	0.665	1.35	0.245	1.118	2.54	48	0.421	0.855	0.067	0.032	2.10
42	0.912	1.87	0.364	1.173	3.48	56	0.544	1.18	0.097	0.046	2.70
48	1.43	3.06	0.713	1.327	5.42	64	0.885	1.89	0.213	0.098	4.26
54	1.34	3.14	0.998	1.424	5.08	72	0.877	2.05	0.373	0.158	4.06
60	1.06	2.62	0.988	1.394	4.04	80	0.713	1.77	0.415	0.166	3.28
66	0.977	2.57	1.09	0.412	3.78	88	0.691	1.81	0.507	0.191	3.14
72	0.841	2.34	1.13	0.403	3.32	96	0.618	1.72	0.579	0.207	2.82
78	0.691	2.01	1.035	0.355	2.76	104	0.526	1.53	0.570	0.196	2.40
84	0.617	1.86	1.015	0.335	2.50	112	0.489	1.48	0.598	0.197	2.24
90	0.526	1.64	0.931	0.298	2.16	120	0.438	1.37	0.589	0.189	2.02
96	0.426	1.36	0.799	0.250	1.77	128	0.370	1.18	0.537	0.168	1.72
102	0.412	1.33	0.799	0.246	1.73	136	0.303	0.982	0.457	0.141	1.41
108	0.280	0.917	0.555	0.169	1.18	144	0.273	0.892	0.422	0.129	1.27
114	0.192	0.633	0.385	0.117	0.810	152	0.208	0.687	0.328	0.099	0.974
120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
126	0.252	0.830	0.504	0.153	1.06	168	0.388	1.28	0.610	0.185	1.81
132	0.544	1.82	1.13	0.338	2.32	176	1.39	4.63	2.27	0.680	6.54
138	0.656	2.29	1.43	0.423	2.86	184	1.60	5.68	2.92	0.835	7.66
144	0.633	2.30	1.55	0.424	2.82	192	0.846	3.07	1.70	0.467	4.10
150	0.537	2.01	1.39	0.370	2.44	200	0.516	1.93	1.13	0.296	2.54
156	0.444	1.70	1.19	0.310	2.04	208	0.331	1.27	0.744	0.194	1.64
167	0.441	1.70	1.20	0.311	2.04	216	0.257	0.991	0.588	0.152	1.28
168	0.528	2.07	1.47	0.375	2.46	224	0.233	0.913	0.550	0.140	1.17
174	0.668	2.64	1.89	0.477	3.13	232	0.196	0.774	0.472	0.119	0.986
180	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	240	0.185	0.738	0.455	0.114	0.936
186	0.802	3.24	2.35	0.581	3.82	248	0.217	0.876	0.545	0.135	1.11
192	0.615	2.54	1.87	0.453	2.98	256	0.231	0.952	0.603	0.147	1.20
198	0.645	2.71	2.03	0.482	3.16	264	0.292	1.28	0.794	0.189	1.52
204	0.511	2.24	1.72	0.391	2.58	272	0.267	1.17	0.789	0.180	1.43
210	0.505	2.29	1.79	0.429	2.58	280	0.292	1.31	0.907	0.202	1.59
216	0.449	2.12	1.67	0.358	2.40	288	0.291	1.38	0.989	0.208	1.64
222	0.370	1.83	1.48	0.301	2.04	296	0.265	1.305	0.958	0.195	1.53
228	0.260	1.34	1.11	0.215	1.48	304	0.204	1.05	0.794	0.154	1.22
234	0.172	0.891	0.737	0.143	0.984	312	0.149	0.770	0.582	0.112	0.888
240	0.238	1.26	1.05	0.199	1.38	320	0.230	1.21	0.929	0.176	1.39
246	0.239	1.31	1.11	0.202	1.43	328	0.262	1.43	1.12	0.205	1.63
252	0.133	0.751	0.641	0.114	0.818	336	0.170	0.959	0.759	0.135	1.08
258	0.108	0.610	0.521	0.093	0.664	344	0.170	0.959	0.759	0.135	1.08
264	0.172	0.859	0.738	0.130	0.934	352	0.384	1.92	1.53	0.269	2.16
270	0.196	1.15	0.991	0.170	1.24	360	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
276	0.207	1.26	1.11	0.182	1.36	368	0.466	2.83	2.33	0.383	3.15
282	0.145	0.914	0.807	0.128	0.978	376	0.227	1.43	1.19	0.189	1.58
288	0.086	0.548	0.485	0.076	0.586	384	0.111	0.706	0.590	0.093	0.778
294	0.057	0.363	0.322	0.050	0.388	392	0.064	0.410	0.345	0.054	0.452
300	0.051	0.329	0.293	0.046	0.352	400	0.051	0.325	0.273	0.043	0.358

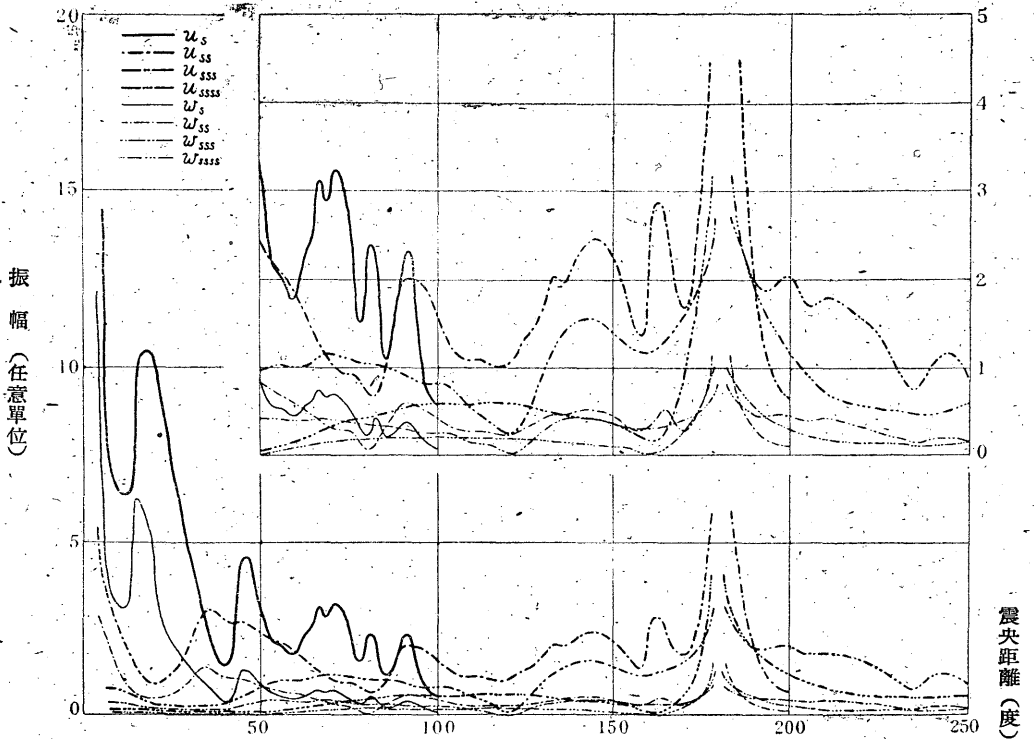
第 5 表 異 種 1 回 反 射 波

$\Delta$	$\Delta P$	$di_0/d\Delta$	PS		SP	
			$u$	$w$	$u$	$w$
30°	1.0°	5.4分/度	5.55	1.80	1.13	1.58
46	1.9	8.9	5.46	1.64	1.02	1.82
48	2.4	9.1	5.21	1.51	0.932	1.74
50	3.3	8.1	4.71	1.33	0.815	1.57
52	4.5	5.8	3.85	1.05	0.659	1.28
54	6.0	3.2	2.79	0.766	0.468	0.924
56	7.7	2.0	2.14	0.594	0.358	0.720
58	9.3	1.7	1.92	0.519	0.319	0.636
60	11.0	2.7	2.40	0.651	0.399	0.803
62	12.5	2.8	2.40	0.643	0.394	0.800
64	14.0	2.9	2.44	0.650	0.397	0.812
66	15.0	3.6	2.63	0.696	0.426	0.868
68	15.6	4.0	2.70	0.697	0.433	0.879
70	15.9	4.0	2.67	0.683	0.419	0.878
72	16.1	4.0	2.63	0.671	0.405	0.880
74	16.2	4.0	2.62	0.665	0.397	0.885
76	16.4	4.1	2.63	0.665	0.398	0.895
78	16.6	4.5	2.68	0.670	0.405	0.907
80	17.0	5.1	2.77	0.677	0.413	0.922
82	17.4	5.7	2.86	0.686	0.418	0.945
84	17.9	6.2	2.89	0.687	0.416	0.968
86	18.6	6.5	2.86	0.664	0.400	0.960
88	19.4	6.7	2.82	0.641	0.386	0.939
90	20.3	7.0	2.82	0.628	0.379	0.945
92	21.1	7.7	2.84	0.621	0.371	0.952
94	22.1	7.9	2.81	0.597	0.356	0.936
96	23.1	7.3	2.62	0.541	0.322	0.895
98	23.9	6.3	2.37	0.479	0.285	0.801
100	24.7	5.2	2.10	0.413	0.247	0.691
102	25.5	4.2	1.84	0.353	0.213	0.605
104	26.2	3.6	1.70	0.334	0.192	0.572
106	26.9	3.8	1.75	0.341	0.197	0.593
108	27.5	4.6	1.87	0.349	0.210	0.615
110	28.3	4.3	1.77	0.335	0.194	0.583
112	29.2	3.3	1.52	0.277	0.164	0.509
114	30.1	2.6	1.32	0.247	0.140	0.448
116	30.8	2.4	1.30	0.236	0.137	0.438
118	31.7	2.6	1.34	0.238	0.141	0.446
120	32.9	2.3	1.24	0.220	0.129	0.416
122	34.0	1.6	1.08	0.187	0.112	0.353
124	35.2	1.3	0.927	0.160	0.097	0.311
126	36.5	1.0	0.765	0.135	0.081	0.265
128	38.0	0.4	0.525	0.090	0.056	0.188
130	40.0	0.1	0.252	0.044	0.026	0.083
132	42.0	1.2	0.944	0.170	0.095	0.314
134	43.6	3.4	1.62	0.274	0.161	0.531
136	44.7	4.2	1.75	0.292	0.173	0.582
138	45.7	3.4	1.58	0.259	0.152	0.529
140	46.6	2.4	1.34	0.216	0.127	0.445
142	47.3	1.7	1.09	0.174	0.102	0.363
144	47.7	1.1	0.891	0.138	0.083	0.301
146	48.0	0.7	0.710	0.109	0.065	0.234

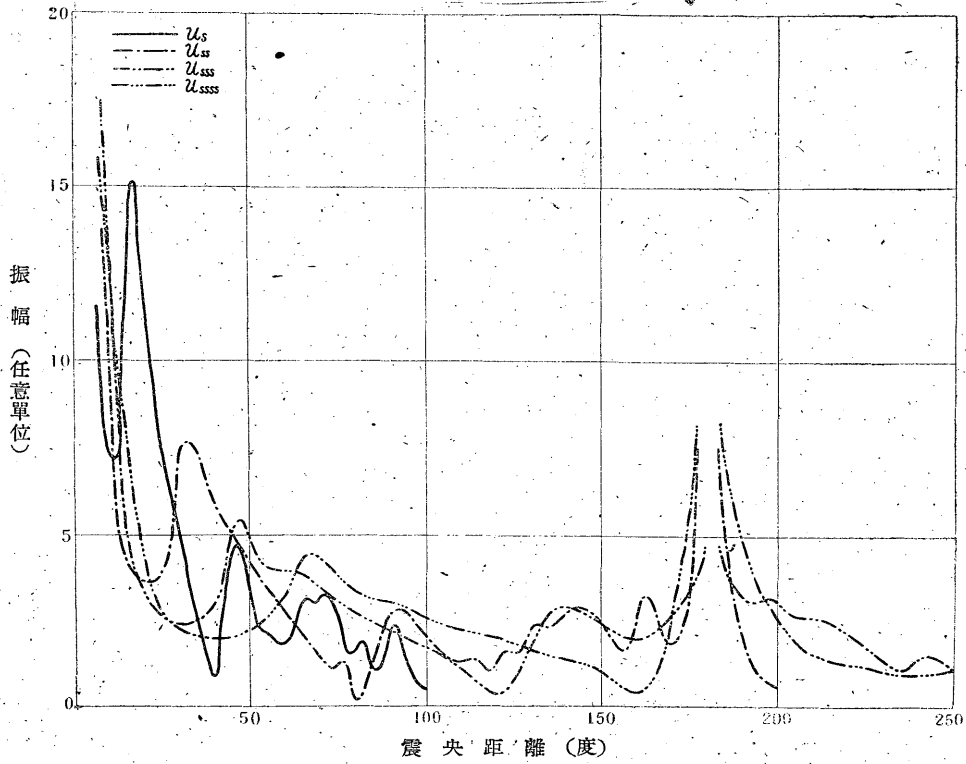
第 2 圖 振幅曲線 (其の 1) P 及び其の同種反射波



第 3 圖 振幅曲線 (其の 2) SV 及び其の同種反射波



第 4 圖 振幅曲線 (其の 4)  $SH$  及び其の同種反射波



第 5 圖 振幅曲線 (其の 4) 異種 1 回反射波

