地震波の走時に就いて (第二報)⁽¹⁾

和 達 清 夫, 沖 住 雄

On the Travel Time of Earthquake Waves. (Part II).

By K. WADATI and S. OKI.

Abstract.—In the previous report, time-distance curves of P-wave are obtained by some large earthquakes of both shallow and deep origins occurred in our country. Then the “Japanese mean time-distance curve of P” is determined and discussed comparing with other some curves which were already obtained by foreign authors. In the present report, the time-distance curve of S-wave is obtained by the large deep-focus earthquake of Mar. 29, 1928, and its “reduced time-distance curve” is also made. It is generally known that a distinct phase of S is sometimes very difficult to find in the seismograms observed in the case of shallow earthquake. In the present investigation, it is found to be still difficult to get an accurate time-distance curve even by the earthquake (1930, V. 24) having the focal depth of 85 km.

From two time-distance curves of P and S, the propagating velocities of seismic waves in the earth crust are calculated by well-known Herglotz and Wiechert's method. The result thus obtained may be seen in the tables as well as the illustrations shown in the following part written in Japanese. These values obtained by us are nearly similar to those of E. Wiechert, B. Galitzin, C. G. Knott and others, especially to those of H. Witte which were deduced from the time-distance curves recently obtained by H. Jeffreys. Indeed, this investigation is nothing but a usual calculation sometimes tried by seismologists, but our present result is considered to be worthy of notice on the point of accuracy.

I. 緒 言

第一報⁽²⁾に於いて著者等は、近年我が國附近に發現したる世界的大地震を材料とし、P波の走時に就いて震央距離約 100° までの範圍に於ける調査をなした。第二報に於いてはそれに續いて S 波の走時に就いて同様の調査をなし尙進んで P, S 兩波の地殻 内部に於ける傳播速度を求め地球内部の構造に對して 若干の結果を得た。勿論 之等の方法及び結果は決して新しいものではないが、最近の近地及び遠地の觀測を基礎に置き震源位置及び始震時に特に注意した所に、從來のものに比し多少其の精度が勝ると考へられる。第一報に於いて震源の浅い地震及び深發地震双方に就いて P 波の走時が研究されて居るが、第二報に

(1) 中央氣象臺彙報

(2) 和達清夫, 沖 住雄: 地震波の走時に就いて(第一報), 本誌第 2 輯, 第 10 卷, 第 9 號.

於ける S 波の走時の調査は單に深發地震に就いてのみ行はれて居る。何となれば、一般に走時の研究に際し最も困難な問題の一つは、地震計の記象の不分明に關するものであるが、特に S 波の場合にはその相がそれ以前に到着せる波群の攪亂を受け、爲に相の發現の判定に就いて甚だしき困難に遭遇する事が多い。この事は震源の浅い地震程著しく、屢々 S 相を読み取る事が不可能となる事がある。然るに深發地震に於いては、其の重要な特徴の一として知られて居る如く、殆んど常に S 相が明瞭に鋭く記象されるので、現在の調査に於いては深發地震⁽¹⁾(第一報に於いて P 波の調査に用ゐしものと同一地震)を材料として調査を進めたのである。

一般に震源の深さがかなり大なる地震の走時曲線を基として、震源が地表にある場合に得られるであらう所の走時曲線を求める爲に、S. Mohorovičić 氏の所謂“還元走時曲線”を得る方法に依つて之をなす時は、震央距離の小なる所に於いて走時曲線が缺如して来る。之を補ふには理想よりすれば地表面に震源を有する地震の走時を用ゐるのであるが、前述の如き S 相不分明なる事情に依り、著者等は震源の深さ約 85 軒位の地震⁽²⁾の走時を研究して見たのであるが、各観測所より S 相として報告せられて居るものを驗するに、其等の値は互に著しく散在し S 波の充分信用度ある走時曲線を引く事が不可能であつた。即この程度の深さの地震の記象にてもまだ浅い地震と同様に S 相が十分に明瞭でないのである。之に依つて見ても S 波の走時を研究するには深發地震に依るのが最も精確なる事を察知し得るであらう。

斯くて第一報に P 波の、而して今また S 波の走時曲線を得たる故に、Herglotz-Wiechert の方法に依り地殻内部に於ける之等兩波の速度が求められた。其の精度に於いて從來のこの種の調査に比して勝れるものあるを信じ此處に報告する次第である。

II. 深發地震の走時曲線 (S 波の部)

此處に調査された深發地震は昭和 3 年 3 月 29 日 14 時 6 分頃八丈島西南沖に起つた深さ約 400 軒の地震である。その⁽³⁾震央、震源の深さ、始震時、震央より各観測所迄の距離及び P, S 兩波の到着時刻(近地観測の)等は第一報に記載してある故此處には省略する。又遠地観測の値は I. S. S.⁽⁴⁾に依る事第一報と同じである。

之等の材料に依りて求められた震央距離 100° 迄の S 波の走時曲線は第 1 圖に示すが如

- (1) 昭和 3 年 3 月 29 日八丈島西南沖に起りたる深發地震、震源の深さ約 400 軒。
- (2) 昭和 5 年 5 月 24 日 1 時 38 分頃大島南方沖に起りたる地震。和達清夫：—地震 P 波及び S 波の速度の比と其の應用、本誌第 2 輯、第 10 卷、第 9 號、543-546 頁參照。
- (3) 第一報、526-529 頁。
- (4) International Seismological Summary for 1929 Jan., Feb., March. p. 94-96.

きものである。同圖には尙走時曲線の傾斜より得られる $\frac{dT_s}{d\Delta}$ の値を示す曲線、及び還元

第 1 圖

走時曲線が示されて居る。還元走時曲線は常に見る如く震央距離の小なる所に於いて缺如して居るが、現在の場合には震央距離約 16° 附近より曲線が始まつて居る。

此の缺如部分は此の調査では震源の深さより浅い地殻内に於いて、S波の速度をある假定に依つて定める事により補つて居る。即 P, S 兩波の速度の比が到る處一定であつて、丁度震源の深さの層に於けるこの比の値に等しいと云ふ假定がなされて居る。即今 P 波の走時を T_p , S 波の走時を T_s , 速度を夫々 V_p, V_s とすれば、此の層を通過するあらゆる震波線に對して次の關係が假定される。

$$\frac{T_s}{T_p} = \frac{V_p}{V_s} = K$$

此處で K はある一定値である。P 波の走時は既に第一報に見られる如き値が求められて居るのであるから、 K の値を定めれば震央距離 0° より 16° 迄の S 波の走時は定まる。本調査にては K の値として、1.794 なる値が上述の假定より求められ以後の計算に用ゐられて

(1) 還元走時曲線の缺如して居る部分の震央距離は、原走時曲線の彎曲點の震央距離の二倍に相當し、この量の大小は震源の深さに關係することは云ふ迄もない。第一報 P 波の場合は此の彎曲點の震央距離は約 8° に、第二報の S 波の場合は約 9° に求められた。後に震央距離と頂點深度との關係を示す圖(第 5 圖)があるが其れに依れば前者のは震源の深さ約 300 軒後者は約 360 軒を示す事となる。元來此の地震の震源の深さは種々の調査から約 400 軒と云はれて居るが、若し 400 軒程度が眞とすれば彎曲點の定め方が此の調査に於いて稍震央距離小なる所に取り過ぎた傾向がある。蓋し走時曲線の彎曲點の位置を決めることは頗る困難な事にて此の程度の誤差は止むを得ぬ所であらう。此の調査に於いては還元走時曲線を作製する際 P, S 兩方の場合共彎曲點の震央距離は 8° として處理した。(9° とした方が正しかつたであらう)。但し彎曲點の位置を此の程度に誤ることは、震源の深さを求める場合には重大なことであるが、地殻内部に於ける震波速度を決定せんとする現在の目的に對しては大なる影響はない。

第 1 表 深発地震(深さ約 400 軒)の S 波走時 T_s , $\frac{dT_s}{d\Delta}$, 及び還元走時 T_s' の表

Δ	T_s	$\frac{dT_s}{d\Delta}$	T_s'	Δ	T_s	$\frac{dT_s}{d\Delta}$	T_s'
0°	m s	sec/deg	s	0°	m s	sec/deg	m s
1	27.0	0.00	(0.0)	51	15 6.8	13.57	16 22.0
2	42.0	12.25	(1 5.1)	52	20.2	13.50	35.4
3	56.5	14.62	(33.3)	53	33.6	13.42	49.2
4	11.3	16.30	(58.9)	54	46.9	13.34	17 2.8
5	27.6	17.75	(2 24.8)	55	16 0.3	13.24	16.0
6	46.0	19.00	(49.2)	56	13.7	13.15	29.2
7	5.0	20.12	(3 15.5)	57	27.0	13.04	42.6
8	25.8	20.90	(40.1)	58	40.0	12.93	55.7
9	47.0	21.10	(4 5.2)	59	52.8	12.82	18 8.9
10	8.0	20.93	(29.6)	60	17 5.2	12.70	21.8
11	28.7	20.67	(54.8)	61	13.0	12.58	34.8
12	49.4	20.38	(5 19.3)	62	30.2	12.45	47.4
13	9.2	20.08	(42.7)	63	42.8	12.32	19 0.0
14	28.8	19.75	(6 6.0)	64	55.0	12.18	12.3
15	48.6	19.40	(29.3)	65	18 7.1	12.05	24.6
16	8.2	19.04	51.3	66	19.0	11.92	37.0
17	27.7	18.67	7 12.7	67	30.8	11.78	49.2
18	45.8	18.29	33.3	68	42.7	11.64	20 1.2
19	3.7	17.94	54.6	69	54.2	11.50	13.0
20	21.2	17.60	8 14.4	70	19 5.8	11.36	25.0
21	38.8	17.30	34.2	71	17.1	11.23	36.7
22	55.9	17.00	53.8	72	28.3	11.09	48.0
23	13.0	16.75	9 12.4	73	39.2	10.96	59.5
24	29.5	16.51	31.5	74	50.0	10.83	21 10.6
25	45.7	16.30	49.0	75	20 0.8	10.70	21.7
26	1.7	16.10	10 6.6	76	11.4	10.58	32.3
27	17.8	15.90	23.8	77	22.0	10.46	42.8
28	33.6	15.74	40.7	78	32.3	10.35	53.1
29	49.4	15.57	57.2	79	42.5	10.24	22 3.8
30	10 4.9	15.42	11 13.3	80	52.6	10.14	14.0
31	20.3	15.28	29.3	81	21 2.8	10.04	24.2
32	35.5	15.15	45.0	82	12.8	9.95	34.5
33	50.6	15.02	12 0.7	83	22.8	9.86	44.5
34	5.4	14.91	16.2	84	32.5	9.78	54.7
35	20.0	14.80	32.0	85	42.2	9.70	23 4.7
36	34.9	14.70	47.0	86	52.0	9.62	14.4
37	49.5	14.61	13 2.0	87	1.7	9.55	24.3
38	4.0	14.52	17.0	88	11.4	9.49	34.0
39	18.5	14.44	32.0	89	21.0	9.43	43.8
40	32.8	14.36	46.4	90	30.4	9.37	53.3
41	47.2	14.29	14 0.7	91	39.8	9.32	24 3.0
42	1.8	14.22	15.2	92	49.2	9.26	12.2
43	16.1	14.15	29.8	93	58.6	9.21	22.0
44	30.1	14.08	44.2	94	7.7	9.16	31.0
45	44.2	14.01	58.5	95	16.8	9.12	40.2
46	58.2	13.94	15 12.6	96	26.0	9.08	49.0
47	12.0	13.87	26.7	97	35.0	9.04	58.2
48	25.9	13.80	40.3	98	44.0	9.00	7.0
49	39.7	13.73	54.0	99	53.0	8.96	16.0
50	53.3	13.65	16 8.0	100	24 2.0	8.93	25.0

居る。

斯くして得られた還元走時曲線より震央距離 1° 毎の走時を求め表示したものが第 1 表である。⁽¹⁾ 尙同表には $\frac{dT_s}{d\Delta}$ の値、及びこの深發地震より直接得られた原の走時をも併示して、同表に於いて括弧を附した値は上述の假定の下に得られた範圍の値である。第 1 圖に於いて見らるゝ如く、走時曲線は震央距離 75° の邊より二本に分岐して居る。この中に於いて走時の早い方の曲線は或は $\overline{S_0P_0S}$ ではないかと考へられるが、この波に就いては次の機會の調査に譲る。

III. S 波走時曲線の偏差、即從來求められし諸走時曲線との比較

第一報に於いて P 波に就いて爲したが如く今度の S 波に就いても、G. Krumbach 氏に依り求められた Jena 平均走時曲線⁽²⁾を基準として、他の種々なる走時曲線を比較してみる事にする。此の結果は第 2 圖に示されて居るが同圖に於いては、(1) 現在の調査により得たる深發地震の還元走時曲線、(2) B. Gutenberg 氏の平均走時曲線、⁽³⁾ (3) H. H. Turner 氏が I.S.S. に標準として使用せる走時曲線、⁽⁴⁾ (4) H. Jeffreys 氏が最近發表せる走時曲線、⁽⁵⁾之等四曲線が Jena 平均走時曲線を基準として其の偏差 (Abweichung) が示されて居るのである。このうち Turner 氏のものは古くより屢々使用されたる Zöppritz Geiger⁽⁶⁾兩氏に依り求められたる走時曲線を單に細かく表示したものらしく思はれる。故に此處に後者を圖示する事を省略する⁽⁷⁾。又 H. Jeffreys 氏の走時曲線なるものは最も近時求められたもので、I. S. S. に掲載された地震の中にて甚だ充分に觀測されたと思はれる地震 85 回に就いて、夫々の走時を平滑した結果得られたものである。尙第 2 圖に於いて上方に書かれて居る曲線は其の走時が小さい、換言すれば震波の傳播が速い様に求められた場合である。

諸、第 2 圖に示された走時曲線の偏差に就いて考察するのであるが、走時曲線の偏差に對

(1) 第一報 530 頁の第 4 表中、 $\frac{dT_p}{d\Delta}$ の單位 sec/km とあるは sec/deg. の誤りである。

(2) Handbuch der Experimentalphysik. Bd. 25, II. Teil.

G. Krumbach:—"Die Seismischen Registrierungen." S. 501-503. Jenaer mittlere Laufzeitkurven.

(3) B. Gutenberg:—"Handbuch der Geophysik. Bd. IV. Lieferung 1. "Theorie der Erdbebenwellen usw." S. 215. Mittlere Laufzeiten bei einer Herdtiefe von 25km. より

(4) H.H. Turner:—"I.S.S. に發表されて居る走時の表。

(5) H. Jeffreys:—"Tables of the Time of Transmissions of the P & S Waves of Earthquakes." British Association for the Advancement of Science. Gray-Milne Trust. 1932.

(6) Zöppritz-Geiger:—"Über Erdbebenwellen. III" Gött. Nachr. 1909.

(7) 第一報に於いて兩走時曲線を互に異なるものゝ如く扱つたのは誤りである。

第 2 圖 S 波走時曲線の偏差比較

して影響を及ぼすべき原因に就いては第一報⁽¹⁾に於いて P 波の場合に就いて既に詳しく論じた所である。特に S 波に就いては相の不明瞭と云ふ事は P 波の場合より一層甚しく、加ふるに他の複雑な諸相の混入する可能性ある事に依り、偏差を論ずるに當り P 波の場合程の精度は豫期し難い。第 2 圖に於いて一見して明かなる事柄は、(1) Gutenberg 氏の走時曲線の偏差と Turner 氏の走時曲線の偏差、及び現在の調査に依る還元走時曲線の偏差と Jeffreys 氏の偏差、とが夫々二つ宛略々似た形である事である。之に依つて惟ふに Jeffreys 氏以前の走時曲線なるものは獨立に求められたものも多いに拘らず、其等は先人の求めし結果の影響から完全に獨立して居るものではないのであらう。此の點に於いて現在の還元走時曲線と Jeffreys 氏の走時曲線の偏差が斯く一致して求められたる事は、片方が深發地震の還元走時曲線であるだけに特に興味深く、之等走時曲線が從來のものに比し信用度高き事を説明して居るものであらう。又双方を通じて震央距離 50° 附近に於いて著しく走時が標準に比して早過ぎる様な傾向が見られる。

而して此の震央距離の地點に射出する S 波の軌道の最深點の深さは約 1200 杆 (第 5 圖

(1) 第一報 534-537 頁参照。

参照)であつて, Gutenberg 氏はこの深さの所に一つの不連続層を認めて居る事は注目すべき事であらう。

IV. (P-S) 時間差及び其の偏差

地殻内部に於いて P, S 兩波の速度の比が, 深さに無關係に一定値を有するものならば P 波と S 波の震波線は同一経路をとり, 従つて P 波と S 波の走時差を走時と見做し得る假想波 (P-S) 波を想像する事が出来る。然し後に示す如く(第 4 表) P, S 兩波の速度の比は地殻内部にて嚴密の意味に於いて一定値ではない, 従つて上述の (P-S) 波を想像する事は不合理であるが, ある震央距離の所に於ける P 波, S 波の到着時間の差を考へる事は無意味ではない。ある地震に就いてこの時間差を考へるならば, 單獨に P 波, S 波の走時を扱ふ際に生ずるであらう所の始震時に基因する誤差が除去される事となる。現在の調査に於いて此の時間差を考察したる主な理由は, 上述の始震時に基因する誤差を除いて考へを進めると云ふ目的以外に次の理由に因る。即第一報に於いて示した如く, 従來求められた P 波の走時曲線の Jena 平均走時曲線に對する偏差の圖⁽¹⁾は, 本第二報第 2 圖に示した S 波

第 3 圖

に對する同様な偏差の圖と共に, 各々の走時曲線に就いてその形狀即震央距離と偏差との關係が大體相似て居る事が看取される爲である。第 3 圖は即この (P-S) 時間差の偏差圖で, 基準は前と同様 Jena 平均走時曲線の (P-S) 時間差である。尙圖の上方は基準に對し

(1) 第一報. 534 頁, 第 6 圖参照.

て偏差の小なる事を示す事は前と同じである。此の圖を見るに、震央距離 30° 附近迄は各々の走時曲線の間に別に著しく似寄つた點もないが、 30° 附近より大きい震央距離に就いて見るに極く大體ではあるが、各々の走時曲線の偏差曲線が同様な傾向を有し、略平行して居る。但し Jeffreys 氏のものは 88° 附近より殆んど Jena 平均走時曲線に平行して居る。之に因つて考へるに、Jena 平均走時曲線は少くとも震央距離 30° 附近より大なる震央距離に對しては充分に適切なものとは考へられない。之は Jena 平均走時曲線が多くの地震の走時曲線を平均して求められた際、何等かの誤差が影響したものであらう。

V. 地殻内部に於ける震波速度

地殻内部を傳播し來りし地震波を地球の表面に於いて觀測し其の走時曲線を得る時は、地殻内部に於ける震波速度の變化を計算に依つて知る事が出来る。特に震源が地表に存在すると考へられる場合は、有名なる Herglotz-Wiechert の方法を用ゐる事が出来る。此の方法を用ゐて地殻内部の震波速度を實際觀測された走時曲線から求める事は既に多くの人に依つて試みられた所で、最近にては H. Witte 氏が Jeffreys 氏の求めたる走時曲線に就いて、我が國に於いては本多氏、鷲坂氏等が之を近地地震の走時曲線に就いて應用され夫々の結果を得られて居る。震源がある深さにある場合に就いては、近時小平技師⁽¹⁾に依つて研究されて居る。然し此の方法は相當に計算が複雑である。第一報 第二報に於いて吾人に依つて得られたる P 波及び S 波の走時曲線を基として地殻内部の震波速度を求めんとするに當り、其等の走時曲線は震源が地表に存在すると考へられる地震に就いて、及びたとへば深發地震の場合にても還元走時曲線が得られて居るものに對して行ふのである爲、本調査に於いては矢張り P 波、S 波双方に就いて Herglotz-Wiechert の方法が用ゐられて居る。即此の方法に依れば、走時曲線の傾き $\frac{dT}{d\Delta}$ が Δ の函數として求められて居る場合に震波線の頂點深度 (Scheiteltiefe) $h = r_0 - r_m$ は

$$\log_{10}(r_0 - h) = 3.80393 - 0.0024127 J \dots\dots\dots(1)$$

$$J = \int_0^{\Delta_r} q d\Delta \dots\dots\dots(2)$$

なる式に依つて求められる⁽²⁾。(1) 式の計算には $r_0 = 6367$ 籽と假定され、此の式にて得られる h の數値は單位籽である。但し Δ は度を單位として計算された場合の式である。

(1) Y. Kodaira:—"Investigation of the Method of Obtaining the Depth of the Seismic Focus and of the Velocities of Seismic Waves from the observed Data. (First Part)." Geophys. Mag. Vol. V, No. 2, 1932. p. 97-121.

(2) B. Gutenberg:—Handbuch der Geophysik. Bd. IV, Lief. 1, 1929. S. 41.

尙 r_0 は地球の半径, r_m は地球の中心より震波線の頂點に到る距離, Δ_r は今頂點深度を求めんとする震波線の射出點の震央距離である. 而して q なる量は

$$\cosh q = \frac{dT}{d\Delta} / \left(\frac{dT}{d\Delta} \right)_{\Delta=\Delta_r} \quad 0 \leq \Delta \leq \Delta_r \quad \dots\dots\dots (3)$$

にて表はされる Δ の函數にて走時曲線の形から求められるものである. 斯くして頂點深度 h が求められる時は, 其處(頂點)に於ける震波速度 V_m は

$$V_m = \frac{r_m}{r_0} \left(\frac{d\Delta}{dT} \right)_{\Delta=\Delta_r} \quad \dots\dots\dots (4)$$

より求められる. この $\left(\frac{d\Delta}{dT} \right)_{\Delta=\Delta_r}$ は其の震波線の射出點に於ける見かけの地表傳播速度である.

此の方法に依つて, P 波及び S 波の地球内部に於ける傳播速度を計算した. J なる量は圖形的積分を用ゐて求めた.

計算の基礎に用ゐられた走時曲線は今回の調査より得た走時曲線にて, P 波に對しては第一報第 524-525 頁, 第 2 表に示されたる日本平均走時曲線, S 波に對しては第二報第 1 表の深發地震の還元走時曲線である.

第 2 表

P 波の走時曲線と其れより算出したる頂點深度及び震波速度

Δ	T	$\frac{dT}{d\Delta}$	J	h	V_p
	s	sec/deg		km.	km/sec.
0°	0	22'20		0'0	5'00
2	36	15'34	0'798	28'3	7'21
4	6	14'46	1'538	54'2	7'62
6	34	14'07	2'191	77'2	7'80
8	3	13'92	2'625	92'2	7'87
10	30	13'75	3'261	114'4	7'94
12	58	13'40	4'482	156'6	8'09
14	24	12'86	6'254	217'5	8'35
18	13	11'60	10'594	364'0	9'03
22	57	10'37	15'535	526'5	9'83
24	5	9'85	17'943	604'1	10'21
26	37	9'47	19'983	669'0	10'50
30	13	8'95	23'353	774'7	10'91
35	56	8'51	27'074	889'2	11'24
40	38	8'21	30'351	988'0	11'44
45	19	7'82	35'217	1132	11'69
47	35	7'57	38'328	1221	11'86
50	56	7'30	41'711	1317	12'07
55	32	7'01	46'171	1441	12'27
60	10	6'80	50'145	1548	12'37
65	40	6'56	54'799	1671	12'49
70	11	6'28	60'878	1827	12'62
75	44	5'86	70'117	2054	12'85
80	12	5'38	81'279	2314	13'15
85	38	4'99	91'166	2530	13'42
90	13	4'67	100'426	2723	13'62
95	25	4'44	107'968	2872	13'74
100	47	4'29	113'462	2977	13'79

第 3 表

S 波の還元走時曲線と其れより算出したる頂點深度及び震波速度
(Δ の 20° 未満は還元走時曲線なる故缺如)

Δ	T		$\frac{dT}{d\Delta}$	J	h	V_s
	m	s	sec/deg.		km.	km/sec.
0°		0.0	39.87		0.0	2.79
20	8	14.4	19.96	12.377	423.1	5.20
24	9	31.5	18.27	16.656	562.8	5.54
28	10	40.7	16.68	21.377	713.1	5.92
30	11	13.3	16.07	23.541	780.6	6.07
35	12	32.0	15.30	27.033	887.9	6.25
40	13	46.4	14.61	30.885	1004	6.41
45	14	58.5	14.13	34.213	1102	6.50
50	16	8.0	13.74	37.410	1195	6.57
55	17	16.0	13.38	40.877	1294	6.62
60	18	21.8	12.88	45.893	1433	6.69
65	19	24.6	12.30	51.836	1593	6.77
70	20	25.0	11.71	58.352	1763	6.86
75	21	21.7	10.86	68.246	2009	7.00
80	22	14.0	10.25	75.656	2185	7.12
85	23	4.7	9.90	81.016	2308	7.16
90	23	53.3	9.54	86.721	2434	7.20
95	24	40.2	9.13	93.967	2589	7.22
100	25	25.0	8.87	98.746	2688	7.24

其の結果は第2表及び第3表に示すが如くである。即之等の表中には、種々の震央距離に對する走時 T 、走時曲線の傾き $\frac{dT}{d\Delta}$ 、前述の量 J 、頂點深度 h 、及び其の深さに於ける傳播速度 V が併示されて居る。

諸此の方法を用ゐた際に地表面に於ける震波速度を如何に取り扱つたかに就いて記さねばならない。地表面に極めて近い範圍に於いては震波速度が極めて複雑な値を取る事は近地地震の觀測で知られて居る事である。現在の調査の如く遠地觀測に依る走時曲線を基準として居る場合には、其の走時曲線の形からはこの値を正確には決し難く、さりとて近地觀測より求められて居るが如き精密な値を此の際使用する必要はない。故に此處では地表に於ける速度は最初から假定したのである。即ち P 波の速度は 5.00 軒/秒、S 波の速度は 2.79 軒/秒 と假定した。P 波の速度を此の程度の値となした事は松澤博士⁽¹⁾の研究もあり或は鷺坂氏⁽²⁾の北丹後地震の調査に際して P 波の地表面速度 5.22 軒/秒 を、又小國地震に際して P 波及び S 波の地表面速度を夫々 4.20 軒/秒、及び 2.70 軒/秒 と得たる事等によつて考へて妥當なりと信ずる。S 波に對する値は P 波に對する値より其等の間の比が 1.794 であると云ふ我々の假定から出て居るのである。此の値を採用した理由に就いては既に第

(1) T. Matuzawa:—"Observation of some of recent Earthquakes and their Time-Distance Curves (Part 1)". Bull. Eqk. Res. Inst. Tôkyô, 4, 1928, p. 179-202.

(2) 鷺坂清信:—地震波速度 驗震時報, 第6巻, 第1號, 65-82 頁。

II 章に於いて述べられて居る。勿論現在の調査は地殻内部の相當に深い所に於ける研究が主である故に、地表に於ける震波の速度の假定は多少其の値に變動あるとするも殆んど大勢上無關係である。

第 2 表及び第 3 表に示された地球内部に於ける P, S 兩波の速度と地表面からの深さとの關係を圖示する時は第 4 圖 (A) 及び

(B) に示す如くなる。之等の圖中には Gutenberg⁽¹⁾, H. Witte⁽²⁾氏等に依つて既に得られて居る値をも比較の爲に書添えた。H. Witte 氏のものは 1932 年 Jeffreys 氏の發表した走時曲線に依つて求めたものであるが、大體に於いて現在の調査で求められて居るものと一致して居る。即前に走時曲線に於いて兩者の相似て居る事を述べたのであるから之は當然豫期される事柄である。

諸 P 波及び S 波の速度は地下に到る程増大するは勿論であるが、地下約 3000 軒の範圍、即核心の外側部分に於いては現在の調査は震波速度が地下に到る程増大するのみにて、時に學者に依り唱えられる様な減少するが如き所は存在しない事を示して居る。又震波速度の深さに對する曲線は平滑であつて尖つた部分はない。之は走時曲線を平滑に引いた爲に斯くなつたので、最初曲線中に尖つた部分がある様に引けば第 4 圖の Gutenberg 氏の結果の如き曲線を得る。

第 4 圖 (A) 地殻内の P 波速度

第 4 圖 (B) 地殻内の S 波速度

(1) B. Gutenberg:—Lehrbuch der Geophysik, 1929. S. 263.

(2) H. Witte:—“Beiträge zur Berechnung der Geschwindigkeit der Raumwellen im Erdinnern.” Nachr. d. Ges. d. Wiss. zu Göttingen. Math.-Phys. Klasse. 1932. Heft. 2, S. 199-241.

之は見解の相違であるが、現在の調査では強ひてかゝる所謂不連続層の存在を主張する事は無理の様に求められた。

然し P 波の速度の變化曲線を見るに、深さと共に變ずる有様を凡そ三つの部分に分けて考へ、其の各々に於いて速度は深さと共に直線的に増加する事が出来る。若し斯くして P 波速度を深さの函數として表はす時は次に示す三式が求められる。但し深さ h の單位は千米とする。

$$(i) \quad 40 \leq h \leq 800 \text{ km.} \quad V_p = 7.42 + 0.00454 h \text{ km/sec.}$$

$$(ii) \quad 800 \leq h \leq 1400 \text{ ,,} \quad V_p = 9.48 + 0.00197 h \text{ ,,}$$

$$(iii) \quad 1400 \leq h \leq 3000 \text{ ,,} \quad V_p = 10.81 + 0.00101 h \text{ ,,}$$

上式中には深さ 40 千米以内は含まれて居ない。即之は近地地震の範圍であつて甚だ複雑であるからである。上式は P 波の速度を式にて表はす方法としては上乘のものではないが、簡単な點に於いて實用上に應用され得ると思はれる。

更に第 5 圖に於いて現在の調査に依つて得られた所の P, S 兩波に就き、種々の遠さの震央距離に達する震波線の頂點深度の變化を圖示した。P, S 兩波共に略々同一の曲線が求められて居るが、兩者は全く一致して居る譯ではない。その差違は僅かの量であるが誤差の範圍として考へられる以上に大なるものであるから、恐らく事實に於いて P 波と S 波は傳播する際に夫々傳播経路を僅かながら異にするのであらう。大體より云へば S 波は P 波程深所を通過して來ないのである。

第 5 圖

VI. 地殻内部に於ける P, S 兩波の速度の比に就いて

第 4 圖 (A) 及び (B) に示したる震波速度と深さとの關係より、深さ 100 千米毎の速度を P, S 双方の波に對して求め、兩者の値の比を計算して表示すれば第 4 表の如くなる。

地殻内の Poisson ratio (σ) を此の P 及び S 波の速度の比より次の關係に依つて求める事が出来る。

$$\sigma = \frac{1}{2} \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{(V_p/V_s)^2 - 1}$$

第 4 表には上式に依つて勘定された Poisson ratio が併示されて居る。又第 6 圖には

第 4 表

地殻内部の P 及び S の震波速度並びに Poisson ratio.

H	V_p	V_s	V_p/V_s	σ	H	V_p	V_s	V_p/V_s	σ
km	km/sec.	km/sec.			km	km/sec.	km/sec.		
0	(5.0)	(2.79)	(1.794)	(0.275)	1600	12.42	6.77	1.835	0.289
100	7.90	(4.40)	"	"	1700	12.52	6.83	1.833	0.288
200	8.27	(4.61)	"	"	1800	12.60	6.88	1.831	0.287
300	8.73	(4.87)	"	"	1900	12.69	6.94	1.829	0.287
400	9.20	(5.13)	"	"	2000	12.79	6.99	1.830	0.287
500	9.71	5.39	1.801	0.277	2100	12.90	7.06	1.827	0.286
600	10.19	5.64	1.807	0.279	2200	13.02	7.13	1.826	0.286
700	10.62	5.88	1.806	0.279	2300	13.13	7.16	1.834	0.288
800	10.99	6.11	1.799	0.276	2400	13.26	7.19	1.844	0.292
900	11.27	6.27	1.797	0.276	2500	13.39	7.21	1.857	0.296
1000	11.46	6.40	1.791	0.274	2600	13.50	7.22	1.870	0.300
1100	11.63	6.50	1.789	0.273	2700	13.60	(7.24)	(1.878)	(0.302)
1200	11.82	6.57	1.799	0.276	2800	13.69			
1300	12.03	6.62	1.817	0.283	2900	13.76			
1400	12.22	6.67	1.832	0.288					
1500	12.33	6.72	1.835	0.289					
平 均					1.819 0.283				

V_p/V_s の値と深さとの関係が圖示され、比較の爲 H. Witte 氏の得た結果も示されて居る。之等に依つて見るに Poisson ratio は地殻内に於いて略々一定値を有するものなる事が見られる。併し細かく云へば地殻内部に到る時、1000 軒位迄は少々減少する傾向を示す様であるが、大體に於いて其の後は深さと共に Poisson ratio は増す様に求められる。

VII. 地殻内部の構造に就いて

現在の調査に依つて地殻内部に於ける P 波及び S 波の傳播速度を求める事が出来た。此の結果より推察し得る範圍に於いて、地殻内部の構造に就いて述べる事とする。先づ震波速度は地殻内深所に到る程増加し、地球の核心に到る迄減する様な場所はない。但し其の速度の増し方は、深さに依つて急激な所と穏やかな所とがある。其の速度の増加の狀態が急激なる變化をなす所は地殻構造も亦著るしく變化して居る所と考へられる、此處が所謂不連續層とも見なし得る。斯くの如き地殻内部に於いて震波速度増加率が急激に變化す

第 6 圖

る場所の存在すべき事は、既に多くの學者に依つて説へられて居る所である。其等の人々に依つて得られた結果を表にして見ると凡そ次の如くなる。

地殻内部に存在する不連続層の深さ⁽¹⁾

著 者 \ 深さの範圍	0-1000 軒	1000-2000 軒	2000-3000 軒
Wiechert (1907)	—	1500軒	—
Geiger-Gutenberg (1912)	—	1193; 1712	2454軒
Gutenberg (1914)	—	1200; 1700	2450; 2900
A. u. S. Mohorovičić (1909 u. 1915)	60; 120; 400軒	1200; 1740	2000
Knott (1919)	80; 700	1400	—
Galitzin (1919)	106; 232; 492	1442	2700
Wiechert (1922)	—	1700	2600
Jeffreys (1926)	12; 25; 37	—	—

尙我が國に於いても地殻表層に近き部分に就いては、諸學者に依り深さ約 40 軒附近に不連続層が存在すべき事が指摘されて居る。又一方に於いて斯くの如き不連続層の存在を強ひて考ふる必要な事も云はれて居る⁽²⁾。兎に角我が國に於ける調査は近地震の観測を基としたものであるから、其の議論は單に地殻上層にのみ限られて居り、充分深所迄及ぶ所の研究は未だ爲されない様である。

現在の調査に於いては、著者等は地殻内部に於ける上述の如き不連続層の存在を少しも念頭に置かず、専ら走時曲線の形より忠實に計算して得られる所の震波速度を求めんとしたのである。其の結果は既に P 波に就いては第 4 圖 (A) に、S 波に就いては第 4 圖 (B) に見られる如くである。此の結果より、若し不連続層なるものが果して存在するものとすれば奈邊と考ふるが最も妥當であるかと云ふに、

P 波に就いては 40, 800, 1400 軒

S 波に就いては 900, 2200 軒 (約 500 軒以内は不詳)

の邊にて速度増加率が急激に變化して居る事を認める。上記 P 波、S 波の兩者から得られ

(1) G. Angenheister:—Handbuch der Physik. Bd. VI. Kap. 8. 1928. S. 615.

(2) 鷲坂清信:—地殻浅層内の震波速度 (第一報). 驗震時報. 第 5 卷, 第 1 號, 55-78 頁, 及び 地殻浅層内の震波速度 (第二報). 驗震時報. 第 5 卷, 第 1 號, 79-92 頁.

た値が一致して求められる事が豫期されるに拘はらず、斯く互に異なる事は、或は不連續層なるものを地殻内部深所に於いて強いて考へんとする事が不當である事を示すものかも知れない。地殻内の著しい不連續層は最表層部 40 杆附近に於けるものと約 3000 杆の深さの地球の核心に關するものとの二つが顯著にして動かすべからざるものにて、他のものはたとへ存在するとするも、之等に比し程度に於いて甚しく弱いものなる事を知る。尙上掲の P 波に就いての不連續層の深さは C. G. Knott 氏の値と略々一致して居る事は興味深い。

若し不連續層附近に於いて地殻を構成する物質の彈性的性質が急變するものと考へる時は、第 6 圖に示す P, S 兩波の速度の比の深さに對する關係にも現はれて然るべきであらう。即同圖にては約 600, 1100, 1500, 2200 杆に於いて不連續層らしきものの存在が考へられる。尙 H. Witte 氏の結果に依れば深さ約 700, 1000, 1500 杆の邊に認められ現在の調査と殆んど一致して居る。但し前にも述べたるが如く、著者等は此の結果より地殻内部に上に記したるが如き不連續層が確かに存在するものであると主張するものではない。

VIII, 概 要

1. S 波の走時曲線が深發地震（震源の深さ約 400 杆，發震時 1928, III, 29）に就き震央距離約 100° 迄の範圍に於いて求められ、其の還元走時曲線が作製された。

2. 震源の淺い地震では S 波の走時曲線を精確に求める事が困難である。何となれば S 相入射が明瞭に觀測されない場合が多いからである。

3. 第一報の結果及び上述の還元走時曲線に依つて、震源を地表面に有すると考へられる地震波の走時曲線が P 及び S 波に就いて求められた。從つて之より地殻内部（深さ約 3000 杆，地球核心附近迄）に於ける兩震波速度が Herglotz-Wiechert の方法に依つて計算された。本文第 2 表，第 3 表及び第 4 圖 (A), (B) に其の結果を示す。

4. 地殻内部の震波速度に就いては從來既に屢々求められて居るが、今回の調査も其等と略々相似た結果を示して居る。但し精度の點に於いて多少勝れるものありと思はれる。

5. 地殻内部の不連續層に關しては、地表に甚だ近き部分を除けば著しい不連續層は一つも求められなかつた。強ひて震波速度増加率變化の激しい深さをと云へば、P, S 双方の場合に於いて稍々顯著に求められて居る深さの 900 杆を擧ぐべきか？

6. P 波と S 波とは傳播経路が多少異なる様に求められた。即大體に於いて S 波は P 波程地殻内部深所に入らない。從つて地殻内に於いては彈性係數 Poisson ratio は嚴密に云つて一定値を有せず、地殻内部に到る程増大する傾向が見える。

7. 他の種類の震波の調査に就いては後の機會に譲る事とする。（第二報終）

昭和 7 年 12 月

於中央氣象臺