

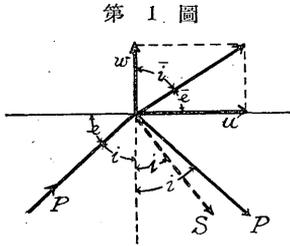
# 地震 P 波の射出角と地殻表層の構造

本 多 弘 吉、伊 藤 博

(1) 地震波の地表に於ける射出角は地殻内部に於ける地震波速度分布、震央距離及び震源の深さ等と関係がある。従つて射出角の調査は之等諸量の研究に役立つ筈であるが、何分射出角は地殻表層の局部的構造の如何に依つて著しく影響される事や、上下動地震計が水平動地震計程完備されて居ない場合が多く、測定 of 誤差も起り易い爲か射出角に関する精細なる研究は餘り多くはない様である。Schlüter, Galitzin, Wilip 等は遠地地震の P 波初動の入射角と震央距離との関係を調べた。我國では石川<sup>2)</sup>氏の調査があり、鈴木<sup>3)</sup>氏は本郷及び三鷹に於ける P 波初動入射角と地表近く of 地層の地震波速度分布との関係を調べ、初動部分 of 週期が長くなると入射角も大きくなる事を示されてゐる。

一般に深發地震の記象は淺發地震のそれに比して簡單で射出角 of 算出にも都合が好いので、本報文中では深發地震の射出角を調べることにした。而も射出角 of 算出には驗測上 of 誤差も可成りあるらしいので、最近本邦に起つた震源の深さ 350 km 前後 of 深發地震 7 つに就て射出角を求め、其 of 平均として震央距離との関係を調査し、且つ地殻表層 of 構造に就

て論及する事としよう。



(2) 地震 P 波が地表に入射する場合を考へる。圖に示す様に入射 P 波 of 眞の射出角を  $e$ 、反射 S 波が鉛直方向となす角を  $i$ 、P 波 of 速度を  $V$ 、S 波 of 速度を  $\mathfrak{S}$  とすると

$$\frac{V}{\sin i} = \frac{\mathfrak{S}}{\sin i} \dots \dots \dots (1)$$

なる関係が存在する。地表 of なす振動 of 水平振幅を  $u$ 、上下振幅を  $w$  とするとき

$$\tan \bar{i} = \frac{u}{w}, \quad \tan \bar{e} = \frac{w}{u}$$

$$\bar{i} = 2i \dots \dots \dots (2)$$

なる関係にある  $\bar{i}, \bar{e}$  は夫々見掛けの入射角, 及び見掛けの射出角と呼ばれるものである。

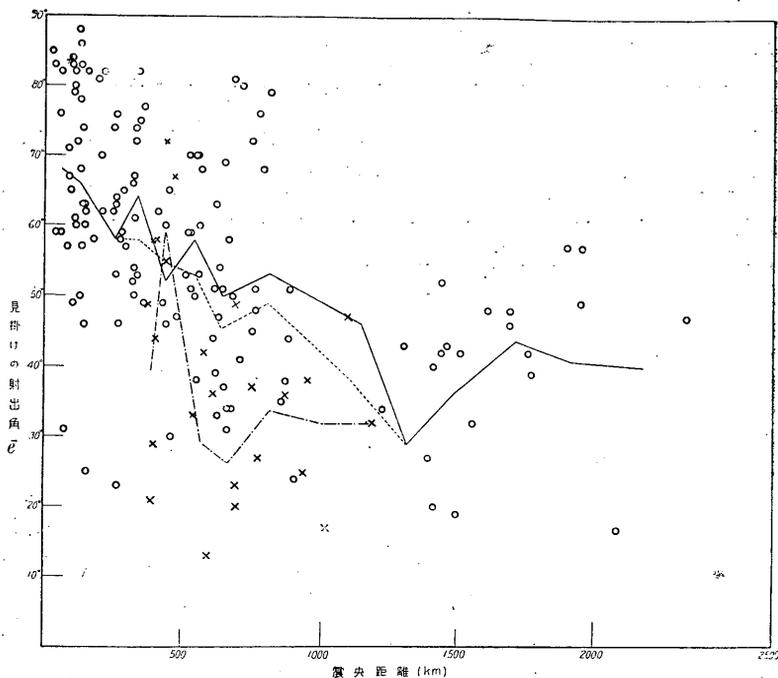
(3) 最近我國に起つた震源の深さ 350 km 前後の著しい深発地震 7つを選んだ。表に示す様に 360 km のものが3つ, 350 km のものが3つ, 340 km のものが1つであるが, 今目的として居る様な問題では左程精密を要しないから此等地震の震源の深さが大體同一として平均しても差支あるまい。此等地震の P 波初動の水平並びに上下振幅から見掛けの射出角  $\bar{e}$  を計算して第 2 表に示す。

第 1 表

番 號	發 現 時	震 央			震源の深さ(文献) (4~10)
		地 名	東 經	北 緯	
1	年 月 日 時 分 昭和 6 6 30 1 44	熊 野 灘	136° 27'	34° 11'	360 km. (驗震時報 IX 4)
2	" 7 5 5 4 11	大 阪 灣	135° 24'	34° 36'	360 km. (Geophys. Mag. VIII)
3	" 7 7 25 17 25	琵琶湖附近	135° 52'	35° 13'	360 km. (驗震時報 IX 4)
4	" 8 12 5 4 34	宗谷海峽沖	144°.3	46°.4	350 km. (驗震時報 IX 4)
5	" 9 4 20 1 14	八丈島沖	139°.5	30°.0	350 km. (氣象要覽)
6	" 11 10 20 4 56	九頭龍川河口沖	135°.8	36°.5	350 km. (氣象要覽)
7	" 11 10 26 18 34	三重縣中部	136°.3	34°.5	340 km. (氣象要覽)

斯くして求めた見掛けの射出角  $\bar{e}$  と震央距離  $\Delta$  との関係は第 2 圖に示す様に随分ばらつき乍らも  $\Delta$  の小さい所では  $\bar{e}$  は 90° に近付き  $\Delta$  が増すと共に減少し 1000 km 附近では約 40° 前後になつてゐる。而して所謂異常震域と稱せられる地方では  $\bar{e}$  が小さい傾向が認められるので, 第 2 表に示した観測値のうち特に異常震域に屬すると考へられる盛岡, 仙臺, 福島, 宇都宮, 水戸, 柿岡, 筑波山, 東京, 横濱に於ける値を×印で表し, 他の観測所の値を○印で示した。大體の傾向を見る爲に異常震域に屬するもの, 然らざるもの及び兩者の合計に就て夫々  $\Delta$  の 100 km 乃至 200 km 毎に就ての平均値を求めると第 4 圖に示す様に異常震域に屬するものの  $\bar{e}$  は, さうでない地方の  $\bar{e}$  に比して明かに小さく出てゐる。

第 2 圖



第 2 表

昭和 6 年 6 月 30 日 熊野灘地震 ( $H=360$  km.)

観測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)	観測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)	観測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)
龜山	31°	74	三島	74°	251	水戸	72°	439
潮岬	49	104	長野	52	319	宮崎	51	532
京都	60	113	富崎	66	321	福島	33	536
名古屋	72	119	八丈島	53	336	熊本	60	554
神戸	50	128	輪島	77	358	福岡	53	560
岐阜	63	139	清水	49	359	仙臺	36	604
洲本	60	145	筑波山	58	402	長崎	54	634
豊岡	62	211	濱田	62	410	—	—	—
沼津	8	243	銚子	49	430	—	—	—

昭和7年5月5日 大阪灣地震 ( $H=360$  km.)

觀測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)	觀測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)	觀測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)
洲本	76°	54	彦根	37°	108	長野	82°	342
和歌山	59	48	高知	70	206	八丈島	60	444
龜山	84	100	松山	53	258	福島	42	575
岐阜	25	154	沼津	67	324	銚子	53	511
名古屋	82	153	三島	72	330	宮崎	47	478

昭和7年7月25日 琵琶湖地震 ( $H=360$  km.)

觀測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)	觀測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)	觀測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)
京都	85°	25	甲府	58°	249	銚子	65°	450
彦根	83	35	輪島	64	258	福岡	59	532
龜山	82	67	長野	76	261	熊本	61	548
岐阜	71	84	沼津	46	273	宮崎	50	546
神戸	67	88	三島	59	282	長崎	51	614
豊岡	83	101	高知	65	283	盛岡	23	686
和歌山	88	126	松山	61	326	富江	51	約 760
洲本	68	150	濱田	75	346	仁川	44	約 880
湖岬	63	196	八丈島	46	439	—	—	—

昭和8年12月5日 宗谷海峡地震 ( $H=350$  km.)

觀測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)	觀測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)	觀測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)
札幌	52°	441	沼津	13°	1337	高知	46°	1694
盛岡	37	743	名古屋	27	1390	松山	48	1694
秋田	79	817	彦根	40	1409	仁川	42	1759
仙臺	38	947	濱松	20	1412	清水	39	1771
福島	17	1012	豊岡	42	1443	熊本	57	1899
柿岡	32	1181	龜山	52	1443	長崎	57	1954
前橋	73	1193	京都	43	1454	宮崎	49	1949
熊谷	80	1210	大阪(支)	19	1497	鹿兒島	33	2026
銚子	34	1220	神戸	42	1512	名瀬	47	2383
横濱	62	1280	洲本	32	1557	—	—	—
三島	43	1598	湖岬	48	1610	—	—	—

熊谷, 横濱, 省略

昭和9年4月20日 八丈島沖地震 ( $H=350$  km.)

観測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)	観測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)	観測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)
仙臺	25°	930	岐阜	37°	650	長野	70°	749
沼津	68	570	京都	34	660	富山	74	776
潮岬	59	520	銚子	69	652	宮崎	68	790
御前崎	70	524	筑波山	20	692	福島	36	866
濱松	70	550	彦根	31	658	濱田	24	898
富崎	36	548	高知	50	682	熊本	51	886
甲府	47	632	熊谷	81	684	盛岡	47	1090
龜山	44	608	前橋	80	714	輪島	35	854
和歌山	39	618	松山	48	760	秋田	20	1082
洲本	51	614	豊岡	45	750	—	—	—

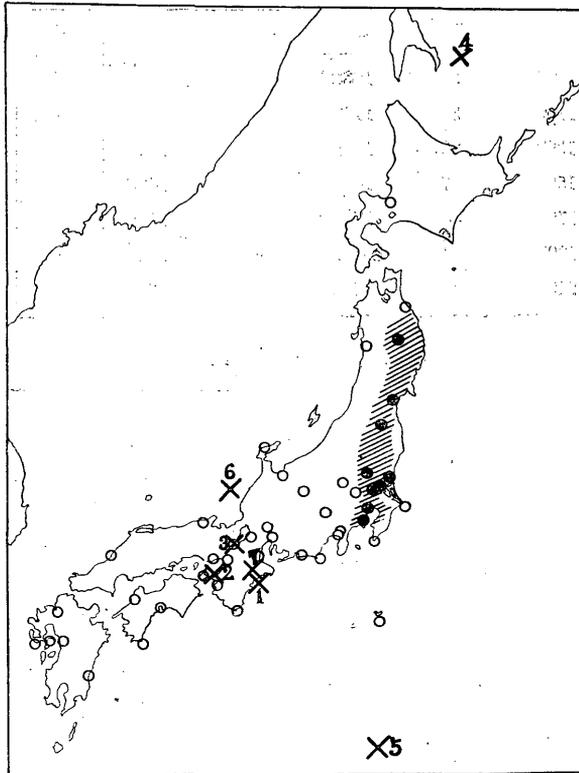
昭和11年10月26日 三重縣中部地震 ( $H=340$  km.)

観測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)	観測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)	観測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)
彦根	57°	86	濱松	86°	131	輪島	51°	325
神戸	79	107	岐阜	80	109	松山	58	337
名古屋	65	96	三島	62	252	筑波山	44	402
和歌山	61	108	高知	58	276	柿岡	29	394
洲本	66	134	長野	57	294	熊本	70	554
潮岬	78	128	前橋	74	328	長崎	33	626

昭和11年10月20日 九頭龍川河口地震 ( $H=350$  km.)

観測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)	観測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)	観測所	$\bar{e}$	$\Delta$ (km.)
輪島	74°	138	濱松	23°	266	銚子	30°	461
彦根	46	143	三島	54	321	仙臺	67	492
岐阜	62	151	柿岡	21	388	盛岡	13	590
龜山	81	194	筑波山	58	394	熊本	63	620
長野	82	216	東京	49	368	八戸	58	666
和歌山	66	260	福島	55	438	札幌	38	868

第 3 圖

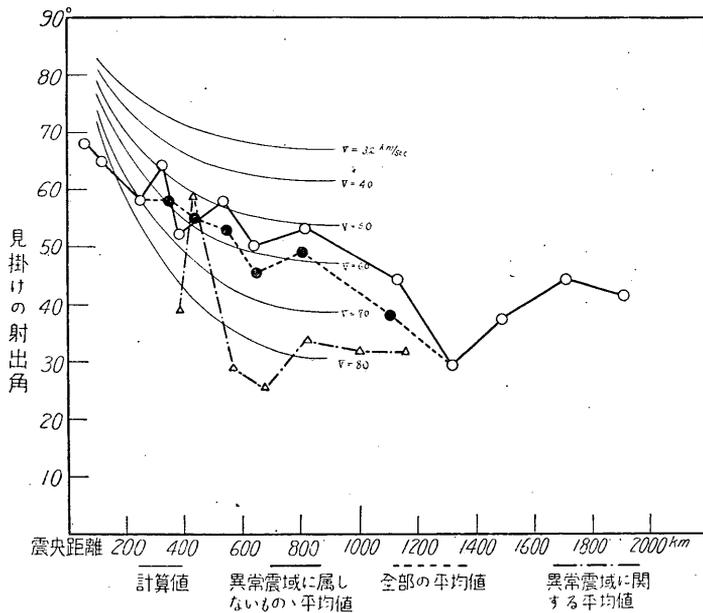


第 3 表 見掛けの射出角  $\bar{\epsilon}$  の震央距離  $\Delta$  についての平均

$\Delta$	全 體		異常震域でない地方		異常震域地方	
	$\bar{\epsilon}$	$\Delta$	$\bar{\epsilon}$	$\Delta$	$\bar{\epsilon}$	$\Delta$
0 ~ 99 km.	68°	66 km.	68°	66 km.	—	—
100 ~ 199	66	127	66	127	—	—
200 ~ 299	58	255	58	255	—	—
300 ~ 399	58	345	64	334	39	386
400 ~ 499	55	437	52	439	59	435
500 ~ 599	53	547	58	542	29	567
600 ~ 699	46	646	50	643	26	661
700 ~ 899	49	802	53	802	34	810

$\Delta$	全 體		異常震域でない地方		異常震域地方	
	$\bar{e}$	$\Delta$	$\bar{e}$	$\Delta$	$\bar{e}$	$\Delta$
900 ~ 1099	31°	1033	—	—	32°	995
1000 ~ 1199	38	1112	—	—	—	—
1200 ~ 1399	29	1312	29	1312	—	—
1400 ~ 1599	37	1488	37	1488	—	—
1600 ~ 1799	44	1716	44	1716	—	—
1800 ~ 1999	41	1911	41	1911	—	—
2000 ~ 2400	40	2205	40	2205	—	—

第 4 圖



(11)  
 云ふ迄もなく最も著しく異常震域の現象を示す地域は北海道の南部太平洋の沿岸から東北地方の東半部及び関東地方の北東部等であるが、本報文では材料が少くて北海道の南部に就ては残念乍ら論ずる事は出来ない。以下本報文で單に異常震域と云ふ時は上に選び出した観測所を含む地域即ち東北地方の東半部及び関東地方の北東部を意味する事とする。

(4) 地震波の走時を  $T$ , 地表近くに於ける P 波の速度を  $V$ , 震央距離を  $\Delta$  とすると  $\cos e = V \frac{dT}{d\Delta}$  ..... (3)

なる関係がある。和達<sup>12)</sup>、鷺坂、益田の三氏の P 波走時表から震源の深さ 360 km に對する  $\cos e$  を求め  $V/\sqrt{3} = \sqrt{3}$  として射出角  $e$  を計算すると、第 4 圖に示す様に實測から得た結果より遙かに大きく出て居る。此は果して何に基因するものであるか、和達博士等の表では地表に於ける地震波速度  $V$  の値として 3.20 km/sec<sup>13)</sup> が採用せられてゐる。然るに嘗て鈴木氏も述べられた様に「地震波の波

第 4 表

$\Delta$ (km)	$e$ の 計 算 値 ( $H=360$ km)					
	$V=3.20$ km/sec	$V=4.0$ km/sec	$V=5.0$ km/sec	$V=6.0$ km/sec	$V=7.0$ km/sec	$V=8.0$ km/sec
100	83°	81°	79°	77°	74°	72°
200	78	75	71	67	63	59
300	74	70	65	60	55	50
400	72	66	61	54	49	42
500	70	64	58	51	45	38
600	69	63	56	49	42	35
700	68	62	55	48	40	32
800	67	62	54	47	39	31
900	67	61	54	47	39	31
1000	67	61	54	47	39	31

長が大きくなると其の波長より小さい擴がりを有つ地殻最上層の局部的地層は波の屈折には問題とならない」とも考へられる。地殻最上層の鉛直方向の速度分布が和達博士等の假定されたものと多少異つたとしても今考へて居る震源の深さ 360 km と云ふ様な深發地震では  $\frac{dT}{d\Delta}$  の値には大した變化を生じないと考へられる。依つて假に  $\frac{dT}{d\Delta}$  の値は近似的に不變と見て  $V$  が夫々 4, 5, 6, 7, 8 km/sec の場合に就て前記走時表の値を利用して  $\cos e$  を求め之から見掛けの射出角  $e$  を計算すると、第 4 圖に示す様に震央距離約 1000 km. 迄の範圍で、異常震域に於ては  $V=7.0\sim 8.0$  km/sec とした値が最もよく實測結果に適合し、他の地方に於ては  $V=5.0\sim 6.0$  km/sec とした値が實測結果に近い、假に 6.0 km/sec 及び 7.5 km/sec とすると此等の値は夫々地表下 10~20 km 及び 40~50 km

の速度に相當するもので、<sup>14)</sup> 勿論地表速度としては大に過ぎ、地下ある深さの有効的な速度を表はすものと考へられる。此等の  $V$  の値は嘗て遠地震の P 波射出角の實測値を満足する  $V$  が <sup>15)</sup> 5.6~8.0 km/sec と求められてゐると大體一致して居るのは面白い。

斯くして求められた 5.0~6.0 或は 7.0~8.0 km/sec なる値其儘を重視する譯には行きかねるが少くとも異常震域の地方では他の地方に比べて地表面近くの P 波速度が大である、或は異常震域でない地方では異常震域地方に比べて地震波速度の小さい表層が存在するか或はその層の厚さがより厚いと云ふ事が云へやう。此の結果は定性的ではあるが國富、和達、飯田、神原の諸氏に依つて明かにされた異常震域地方では P 波が他の地方より相對的に幾分早く到着すると云ふ結果とよく一致するものである。<sup>16)</sup>

(5) 本調査に依つて得られた結果を次に要約する。

(i) 最近我國に起つた震源の深さ 350 km 前後の深発地震 7 つに就て見掛の射出角  $\bar{\theta}$  と震央距離との關係を調べた。

(ii) 東北地方の東半部及び關東地方の北東部等の所謂異常震域に屬する地方では見掛の射出角  $\bar{\theta}$  は他の地方のより小さい。此は地表面近くの地層に於ける地震波速度が異常震域でない地方に於ては異常震域に屬する地方に比して小さいとして説明される。

(昭和 12 年 5 月 中央氣象臺にて)

文献：—1) B. Gutenberg; Handb. d. Geophys. IV. 190~192. 2) 石川; 近地地震に於ける初動の射出角, 驗震時報 I. 6~11. 同; Geophys. Mag. VII. 301~303. 3) 鈴木; 本郷, 三鷹に於ける初動入射角と地表速度. 地震 IV. 479~496. 4) 森田; 熊野灘深発地震に現はれたる東西日本の特異性. 驗震時報 IX. 4. 231~251. 5) Honda; Geophys. Magaz. vol. 8. 1934~1935. 327~332. 6) 竹花; 日本海中部の深発地震調査報告, 驗震時報 IX. 4. 253~264. 7) 杵島; 宗谷海峽東方沖の深発地震に就て. 驗震時報 IX. 4. 171~199. 8) 氣象要覽, 第 416 號, 342. 9) 氣象要覽, 第 446 號, 1071. 10) 氣象要覽, 第 446 號 1076. 11) 例へば石川; 「異常震域に就て」氣象集誌. IV. No. 6. 同; 異常震域 (第 2 報). 驗震時報 VII. 37~70. 12) Wadati, Sagisaka and Masuda; "On the Travel-Time of Earthquake Waves". (Part I) Geophys. Magaz. VII. 87~99. 13) 3) の 495 頁. 14) 12) の 88 頁. 15) 1) 参照. 16) Kunitomi; "Propagation of Seismic Waves in Japan", Geophys. Magaz. VI. 207~211. Honda; "A Note on the Anomaly of the Velocity of the Seismic Waves", Geophys. Magaz. VI. 189~192. Wadati; "Shallow and Deep Earthquakes (3rd Paper)", Geophys. Magaz. IV. 231~283. 飯田, 神原; 「P 波の傳播異常に就て」地震, VI, 301~317.