

昭和 10 年 飛驒高山附近の深発地震
4 月 15 日

鷺 坂 清 信

この地震は深さ約 270 軒の深発地震で關東地方に輕震程度の異常震域を生じ、其の他に彦根、盛岡及び釧路でも異常的に有感であつた。本報告は該地震の發震機構を主として調査したものである。その驗測表を示せば次の如くである。此の表中、S 波初動は記象の原紙又は複寫より著者自身で讀取つたものである。其の他の觀測値は主として測候所の報告のまゝを用ひたが P 波初動其の他に關し再検討して幾分改めた部分もある。

第 1 表 觀 測 表

觀測所	發震時 20 ^h	P 波 初 動			S 波 初 動			初期微 動時間 P~S	震央距離 Δ
		N	E	Z	N	E	Z		
松 本	^m 15 ^s 37.8	^μ —	^μ —	^μ —	(+525)	(+800)	^μ —	^m 28.0	^{km} 64
高 山	38.8	(+ 9.0)	(- 6.0)	—	(+108)	(+ 80)	—	27.3	0
富 山	41.4	- 5.6	- 1.9	- 40.0	+ 494	- 145	+ 34	27.6	57
伏 木	41.7	(- 10)	(+ 20)	—	—	—	—	27.8	73
彦 根	42.6	+ 45.7	+ 22.9	- 221.7	—	—	—	29.0	132
名古屋	42.8	+ 11.6	+ 3.3	- 158.8	—	—	—	27.7	112
長 野	43.5	- 4.0	- 4.3	+ 10.6	+ 387	- 114	- 170	28.8	99
高 田	43.8	—	(+ 4)	—	—	—	—	32.3	136
甲 府	44.2	—	- 13.9	- 14.7	—	—	—	28.7	127
伊吹山	44.3	+ 52	+ 42	—	—	—	—	28.8	110
追 分	44.5	—	—	—	—	—	—	28.3	117
輪 島	44.8	+ 27.4	- 2.7	+ 51.0	+ 494	- 172	—	28.6	141
岐 阜	44.9	+ 41.0	+ 18.0	- 140.0	- 93	+ 160	—	27.3	90
船 津	45.7	+ 0.7	- 0.8	- 2.0	—	—	—	31.1	152
龜 山	45.8	+ 54	+ 69	- 300	—	—	—	31.6	159
前 橋	46.8	0	0	—	+ 46	- 34	—	29.0	163
濱 松	47.0	+ 12	—	- 57	—	+ 186	—	31.7	165
熊 谷	47.7	—	—	—	—	—	—	31.7	189
宮 津	47.7	(+ 76)	(+ 86)	—	—	—	—	32.4	195

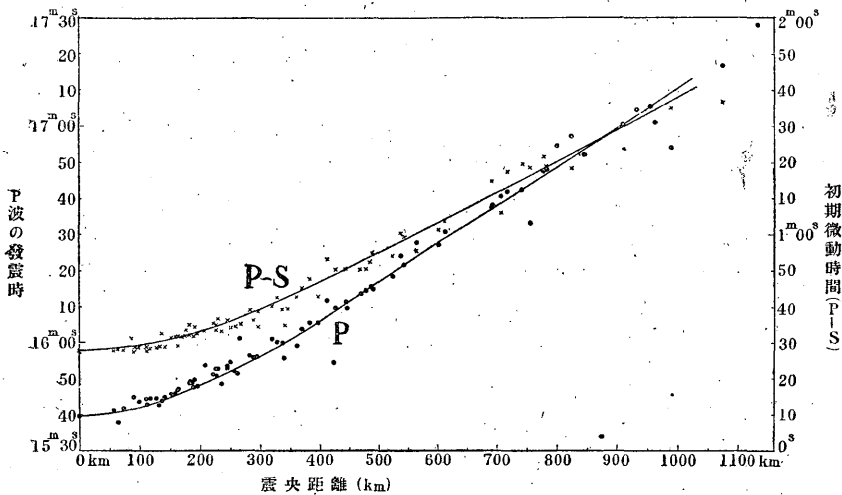
觀測所	發震時		P 波 初 動			S 波 初 動			初期微動時間 P~S	震央距離 Δ
	20 ^h		N	E	Z	N	E	Z		
宇都宮	^m 15	^s 48.5	—	—	—	—	—	—	^m 33.0	Km 236
三島	48.6	—	— 11	—	— 10	—	—	—	32.5	185
沼津	48.7	—	+ 11	— 8	—	—	—	—	34.9	183
京都	48.7	—	+ 51.3	+ 78.8	— 120.0	— 150	+ 119	—	32.2	184
御前崎	49.6	—	+ 6.0	—	— 5.0	—	—	—	34.4	191
豊岡	50.7	—	+ 50	+ 88	— 97	—	—	—	34.7	227
八木	51.2	—	(+ 67)	(+ 60)	—	—	—	—	35.2	222
柿岡	51.3	—	—	+ 2.4	—	—	—	—	34.8	263
筑波	52.0	—	—	—	—	—	—	—	34.3	257
大阪	52.6	—	—	—	—	—	—	—	36.3	230
横濱	52.8	—	—	—	—	—	—	—	33.3	226
神戸	52.8	—	+ 52.4	— 12.3	— 131.0	—	—	—	36.0	2.6
東京	53.4	—	0	0	+ ?	—	—	—	36.0	246
伊東	53.7	—	(+ 7)	(+ 8)	—	—	—	—	33.2	209
下關	54.3	—	—	—	—	—	—	1	04.9	424
新潟	54.5	—	—	—	—	—	—	—	34.2	251
水戸	55.7	—	—	—	—	—	—	—	36.0	289
小名濱	55.7	—	—	—	—	—	—	—	39.1	340
洲本	56.1	—	+ 18.8	+ 18.9	— 26.5	— 109	+ 54	— 25	38.7	295
和歌山	56.3	—	+ 85.1	+ 33.9	— 55.1	—	—	—	38.9	283
山形	59.0	—	(+ 15)	(+ 20)	—	—	—	—	42.5	361
福島	59.7	—	+	+	+	—	—	—	39.2	337
潮岬	16 00.0	—	+ 14.7	+ 1.2	— 29.0	— 197	+ 178	—	42.3	328
銚子	00.9	—	— 3.9	+ 7.6	+ 4.1	— 26	—	—	39.9	320
富崎	01.1	—	—	—	—	+ 29	— 51	—	—	266
境	03.7	—	(+ 50)	(+ 50)	—	—	—	—	45.0	370
多度津	05.3	—	(+ 40)	(+ 54)	—	—	—	—	47.5	383
仙臺	05.4	—	—	+ 2	+ 16	—	—	—	42.7	398
室戸	09.5	—	— 14	+ 8	—	—	—	—	50.0	427
高知	11.0	—	+ 14.3	+ 14.3	— 27.1	— 27	+ 34	— 72	50.0	445
八丈島	11.5	—	—	—	+ 8.8	—	—	—	53.0	413
秋田	13.2	—	+ 7	+ 21	+ 46	+ 72	— 70	— 26	50.2	469
水澤	14	—	—	—	—	—	—	—	50.0	477
濱田	14.6	—	—	+ 7.0	— 18.7	—	—	—	54.8	491

観測所	發震時 20 ^h		P 波 初 動			S 波 初 動			初期微 動時間 P~S	震央距離 Δ
			N	E	Z	N	E	Z		
松 山	^m 16	^s 14.9	+ 21	+ 35	- 25	μ	μ	μ	^m 52.1	^{km} 486
盛 岡		18.4	+ 1.0	+ 0.7	—	—	—	—	53.9	525
清 水		21.5	+ 3	+ 4	—	—	—	—	59.0	545
宇和島		23.9	(+ 8)	(+ 12)	—	—	—	1	00.0	539
青 森		27.1	—	—	—	—	—	1	01.2	604
宮 古		27.6	—	—	—	—	—	—	55.4	566
大 分		30.5	—	—	—	—	—	1	03.8	615
室 蘭		33.0	—	—	—	—	—	1	18.6	757
福 岡		37.3	+ 3	+ 13	—	—	—	1	14.5	693
函 館		38.0	—	—	—	—	—	1	48.7	694
熊 本		40.3	+ 6.0	+ 13.6	- 21.8	—	—	1	06.0	708
宮 崎		41.7	+ 3.8	+ 3.1	- 5.0	—	—	1	17.1	719
温泉岳		42.0	(+ 7.2)	—	—	—	—	1	19.4	745
長 崎		47.3	—	—	—	—	—	1	21.3	779
大 邱		47.6	—	—	—	—	—	1	17.9	783
札 幌		52.1	—	—	+ 15.5	—	—	1	22.0	846
羽 幌		54.0	—	—	—	—	—	1	35.0	990
鹿兒島		54.3	—	—	—	—	—	—	—	801
浦 河		57.0	—	—	—	—	—	1	18.4	825
帶 廣	17	00.3	—	—	—	—	—	1	23.7	911
仁 川		01.0	—	—	—	—	—	2	00.5	963
京 城		04.5	—	—	—	—	—	—	—	933
旭 川		05.4	—	—	—	—	—	—	—	956
根 室		16.6	—	—	—	—	—	1	36.5	1074
名 瀬		28.0	—	—	—	—	—	—	—	1133
德 島		—	(+ 42)	(+ 70)	—	—	—	—	34.8	341
勝 浦		—	—	—	—	—	—	—	34.4	297
飯 田		—	(+ 4.0)	(- 4.0)	—	—	—	—	31.1	85
津		—	+ 12.0	+ 55	—	—	—	—	31.7	172
姥 子		—	—	—	—	—	—	—	32.2	183
福 井		—	(+ 25)	(+ 60)	—	(+400)	(+345)	—	28.8	93

S 波初動の中、括弧あるは簡單微動計の記象によるもので、他は全部ウィーベルト式地震計記象による。又 P 波初動についても大體同様である。

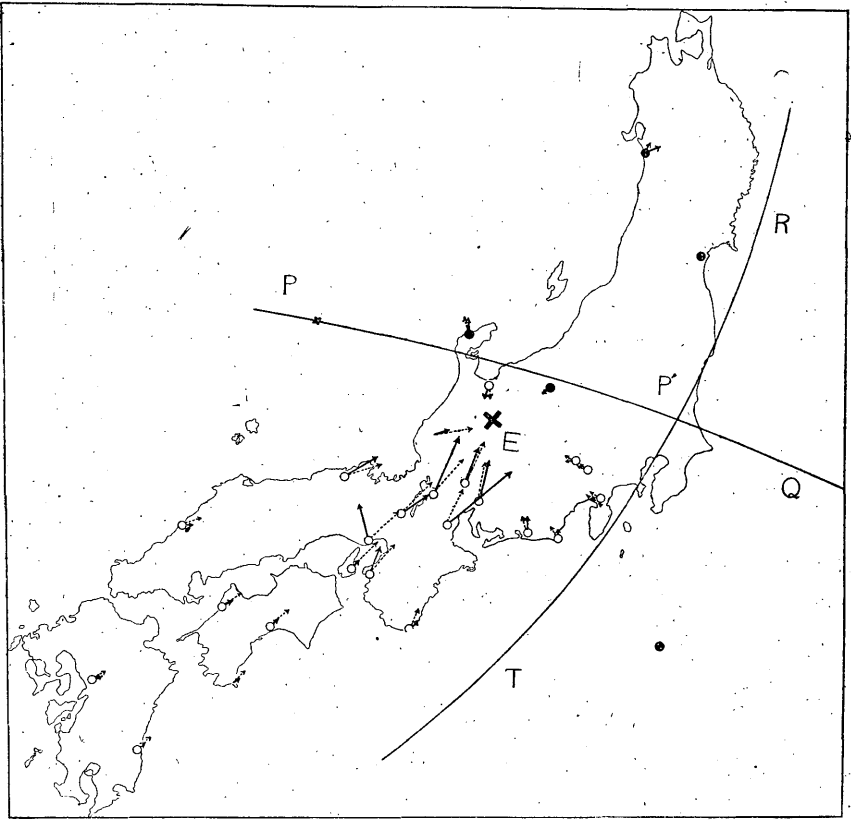
震央は東經 137°15' 北緯 36°10' 即ち飛驒の高山附近で、等發震時線並びに等初期微動線の中心及び初動方向の集合點等から求めたものの平均である。次に震源の深さを求めるために、P 波及び R~S の走時曲線を第 1 表に依り描けば第 1 圖の如くなる。之を和達・益田・鷺坂の P 波に関する走時表及び竹花・鷺坂の P~S に関する走時表と比較してその深さを求められれば平均 270 軒となる。

第 1 圖 P 波及 P-S の走時曲線



今 P 波の初動分布圖を第 1 表により作成すれば第 2 圖の如くなる。實線の矢の方向は水平分動の合成方向であり、その大きさは上下動をも合成したものに比例して描いたものである。又上下は●○印に依つて區別した。即ち●は密波、○は疎波の射出した観測所である。第 2 圖に於いて P 波の初動の相反する境界線即ち P 波の節線を描けば PP'Q, RP'T の如くなる。其の交點 P' と震央 E の距離は 255 軒で P' に射出する震波が震源 H に於ける鉛直線となす角 β は 45°11' である。此の際、震波線の曲がることは勿論計算に入れてある。初めにこの P 波初動分布圖を基として發震機構を考究し、次に S 波初動をも考察する考へである。震源 H の近傍に半径 $r=a$ の十分に小さい球を想像し、其の震源のモデルなる球面上に震央 E 及び P 波の節線 PP'Q 及 RP'T 等を投影したものを描けば第 3 圖の如くなる。この球面上に

第 2 圖 P 波初動分布圖 (實線は實測値, 點線は計算値を示す)



$$(\widehat{rr})_{r=a} = F \sin 2\theta \cos \varphi \sin pt, \quad (\widehat{r\theta})_{r=a} = 0, \quad (\widehat{r\varphi})_{r=a} = 0$$

なる力を作用せしめるときは、本多弘吉博士の計算に従へば地表上に於ける P 波及び S 波の振幅の大きさは球座標で次の式で表はされる。

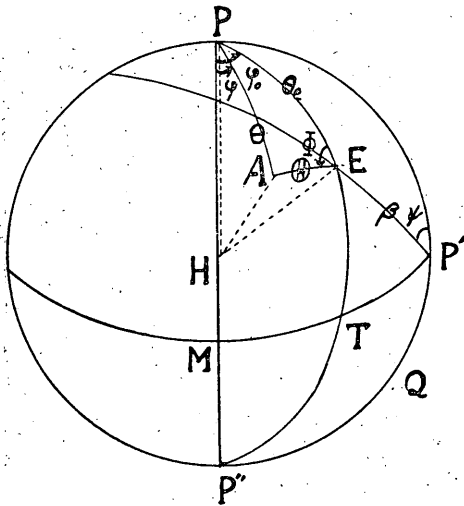
$$u_p = 2\mathcal{U}_p \sqrt{\frac{\rho v}{\bar{\rho} \bar{v}}} \sqrt{\frac{\sin \theta d\theta}{\Delta \sin \epsilon_0 d\Delta}} \sin 2\theta \cos \varphi \dots \dots \dots (1)$$

$$u_{s\Delta} = U\mathcal{U}_s \sqrt{\frac{\rho v}{\bar{\rho} \bar{v}}} \sqrt{\frac{\sin \theta d\theta}{\Delta \sin \epsilon_0 d\Delta}} \cos 2\theta \cos \varphi \dots \dots \dots (2)$$

$$u_{s\theta} = -2\mathcal{U}_s \sqrt{\frac{\rho v}{\bar{\rho} \bar{v}}} \sqrt{\frac{\sin \theta d\theta}{\Delta \sin \epsilon_0 d\Delta}} \cos \theta \sin \varphi \dots \dots \dots (3)$$

但し ($U=2$)

第 3 圖 震源の模型圖



此の計算には震波線の曲りや地表面反射の影響等を考慮に入れて居ることは勿論である。任意の観測點 A に於ける θ , φ の取り方は第 3 圖に示すが如くである。即ち其の極 P は $P'P=90^\circ$ の點であり、 φ は P と $P'T=90^\circ$ の點 M とを結ぶ經線 PM を基線としたものである。又 θ , φ の取り方も亦同圖に示す如くである。即ち θ は震源 H と震央 E とを結ぶ鉛直線 HE を基線とせる角距離で、震央距離 Δ から求め

られる。一般に或る震波線に關し其の上の或る點の入射角を θ とし其の點に於ける速度を v 、地球の中心からの距離を r とし、其の波線が地表面に對する射出角の餘弦を α 、地表面に於ける震波の速度を \bar{v} 、地球の半徑を r とすれば次の關係がある。

$$\sin\theta = \frac{\bar{v}}{r} \frac{v}{\bar{v}} \alpha \dots\dots\dots(4)$$

$$\alpha = \cos e_0 = \bar{v} / \frac{d\Delta}{dt}$$

$\frac{d\Delta}{dt}$ は表面上の見掛けの速度である。我々の場合には次の如く取ることが出来る。即ち $\bar{r} = 6367 \text{ km}$, $r = 6367 - 280 = 6087 \text{ km}$, $v = 8.38 \text{ km/sec}$, $\bar{v} = 3.20 \text{ km/sec}$, 但し震源の深さは前述の如く 270 km と求められたのであるが本報告には 280 km として取扱ふ。それはその差は誤差の範囲内であり、發震機構の計算に種々必要なる計算値が $h=280 \text{ km}$ に就いて本多技師其他の方により算出されて居て、それを借用出来る便宜のためである。(4) 式に上記の値を代入した結果は

$$\sin\theta = 2.74\alpha \dots\dots\dots(5)$$

楮和達の走時表に依れば震源の深さ $h=280$ km に關し任意の震央距離 Δ に就いて α が與へられてある故に θ を求めることが出来る。次に Φ は震央 E と極 P とを結ぶ線 EP を基線とせる觀測點の角距離で、地圖上で測ることが出来る。

地圖上で測られた觀測點の位置 (θ, Φ) と本多博士の座標の取り方に於ける (θ, φ) との間には次の關係式がある、

$$\cos\theta = \cos\theta_e \cos\theta_e + \sin\theta \sin\theta_e \cos\Phi,$$

$$\sin\varphi_1 = \frac{\sin\theta \sin\Phi}{\sin\theta} \quad \varphi = \varphi_0 - \varphi_1 \dots\dots\dots (5)$$

又第3圖に示された記號中、常數を求めて記せば

$$\beta = EP' = 45^\circ 11', \quad \theta_e = EP = 50^\circ 32', \quad \psi = \angle EP'P = 26^\circ 22',$$

$$\varphi_0 = \angle MPE = 65^\circ 55'$$

である。故に (θ, Φ) を知れば (θ, φ) を求めることが出来る。

式(1), (2), (3)の中の $\sqrt{\frac{\rho v}{\bar{\rho} \bar{v}}} \sqrt{\frac{\sin\theta d\theta}{\Delta \sin\theta_e d\Delta}}$ は $h=280$ km の深さに關し各 Δ について本多技師の算出された表(驗震時報第9卷 16頁)があり之を其儘借用する。 $\bar{\rho}, \bar{v}$ 及び ρ, v は地表及び $h=280$ km に於ける密度とP波速度であるがP波とS波は同一經路を取るものと見做し得るが故に $\sqrt{\frac{\rho v}{\bar{\rho} \bar{v}}} \sqrt{\frac{\sin\theta d\theta}{\Delta \sin\theta_e d\Delta}}$ はS波にも用ひることが出来る。斯くして(1), (2), (3)式の右邊に於いて係數 \mathcal{U}_p 或は \mathcal{U}_s を除いた項は各觀測點に就いて算出することが出来る。

今第1表中、ウィーヘルト地震計につきP波初動の三分動が求められたもののみにつき \mathcal{U}_p を算出し其の平均を求むれば

$$\mathcal{U}_p = 1.94 \times 10^5 \text{ C.G.S.} \dots\dots\dots (6)$$

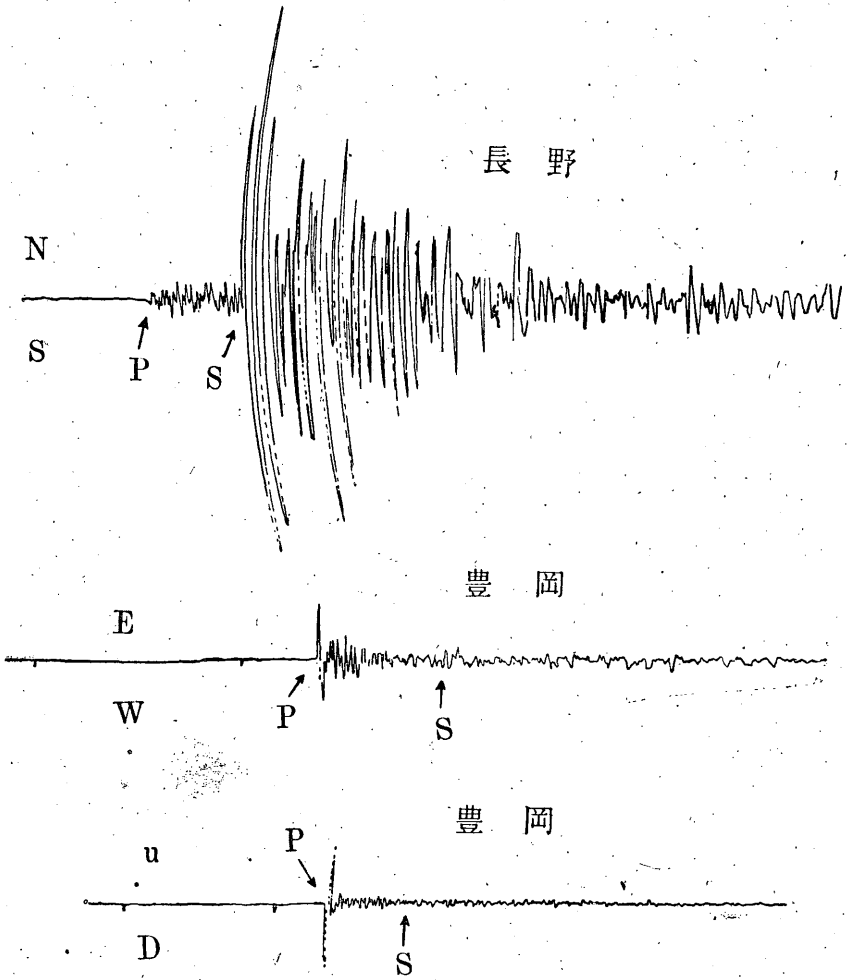
となる。この値を用ひて(1)式から u_p を計算したものと實測値とを第2表に記し、之を第2圖に示す。圖中點線は計算値である。大體から見て實測値と計算値とは一致して居るが遠方の觀測點に於いては實測値が計算値に比較して幾分不足して居ることが見へる。此處でP相節線の引き方について反省して見るに、中部地方の大部分及び近畿地方はP波初動が極めて大きく、四國、中國及び九州の諸地方も亦明かに現はれて居り此の地域は疎波を受けたことに對しては何等の疑ひはない。次に東北地方の全般に於いてP波初動の水平動の明か

第2表 P波初動の計算値と實測値

観測所	θ		ϕ		P波初動(水平上下成分の合成値)		α_p
					計算値	實測値	
高山	0°	—	—°	—	113.1 ^{μ}	11 ^{μ}	— <small>$\times 10^8$C.G.S.</small>
富山	13	36	— 58	53	31.5	40	2.46
彦根	27	30	74	43	173.1	228	2.56
名古屋	24	12	101	37	146.8	159	2.10
長野	21	48	—117	47	7.5	12	3.12
甲府	26	48	—176	05	33.1	20	—
輪島	28	54	— 48	53	43.9	58	2.56
岐阜	20	24	88	37	164.0	147	1.74
船津	30	36	—179	11	23.5	4	0.33
龜山	31	48	91	19	151.2	313	4.02
濱松	32	36	133	07	67.7	57	1.63
三島	35	36	171	19	12.7	15	—
沼津	35	24	169	07	19.2	14	—
京都	35	30	70	37	166.7	152	1.77
御前崎	36	36	145	25	32.1	8	—
豊岡	41	36	44	31	149.8	140	1.81
柿岡	46	30	—148	59	0.5	2	—
神戸	44	18	68	19	157.4	142	1.75
洲本	50	20	70	49	141.0	38	0.52
和歌山	48	48	76	01	40.0	107	1.48
潮岬	54	06	93	13	88.1	33	0.73
仙臺	61	03	—112	53	5.3	16	5.84
高知	64	40	67	43	93.4	34	0.71
八丈島	62	18	154	37	52.0	9	—
濱田	67	48	44	49	79.6	20	1.09
松山	67	30	60	37	85.8	48	—
盛岡	69	54	— 99	35	12.5	2	—
清水	71	05	72	07	64.9	5	—
秋田	66	24	— 92	23	32.1	50	3.02
福井	20	54	36	25	148.8	64	—
熊本	80	04	59	19	44.4	26	1.13
宮崎	80	30	68	19	38.1	7	0.36

平均 $\alpha_p = 1.94 \times 10^8$ C.G.S.

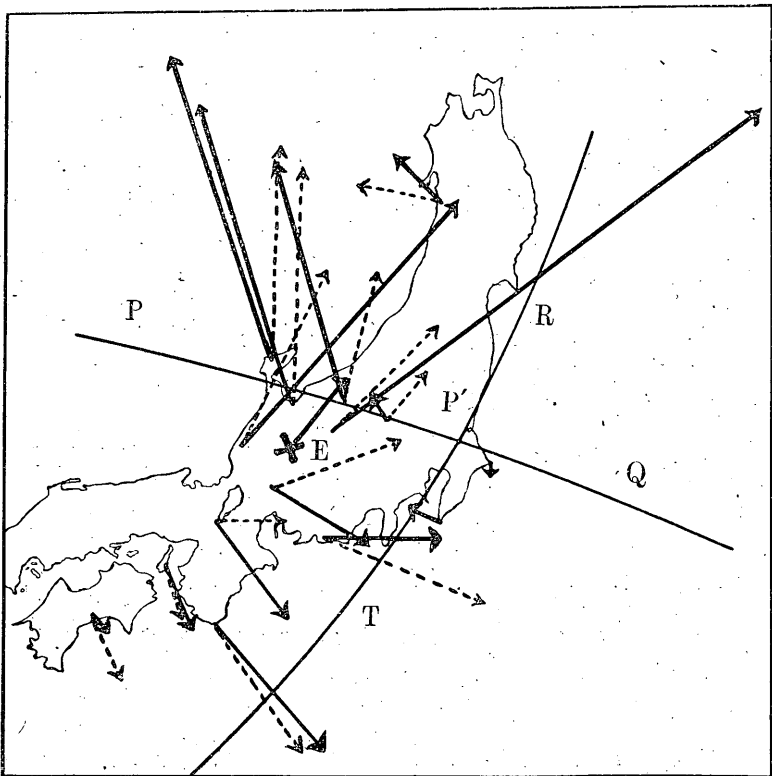
第4圖 ウィーヘルト地震計記象



な所は少ないが上下動は何れも上動で明瞭である、又輪島も NNW の上動で東北地方と共に密度の範囲に入る。長野は上下動と水平動の方向が矛盾して居り、第4圖に示すが如く其のP記象の相は極めて小さくS相は大きくある所から見て、長野附近はP波節線に當ると見られる。尙又前橋のウィーヘルト地震計の記象は上下動も水平動も初動は極めて小さく其の方向は読み取れない。故

に一つのP波節線は能登半島の中部から長野、前橋等を通るものとしてよからう。次に八丈島の記象は水平動初動は脈動に被はれて不明だが上下動に於いては上動であることは明瞭である。故に此の方面は密波である。東京及び富崎の初動は小さくて読み取れない。横濱の初動は報告されてゐない所を見ると恐らく小さいのであらう。三島の初動は小さく而かも矛盾して居る。之等から考察して他の一つのP波節線は第2圖のTP'Rの如き位置にあるものと見られる。唯第2圖のRP'Qの象限内の地域の観測が全然ないのを遺憾とする。従つて所謂、圓錐型の發震機構でも説明出来るやうに思はれるが震源の深さ270呎に對して九州地方までも密波の範圍に入ることは其の頂角を極端に大きく取らなければならないので無理のやうである。

第5圖 S波初動分布圖



次にS波初動について述べる。今S波の水平初動が明かに讀取れたものを第1表により描けば第5圖の實線の矢の如くである。P波節線の近傍ではS波初動は明瞭に現はれ、その例として、第4圖に長野の記象を挙げた。扱式(2)(3)の左邊の合成値は實測から知れ、右邊は \mathcal{A}_s 以外の項は前述の如く計算される故に \mathcal{A}_s は求められる。ウィーヘルト式地震計の水平動の記象にS波初動が相當明瞭に現はれたもののみにつき \mathcal{A}_s の平均値を求めれば、

$$\mathcal{A}_s = 4.5 \times 10^6 \text{ C.G.S.} \dots\dots\dots (7)$$

となる。此の値を用ひS波初動の大きさの計算値を求め實測値と對照して第3表に示す。

第3表 S波初動の計算値と實測値

觀測所	θ	ϕ	S波初動(水平成分)		\mathcal{A}_s ×10 ⁶ C.G.S.
			計算値(方向)	實測値	
松本	15° 06'	-144° 29'	255 (N44°E)	957	—
富山	13 36	- 58 53	399 (N 2E)	515	5.8
長野	21 43	-117 47	231 (N13E)	416	8.1
輪島	28 54	- 48 53	358 (N 2E)	523	6.5
岐阜	20 24	88 37	228 (N70E)	185	3.6
前橋	32 24	-142 17	96 (N35E)	58	2.7
濱松	32 36	133 07	291 (S67E)	186	2.9
京都	35 30	70 37	111 (E)	191	7.7
洲本	50 20	70 49	96 (S17E)	122	5.7
潮岬	54 06	93 13	249 (S35E)	226	4.8
富崎	46 48	-178 37	154	59	1.7
高知	64 40	67 43	108 (S28E)	43	1.8
秋田	66 24	- 92 23	157 (N75W)	100	2.9
福井	20 54	36 25	316 (N25E)	347	—

平均 $\mathcal{A}_s = 4.5 \times 10^6 \text{ C.G.S.}$

この表に於ける計算値のS波の初動方向を知るには觀測點A(第3圖及び第2圖参照)を通る經線PAと地圖上で觀測點と震央Eとを結ぶAE直線との角Aを求むれば充分である。それには次式が用ひられる

$$\sin A = \frac{\sin \theta_e \sin \phi}{\sin \theta} \dots\dots\dots (8)$$

第5圖の點線はS波の計算値であるが、大體から見て方向及び大きさが實測と合致してゐる。

最後に震源に於ける壓力の方向は $\theta = 45^\circ$, $\varphi = 0$ であり、この方向を (θ, Φ) で表すには次式による、

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \cos \theta_e \cos \theta + \sin \theta_e \sin \theta \cos \varphi_0 \\ \sin \Phi &= \frac{\sin \varphi_0 \sin \theta}{\sin \theta} \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

$$\theta_e = 50^\circ 32', \varphi_0 = 65^\circ 55', \theta = 45^\circ$$

計算の結果は $\theta = 47^\circ 45'$, $\Phi = 60^\circ 42' = S65^\circ 30' W \dots\dots\dots (10)$

即ち壓力の方向は震源に立てた鉛直線 HE に對し $S65^\circ 30' W$ の方向に $47^\circ 45'$ の角をなす方向である。従つて水平の成分は $S65^\circ W - N65^\circ 30' E$ の方向である。此の壓力の方向に近い位置の記象の例として豊岡のウィーヘルトの記象を示した。水平動も上下動も初動が最大値を示しS相は極めて小さく其の始りは読み取れない。圖にSと指示したのはP~S曲線(第1圖)から豊岡の震央距離に當る値を求めて示したものである。此の記象は蓋し故大森博士が「初期微動なしの記象」と言はれた代表的のものであらう。

結 論

此の地震の震央は東經 $137^\circ 15'$; 北緯 $36^\circ 11'$ 即ち飛驒の高山附近で、震源の深さは270 呎と求められた。震源に於ける壓力の方向は震源に於ける鉛直線 HE と $47^\circ 45'$ の角をなし、 $S65^\circ 30' W$ の向きである。發震機構に関する係數 $\mathfrak{A}_p, \mathfrak{A}_s$ の値は夫々 $1.94 \times 10^5 C.G.S.$, $4.5 \times 10^5 C.G.S.$ であつて、P波及びS波の初動分布の方向及び大きさの割合は所謂象限型の發震機構を大體に於いて満足するが圓錐型ではP波初動の解釋に無理を生ずることになる。

終りに臨んでこの報文の作成に當り種々御助言下さつた本多博士に深謝致します。計算並びに製圖につき御助力下さつた佐藤薫様に厚く御禮申します。

引 用 文 献

- (1) 氣象集誌 第10卷(460—474頁), Geophysical Magazine vol. 7 (87—111)
- (2) 驗震時報 第8卷(149—161頁)
- (3) 驗震時報 第5卷(93—109頁)
- (4) 驗震時報 第9卷(8—24頁)
- (5) 海と空 第11卷(277—288頁)