

1958年11月10日の浅間山爆発による地震と空振*

竹山一郎**・田中康裕**・小林悦夫**・磯野良徳***

550.21

On the Seismic Waves and Air-shocks Caused by the Explosion of Volcano Asamayama, Nov. 10, 1958

I. Takeyama, Y. Tanaka, E. Kobayashi
(Seismological Section, J. M. A.)

Y. Isono
(Electronic Computation Center, J. M. A.)

The authors investigated the seismic waves and air-shocks caused by the volcanic explosion on Nov. 10, 1958. The summary of the analytical results is as follows;

(1) As the result of analyses of seismic waves, two layers are supposed to exist under the ground of Asamayama, and the thickness of the upper layer is about 7 to 8 km. The velocities of \bar{P} , \bar{S} , P and S are 4.5, 2.7, 5.8 and 3.6 km/sec respectively. Poisson's ratio of the upper layer is 0.23 and that of the lower layer is 0.18.

(2) Air-shocks of the explosion were recorded by the seismographs (Table 1). The period of the 1st wave (or I) was about 5 sec. The 2nd wave (or II) was recorded about 10 seconds later than the 1st wave (or I), and its period was less than 0.5 sec. The velocity of the 1st wave (or I) is about 350 m/sec and that of the 2nd wave (or II) is about 320 m/sec.

(3) The energy of the explosion earthquake is about 4×10^{19} ergs.

(4) In the 1st outer zone of audibility, sounds were heard twice or three times. The phenomena were explained to a certain degree by tracing the sound paths (Fig 1).

(5) The 2nd outer zone of audibility was observed far away beyond a zone of silence and the 1st outer zone.

(6) The air-vibration (period; 0.5~1 min.) was recorded by the barographs and the micro-barographs at many weather stations. The propagation velocity is about 280 m/sec in all directions.

(7) The energy of the 1st shock of air-vibration is estimated to be about $10^{17} \sim 10^{18}$ ergs.

§ 1. は し が き

1958年11月10日22時50分、浅間山は近年まれな大爆発をした。その爆発音・空振・地震は中部・関東両地方をはじめ、その他の地域にわたって広く観測された(Fig. 1)^{1,2)}。この分布についての調査は気象庁地震課および東京管区気象台調査課がおもに担当したが、さらに各地の

* Received Jan. 18, 1960

** 気象庁地震課

*** 気象庁電子計算室(前東京管区気象台調査課)

¹⁾ 軽井沢測候所：昭和33年11月10日浅間山爆発に関する調査報告(1958年11月)。

²⁾ 気象庁：同上(1958年12月)。

記録を集めて種々解析を行ったので、その結果を報告する。

§ 2. 地震波の解析

今回の爆発による地震動は Fig. 1 のように広い地域で記録された (Table 1)。この記録を一見して明りょうなことは、各観測点とも表面波が非常に卓越しているのに反して、実体波は浅間山近辺の追分・松代を除けば微弱であった (Fig. 2)。そのため、記録から相を検出するのに困難を伴ったが、震央距離の前後する地点の記録をも参考にして走時曲線を作成した (Fig. 3, 4 便宜上、各走時をそれぞれ第 I ~ VII 波と名付ける)。

Table 1. Seismological data of the explosion of Asamayama on Nov. 10, 1958.

Station	Distance from the volcano km	<i>P</i> h m s	\bar{P} h m s	<i>S</i> h m s	\bar{S} h m s	<i>L</i> h m s	Air-shock h m s	(Period) s	N-component	E-component	Z-component
									Max. amplitude (Period)	Max. amplitude (Period)	Max. amplitude (Period)
Oiwake	8	—	22 50 26.2	—	22 50 27.5	22 50 28.6	22 50 44.0	(short)	248 (4.2)	333 (4.7)	—
Matsushiro	33	—	50 30.6	—	50 37.8	50 35.8	—	—	5 (4.0)	8 (4.0)	3 (2.—)
Nagano	42	—	50 33.0	—	50 40.0	50 42.0	52 28.3	(0.6)	26 (4.2)	24 (3.0)	17 (1.7)
Maebashi	49	22 50 34.3	—	22 50 40.6	50 41.8	50 52.9	{ 52 49.0 52 55.6	{ (8.0) (0.5)	50 (3.5)	34 (3.1)	20 (3.4)
Matsumoto	52	50 35.0	—	—	—	50 50.1	—	—	—	14 (4.7)	—
Chichibu	69	—	50 38.6	—	50 50.0	—	—	—	10 (3.2)	6 (3.2)	—
Kumagaya	82	—	—	50 50.5	50 56.2	51 01.4	{ 54 25.7 54 29.3	{ (4.3) (0.5)	29 (4.6)	59 (4.1)	48 (4.1)
Kofu	82	—	50 41.9	—	50 55.6	—	—	—	8 (4.2)	—	—
Takada	82	—	—	50 49.8	—	50 59.5	—	—	—	15 (2.8)	—
Funatsu	102	50 43.4	—	—	—	—	—	—	6 (3.6)	—	—
Iida	116	—	—	51 03.8	—	—	—	—	—	—	—
Utsunomiya	122	50 47.5	—	51 00.9	51 10.9	51 16.7	{ 56 19.0 56 35.5	{ (—) (—)	5 (2.1)	5 (2.0)	6 (3.1)
Toyama	124	50 47.6	50 51.0	—	51 09.1	51 20.6	—	—	10 (4.8)	13 (5.8)	6 (4.2)
Tokyo	138	—	—	—	51 13.1	51 27.—	{ 57 10.0 57 18.0	{ (4.1) (0.4)	29 (6.0)	36 (4.6)	24 (4.5)
Mishima	147	—	—	51 09.4	51 18.9	51 25.1	—	—	4 (3.3)	3 (3.5)	—
Yokohama	149	—	50 57.9	—	51 17.7	—	57 46.9	(4.8)	21 (5.2)	18 (4.0)	10 (4.8)
Shizuoka	159	—	—	51 10.7	51 20.2	51 29.6	—	—	>2 (—)	>4 (—)	—

Station	Distance from the volcano	P	\bar{P}	S	\bar{S}	L	Air-shock	(Period)	N-component	E-component	Z-component
									Max. amplitude (Period)	Max. amplitude (Period)	Max. amplitude (Period)
Mito	170	h m s — — —	h m s 22 50 58.1	h m s 22 51 13.5	h m s 22 51 25.3	h m s 22 51 40.—	h m s 22 58 47.2 59 01.7	s (3.—) (0.3)	μ s 9 (4.6)	μ s 8 (3.4)	μ s — —
Shirakawa	172	22 50 57.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Niigata	176	—	—	51 13.8	—	—	{ 58 57.8 58 57.8	(2.—) (0.4)	29 (4.4)	27 (5.2)	8 (4.1)
Kanazawa	190	—	—	51 22.0	—	—	—	—	—	—	—
Gifu	195	50 59.2	—	51 20.4	51 36.1	—	23 03 24.4	(2.8)	—	4 (4.2)	—
Nagoya	196	50 58.8	—	—	51 41.0	—	02 47.—	(—)	4 (3.0)	8 (5.0)	—
Omaezaki	201	51 01.2	—	51 27.1	—	—	02 33.9	(—)	6 (5.6)	8 (5.6)	—
Hamamatsu	202	—	—	—	51 41.3	—	—	—	—	5 (4.8)	—
Tomisaki	204	—	—	51 26.9	—	—	—	—	—	—	—
Fukui	210	—	—	51 16.8	—	—	—	—	—	—	—
Choshi	224	—	—	—	—	—	01 27.7	(—)	—	—	—
Ibukiyama	224	—	—	51 19.4	—	—	—	—	—	—	—
Onahama	224	—	—	—	51 43.7	—	01 18.9	(—)	—	—	—
Fukushima	230	51 07.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tsuruga	238	—	—	51 29.3	—	51 58.9	—	—	—	—	—
Hikone	242	51 10.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kyoto	298	—	—	51 37.0	—	—	—	—	—	—	—
Sendai	298	—	—	—	51 56.9	—	—	—	—	—	—
Osaka	336	—	—	51 52.—	—	—	—	—	—	—	—
Owashi	338	51 10.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Toyooka	350	—	—	—	52 27.—	—	—	—	—	—	—

Table 2. Barograph data of the explosion of Asamayama.

Station	Max. vibration		Station	Max. vibration	
	mb	mb		mb	mb
Oiwake	+5.0	-4.0	Wakamatsu	0.6	
Karuizawa	+4.1	-2.6	Wajima	0.1	
Nagano	+0.4	-0	Kanazawa	0.3	
Maebashi	+2.3	-2.1	Gifu	+0.37	-0
Suwa	Slight		Nagatsuro	+0.4	
Chichibu	+1.2	-1.5	Tomisaki	0.5	
Kumagaya	+2	-1	Irako	0.3	
Chugushi	+1.0	-0.6	Hikone	0.24	
Funatsu	0.1		Kameyama	0.05	
Takayama	+0.1	-0	Yamagata	0.1	
Utsunomiya	+0.72	-0.27	Sendai	0.1	
Gotemba	Slight		Osaka	0.2	
Tokyo	+0.09	-0.08	Tottori	0.2	
Tsukubasan	+1.0	-0.3	Akita	0.1	
Mito	+0.45	-0.35	Shionomisaki	0.3	
			Okayama	0.3	
			Yonago	0.2	
			Kagoshima	0.1	

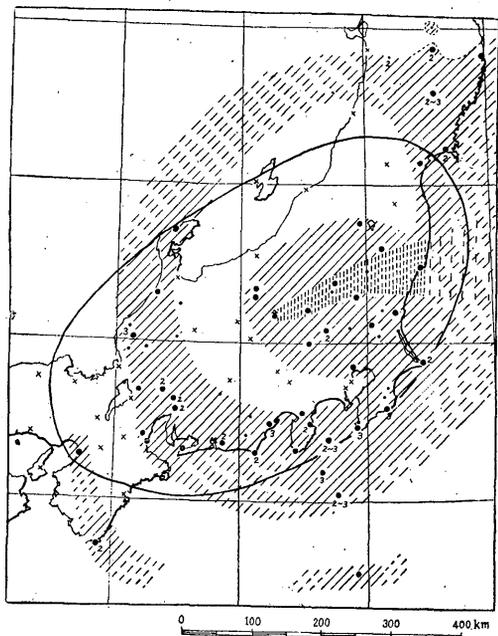


Fig. 1. Distribution map of sound, ash and earthquake at the explosion of Asamayama, Nov. 10, 1958.

- Place where sounds or shocks were perceived (The entered figures denote frequency of sounding.)
- × Place where no sound was heard
- ||||| Place where ashes fell
- Place where explosion earthquake was recorded

爆発時刻 この走時曲線から爆発時刻は 22 時 50 分 24 秒となる。

第 I 波 (*P* 波と思われる相) 追分, 松代を除いた地点では, いずれも微弱な波で始まるが, 振動方向からみていずれも縦波の性質を持っている。速度は 5.9 km/sec であった。なお, 石川³⁾ は 1929 年の浅間山の爆発地震について, 震央距離 150 km 以上に 5.0 km/sec の波があることを示しているが, 今回のでは不明りょうである。

第 II 波 (*P* 波と思われる相) 速度は 4.5 km/sec で, 震央距離 45 km 付近から第 I 波とわかれる。

第 III 波 (*S* 波と思われる相) 速度は 3.6 km/sec で, 第 I, II 波に比して, 各観測点ともかなり明りょうに記録された。なおこの相は石川³⁾, 大森⁴⁾ が *P* 波としていたものである。

第 IV 波 (*S* 波と思われる相) 速度は 2.7 km/sec で, 第 III 波以上に明りょうな相である。震央距離 40 km 付近で第 III 波とわかれる。

第 V 波 (表面波と思われる相) 速度は 2.2 km/sec. この第 V 波から顕著な表面波が卓越している。なおこの相は石川³⁾, 大森⁴⁾ が *S* 波としていたものである。

地下構造 以上の結果から, 浅間山付近の地殻の上部に一つの層があると仮定すると, 上層および下層のそれ

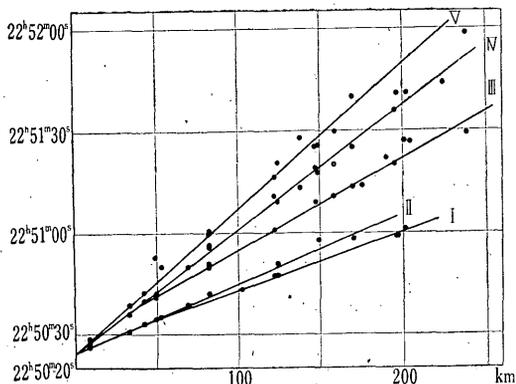
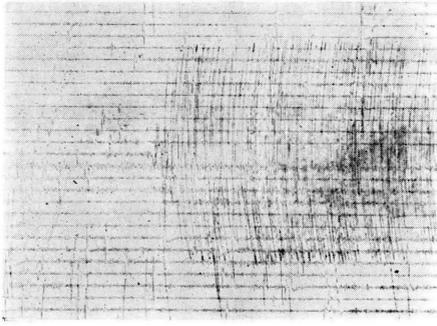


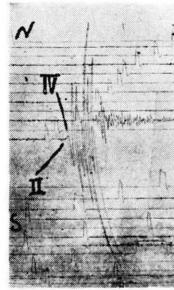
Fig. 3. Time-distance curve of seismic waves from the explosion of Asamayama.

³⁾ 石川高見: 昭和 4 年 9 月 18 日浅間山爆発報告, 験震時報, 4 (1930), 161-185.

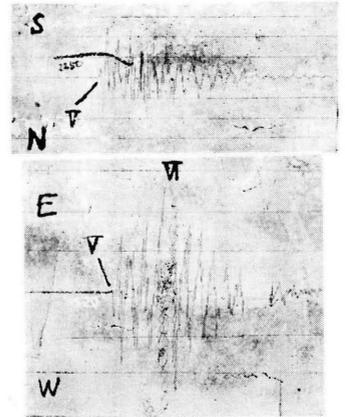
⁴⁾ 大森房吉: 震災予防調査会吹文紀要, 第 6 卷~第 7 卷 (1912~1919).



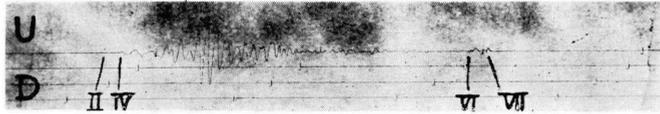
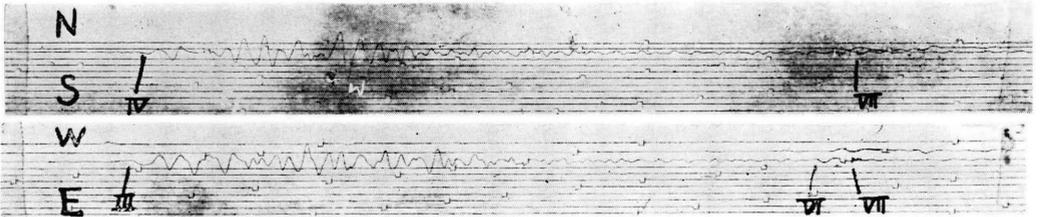
Electro-magnetic Seismograph (Oiwake)



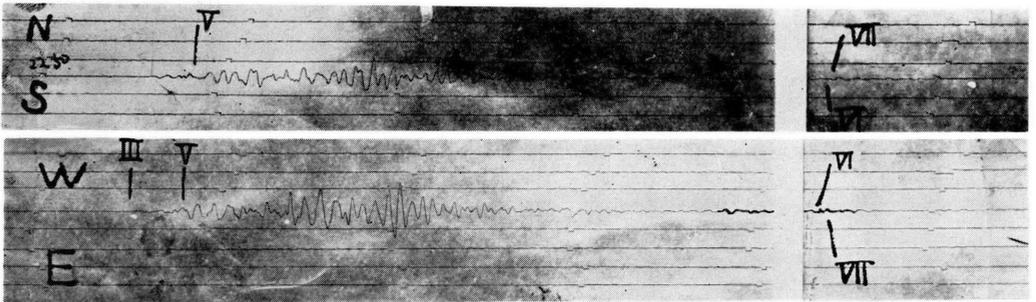
450 times Seismograph (Oiwake)



Omori's Tromometer (Oiwake)

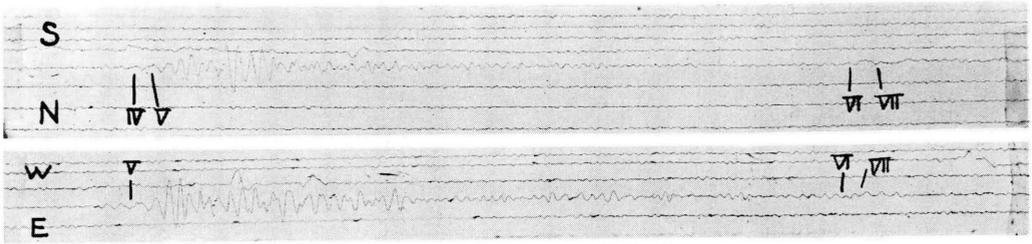


Wiechert's Seismograph (Maebashi)

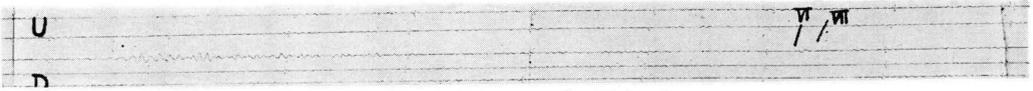


Wiechert's Seismograph (Kumagaya)

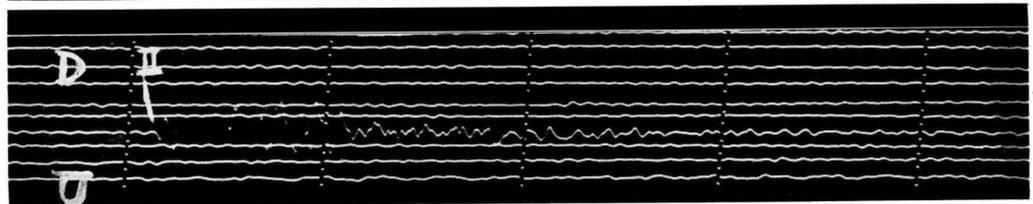
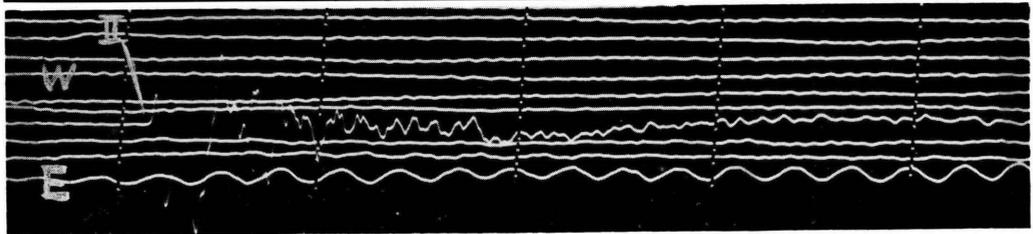
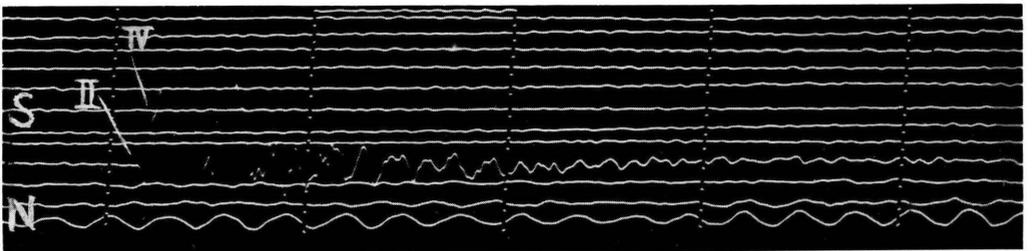
Fig. 2. Seismogram of the explosion earthquake of volcano Asamayama, on Nov. 10, 1958.



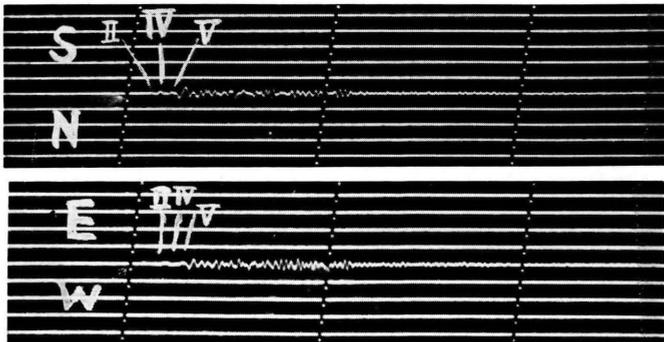
Mainka's Seismograph (Tokyo)



Wiechert's Seismograph (Tokyo)



Galitzin's Seismograph (Matsushiro)



Torsion Seismograph (Matsushiro)

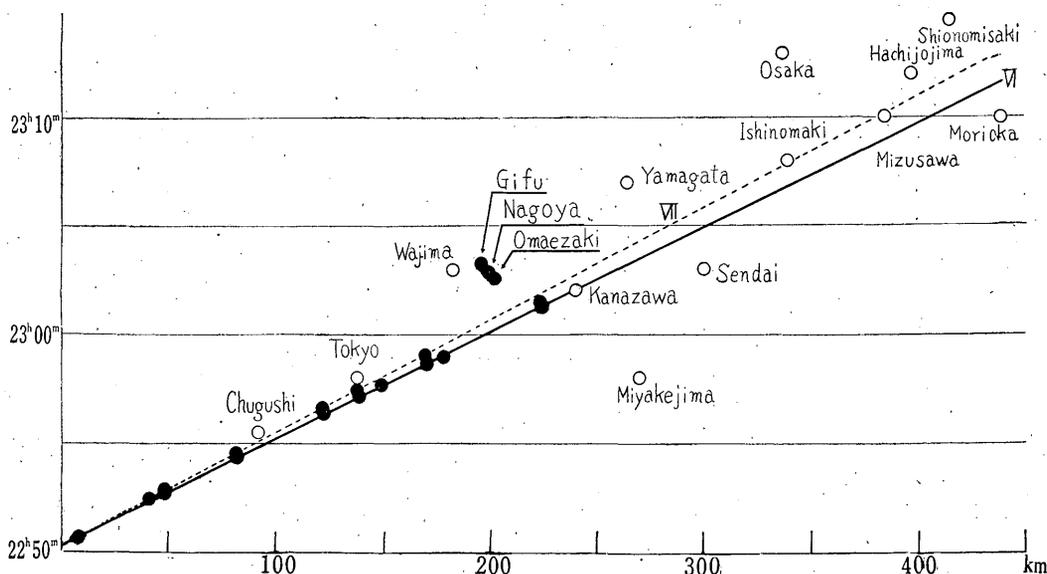


Fig. 4. Time-distance curve of air-shock due to the explosion of Asamayama.

● : Recorded by the seismograph

○ : Felt by person

それぞれにおける縦波・横波の速度比は

$$V_P/V_S = 4.5/2.7 = 1.7, \quad V_P/V_S = 5.9/3.6 = 1.6.$$

これから、上層および下層のポアソン比はそれぞれ0.23, 0.18となる。また、第I~IV波を用いて地殻上層の厚さを計算すると7~8kmとなる。この結果は、人工地震によって求めたこの付近の表層の厚さ“約6km”⁵⁾とほぼ一致している。

第VI, VII波 (地震計に記録された空振波) 第5波からかなり遅れて空振波が記録された所があった (Fig. 2, 4)。この空振波は火口の東側の観測点でことに明りょうに記録されたが、周期3~5秒の波 (第VI波) と、さらに若干遅れて前橋、熊谷、宇都宮、東京、水戸では周期0.5以下の短周期の極微記録 (第VII波) が混っていた。第VI, VII波の速度はそれぞれ約350 m/sec, 約320 m/secであった。空振波の走時曲線 (Fig. 4, Table 1) から爆発時刻を求めると22時50分23秒となり、第I~V波の地震動を使って求めた時刻とほとんど一致した結果が得られた。

なお、火口の西方名古屋、岐阜などでも空振波が記録されたが Fig. 4の走時曲線から若干はずれていた。

地震動のエネルギー

⁵⁾ 爆破地震動研究グループ：大爆破による関東地方北部の地下構造，地震，**11** (1958) 102—113.

各観測点における地震動の最大振幅は相当ばらついていたが (Table 1), $\Delta > 100$ kmの観測点で記録された地震の最大振幅を用いてマグニチュード M を求めると $M = 4.5$ となり⁶⁾、これから、地震動のエネルギー E は $E = 4 \times 10^{19}$ ergs と推算される⁷⁾。

§ 3. 爆発音の伝わり

浅間山の過去の大爆発では、爆発音の聴域にたいいて内聴域と外聴域とが現われている。今回の爆発でも、中部地方の東部から関東地方の大部分が内聴域；中部地方の西部から南部・近畿地方の東部および東北地方の一部が外聴域となり、さらに、観測点が少ないというきらいはあるが、大阪・潮岬一帯が第2の外聴域となった (Fig. 1)。大爆発の際、外聴域が二重あるいはそれ以上現われることは、すでに多くの火薬の爆発実験⁸⁾ によっても示されているが、浅間山の爆発に際してのこのような現象

⁶⁾ $M = 1.73 \log \Delta + \log A - 0.83$ (1954年, C. Tsuboi) を用いた。

⁷⁾ $\log E = 11.8 + 1.5 M$ (1956年, B. Gutenberg & C. F. Richter) を用いた。

⁸⁾ たとえば、正野重方：気象音響学 (岩波講座) p. 47., B. Gutenberg: Sound Propagation in the Atmosphere, Compendium of Meteorology p. 372 など。

は珍らしいことである。

内聴域 音波の伝わりを調べるため、11月10日21時の輪島・館野・仙台の高層気象の観測値 (Fig. 5) を参照して、音波線の近似計算を行った。音波の伝わりは上層の気温、風向、風速などに左右されるので計算は複雑である。それ故簡単な次の場合について考えることにす

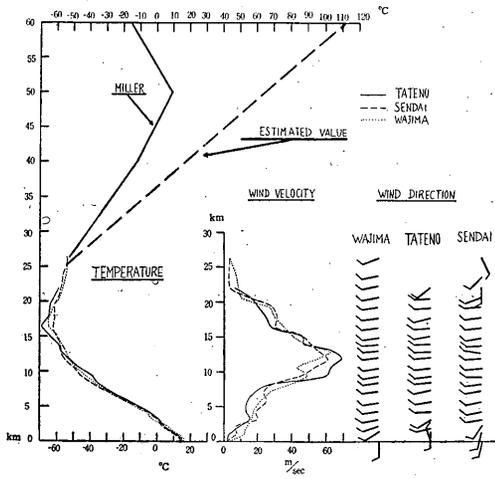


Fig. 5. Temperature and wind of the upper atmosphere, 21 h. Nov. 10, 1958.

る。

いま、音波の進行面が風向と同一垂直面である場合、すなわち、二次元の場合について風向が鉛直成分を持たないとしたとき、 x 軸、 z 軸をそれぞれ水平および上向きに選べば

$$\begin{aligned} dx/dt &= lc + u \\ dz/dt &= nc \end{aligned}$$

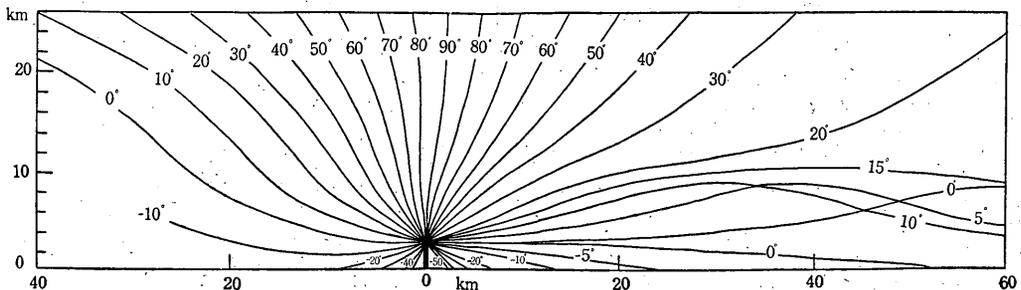


Fig. 6. Sound paths, made by considering the wind and temperature of the atmosphere. Numbers in degree are emergent angles from horizontal line at the origin, 2.5 km above the sea level.

$$dl/dt = ln (\partial c/\partial z + l \cdot \partial u/\partial z)$$

ここに、 c は温度の場だけのときの音速、 u は風速、 l 、 n はそれぞれ x 、 z 軸に対する方向余弦 (i を鉛直軸から測った射出角とすると、それぞれ $\sin i$ 、 $\cos i$) である。これから

$$dl/dz = (\partial c/\partial z + l \cdot \partial u/\partial z) / c$$

が得られる⁹⁾。

浅間山の高さを 2.5 km とし、音源を火口として 1 km ごと気温および風速を考慮しながら、上式から風上および風下における音の伝わり模様を作図すると Fig. 6 のようになる。風上では波線は著しく上方に曲げられ、風下では流されて著しく延ばされている。

また、内聴域では音波線が低い所を通るため、地形の影響を受けている所がある。たとえば浅間山から約 50 km しか離れていない松本や諏訪などでは、これまでに浅間山の爆発音を聞いたことがないが、これは風向の影響ばかりでなく、音源と都市との間に音波をさえぎる山岳があるためだとも考えられる (Fig. 7)。

外聴域 浅間山から外聴域帯中部までの距離は、浅間山の北東側で約 400 km、南西側で約 150 km、その他の側で約 200 km といった北東から南西に長軸を持つ環状の楕円形をなしていた (Fig. 1)。その差はおもに上層風の影響によるものであろう。

外聴域まで到達する音波は、数 10 km 以上の上空で屈折して地上にもどってくるものと考えられるので、上空の音波線の状態をくわしく知るためには上空数 10 km 以上までの気象資料が必要である。しかし、爆発当時の高層気象資料はラジオゾンデの観測によって、約 25 km の上空までしかわかっていない。そこで、25 km まで上空の温度分布は当時の観測資料を用い、それより上空の

⁹⁾ 岡田武松：理論気象学 (中巻) p. 281.

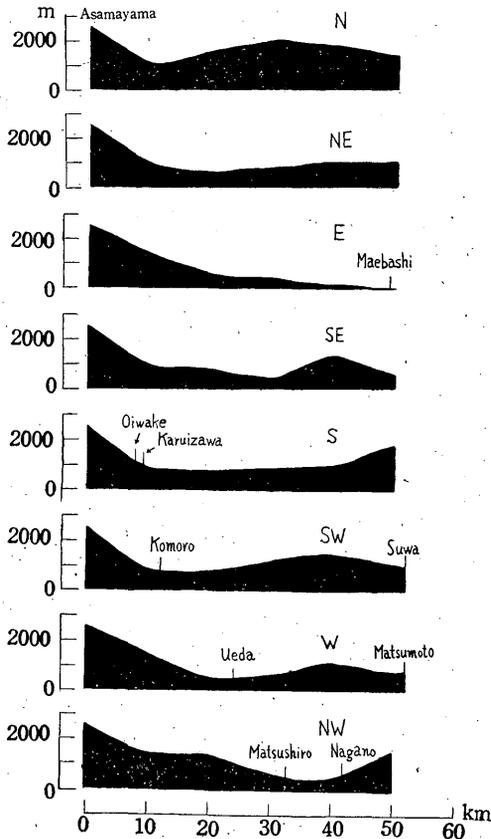


Fig. 7. Topographical profile near Asamayama.

温度は仮定して、静穏大気の場合の音波線の計算を行ってみた。これはちょうど風向に対して直角に射出された音波は静穏大気中の音波線とほぼ同じ形で伝わると考えられるからである。

いま、観測資料から音速 c を次のようにおく：

$$c = c_0(1 + az)$$

ただし、 a は温度の通減率で、温度が高さとともに増せば正、減れば負の定数である。Fig. 5 の上空温度の曲線の曲折部に温度の不連続面があると考へて、同図から a を求めると、 $z=0\sim 11$ km では $a=-0.011$ 、 $z=11\sim 17$ km では $a=-0.006$ 、 $z=17\sim 25$ km では $a=0.005$ となる。ただし $c=20\sqrt{T}$ (T は絶対温度である)。また、 $z>25$ km の a として、音源から 200~300 km 離れた所に外聴域が存在するような気温分布 (Fig. 5 の Estimated value で示したものを) を仮定すると $a=0.01$ 位にとるのが適当であった。これは Miller¹⁰⁾ の求めた中緯度における上空の気温分布とはかなり異っていた (Fig. 5)。

音波の射出角 i を入れた射線式は

$$\left(x - \frac{1}{a} \tan i\right)^2 + \left(z + \frac{1}{a}\right)^2 = \frac{1}{a^2 \cos^2 i}$$

なる円方程式となり、その中心は $x = \frac{1}{a} \tan i$ 、 $z =$

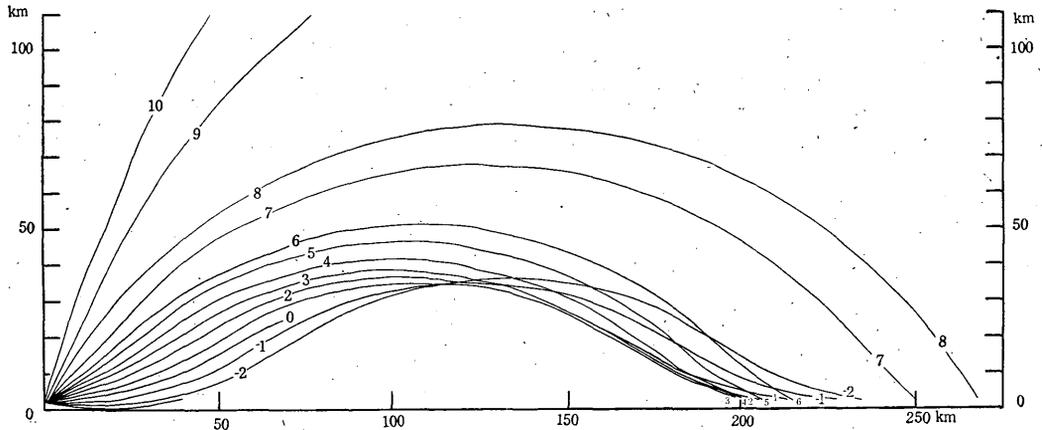


Fig. 8. Sound paths through silent atmosphere at various emergent angles (measured from vertical line).

The numbers beside the sound paths refer to the right table.

-2	80°	2	100°	6	120°	10	160°
-1	85°	3	105°	7	130°		
0	90°	4	110°	8	140°		
1	95°	5	115°	9	150°		

¹⁰⁾ 気象学ハンドブック p. 542.

$-\frac{1}{a}$ の点であり、半径は $\frac{1}{a \cos i}$ である¹¹⁾。これから上層における音波線を漸次作図したものが Fig. 8 である。

上層大気に、上記の a の違いによる不連続層を仮定して、各大気層における音波線の長さを δ_j (Fig. 8 から読みとった)、音速を $\bar{c}_j (=20\sqrt{T})$ とすると、各大気層を通過するに要する時間 t_j は $t_j = \delta_j / \bar{c}_j$ 。すなわち音波の到達距離と時間との関係は $t = \sum \delta_j / \bar{c}_j$ となるから、

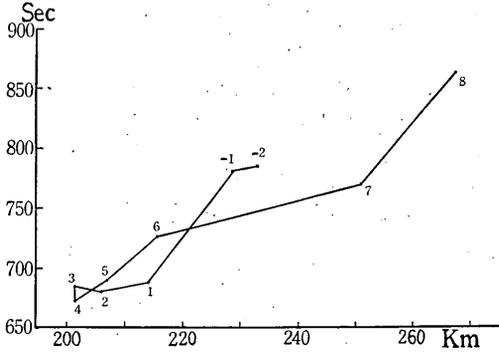


Fig. 9. Time-distance curve of sound, analysed by the sound path in Fig. 10. The numbers 8 to -2 correspond to that of sound paths in Fig. 8.

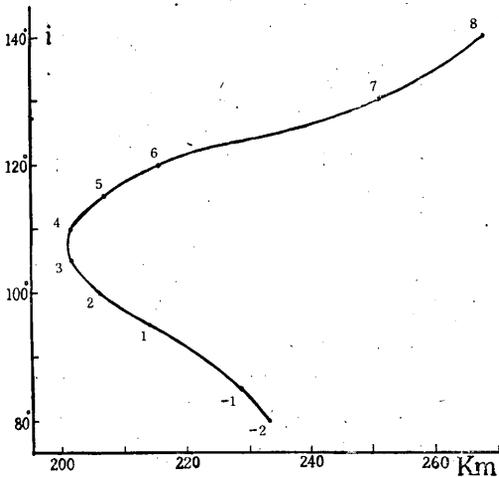


Fig. 10. Relation between initial emergent angles of sound and distance from the source, analysed by the sound path in Fig. 8. The numbers 8 to -2 correspond to that of sound paths in Fig. 8.

これから走時曲線が作られる。この走時曲線はいくつかの反転曲折を持った曲線であった (Fig. 9)。

また、Fig. 8 から音源における射出角と音波の到達距離との関係を求めると Fig. 10 のごとく弯曲している。

外聴域では爆発音が 2~3 回聞える所が多いが (Fig. 1), この現象は Fig. 9, 10 の曲折した線からも説明できよう。

大阪、潮岬を含む地帯には二重の外聴域が現われた。Gutenberg¹²⁾ によれば、音波線の経路の差異によって、二重、三重の外聴域が現われることがあるので、こうした音波経路を考えると今回の二重の外聴域は説明されよう。

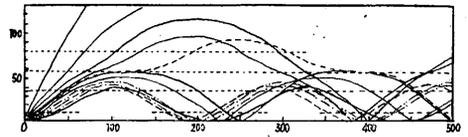


Fig. 11. Sound paths in the atmosphere, by B. Gutenberg.

§ 4. 自記気圧計の記録の解析

微気圧計には、この爆発によって長周期の気圧波 (周期 0.5~1 分、波長約 10 km) が速く鹿児島まで記録された。この波の特徴は距離による振幅の減衰が非常に小さく、いずれの方向にも約 280 m/sec の速度で、ほぼ同心円状に広がった¹³⁾。

しかし、火口の東方の内聴域における各地の自記気圧計の記録では、距離とともに振幅が減衰し、その初動振幅 A (mb) と火口からの距離 d (km) との関係について

$$A = A_0 d^{-1.19}$$

が得られた (Fig. 12)。ただし、追分、軽井沢、筑波山の値は Fig. 12 に示した線からはずれているが、これは地形や爆発機構などに起因したものであろう。また、これらの記録はすべて押しで始まっている。もともと、自記気圧計は動的応答を考慮して作られたものではないので、このような過渡現象の記録に適した測器とはいえないし、記録速度も大変遅いので、波形を細かく読むことはできない。しかし、他の地点の微気圧計の記録を見ても、周期がとくに短くないので、自記気圧計の場合もこの点は

¹²⁾ B. Gutenberg: Compendium of Meteorology p. 374.

¹³⁾ 小池亮治: エトロフ島沖地震と浅間山爆発の際における微気圧観測結果について、験震時報, 24 (1959), 45-46.

¹¹⁾ 岡田武松: 理論気象学 (中巻) p. 253.

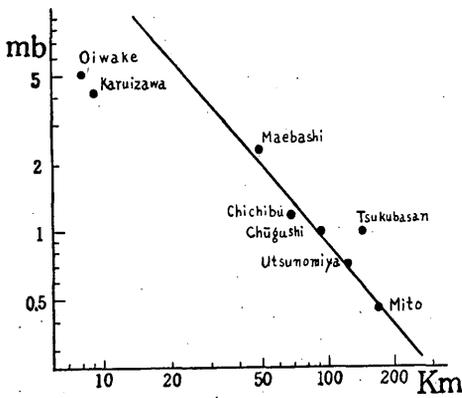


Fig. 12. Relation between amplitude of air-shock and distance.

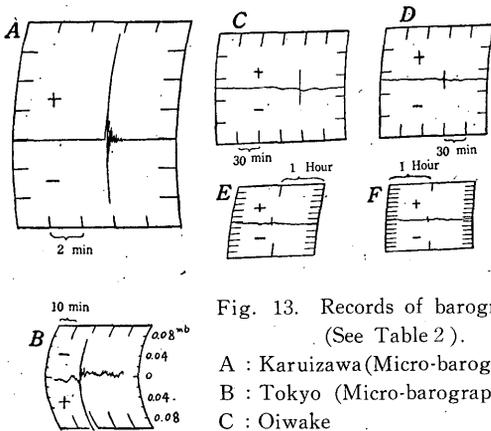


Fig. 13. Records of barograph (See Table 2).

- A : Karuizawa (Micro-barograph)
- B : Tokyo (Micro-barograph)
- C : Oiwake
- D : Maebashi
- E : Kumagaya
- F : Utsunomiya

同様と考えると、空振波の気圧振幅は火口からの距離にほぼ逆比例して減少している。これから、空振波は点源から一様に発散する球面波とほぼみなすことができる。

上記では、地表における波の反射・吸収に触れなかったが、入射波の振幅を A_i 、反射波のそれを A_r とすると、記録振幅 A は

$$A = k(A_i + A_r), \quad A_i > A_r, \quad k \text{ は 常 数}$$

で、各地点とも A_r/A_i に著しい差異がないとすれば

$$A = k' A_i, \quad 2 > k' > 1, \quad k' \text{ は 常 数}$$

そこで、近似的に $k' = 1$ 、すなわち反射を無視したとき、空振波として伝わるエネルギーを概算してみよう。

単位時間に単位面積を垂直に通過する空振波（正弦波とする）の全エネルギー w は

$$w = A^2 / 2\rho c \quad (\text{erg/cm}^2 \cdot \text{sec})$$

ρ は空気の密度、 c は音速

であるから、波源から半球状に発散する総エネルギー E は、空気の圧縮性を無視した場合、火口を中心とする任意の半球の面積を S 、波の継続時間を τ とすれば

$$E = \int_S \int_\tau w S dt$$

である。さて、火口から西方に伝わる空振波の減衰は大きいから、これは風によって受ける音波線の弯曲と同様に、風上では上方へ曲げられると考えられるから、この場合とくに考慮する必要はないので近似的に

$$E = 2\pi A^2 A^2 \tau / 2\rho c$$

とおける。 τ について、自記気圧計に十分な波形記録がないので、さしあたり $\tau = 1 \text{ sec}$ についての E を求めると、 $E \approx 10^{17}$ ergs となる。自記気圧計による空振波の記録によると、大部分の地点で、初動の押しとそれに続く引き以外は見当らない。しかも、押しの方が引きよりもずっと大きく記録されている。一波長に要する時間もせいぜい数秒以内と推定されるから、上記空振波の総エネルギーは $10^{17} \sim 10^{18}$ ergs と見積って大過なからう。

§ 5. む す び

今回の爆発の観測に際して特筆すべきことは、追分では従来の大森式地震計に加えて 56 型高倍率、電磁式などの地震計が、また、火口からわずか 33 km しか離れていない松地地震観測所では各種の高性能地震計が作動していたことである。加えるに、一部の測候所に微気圧計が設置されていたため、爆発のくわしい記録をとることができた。

終りに、地震計、気圧計の記録紙に対し便宜をはかって頂いた各測候所、東京管区気象台調査課長正務章氏および御批評を仰いだ気象研究所地震研究部第 1 研究室長の木沢綏氏に謝意を表す。