

桜島火山の火山性地震の性質について

吉川圭三・和田卓彦・加茂幸介・小野博尉

SOME NATURES OF VOLCANIC EARTHQUAKE AT SAKURAJIMA-VOLCANO

*By Keizo YOSHIKAWA, Takuhiko WADA,
Kosuke KAMO and Hiroyasu ONO.*

Synopsis

Observations of volcanic earthquakes with three components of seismographs and two small tripartite nets were carried out in August, 1962 and in July, 1963 at Sakurajima Volcano.

Examining the wave-orbits and analyzing the apparent velocities and the directions of approach of waves, we obtained the results as follows: (1) The nature of origin of the observed earthquake is an explosive one, since the clear S-phase, which is to be found in tectonic seismic-waves, can not be observed. (2) The origins of the earthquakes are located beneath the summit crater (Minami-dake). (3) The seismic waves are divided in two groups, the first group is P-waves having the apparent velocity ca. 2km/sec. and the second group is surface waves having their phase velocity ca.1 km/sec.. (4) The approaching directions of P-waves disagree with those of surface waves. It seems that it is not only due to the crustal structure but related with the depth of earthquake origin. (5) Nevertheless the lack of SH-motion, the surface waves of Love-type are found similarly to the case of the underground nuclear explosion.

序 論

桜島火山では、噴出物や爆発音を伴う噴火がしばしば起っている。この現象に関連して、微小地震が数多く発生し、1日に数百回もの火山性地震が、京大桜島火山観測所の地震計に記録される事がある。これ等の火山性地震の性質を調べるために、1962年8月に観測所のあるハルタ山で、また1963年7月に火口をはさんでハルタ山と反対側の黒神において地震観測を実施した。

1962年の観測では、表面現象を伴わない火山地震のみが観測されたが、1963年の観測では、爆発音を伴った噴火地震もとらえる事ができた。これ等の地震について、地震波動の伝播方向・速度および波動の性質について調べた。

観 測 方 法

1962年には南岳火口より北西約 2.7 km のハルタ山の京大桜島火山観測所附近に1辺 200 m の正三角形、1963年には南岳火口から東北東約 3.3 km の黒神熔岩地獄に1辺約 300 m の3点観測網を作った。そして波動の性質を調べるために、3点観測網の観測点 No. 1 には上下動および火口方向とそれに直角方向の水平動の3成分の特性のよく一致した地震計を設置し、他の2点には上下動および火口方向の水平動地震計を設置し、波動の伝播方向および速度を求められるようにした。使用した地震計は SV-II・SH-II および por-

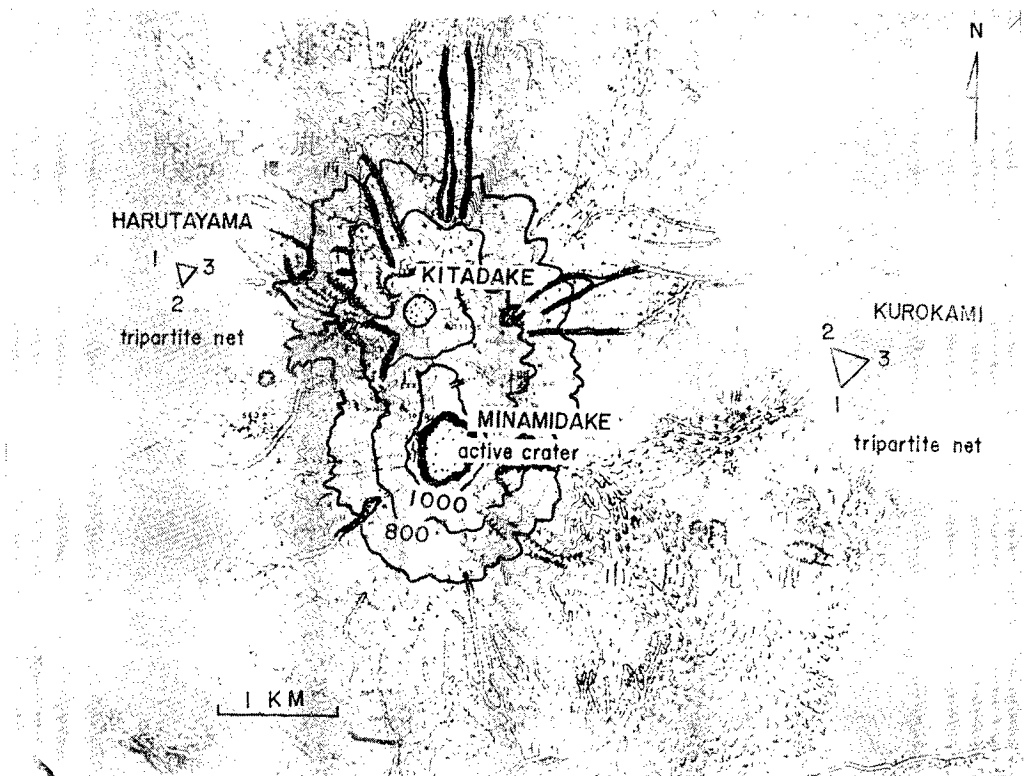


Fig. 1. Topographical map of crater and observing stations.

table 型水平動で、これ等の固有週期は0.7秒である。記録はトランジスター増巾器を通して、三菱測器製の30 cycle の galvanometer によって、オシロプロマイド上に7成分同時記録した。

観測は ground noise をさけるため、もっぱら夜間のみ実施された。

波群の解析

Fig. 2 に得られた記録の一例を示したが、観測された地震は、それぞれによって振巾の大小はあっても、wave form はすべて非常によく似ていた。Fig. 2 の左端と右端は表面現象を伴わない火山性地震のそれぞれハルタ山および黒神における記録であり、真中のものは、黒神で観測された噴火地震の記録である。

これ等の記録は何れも初動の立上りは明瞭でないが、3点におけるそれぞれ対応する波の山・谷の到達時間差から、各相の波の伝播速度を求めてみると、最初の2~3の山・谷の波群と、それにつづく波群とで、はっきりした伝播速度の差が認められる。すなわち第1の波群は約 2 km/sec. の速度をもっている。この第1波群はハルタ山の上下動の記録では明瞭であるが、黒神での記録、特に噴火地震では、はっきりしない。それにつづく第2波群は、第1波群が vertical に顕著であったのに対し、longitudinal に明瞭に認められ、さらにつづいて tangential に明瞭にあらわれている。これ等の第2波群の伝播速度は約 1 km/sec. である。

Fig. 3 に3点観測における、それぞれ対応する波の到達時間差から求めた伝播方向と伝播速度を示したが、第1波群は北岳の方向、第2波群は南岳の北端の方向より到来している。この波群による伝播方向と速度の喰違いは、波動の発生源はほとんど同じであると考えられるので、地震波の性質と地下構造によって生

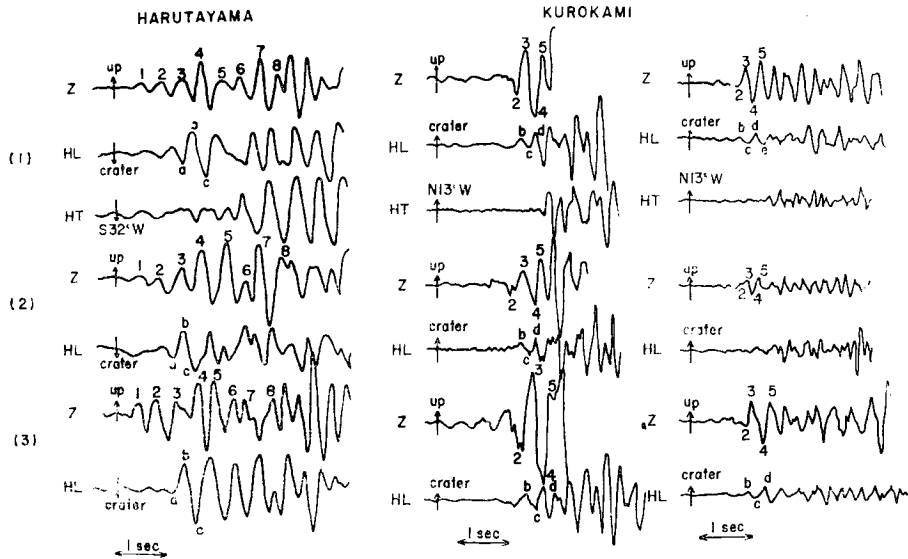


Fig. 2. Retraced seismograms of volcanic earthquakes obtained at Harutayama and Kurokami. The middle is the records of eruption earthquake, (1), (2) and (3) represent No. of observing site, and integers in Z-comp. and alphabets in H-comp. show the identified phasds.

じたものと考えられる。そこで地震波の性質を調べるために、3成分の地震記録から、wave-orbit を作ってみると、Fig. 4 のようになる。この図において、(a) はハルタ山の No. 1 における3平面での wave-orbit を示しており、(b) と (c) は異なった地震について、ハルタ山の No. 1 における Z-carter 平面での wave-orbit である。どの地震もよく似た波動を示している。Fig. 5 はハルタ山と黒神で得られた各観測点における、Z-carter 平面での wave-orbit である。黒神の wave-orbit は、観測点附近の地下構造の複雑さのためか、波形が大きいので、0.25秒間の平均をとる方法で smoothed wave-orbit をつくり、(b) として並示した。このような wave-orbit と先に求めた伝播速度から、第1波群はP波群と考えてよさそうである。また第2波群は垂直面に偏った波で、ハルタ山では retrograde、黒神では prograde に回転した oblate elliptic orbit を示している。ハルタ山の観測にみられる第2波群は、P→SV convert のみかけ上の Rayleigh 波とも考えられるが、観測点の地形と波の入射角の関係からみて疑問があり、むしろ Rayleigh 波群と考えた方がよさそうである。黒神は昭和21年熔岩流の上で、地下構造の非常に複雑な場所である。従って波動もかなり複雑な変形をうけていると考えられる。wave-orbit にみられるように、一部は retrograde に回転するものもあるが、prograde に回転する波動とみられるものがある。これは Kisslinger¹⁾ や Jones et al.²⁾ の火著爆発による実際にみられる M_2 波や、Gilbert et al.³⁾ の名付けた \bar{P} 波に相当するものかも知れない。 \bar{P} 波は poisson 比 $\sigma=0.4$ 以上の半無限弾性体では、P波とS波の間に prograde に回転して、軸が進行方向に傾く性質を持った波であるが、今 \bar{P} 波として、その velocity を 1 km/sec. S波を 0.5 km/sec \bar{P} 波を 2 km/sec. としてみると、 $\sigma=0.47$ となって、一応P波の条件は満足するが、はっきり断定する事はできない。

第1波群と第2波群との速度や伝播方向の差異を説明するためにハルタ山の観測では、3点観測の net が水平面に対して傾いているので、その傾きに対する補正を行ったが充分でなかった。また黒神の net はほぼ水平面上にあるにもかかわらず、ハルタ山と同じように第1波群と第2波群とは、伝播方向に差異を生じて

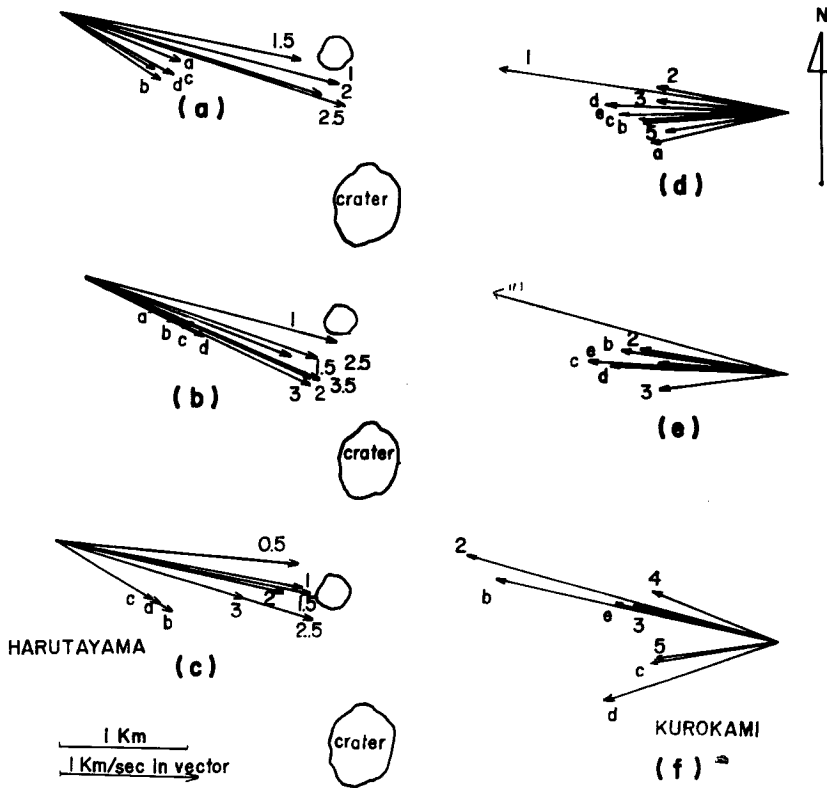


Fig. 3. The approaching directions and the apparent velocities of each phases as indicated in Fig. 2.

いる。今桜島火山の形成について、北岳が先に形成され、その山腹に南岳が形成された事を考慮して、その境界面での反射波を考えてみても、このような簡単なモデルだけでは説明がつかない。今波動論的に考えて Rayleigh 波の長軸が傾いたとすると、上下成分の山と、水平成分の山の位相差は 90° ずれてくる。この場合 10° ずらすと、300 m の net の3点観測で求める速度の変化は12%程度となる。実際に同種類の波について上下成分と水平成分とから、それぞれ速度を求めてみると、上下成分から求めた速度の方が僅かに小さくなっている。このような事から、ハルタ山と黒神との観測結果における wave-orbit の長軸の傾きの違いや、火口をはさんで対称な2カ所で観測して、どちらも第1波群が北岳、第2波群が南岳の方向から到来するように見える現象を説明できそうにも思える。

一方表面波群と考えられる第2波群の到来方向が、どの地震についても大体同じであり、第1波群と第2波群の伝播方向の開きの度合は、第1波群の到来方向が地震によって異なる事に依存している。この事柄は、net の傾きや、北岳・南岳の生成に関する地下構成とかあるいは波動の軸の傾きに頼るだけでは不充分であり、やはり震源の深さに依存する所が大きいように思われる。定性的には、第1波群と第2波群の方向の差異の大きいものほど、震源が深いのではないかと考えられる。

黒神の観測では、波の変形が大きいため明瞭ではないが、ハルタ山の解析では、Rayleigh 波群について、水平面に polarize した Love 型の波群が認められる。Love 型の波の存在は SH 成分の波の存在を意味するのであるが、tectonic な地震の場合のように、はっきりして S 波を指摘する事はできない。このよう

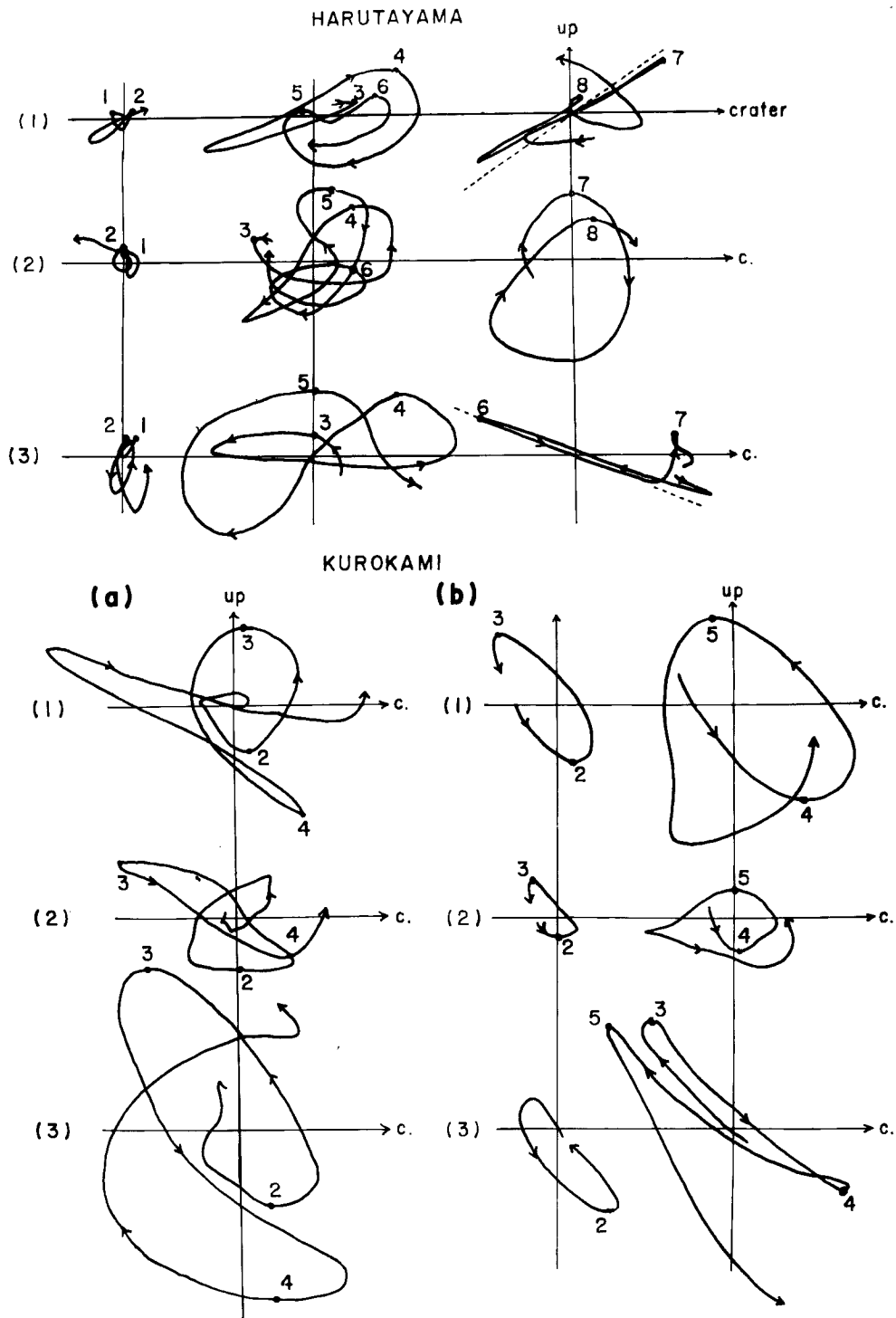


Fig. 4. Wave-orbit diagrams of volcanic earthquakes observed at No. 1 of Haratayama and integers are the same as in Fig. 2.
 (a) : Wave-orbit in three planes, (b) and (c) : Wave-orbit of different earthquakes from that of (a) in Z-crater plane.

HARUTAYAMA

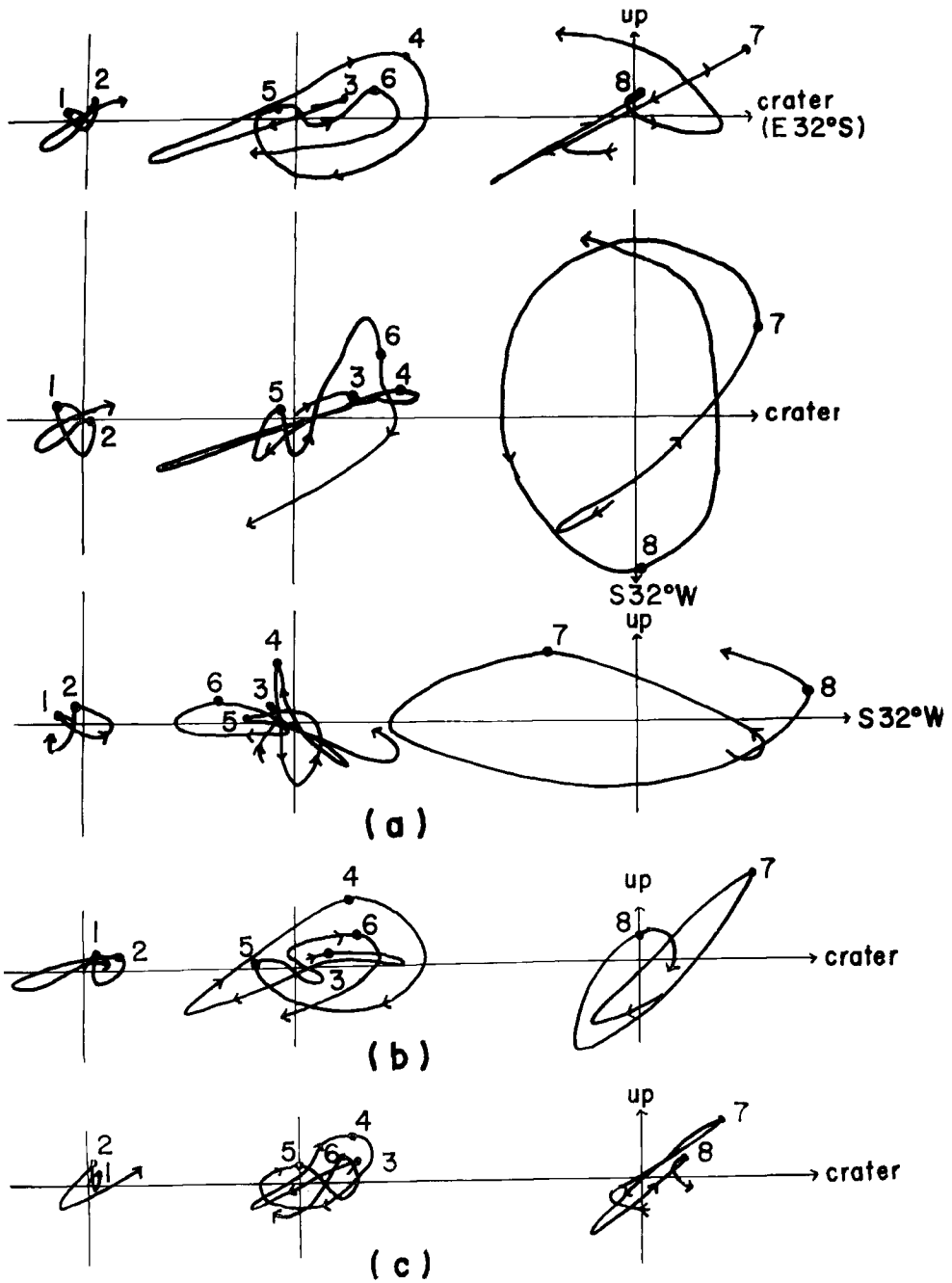


Fig. 5. Wave-orbit diagrams of volcanic earthquake in Z-crater plane at three observing sites of Harutayama and Kurokami.
 (b) in Kurokami's diagrams are the smoothed ones from the original (a).

な矛盾は地下核爆発に際しても問題にされている。少なくともこの種の地震は, **tectonic** なものではなく, 火山性の爆発によって発生したものではないかと思われる。

ま と め

桜島火山に発生する火山性地震を, 二カ所の小さな **tripartite nets** で観測し, 地震波の伝播方向および見かけ速度について解析した。また三成分の地震計の記録から, 波動論的検討を加えた。その主な結果は次の通りである。

1) こゝで取扱った地震は, **tectonic** なものではなく, **explosive** な性質の地震らしくて, 明瞭な **S-phase** を認めがたい。

2) これ等の地震は何れも現在噴火している南岳火口の極めて浅い所で発生しているものと考えられる。

3) 地震波群は2つの **group** に分けられ, 第1波群は見かけ速度約 **2 km/sec.** の **P** 波群, 第2波群は位相速度 **1 km/sec.** 約の表面波群と考えられる。

4) 2つの波群の伝播方向は必ずしも一致しないが, これは地下構造だけに依存するのではなく, 多分に震源の深さにもよっているものと考えられる。

5) **SH** 波が認めがたいにもかゝらず, **Love** 型の波群が認められる。これは地下核爆発の際には同様の事があり, 今後研究すべき問題である。

この観測研究について, 終始御鞭撻を賜った佐々憲三京大名誉教授に厚く感謝の意を表します。また観測に際し惜しみなき協力をして下さった西潔・園田忠惟・外輝明の諸君に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Kisslinger, C.: Observation of the development of Rayleigh-type waves in the vicinity of small explosions, *J. Geophys. Res.*, 64 (1959), 429-436.
- 2) Jones, G.H.S., G.T. Maureau, and S.A. Cyganik: Air-blast coupling to prograde and retrograde surface waves, *J. Geophys. Res.*, 68 (1963), 4979-4987.
- 3) Gilbert, F., and S.J. Laster: Excitation and propagation of pulses on an interface, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 52 (1962), 299-319.