

# 阿蘇火山火口近傍の地震波振幅異常

小 野 博 尉

## AMPLITUDE ANOMALY OF SEISMIC *P* WAVES AROUND MT. NAKA-DAKE, VOLCANO ASO

By *Hiroyasu ONO*

### Synopsis

Amplitude anomaly of seismic *P* waves was observed in the seismic observation network around Mt. Naka-dake, Volcano Aso. Maximum amplitudes of *P* waves were relatively small near the active crater of Mt. Naka-dake. Result of analysis taking account of ray paths suggested that *P* waves were attenuated in the crater area of diameter 1-2 km and at depth 1 or 2 km under the sea level. This region contains the focal zone of volcanic earthquakes.

### 1. はじめに

現在活動中の阿蘇火山中岳は阿蘇カルデラのはほぼ中央に位置する。理学部付属火山研究施設では阿蘇火山の活動状態を把握し、火山活動機構を解明するための基礎的データを得るために、中岳火口を中心とする周辺地域で地震観測を継続している<sup>1)</sup>。この地震観測網で観測される地震波の波形は観測点間で異った様相を呈し、初動部分ですら観測点間での位相の対応が困難である。これは観測点固有の地盤特性によるとも考えられるが、一方、阿蘇カルデラ周辺や九州地方およびその周辺で発生する地震の観測記録を比べると、必ずしも震央距離と振幅の大きさの関係が滑らかな曲線には乗らず、振幅の大小関係が逆になったり、震央距離に差がないにもかかわらず振幅の大きさが非常に違い違うことが認められる。

ここでは、九州地方およびその周辺で発生した地震を利用して、火口周辺の観測点で観測された*P*波初動部分の振幅の大きさの分布から、振幅を減衰させる領域の位置および大きさを調べる。

### 2. 振 幅 分 布

火口近傍での地震波*P*波初動部の振幅分布を調べるために、中岳周辺の7観測点(KAW, SUN, KAE, TAK, NAR, UMA, KIS)の上下動成分のデータを使用した。阿蘇カルデラ内の観測点VLAおよび西外輪山地域の観測点MAKの振幅も参考のために示される。これらの観測点の位置はTable 1およびFig. 1に示されている。

使用しているのは固有周期1秒の動コイル型電磁式地震計で、解析に用いたのは速度振幅記録である。震央距離の大きな地震は波動の周期が延びて、各観測点間での振幅の変化が見られなくなる。したがって、対象としたのは阿蘇火山中岳第1火口を中心に震央距離が200 km以内の九州地方およびその周辺に発生した地震で、気象庁により震源決定されたものである。気象庁により震源決定されていないけれども、震源決定された地震と波形が初動から尾部まで対応のつく、いわゆる相似地震も震源位置が同じものとして取り扱った。地震数は1980年および1981年に発生した117個で、震源位置はFig. 2に示される。

これら地震の上下動成分記録で*P*波初動部の最大振幅を読みとった。1981年の79個の地震について震央の

Table 1. Observation points.

Code	Height	E-W	N-S
KAW	1.16 <sup>km</sup>	-0.73 <sup>km</sup>	-0.51 <sup>km</sup>
SUN	1.24	0.12	-1.28
KAE	1.27	0.35	-0.05
TAK	1.45	1.33	-0.36
NAR	1.22	0.02	0.57
UMA	1.17	-0.45	0.67
KIS	1.11	-1.95	1.22
VLA	0.57	-7.4	0.1
MAK	0.40	-15.0	4.0

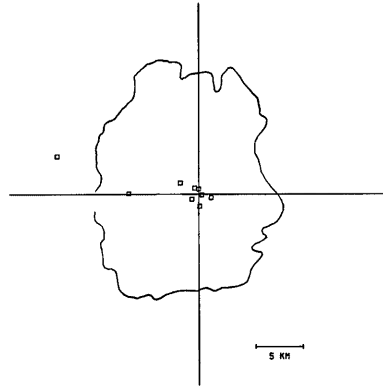


Fig. 1. Observation points and the Aso caldera rim.

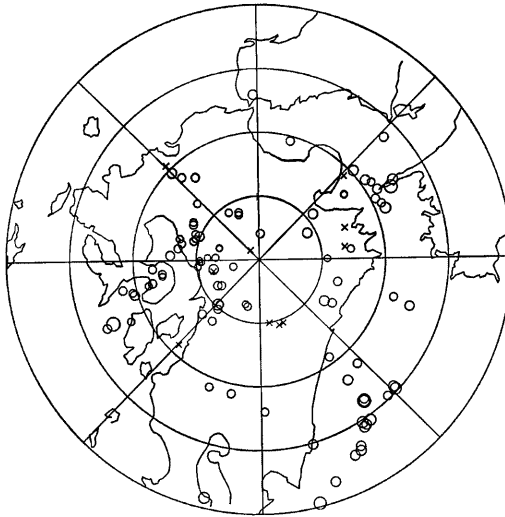


Fig. 2. Epicenters of earthquakes used in this analysis.

方向の順に並べて、相対振幅を対数目盛で **Fig. 3** に示す。**Fig. 3** で点線で結ばれている  $\square$  は最大振幅が記録の限界を越えていて計測できなかった観測点を示し、観測点の位置に  $\circ$  も  $\square$  もないのは欠測をあらわす。また  $\circ$  に付された上向き矢印  $\uparrow$  は最大振幅が記録の限界に近くてその値以上の可能性があることを示し、下向き矢印  $\downarrow$  は火山性微動の振幅が大きくて読みとった初動の最大振幅値がその値以下の可能性があることを示している。

図から観測点間で振幅に大きな差がみられ、10倍も振幅の異なる場合のあることがわかる。**Fig. 3** は震源位置の方向が北から時計廻りになるように順に配列して示されているが、振幅分布が系統的に変化してい

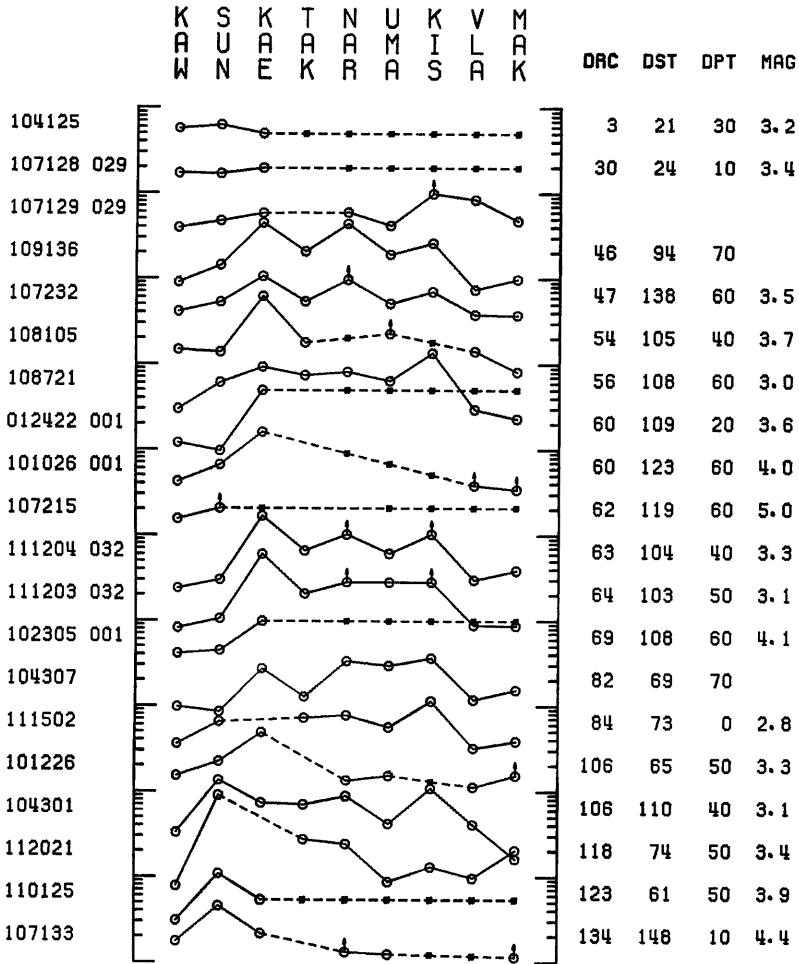


Fig. 3(a). Maximum amplitudes of P waves.  
 DRC: azimuth of wave approach in degree,  
 DST: epicentral distance in km,  
 DPT: source depth in km,  
 MAG: magnitude.

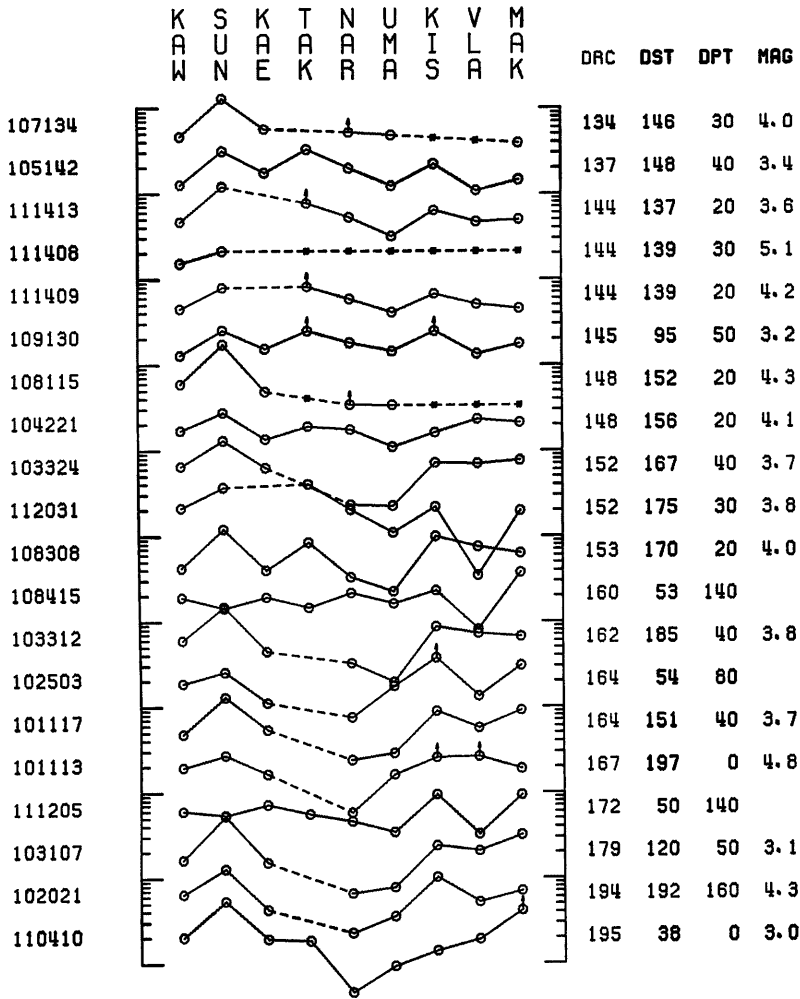


Fig. 3(b). See legend Fig. 3(a).

くのが読みとれる。

この様子を、震源の方向によって4つのグループに分けて、定性的に Fig. 4 に示した。Fig. 3 に示した図をもとに個々の地震について振幅を相対的に大・中・小に分けて図示している。観測点 KIS のようにどの方向の地震についても比較的振幅が大きく、波線が深部を通るために影響を受けないか、あるいは観測点固有の地盤特性によるものとも考えられる点や、東北東方向の地震に対して最も震源に近い観測点 TAK が必ずしも振幅が大きくないといった場合もあるが、一般的に火口を中心に震源に近い観測点で振幅が大き

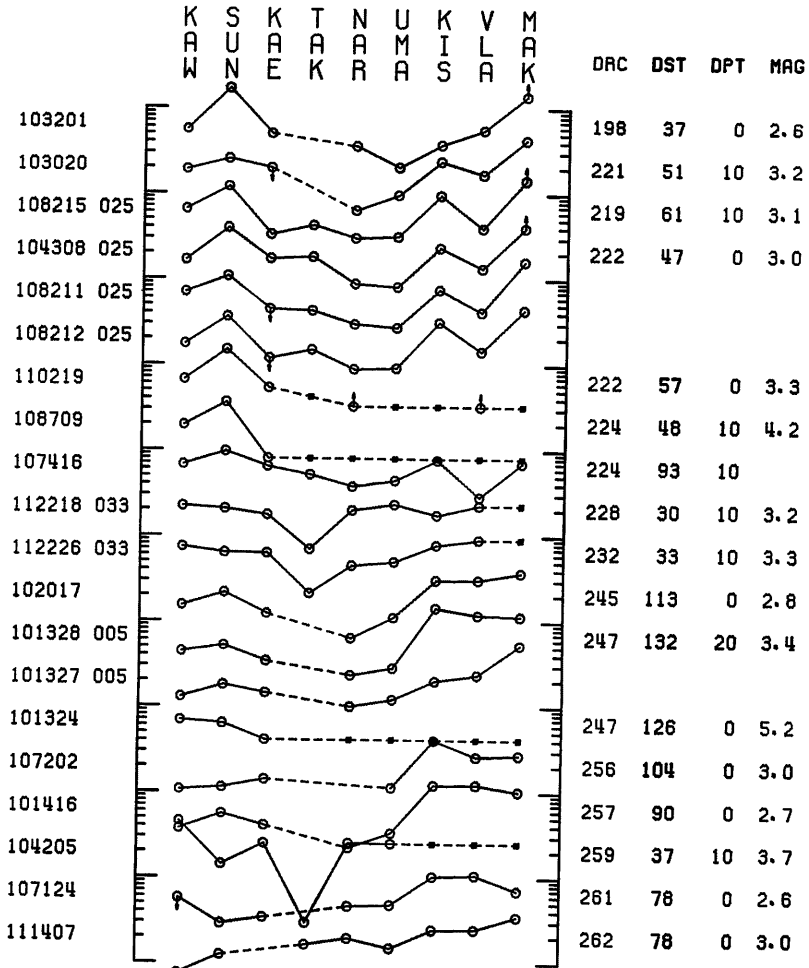


Fig. 3(c). See legend Fig. 3(a).

く、火口近傍および震源と反対側で振幅が小さい傾向がみられる。したがって、火口付近で振幅の変化をもたらす減衰域は火口の直下にあると推定される。

### 3. 火口近傍の減衰域

阿蘇火山中岳周辺での地震波線を Fig. 5 に示す。震源の深さが、0, 10, 50, 100 km の場合についてそれぞれ震央距離が 10 km 毎に 200 km までの波線が示されている。図の左側に示される P 波速度分布は火口周辺で発生する火山性地震の震源決定に使用しているもので、地表近くの数値分布は阿蘇火山における

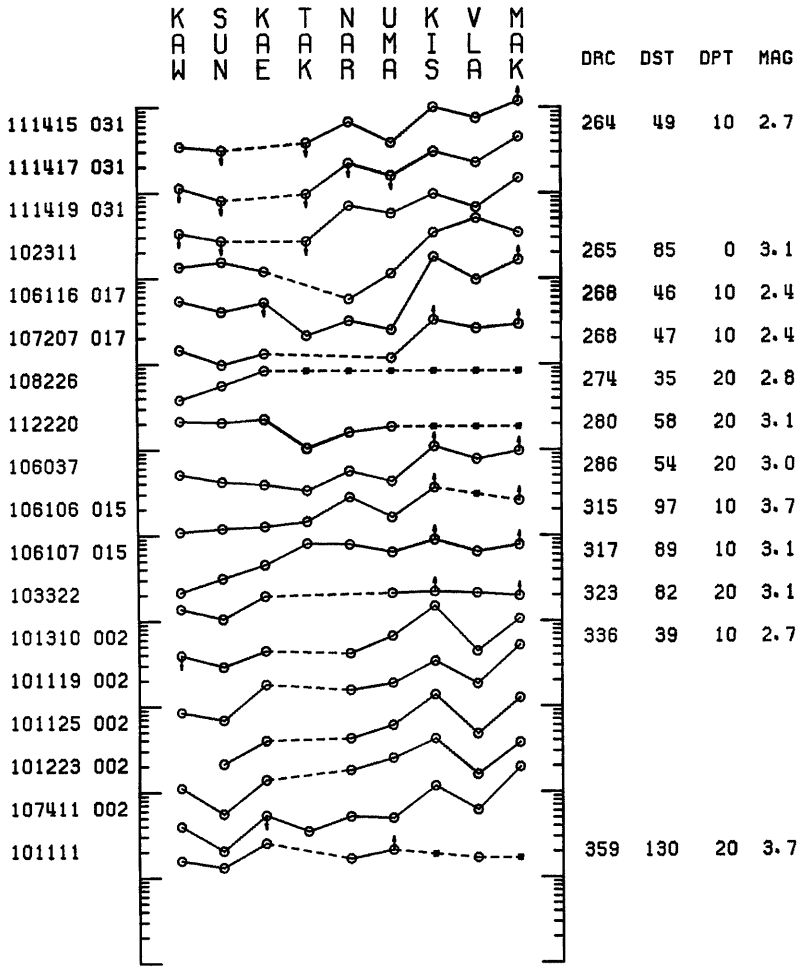


Fig. 3(d). See legend Fig. 3(a).

地震探査結果<sup>2)</sup>を参考に火山性地震および火山性微動の観測から推定され、 $V(\text{km/sec}) = 2.5 - 0.5 * \text{Height}$  (km)とあらわされるが、深部では市川・望月の走時表の速度分布<sup>3)</sup>につながる。

前節の Fig. 4 では震源の方向のみから振幅分布をみたが、Fig. 5 にみられるように、震央距離や震源の深さによって波線が異なることは明らかである。そこで、地震波振幅を減衰させる領域について、位置・大きさをより具体化するために、波線を考慮して以下のような処理を行った。

すなわち、火口近傍で地下に平面を想定し、波線がこの平面を通過する時に振幅減衰を受けるものとして、地表での振幅観測値をこの平面上に分布させた。次いで、この平面を小区画に分割し、それぞれの区画毎に

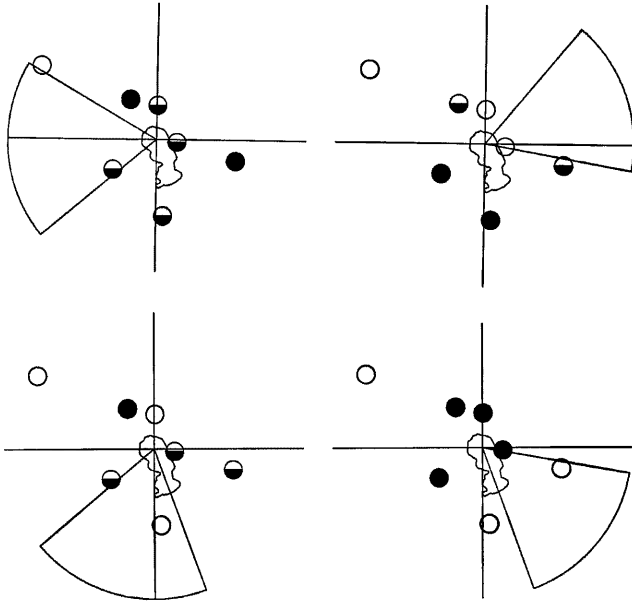


Fig. 4. Amplitudes at observation points and azimuths of wave approach.  
 ○ : amplitude is rather large, ◐ : medium, ● : rather small.

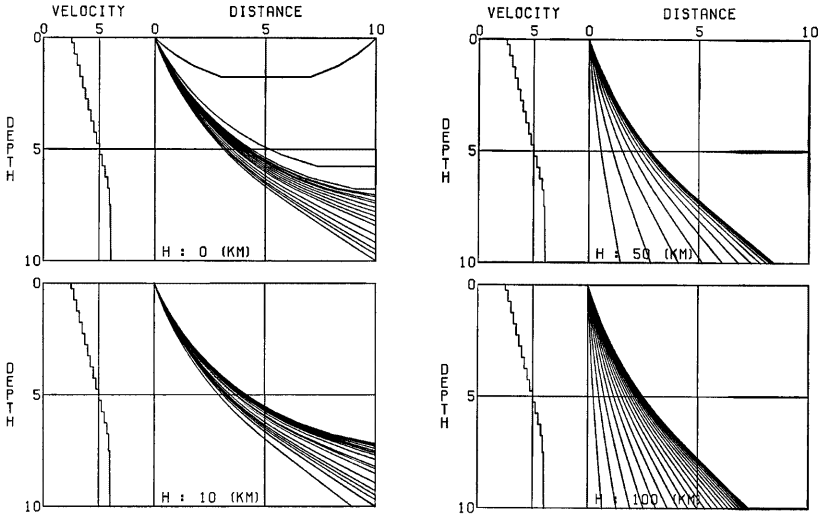


Fig. 5. Ray paths and velocity distribution of P wave under Volcano Aso.

平均振幅を求め、減衰域の位置および大きさを推定した。

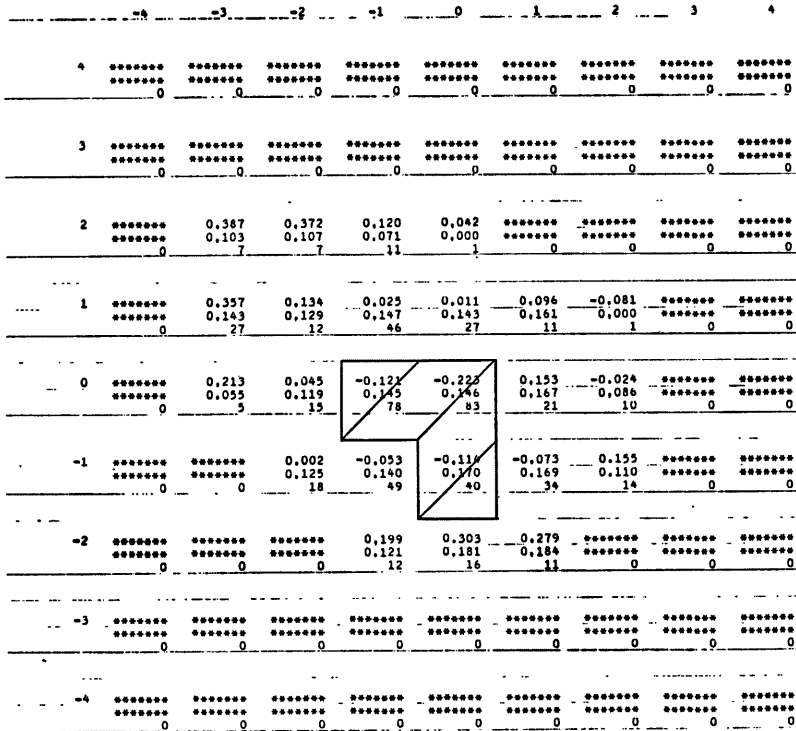
この処理を行なうにあたって次のような仮定を置いた。

- 1) 震源から各観測点へ射出される波動エネルギーの大きさおよび波形は同じである。
- 2) 各観測点への地震波は、火口近傍の問題とする減衰域でそれぞれの通過路によって減衰されて地表での振幅の違いを生じるが、この減衰域に入るまでは全く同じ影響を受ける。
- 3) 各々の地震について得られる各観測点の振幅値の相乗平均は、地震波の到来方向に関係なく、減衰域で等しい割合の減衰を受けた結果をあらわす。

1), 2) については、震源から観測点までの波線の長さが 30 km 以上の地震を対象としているので発震機構や伝播路の影響は等しいと考えて問題はない。減衰域を通らない波線の振幅値を基準として利用できれば仮定 3) を除くことができるが、例えばカルデラ内外の観測点 VLA や MAK を基準観測点とすると仮定 1) や 2) が問題となりうるし、震源の方向によってカルデラの構造等による地震波への影響<sup>4)</sup>を考慮しなければならなくなり、現実には取り扱いがむづかしい。地震波の到来方向によって減衰域の影響が大きく異なる場合には結果を複雑にする懸念もあるが、仮定 3) は異なる地震の振幅データをひとまとめに統計的処理を可能にするための仮定であり、第一近似的にはこの関係が受け入れられるものとした。

地震それぞれについて各観測点の振幅値の常用対数をとる (対数振幅値)、これらの平均値からの差 (対

HEIGHT : -1.0 KM, GRID : 1.0 KM





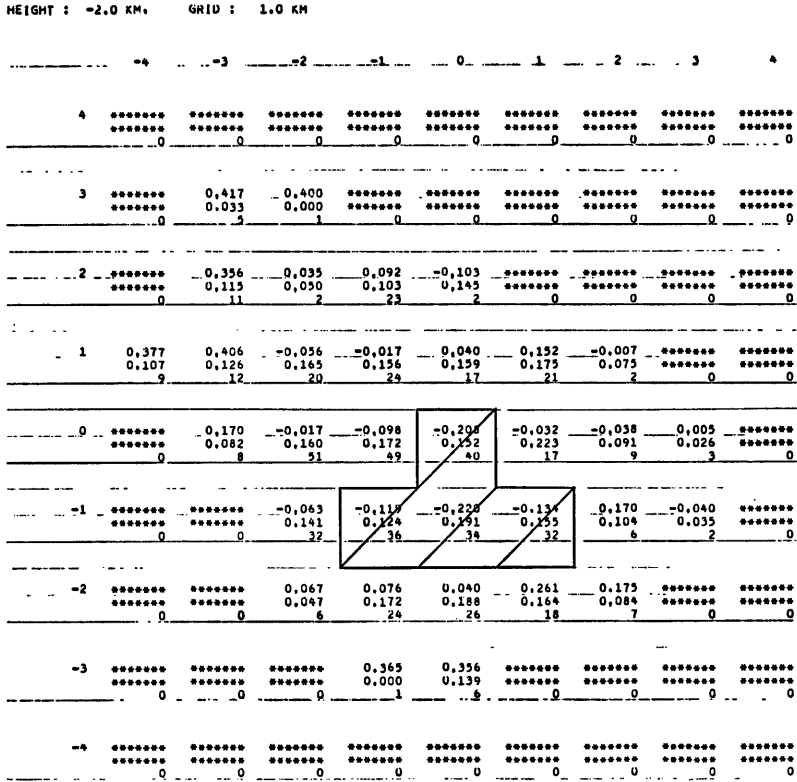


Fig. 6. Amplitude distributions projected on the planes at depth 1 km (previous page) and 2 km taking account of ray paths.

Each block corresponds to area 1 km × 1 km and the shaded area is small amplitude region.

数相対振幅値、すなわち振幅値の相乗平均値に対する比の常用対数) を求める。この段階で、P波の最大振幅が記録の限界を越えて計測できなかった観測点のある場合には、この地震を除外した。次いで対数相対振幅値に対応する波線が平面と交わる点の位置を求め、この位置に対数相対振幅値を対応づける。これに使われた地震数は除外した残り82個であり波線数は556である。平面の中岳第1火口を中心とする9 km × 9 kmの領域を1 km × 1 kmの81個の区画に分割し、区画毎に対数相対振幅値の平均値とその標準偏差を計算した。海面下1 kmと2 kmの平面について得た結果をFig. 6に示す。図の数値は区画毎に上から平均値、標準偏差、区画内のデータ数をあらわす。平均値-0.1以下の区画が囲われ、斜線を施されている。この平均値は常用対数値なので、平均値の0.0, -0.1, -0.2はそれぞれもとの振幅値で1.0, 0.79, 0.63に相当する。Fig. 6は振幅の減衰に寄与する3次元的な領域を海面下1 km または2 kmの平面上に押しつけたもので現実性を欠くが、平均振幅の小さな区画がまとまっており、減衰域が火口直下にあるとした前節の結論と矛盾しない。平面として海面下0, 3, 4, 5 km等についても計算したが、0 kmの場合には1 kmの

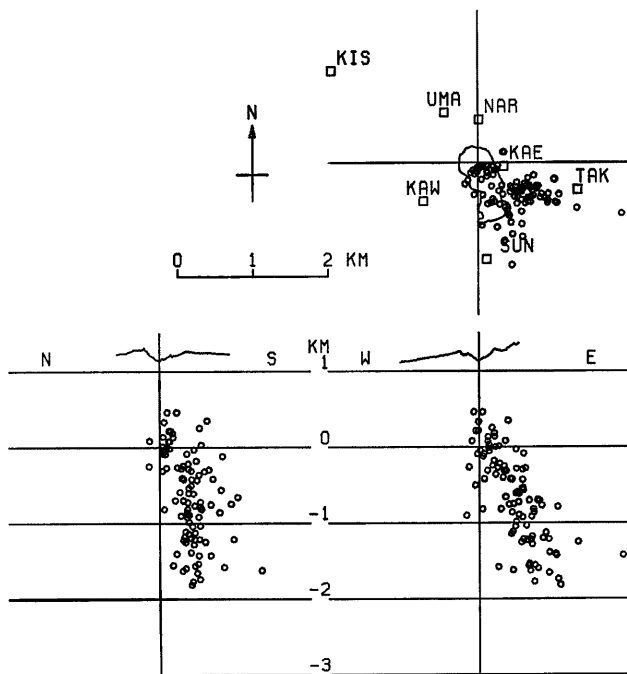


Fig. 7. Distributions of volcanic earthquakes in 1981.

場合とはほぼ同じ傾向を示すが対数相対振幅値の平均値の絶対値が小さくなる。一方、3, 4, 5 km の場合には平均値の負の領域が周辺に拡大しドーナツ状となって深くなるにつれて中心部で平均値が大きくなる。また区画を  $0.5 \text{ km} \times 0.5 \text{ km}$  と小さくするとやはり 1 km または 2 km で平均値の小さな区画がまとまる。したがって火口近傍で地表波を減衰させるのは、第一近似的に、火口直下の海面下 1~2 km の、平面的には直径 1~2 km の領域と考えられる。これは前節で述べた、遠地震の周期の長い  $P$  波について振幅異常が認められないという事実とも矛盾しない。

和田, 西村<sup>4)</sup>は観測点 VLA におけるウィーヘルト型地震計の地震記録を解析して、 $P$  波の到来方向に偏りがあり、その原因は阿蘇カルデラの構造によるとして、twin-block model を提出した。火口直下にもこの model で示されるような構造が存在するとすれば、ここで取り扱った地震の震源方向が実際の波動の到来方向と違ってくる場合が生じる。しかし、ここで明らかとなったように、減衰域が火口直下の観測網の中心部にある場合には、twin-block model を考慮しても上の結論を大きく変更することにはならないと考えられる。

Fig. 7 に火口近傍で発生した火山性地震の1981年の震源分布を示す。この震源域は地表付近の火口直下から震源が深くなるにつれて南東に傾く。この震源域が Fig. 6 に囲われた領域の右寄りの部分の領域に対応する。

#### 4. ま と め

現在活動中の阿蘇火山中岳周辺の観測点で観測された  $P$  波初動の振幅の大きさに異常分布が認められる。

すなわち、火口を中心に震源に最も近い観測点では振幅は大きく、火口周辺および火口近傍の震源と反対側では振幅が異常に小さくなり、反対側でも火口から遠くなると振幅が大きくなる場合がある。

地震の震源から各観測点への地震波線を考慮し、3次元的な広がりをもつと考えられる地震波減衰域を地下のある平面に押しつけると、海面下 1 km および 2 km の場合に火口直下の直径 1~2 km の領域で平均振幅が小さくなることが明らかとなった。この領域の東寄りの部分は阿蘇火山の火口周辺で発生する火山性地震の震源域に相当する。

おわりにあたり、御教示・御鞭撻いただいた和田卓彦助教授、議論していただいた火山研究所教官各位、ならびに観測に協力していただいた火山研究所技官各位に御礼申し上げます。

この研究の一部に、文部省科学研究費補助金を使用した。

#### 参 考 文 献

- 1) 小野博尉：阿蘇火山中岳火口周辺観測テレメータ・システム，阿蘇火山の集中総合観測（第1回）報告，1978，pp. 69-75.
- 2) 吉川宗治・加茂幸介・孤崎長琅：阿蘇火山中岳火口周辺における地震探査，火山，第2集，第4巻，1959，pp. 20-32.
- 3) 市川政治・望月英志：近地地震用走時表について，気象研究所研究報告，第22巻，1971，pp. 229-290.
- 4) 和田卓彦・西村敬一：阿蘇カルデラの地下構造について，火山，第2集，第26巻，1981，pp. 83-92.