

阿蘇山の長周期火山性微動について

——第2種火山性微動と火山性微小地震の関係——

菊 池 茂 智

ON THE LONG-PERIOD VOLCANIC MICRO-TREMORS OBSERVED AT MT. ASO

——The Relation between the 2nd Kind Volcanic Micro-Tremors
and the Volcanic Micro-Earthquakes——

By *Shigetomo KIKUCHI*

Synopsis

The 2nd kind volcanic micro-tremors appear correspondingly to the volcanic micro-earthquakes. Strictly speaking, a conspicuous phase (*C* phase) can be seen at the place about ten seconds after the initial motion of a volcanic micro-earthquake and the appearance of this phase is simultaneous with that of the principal part of the 2nd kind volcanic micro-tremor. Time intervals (*C-P* interval) between the initial motions and the *C* phases of the volcanic micro-earthquakes are related to the ratios of the maximum amplitudes between the initial motions and the *C* phases to that of the *C* phases. In order to explain these phenomena, the foci of the volcanic micro-earthquakes are determined. The deeper a focus is, the shorter the *C-P* interval becomes.

1. は し が き

佐々¹⁾は阿蘇山の火山性微動の研究を行ない、第1種火山性微動から第4種火山性微動まで、4種類の火山性微動を発見している。短周期の第3種微動(周期約0.5秒)と第4種微動(周期約0.2秒)は、火山性微小地震の直後に発生していること、表面波の性質が認められることによって、“短周期火山性微動は、火山性微小地震によって生じた表面波である。”という結論を得ている^{2),3)}。

短周期火山性微動に認められる火山性微小地震との発生の対応性を、比較的周期の長い第1種微動(周期約1秒)と第2種微動(周期3.5～8秒)についても検討した。これらの長周期火山性微動でも火山性微小地震との発生の対応性が認められることを示し、第2種微動と火山性微小地震との関係を解明しようとした。

2. 火山性微小地震と第2種微動との発生の対応性

現在活動中である阿蘇火山中岳の火口と観測点の位置関係を図示すると **Fig. 1** のようになる。火山研究所に設置されている Galitzin B型地震計 ($T_0=4.0$ sec, $T_g=6.0$ sec., $V_{max.}=2000$) の記録によって、第1種微動と第2種微動との発生の同時性を **Photo. 1** に示す。この両種の長周期火山性微動の発生の同時性が明らかなので、火山性微小地震と長周期火山性微動との発生の対応性を、阿蘇火山の特徴的な長周期火山性微動である第2種微動に的をしばって検討して行くことにする。1966年3月25日から4月1日にかけて発生した多数の火山性微小地震のうち、本堂観測所(火口から約1 km.)に設置した高倍率上下動地震計 ($T_0=1.2$ sec., $T_g=0.8$ sec., $V_{max.}=4000$) の記録上における最大振幅が6 mm. 以上の地震469を読み取り、火山研究所(火口から約7 km.)の Galitzin B型上下動地震計の記録にこれらの地震と対応する第2種微動が発生しているか調べ

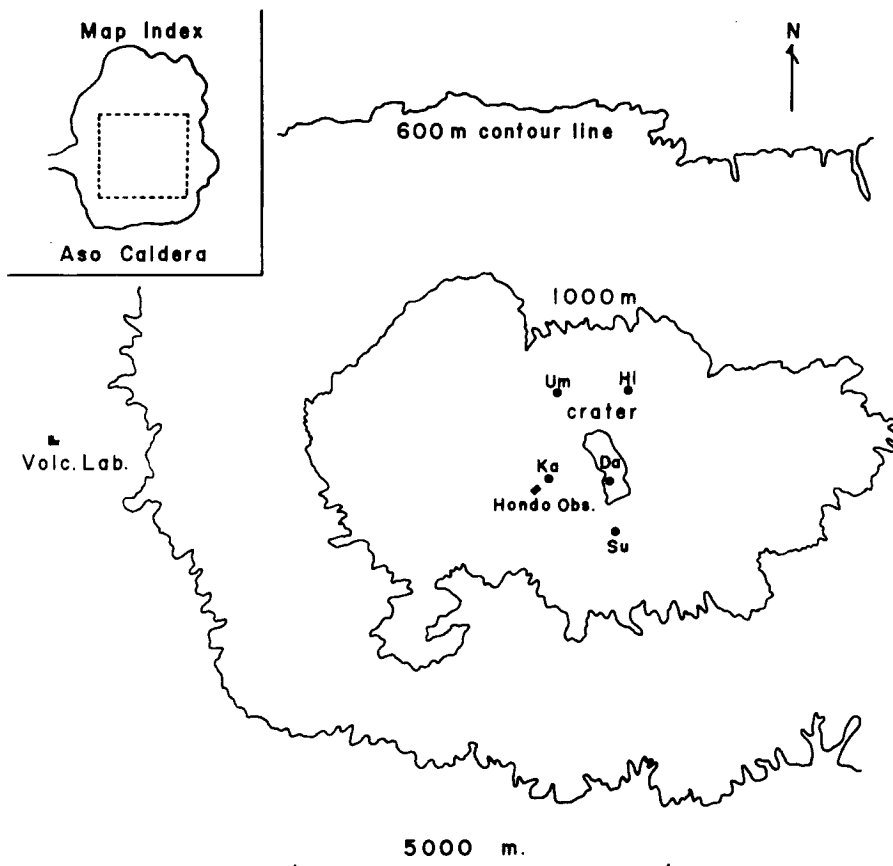


Fig. 1 Map of observational stations.

Ka: Kako-nishi. Um: Umanose. Hi: Higashi-eki. Da: Daiyon-kako.

Su: Sunasenri.

た。そうすると、469の火山性微小地震のうち448に対応して約4秒後に第2種微動が発生していることが分かった。

また、上記の高倍率上下動地震計の記録から、火山性微小地震には顕著な phase が認められることが明らかになってきた。一例を上げると **Photo. 2** のようになる。矢印で示した火山性微小地震において、地震の初動の約10秒後にこの phase が明瞭に認められる。記述の便宜のために、この phase を conspicuous phase という意味から“C phase”と呼ぶことにする。C phase と第2種微動の関係は、火山性微小地震と第2種微動を同時記録することによって求められる。**Photo. 3** に記録の一例を示す。佐々¹⁾は第2種微動を preliminary part と principal part に分けているが、微動の振巾が急激に大きくなり始める矢印の部分 principal part としているように推定されるので、火山性微小地震の C phase は第2種微動の principal part に相当する phase ということになる。このような第2種微動の principal part との対応の他に、C phase を詳しく見ると **Photo. 4** に示すような特徴が認められる。波形の異なった火山性微小地震が2例示されているが、矢印をしるした C phase の始まりの部分で、地震波の振巾や周期に明白な変化が認められる。上記の性質をもとにして C phase を読取って行くと、火山性微小地震の初動から C phase までの時間や C phase 前後の地震の振巾に変化があ

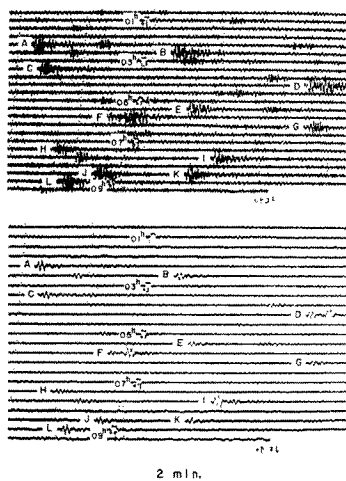


Photo. 1 Examples of seismograms showing the simultaneous appearance of the 1st kind and the 2nd kind micro-tremors recorded by Galitzin B-type seismograph at the Volcanological Laboratory.

Top: The 1st kind micro-tremors (N-S component).

Bottom: The 2nd kind micro-tremors (E-W component).

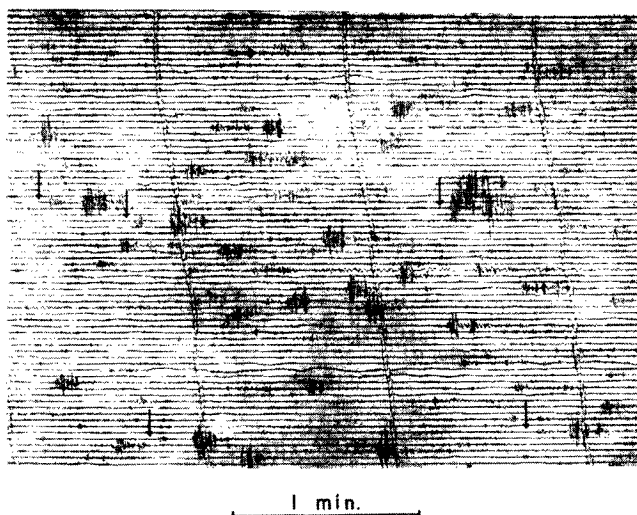


Photo. 2 Seismogram of the high-sensitivity seismograph at Hondo Observatory. The C phase can be seen at the place about 10 seconds after the initial motion (arrow mark) of the volcanic micro-earthquake.

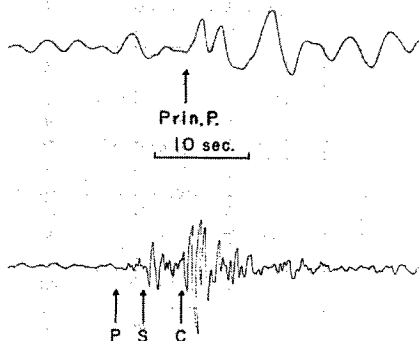


Photo. 3 Volcanic micro-earthquake and the corresponding 2nd kind micro-tremor (top).

ることが分かった。この時間を“ C - P interval”とし、火山性微地震の C phase より前の部分の最大振巾を A_E 、 C phase の最大振巾を A_C として、 C - P interval と A_C/A_E の関係を求めると Fig. 2 のようになる。 C - P interval が10秒より短い部分では、data の数が少なく、はっきりした関係が認められないが、10秒から13秒の間では C - P interval が長くなるのにつれて、最大振巾の比の値 A_C/A_E が小さくなる明瞭な規則性が認められる。

佐々¹⁾ は第2種微動の成因を magmatic reservoir の振動に求めているが、Fig. 2 のような現象がどうして起こるのか、それを追求することは、 C phase と第2種微動の principal part との発生の対応性から判断して、第2種微動の成因にも係わる重要な問題と考えられる。その手掛りを得るために、火山性微地震の震源決定を行なった。

3. 火山性微地震の震源決定

1968年4月の火山活動の際には長短さまざまの C - P interval が認められる火山性微地震の発生を観測している。火口を囲む5点の高倍率地震計観測網 ($T_0=1.0$ sec., $T_g=0.33$ sec.) は、3成分1個所、他の4個所は上下動1成分によって構成されている。その全観測点でかなり明瞭な記録が得られている微地震を18選んで震源を決定した。記録の送り速度は 6 cm./min. なので、1/20秒以上の時間精度を望むことは難しい。火山性地震の S 波の同定は困難であるが、 S - P 時間による震源決定の方法を採用せざるを得なかった。震源の計算は、解を近似値と補正值で置きかえ、補正值の高次の項を消略して、3観測点の data から連立1次方程式を作り、解を求めて逐次近似を行なった。5個所の観測点によって5個の式ができる訳であるが、宮村⁴⁾ によると必要最小数よりあまり多くない観測 data による最小自乗法処理は、必ずしも適当ではないようなので、5観測点中の3点の組合せによって解を求めた。

阿蘇山における大森定数 k の値について、和田等⁵⁾ は $k=3.7$ km./sec., 加茂等⁶⁾ は $k=2.5$ km./sec. の値を得ている。充分な data が得られていないので、計算には $k=2.0$ km./sec. から $k=4.0$ km./sec. まで 0.5区切

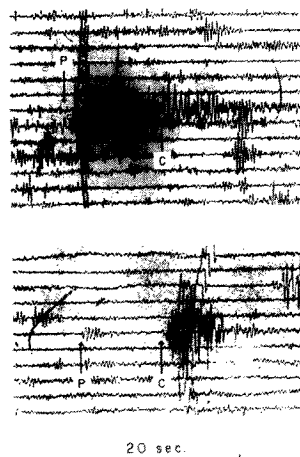


Photo. 4 Examples of the C phases.

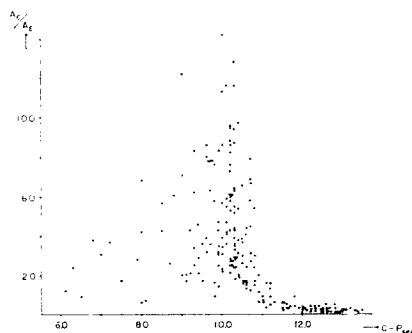


Fig. 2 Relation between the C - P interval and a ratio A_C/A_E .

Table 1 Epicentral coordinates (x, y) and focal depths (z) determined by the *S-P* interval method.

Earthq. No.	X	Y	Z
1	$1.2 \pm 0.7 \text{ Km.}$	$0.9 \pm 0.5 \text{ Km.}$	$1.6 \pm 0.3 \text{ Km.}$
2	1.3 ± 0.7	0.8 ± 0.5	1.9 ± 0.3
3	1.2 ± 0.8	0.9 ± 0.5	1.9 ± 0.3
4	1.5 ± 1.3	0.7 ± 1.0	2.2 ± 0.5
5	0.4 ± 0.8	1.3 ± 0.6	2.2 ± 0.4
6	-0.4 ± 1.5	0.4 ± 0.9	2.5 ± 1.0
7	1.2 ± 1.0	0.7 ± 0.6	2.6 ± 0.3
8	-0.3 ± 1.3	1.8 ± 0.8	1.9 ± 1.0
9	-0.6 ± 1.7	1.8 ± 1.1	3.8 ± 1.0
10	0.6 ± 1.7	3.1 ± 1.2	3.7 ± 0.7
11	1.3 ± 2.3	3.9 ± 1.7	3.3 ± 1.4
12	1.7 ± 3.0	0.9 ± 2.2	4.8 ± 0.9
13	3.1 ± 1.9	0.8 ± 1.3	4.4 ± 1.5
14	0.6 ± 2.1	2.7 ± 1.4	4.7 ± 1.0
15	3.4 ± 2.0	1.1 ± 1.3	5.5 ± 0.8
16	1.8 ± 1.9	3.1 ± 1.2	5.2 ± 0.7
17	0.2 ± 2.7	2.1 ± 1.7	6.2 ± 0.8
18	4.0 ± 2.4	-1.0 ± 1.6	6.6 ± 1.0

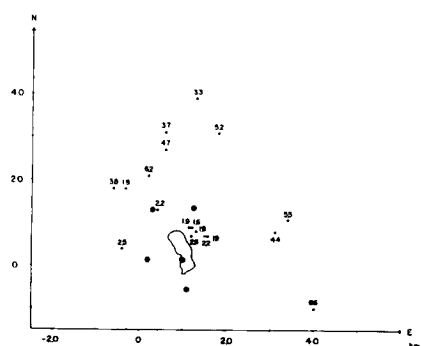
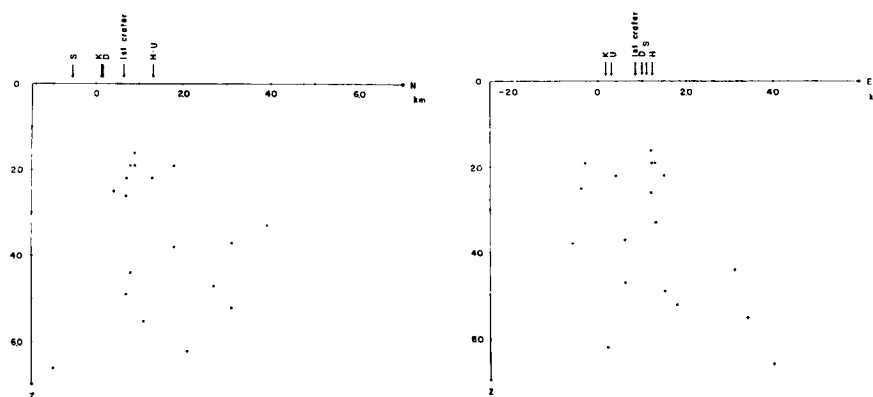
Fig. 3(A) Epicentres determined by the *S-P* interval method

Fig. 3(B),(C) Hypocentres projected to the vertical planes.

S: Sunasenri. K: Kako-nishi. D: Daiyon-kako. H: Higashi-eki.
 U: Umanose.

りの5個の値を用いた。収束する解の数は k の値が小さいほど多く求められている。 $k=2.0$ km./sec. の値を用いると、妥当な解が一番多く求められ、これまでに得られた結果とも矛盾を生じないので、 $k=2.0$ km./sec. による解について論ずることとする。読取り誤差と位相同定の誤差を含めた $S-P$ 時間の誤差を $\delta t_s=0.3$ sec., k の誤差を $\delta k=0.3$ km./sec. と見積り、宮村⁴⁾の方法によって震源決定の精度を求めた。座標の設定は、本堂観測所を原点として、水平面上の北方に $+y$, 東方に $+x$, 鉛直下方に $+z$ をとった。観測点の組合せから、1つの地震について最大10組の震源座標が求められるが、誤差の自乗に逆比例した重みを付けて荷重平均を作ると、Table 1 に示すような結果が得られる。これらの震源位置を、火口および観測点の位置と共に図示すると Fig. 3 のようになる。震源の浅い火山性微小地震が火口の北東部に集中して発生している傾向は、1965年の噴火の際に和田等⁷⁾によって求められた震源と良い一致を示している。

4. 結 論

震源が決定された火山性微小地震の $C-P$ interval とその震源の深さの関係を図示すると Fig. 4 のようになる。震源が深くなると $C-P$ interval が短くなっている。火山性微小地震の $C-P$ interval と C phase 前後の振巾の変化には Fig. 2 に示されているような関係が求められているので、Fig. 4 の $C-P$ interval と震源の深さの関係により、その振巾の変化は震源の深さに関連していることが分かる。

震源の決定された火山性微小地震の記録を震源の深さの順序に並べて示すと Photo. 5 のようになる。震源の深さが近接しているものはそのうちの1つで代表させ、その地震に対応して発生した第2種微動の記録を並べて示した。火山性微小地震の波形を見ると、Fig. 2 の $C-P$ interval 約

13から10秒の間で認められる、 A_c/A_E の比が $C-P$ interval の短縮につれて大きくなっている現象が確かであること、この現象は震源の深さが浅いものから深くなるのに従っていることが分かる。火山性微小地震に対応して発生した第2種微動についても、地震の震源の深さに従う規則性が認められる。第3章で第2種微動の preliminary part と principal part について述べたが、この2つの部分は、微動を起こす火山性微小地震の震源が深くなるにつれて、互に近付き波の数が少なくなっている。また、第2種微動の振巾についても、震源の深さによる規則性が見出されそうに思われる。

第2章で火山性微小地震と第2種微動との発生の対応性が調べられているが、469のうち21の地震において対応して発生する第2種微動が認められていない。この現象に対する1つの解答も Photo. 5 から得られる。震源の浅い地震に対応して発生する第2種微動は例外なく振巾が小さい。浅い火山性微小地震の波形は初動部分の大きいじょうご形をしている。上記の21例の火山性微小地震の波形はこの特徴を示しており、震源が浅く第2種微動が発達しなかったものと推定される。

火山性微小地震に対応して第2種微動が発生し、微動の principal part は C phase と呼んでいる火山性微小地震の特徴ある phase と同時に出現することが分かった。火山性微小地震の初動から C phase までの $C-P$ interval はその地震の震源の深さによって変わり、震源が深くなると短くなる。また、火山性微小地震と第2種微動の波形も地震の震源の深さによって変わることが認められる。これらの現象と、火山性微小地震の震源が浅いときに第2種微動の振巾が小さいことを考慮すると、第2種微動の発生機構には火山性微小地震の震源の深さが密接に関係していることが推測される。

検討していただきました理学部和田助教授、防災研究所加茂教授ならびに阿蘇火山研究施設の教官の方々、観測に従事された火山研究施設の職員の方々に感謝いたします。数値計算は九州大学大型計算機センターの

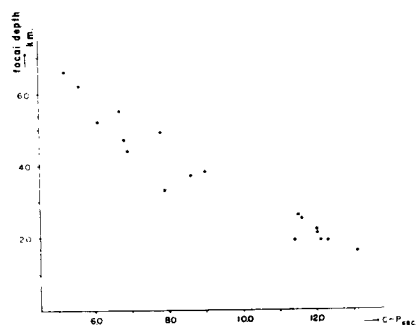


Fig. 4 Relation between the $C-P$ interval and the focal depth.

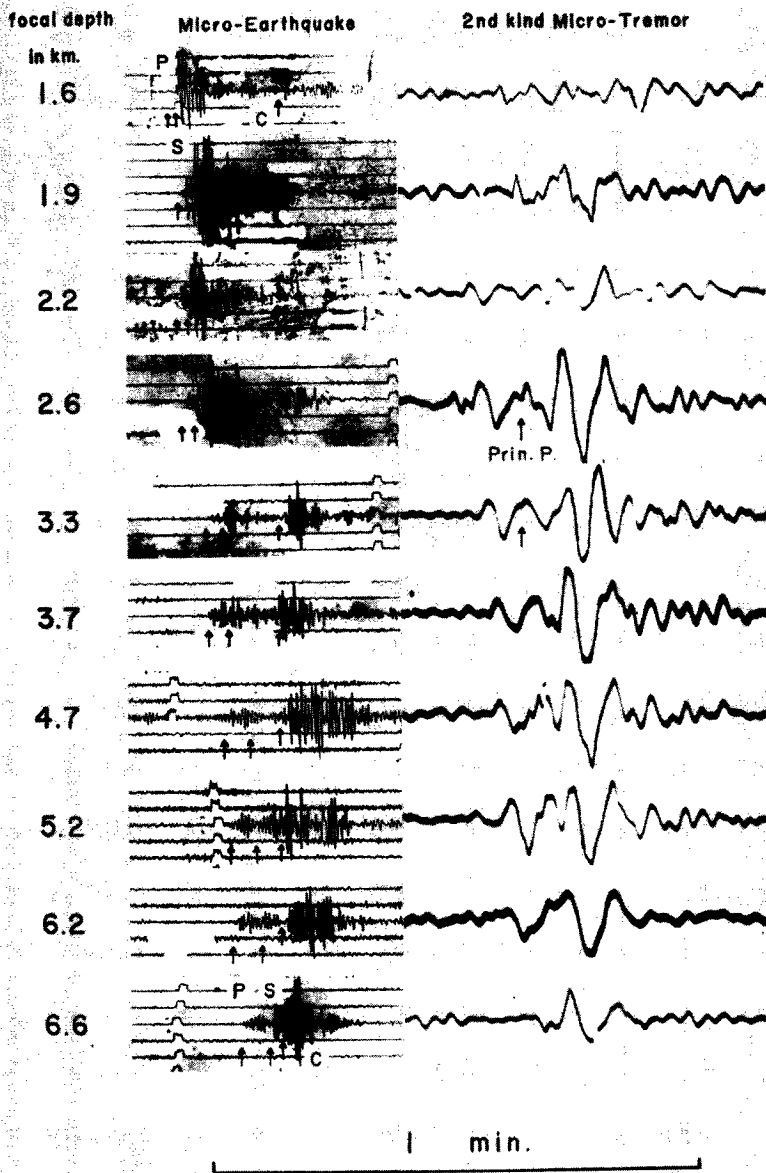


Photo. 5 Volcanic micro-earthquakes of which foci are determined and the corresponding 2nd kind micro-tremors.

FACOM 230-60 によって行なった。

参 考 文 献

- 1) Sassa, K.: Volcanic Micro-Tremors and Eruption-Earthquakes, Mem. Coll. Sci. Kyoto Univ., Vol. 18, 1935, pp. 255-293.
- 2) 菊池茂智：阿蘇山における短周期火山性微動について，火山，第2集，第7巻，第1号，昭37.3，pp. 1-16.
- 3) 菊池茂智：阿蘇山の短周期火山性微動について(Ⅱ)，火山第2集，第9巻，第1号，昭39.8，pp.9-16.
- 4) 宮村撰三：紀伊半島の局地地震(第4報)，地震研究所集報，昭35，pp. 71-112.
- 5) 和田卓彦・加茂幸介・外輝明：火山における地震の研究(第1報)，火山，第2集，第9巻，第1号，昭39.8，pp. 25-37.
- 6) 加茂幸介・菊池茂智：阿蘇カルデラ内の人工爆破観測結果について，京都大学防災研究所年報，第11号 A，昭43.3，pp. 111-119.
- 7) 和田卓彦・加茂幸介・小野博尉・須藤靖明：噴火前後の火山性地震の性質，京都大学防災研究所年報，第11号 A，昭43.3，pp. 121-130.