

AD 変換器による地震波解析 (I)

—阿蘇火山性微動への応用—

古 沢 保

PROCESSING OF SEISMIC DATA USING ANALOG-DIGITAL CONVERTER (II)

—An Application to the Volcanic Micro-tremors of
the Volcano Aso—

By *Tamotsu FURUZAWA*

Synopsis

The volcanic micro-tremors of the Volcano Aso recorded on magnetic tape were digitized with the A—D converter. The digitized data were filtered for mode separation with 4cps low-pass and 1cps low-pass digital filters. Particle motions were obtained in each period range.

It is found that two micro-tremors of the period range of 0.25 to 1 sec have the same change with time in regard to period and orbit. And the directions of the particle motions is SH type approximately. But the modes of the period of 2—3 sec indicate the different direction of arrival.

1. はじめに

前報¹⁾では新潟地震の余震に digital filter をかけることにより波形の変化, particle motion の周波数による変化, 時間的推移等について述べ, それが phase の分離に有効であることを記した。

今回は京都大学理学部阿蘇火山研究所で観測された火山性微動の磁気テープ記録を用い, digital 化して記録の上で異なったタイプと思われるものに digital filter をかけ, 周波数により分離し各々の成分について particle motion を求め, その振動方向及び時間的变化等について調べてみた。

2. データ並びに解析

用いた記録は阿蘇火山研究所から送られた KT—シリーズと名付けられるもので, 研究所構内に於ける3成分(上下動1, 水平動2)のみを再生, 転写したものである。観測は1966年6月13日から14日にかけて, 16日に行なわれ, 総計約60個の微動が記録されている。地震計は SV, SH 型でアンプをも含めると, 上下動と水平動の感度比が 1 : 0.8 になっている。

送付された記録は観測の際既にテープ速度の関係から 30 cps high cut になっているのであるが, 再生の際に生じる 60 cps を cut する目的で 30 cps low pass filter を通して AD 変換器に入れ digitize した。

今回解析を行なったのは KT—2—9, KT—2—10, KT—2—12, KT—4—14 と名付けられる4つについてで, 各々の時間は KT—2—9 が14日 02^h44^m, KT—2—10 が14日 03^h08^m, KT—2—12 が14日 03^h2

6^m, KT-4-14 が16日 02^h55^m である。4つの波形についてDA変換したものをN-S成分のみ Fig.1 に示す。サンプリング周波数はKT-4-14 以外は全て 30cps を用い、短周期成分を含む KT-4-14 は 100cps にとった。

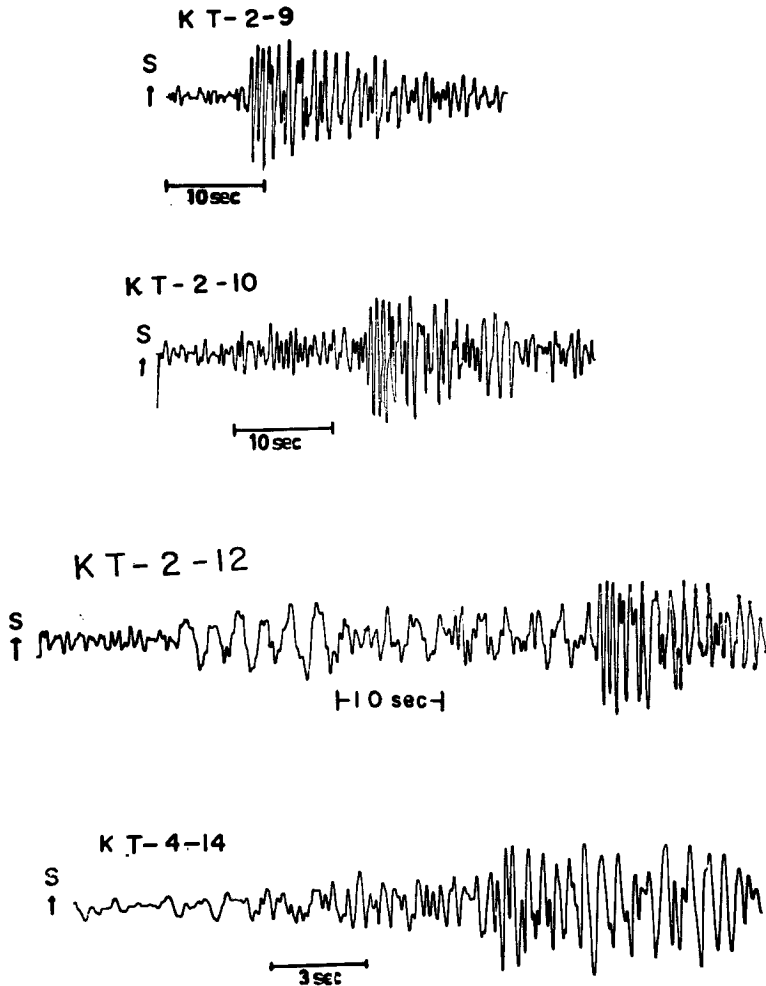


Fig. 1 Digitized data of typical volcanic micro-tremors at the Volcano Aso.
(N-S component)

KT-2-9, KT-2-10 は今回送られた記録中最も普通に見られる型の微動であるが、KT-2-10 には振巾が大きくなる前にやや小さな振動が存在するという相異がある。KT-2-12 は2~3秒のやや長い周期の波がかなり長く続いているのが特徴で今回の記録には他に見られず唯一の例である。KT-4-14 は非常に短い周期の波で、しかも他の3つは3成分中特にN-S成分の振巾が大きく殊に上下動の振巾が小さいのであるが、3成分共かなりの振巾を有する点で大いに異なる。したがって地震の記録のようにも思えるが、確実なるデータがないので何とも言えない。

以上4つの場合について digital 化したデータに KDC-I を用いて digital filter をかけた。先ず最初

に直流成分を除くため最小二乗法により零線を normalize し、さらに上下動と水平動の感度の差を補正する意味で上下動成分を0.8倍した。用いた digital filter の形は前回¹⁾と全く同じであるが、今回は係数の数をやや多くとり 100cps のサンプリングで 1 cps low pass の場合は1200個となるようにした。これは前回¹⁾より cut を鋭くするためである。

阿蘇の火山性微動は周期により 4種類に分類され²⁾ 第一種微動として0.7~1秒の周期をもつものと、それより短周期の第3種、第4種微動が存在する。短周期のものについては和田・小野³⁾により 4 cps前後からスペクトル的に乱れが見られる故、それより高い周波数をもつことが示されている。したがってここでは 4 cps と 1 cps に filter の範囲を求め、1 cps low pass, 1-4 cps, 4 cps high pass の3つの部分に分離してみた。

そして各部分毎に particle motion を求めた。上下動成分が非常に小さいために主に水平面に於ける particle motion について考えた。

更に KT-4-14 については Phinney and Smith⁴⁾ によって示された particle motion の直線性を判

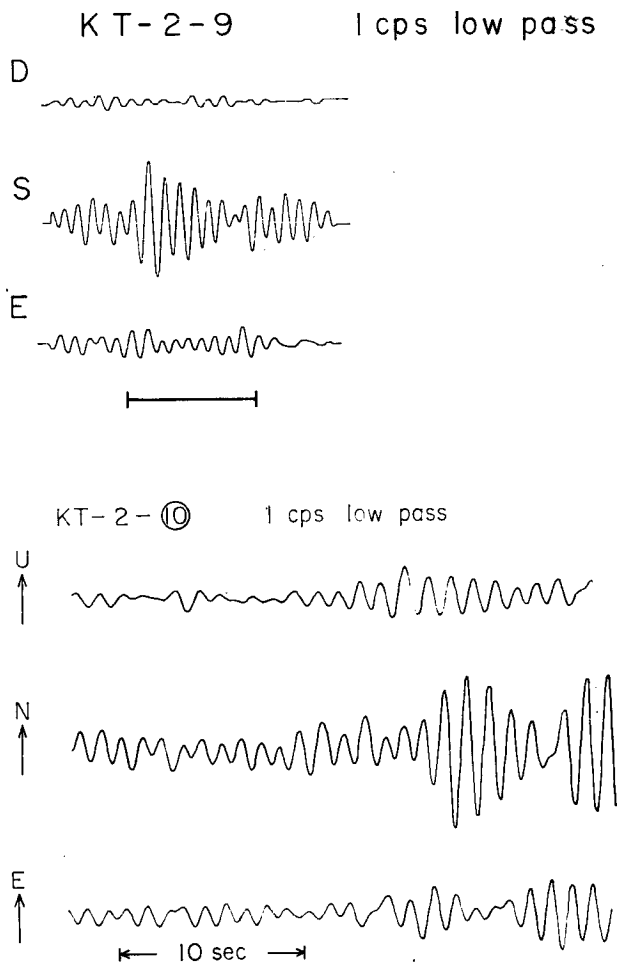


Fig. 2 Filtered records of 1 cps low pass.
Upper: KT-2-9, lower: KT-2-10.

定する一種の相関関数である

$$P_{XY} = \frac{\sum X_i Y_i}{\sqrt{\sum X_i^2 \cdot \sum Y_i^2}}$$

なる量を求め、普通に求めた particle motion の図と比較してみた。ここで X_i, Y_i は各々 3 成分の内
の一つを表わし、lag τ の各値について点 X_τ から $X_{\tau-n+1}$ まで及び Y_τ から $Y_{\tau-n+1}$ までをとる。

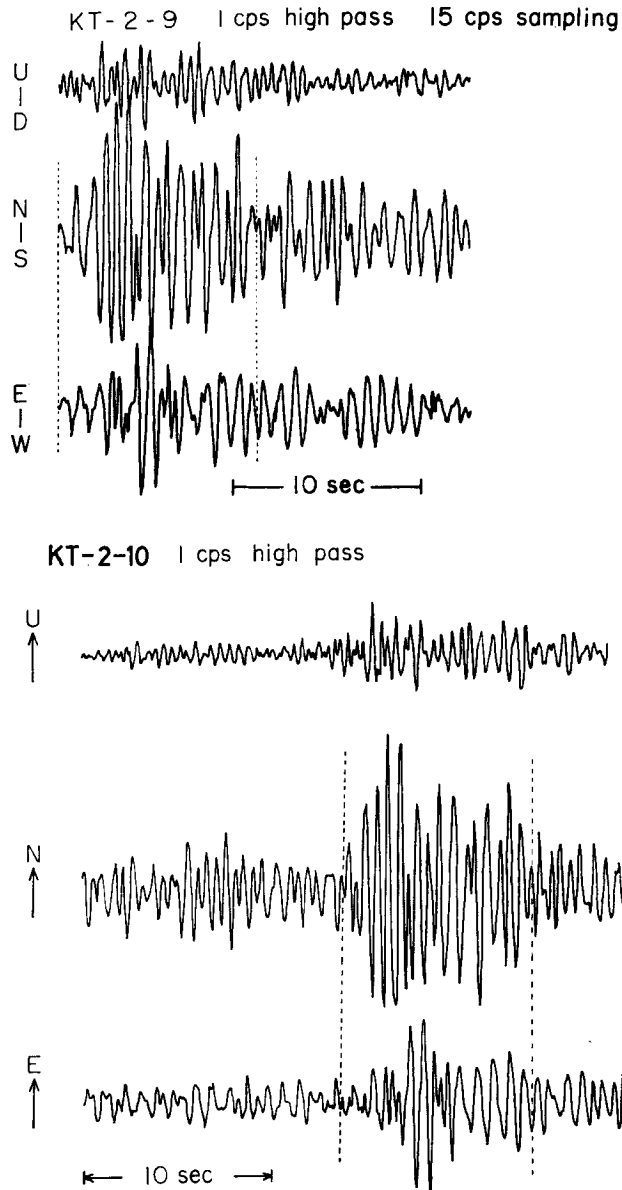


Fig. 3 Filtered records of 1 cps high pass.
Upper: KT-2-9, lower: KT-2-10.

n を大きくすれば信頼度は増すが、それだけ平均化されることになる。つまり P_{XY} はパラメーター n に依存する orbit の関数であり、particle motion の幾何学的性質を示す digital function といえる。

3. 解析結果

Fig. 2, 3 は KT-2-9, KT-2-10 の同じ時間範囲の 1 cps を境とする low pass, high pass 成分を示す、4 cps low pass data が filter をかける前のデータと殆ど変わらないので 4 cps より高い周波数成分は存在しないと思われる。low pass 成分の方はほぼ 1 秒の周期の波が連続的に続いていて、ピーク的位置は high pass 成分より遅れて現われる。そして N-S 成分以外は非常に小さく、特にこれは KT-2-9 の方に顕著である。したがって particle motion の方向もほぼ南北方向を向くことが期待される。Fig. 4 は KT-2-10 の 1 cps low pass についての水平面での particle motion を示すが、振巾が大きな部分とそれ以前で同じ形をもつ。長軸の方向は南北方向から $N20^{\circ}W$ の方向までの範囲にあり、大体 $N20^{\circ}W$ と考えられる。微動の origin と思われる火口は研究所からはほぼ真東の方向にあるので、この波は Love type であることがわかる。

一方 high pass 成分についてはピークに到るまで周期が次第に短くなっていくようで、分散を思わせる。そして N-S 成分のピークが終わった所に E-W 成分にパルス状の波が現われている。これは KT-2-9, KT-2-10 の両方にあてはまる。Fig. 5 は Fig. 3 の点線ではさまれた部分の particle motion を示す。a) は KT-2-9, b) は KT-2-10 で左から順に約 1~2 秒間 (1~3 周期) の particle motion の時間的変化を連続的に書き表わしたものであるが、2つの微動が同じ部分で驚く程似ているのに気付くであろう。このように 2つの微動の波形、振動方向等がこの主要部に於て一致するのは、origin、伝播経路、

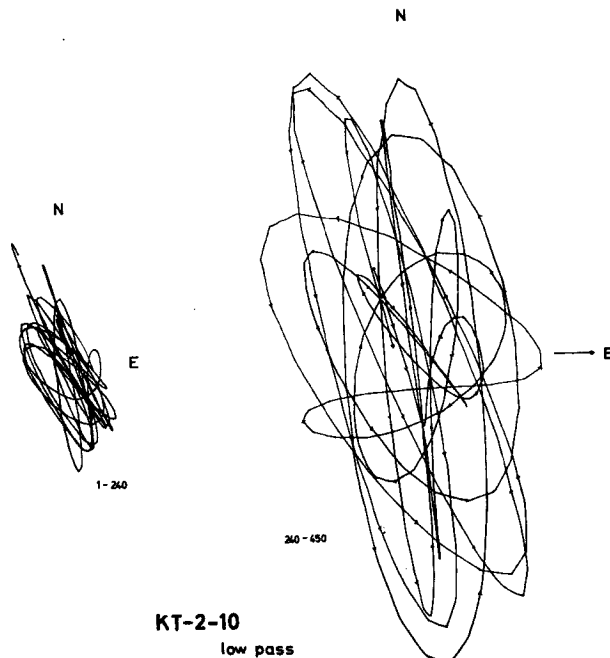


Fig. 4 Particle motions in the horizontal plane of KT-2-10.
1 cps low pass.

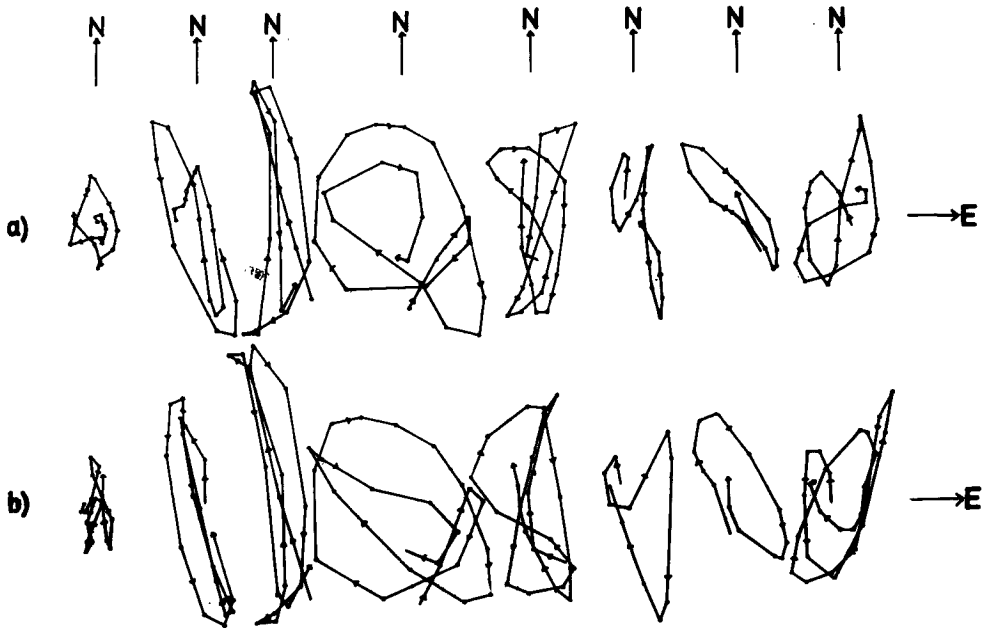


Fig. 5 Particle motions in the horizontal plane of 1 cps high pass.
a) : KT-2-9. b) : KT-2-10.

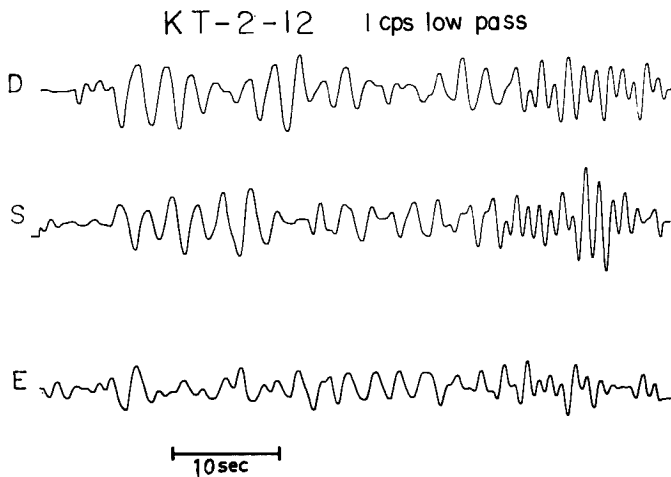


Fig. 6 Filtered records of 1 cps low pass of KT-2-12.

発生の機構等がこの約20分の時間的間隔で相続いて起った微動に関して全く一致していることを意味するであろう。

Fig. 6 には KT-2-12 の 1 cps low pass を示す。2~3 秒の長周期波がきれいに分離されている。図では上下動成分の大きさを水平動成分の5倍の大きさに示してある。

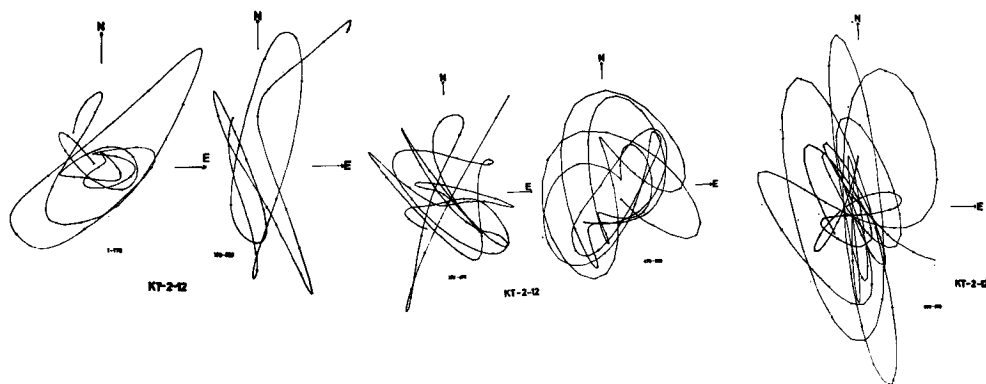


Fig. 7 Particle motions in the horizontal plane of KT-2-12.
1 cps low pass.

Fig. 7 をみると、長周期成分は1秒の周期の波が描く particle motion と大分様相を異にするのがわかる。図の右端、Fig. 6 の最初から44秒付近より約1秒の波の振幅が大きくなる部分に関しては Fig. 4 の KT-2-10 の場合とよく似た方向（ $N10^{\circ}W \sim N25^{\circ}W$ ）をとるが図の左端の Fig. 6 で長周期の波が顕著になる辺りの phase は E-W 成分も割合大きく、orbit は $N40^{\circ}-45^{\circ}E$ の方向に長軸を有し、その次の図では10秒を過ぎて $N10^{\circ}E$ 、 $N20^{\circ}E$ と変化していき、3番目の図では $N20^{\circ}E$ から $N30^{\circ}W$ 、4番目の図に移って $N40^{\circ}E$ と急激に変化していく。

KT-4-14 は短周期成分を分離するため 4 cps を境に filter した。その結果は Fig. 8, 9 に示される。

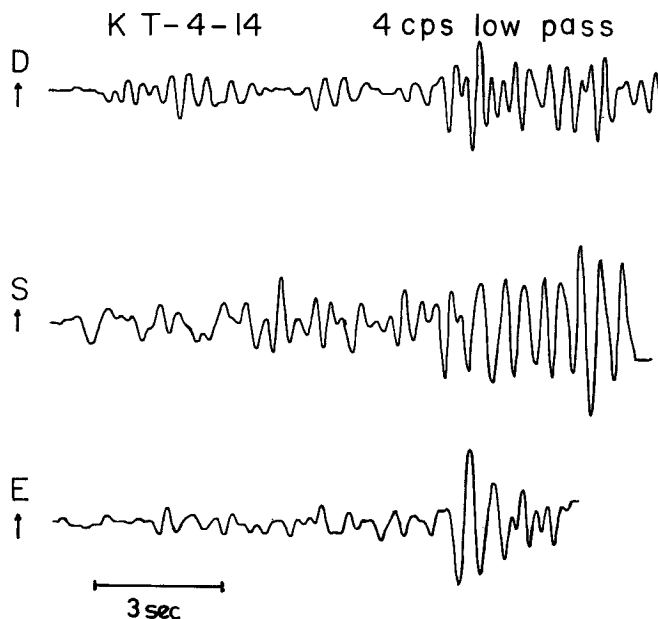


Fig. 8 Filtered records of KT-4-14.
4 cps low pass with a 100 cps sampling frequency.

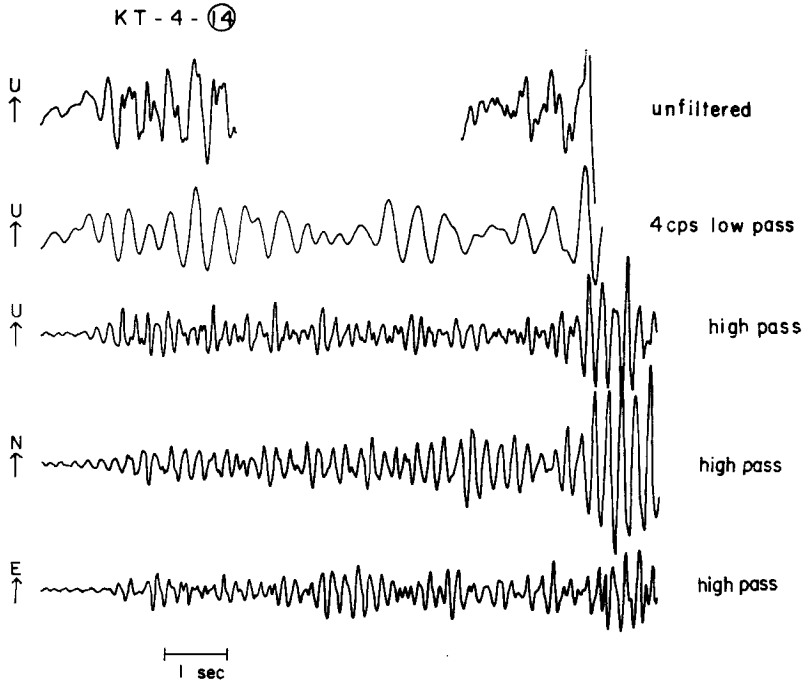


Fig. 9 Filtered records of KT-4-14.

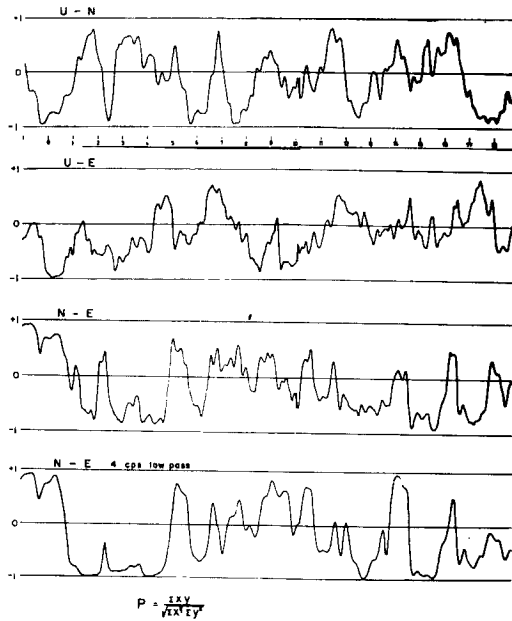


Fig. 10. P: Digital functions used as a criterion for distinguishing rectilinear motion.

Fig. 8 の 4 cps low pass filter をかけたものを Fig. 1 の KT-2-9, KT-2-10 の filter しない波形と比べても時間の scale が異なるのでちょっとわかり難いけれど、類似は認められない。KT-2-9, KT-2-10 は 4 cps より短い周期は含まないので Fig. 1 は 4 cps low pass と考えてもよい故、KT-4-14 はこれらと異種の微動または地震ではないかと考えられる。

ここで particle motion を考える前に前節の終りに述べた関数 P_{XY} を求めてみる。データとして filter

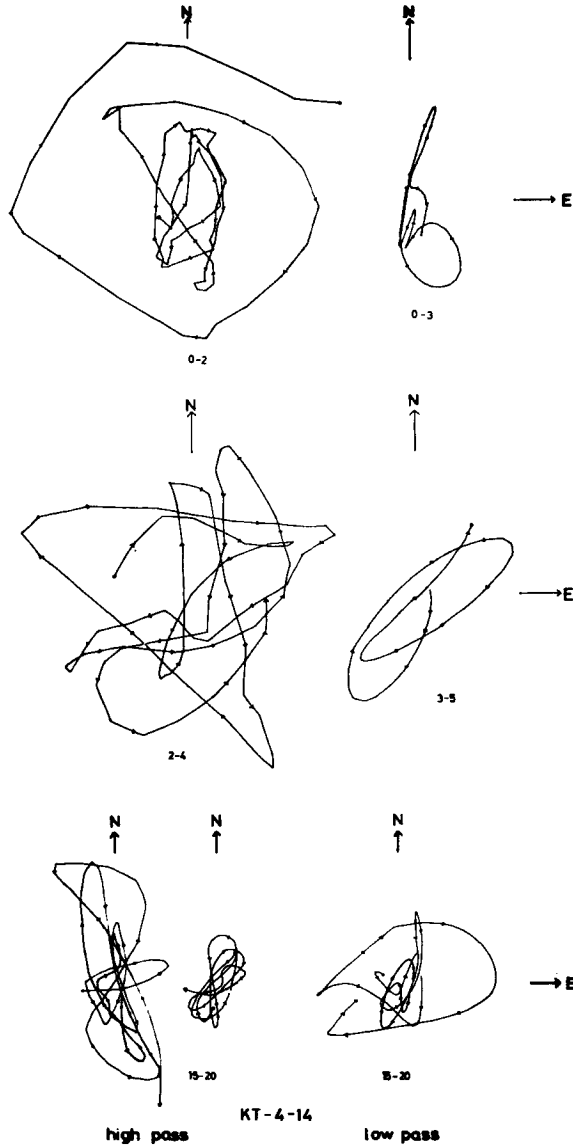


Fig. 11 Particle motions in the horizontal plane of KT-4-14.
 Left side: 4 cps high pass, right side: 4 cps low pass.
 Upper and middle: initial part of Fig.8 and 9.
 Lower: large amplitude portion of Fig.8 and 9.

をかけない、零線のドリフトを normalize したものをを用い、上下動、N-S, E-W各成分の2つづつを組合せ、Fig. 8 と同じ時間範囲について30項 (0.3秒) の和として得てみた (Fig. 10)。なお水平面については 4 cps low pass の場合をも合せて示す。Pの値が大きい即ち $P = \pm 1$ に近い所は orbit が直線になっていることを表わし、地震の場合P波またはS波の到達を意味するであろう。P波とS波の orbit は 90° polarize しているからPに関して逆符号になる。したがって Fig. 10 の 4 cps low pass 成分で最初の -1 となる部分をP波初動と考えると、S波の存在は+1の所ということになる。しかし今の場合S波の存在を確かにする程Pの値が大きくなる安定な部分が認められず逆に Fig. 8 の E-W 成分の振巾が大きくなる少し前からPは-1に近くなっている。この辺りは地震の記録で普通S波の arrival と考えられているのであるが、particle motion からはS波を確認できない。

Fig. 11, 12 に比較の意味で Fig. 10 の水平面で $P = -1$ になる部分 (最初の部分と振巾が大きくなる部分) の水平面並びに上下動と N-S 成分に於ける particle motion を 4 cps を境とする high pass,

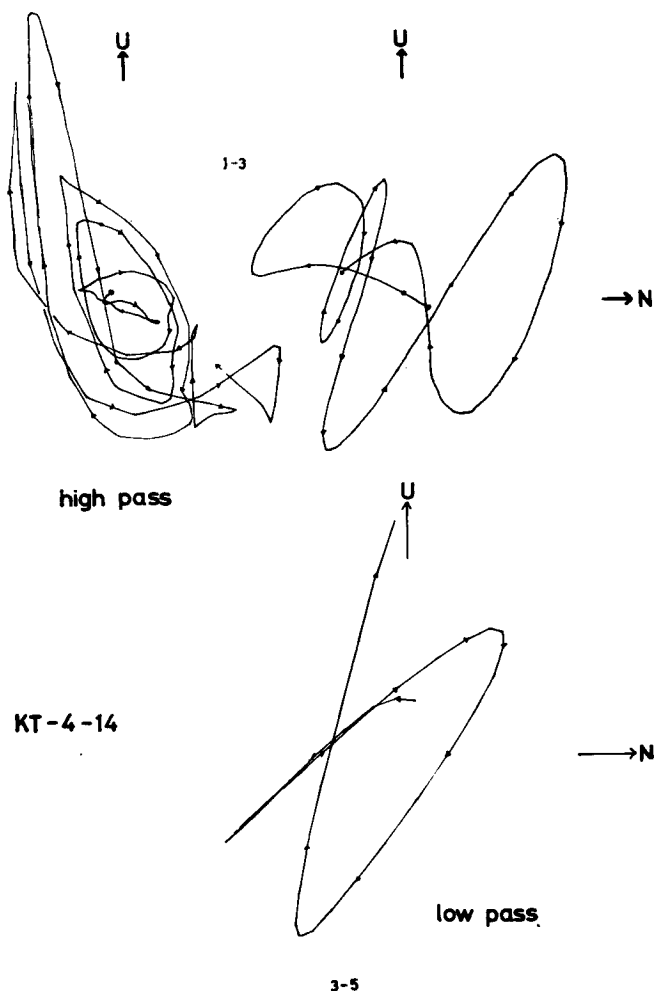


Fig. 12 Particle motions in the N-Z plane of KT-4-14.
Initial part of Fig.8 and 9.

low pass 両方について示す。S波と考えられるような orbit を見出せないが他の微動とは異なるようである。

4 結 び

digital filter を用いて周期により分離してみると 4—1 cps の微動については相互に波の周期並びに orbit の変化，振巾の変化等全く一致するといえる。particle motion の方向は火口を origin としてほぼ transverse である。orbit の方向については 1 cps low pass についても 1 秒の周期の波は同じである。しかし，異なる微動相互間の一致は 4—1 cps に比し劣る。2—3 秒の長周期の波については振動の方向はかなり異なるようでもう少し検討を要すであろう。

digital 化したデータの particle motion により phase を見付けるのに自動的に計算機を用いて出来る方法として相関 P を考える際にも filtering した波形を用いる必要がある。今回は明瞭な地震の記録に適用しなかったが，S波の決定に有効と思われるが，phase が重なっている場合にはあまり有効ではないであろう。

終りに終始ご教示下さった吉川宗治教授並びに高田理夫教授に深甚なる謝意を表すと共にいろいろ御指導賜わった京都大学理学部和田卓彦助教授，貴重なる観測データを送って下さった京都大学理学部加茂幸介博士に心からお礼申し上げます。尚計算は京都大学計算センター KDC—I によることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 古沢 保：AD 変換器による地震波解析，京都大学防災研究所年報第 9 号，1966，pp.55—62.
- 2) Sassa, K.: Volcanic micro-tremors and eruption-earthquake. Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., Ser. A18, 1935, pp.255—293.
- 3) 和田卓彦，小野博尉：火山性微動のスペクトル的研究(1) (阿蘇火山第一種微動の伝播について)，火山，第 2 集，第 8 卷，1963，pp.1—10.
- 4) Phinney, R. A., and S. W. Smith: Processing of Seismic Data from an Automatic Digital Recorder. Bull. Seism. Soc. Am., vol.53, 1963, pp.549—562.