

第2章 火山用長周期地震計によるマグマの動向把握 に関する研究*

1. 目 的

火山の地下から長周期の地震波動が発生することは、かなり前から注目されていた。たとえば、阿蘇山の第2種火山性微動 (Sassa 1935、5.1 参照) は周期が3~10秒もあり、その発生原因は火山下のマグマ溜りの振動によるのであろうといわれている。この微動は噴火の前兆として現われやすいので、火山活動監視上からも、その観測が必要とされている。また、浅間山や桜島の火山爆発の際に記録される爆発地震の波形の中には、長周期波動を含んでいるものをしばしば見かける。この記録からは、爆発の震動によって、火山体ないし地上のマグマ溜りの振動が誘発されたかもしれないことが想像される。このように、火山における長周期地震波動は重要な意義を持っている。

さて、火山観測を行っている測候所の多くは火山のふもとにある。山が日射で暖められると、高地と低地とで顕著な温度差を生じ地表の暖まり方が一様でないことから地盤が傾斜する。その結果、従来の長周期地震計は傾斜して地震計の振子はバランスをくずす。また、地震計室内の温度変化も激しいので、地震計の振子を支えているバネが敏感に伸縮し、振子はバランスを失って観測不能になる。こうした傾斜や温度変化の影響を受けにくい地震計としては、固有周期を短くすることが必要であり、気象庁の火山観測には周期1秒の短周期地震計が用いられてきた。火山の悪環境が長周期地震計の使用を長い間阻んできたのである。

この特別研究においては、短周期の変換器にフィードバック回路を組み合せる方法を用いて、火山でも使える長周期地震計を開発した。また、これを阿蘇山へ設置して、火山から発生する長周期震動を観測研究した。

2. 火山用長周期地震計の製作

この地震計の変換器は、短周期の電磁式変換器にフィードバック回路を組み合せてその固有周期を長くしたものである (田他1984)。図1.2.1は長周期化の原理図で、変換器の検出コイル (DETECTOR COIL) の出力を演算増幅器 (A) で増幅し、その出力電流をフィードバックコイル (FEEDBACK COIL) に帰還して微分することにより、振子は慣性力に比例した力を受けるこ

* 中禮正明・田中康裕・澤田可洋・福井敬一；地震火山研究部

田 望；東海大学

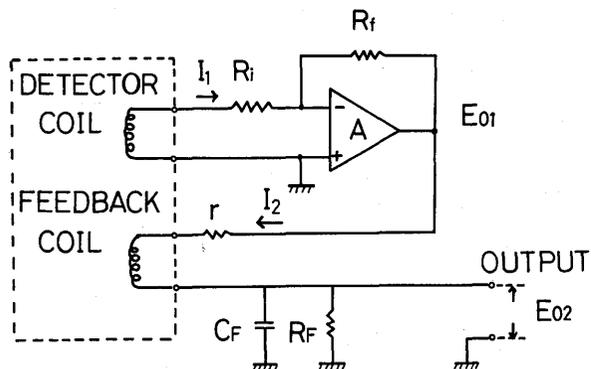


図1.2.1 フィードバック長周期地震計の構成

と同等になり、固有周期が長くなることを示している。

地震計の総合周波数特性は、0.1Hz～10Hzの周波数領域で地動変位に比例した出力を持つように設計・製作した。

この地震計は、図1.2.2のブロックダイアグラムに示すように、変換器、フィードバック増幅器、積分増幅器、検定用正弦波発振器、アッテネーター、定電圧電源装置、記録器、時計及び商用電源保安器で構成されている。一点破線で囲んだ部分是一个のラックに組み込まれている。こ

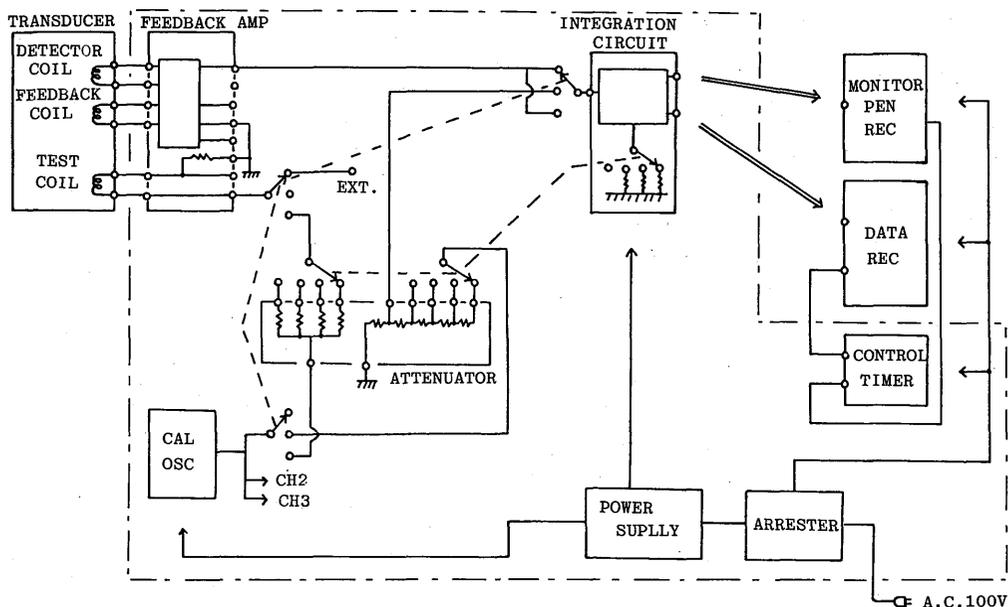


図1.2.2 火山用長周期地震計のブロックダイアグラム

これらの各部を次に説明する。

1) 変換器 (TRANSDUCER)

固有周波数0.5Hzの変換器を用い、ポピンには地動検出用、フィードバック用及び検定用の3種類のコイルを捲いてある。表1.2.1はこの変換器の諸定数である。

表1.2.1 変換器の諸定数

		単 位	水平成分	上下成分
振子の慣性能率		$\times 10^4 \text{gr} \cdot \text{cm}$	9.67	9.70
振子の重さ		gr	1502	1428
振子の長さ		cm	6.88	7.21
周波数		Hz	0.5	0.5
感 度	検出コイル	volt \cdot sec	35.68	34.83
	フィードバックコイル	volt \cdot sec	33.56	32.81
	検定コイル	volt \cdot sec	2.19	2.49

2) フィードバック増幅器 (FEEDBACK AMP)

変換器の地動検出用コイルの出力を演算増幅して変換器のフィードバックコイルに帰還する部分と、その出力を微分する部分とからなっている。変換器とこのフィードバック増幅器とを組み合わせた回路により変換器の固有周波数を0.1Hzまで低くすることができる。

表1.2.2にはこの回路と変換器を組み合わせ設計・製作した火山用長周期地震計の諸定数を示す。

表1.2.2 火山用長周期地震計の諸定数

		単 位	水平成分	上下成分
周波数		Hz	0.1	0.1
感 度		volt/kine	1.5	1.5
減衰定数			0.6	0.6

3) 積分増幅器 (INTEGRATION CIRCUIT)

図1.2.1でフィードバック回路からの出力 E_{02} は速度電圧であるので、これを変位電圧に変えるための積分増幅器である。これにより0.1Hz~10Hzの周波数領域で地動変位に比例した電圧が得られる。また、この増幅器の1Hzにおける増幅率は、2.12倍、4.24倍、8.49倍、21.2倍のいずれかに切替えられ、これによって倍率は50倍から100倍、200倍、500倍まで切替えられ、 $\pm 10^{-4} \sim \pm 0.4$

mmの地動変位を観測できる。

4) 検定用正弦波発振器 (CAL OSC)

この発振器には、クワドラチャ (Quadrature) 発振回路を用いている。出力信号は1 Hzの正弦波で、この信号はアッテネーターを通して積分増幅器あるいは検定用コイルに入力される。これにより積分増幅器以降あるいは変換器を含めた地震計全体の感度の検定ができる。

5) アッテネーター (ATTENUATOR)

検定用コイル及び積分増幅器への入出力電圧を調整する装置である。

6) 定電圧電源装置 (POWER SUPPLY)

地震計に必要な ± 6 V、 ± 9 Vの電圧を得るためのものである。

7) 記録器 (REC)

記録器は、モニター用に長時間連続記録計を、解析用にアナログデータレコーダーを用いた。

7.1) モニター用記録器 (MONITOR PEN REC)

三栄測器社製長時間連続記録計 8 D01型を使用

成分数：1

ガルバノメーター：3123 L形ガルバノメーターを2個使用

最大記録幅：30mm_{p-p}

記録方式：インク書き (円弧)

感 度：0.5、1、2、4 V/cmおよびOFF

周波数特性：DC~30Hz

連続記録時間：2 mm/分のとき約5.5ヶ月

8 mm/分のとき約22ヶ月

制御信号：毎分パルス及び毎時間パルスの外部同期信号

刻時信号：外部刻時信号を入力に重畳

観測は次のようにして行った。

1982年10月23日~1983年6月20日

記録速度：4 mm/秒、紙送り速度：2 mm/分、刻時：1回/秒、改行：1回/分、改頁：1回/時

1983年6月21日以降

記録速度：15mm/分、紙送り速度：8 mm/15分、刻時：1回/分、改行：1回/15分、改頁：1回/8時間

7.2) データレコーダー (DATA REC)

ソニーマグネスケール社製UFR-31400ALを使用

チャンネル数：14チャンネル

火山用長周期地震計3チャンネル、短周期地震計3チャンネル、タイムコード1チャンネルの合計7チャンネルを使い、往復で14チャンネル使用

記録再生方式：FM

テープ速度：19cm/sec、1.9cm/sec、0.19cm/sec

連続記録時間：10号リール(全長1440m)。0.19cm/secの記録速度で往復記録して、419時間56分連続記録できる。

周波数特性：

テープ速度	周波数特性	S/N (RMS)
19cm/sec	DC~2.5kHz	48dB
1.9 //	DC~250Hz	45dB
0.19 //	DC~25 //	42dB

観測はテープ速度0.19cm/secで行った。

8) 時計 (CONTROL TIMER)

三栄測器社製コントロールタイマー5569を使用

この時計からモニター用記録器の刻時、動作制御及びデータレコーダーへの刻時に対応した直列信号(スローコード)の入力を行った。おもな規格・性能は次のとおりである。

水晶発信器：OCXO-045

発振周波数：1MHz

時刻表示：01月01日00時00分00秒~12月31日23時59分59秒までの10桁LED表示

手動修正：押ボタンスイッチにて±0.1sec、±1secの進み遅れを修正

バッテリーバックアップ：約5時間(20°C完全充電時)、ニッケルカドミウム電池浮動充電方式

9) 商用電源保安器 (ARRESTER)

(1)~(8)の機器を雷などによる異常電圧から保護するための装置である。次の性能を備えている。

1次電圧：AC100V (50/60Hz)

2次電圧：AC100V

2次電流許容量：3A

放電開始電圧：AC \geq 10±50V

避雷管最大衝撃電流：1000A

使用条件：連続

3. 地震計の性能試験

製作した地震計の性能を調べるために振動試験と温度試験を行った。振動試験には3ポスタ油

圧ベアリング方式の精密振動実験装置 (ASE-385) を、温度試験には恒温槽 (トリメイトギャラクシー: 型式GAL-60-CL) を使用した。

図1.2.3に振動試験で得られた地震計の出力波形の例を示す。図のa)、b)及びc)はそれぞれ1 Hz、0.5 Hz及び0.1 Hzにおける波形で、各図の上段は振動台の振動をマグネセンサー (ソニーマグネスケール社製マグネセンサーセットB2) で測った波形、下段は振動台に乗せた上下動地震計の出力波形である。

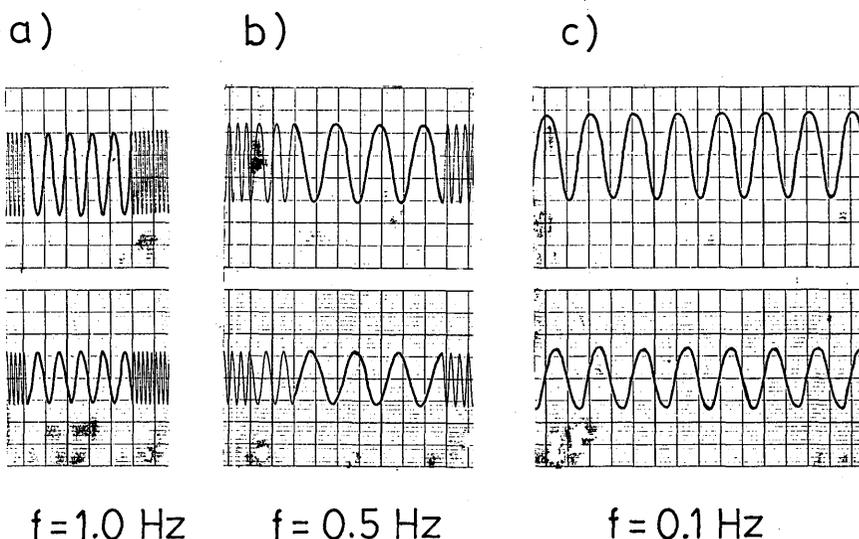


図1.2.3 振動試験による波形

上段は振動台の動き、下段は火山用長周期地震計 (上下動) の出力波形

図1.2.4にこの試験で求めた総合周波数特性を示す。

図1.2.5には振動試験で求めた位相特性を示す。正の方向は位相の進み、負の方向は位相の遅れである。0.5 Hz付近から10 Hz付近までは位相差は小さいが、10 Hz以上あるいは0.4 Hz以下では急激に大きくなっている。

なお、この振動試験によりこの地震計は設計どおり変位倍率が50倍から100倍、200倍、500倍まで切替えられること及び変位に比例した出力を持つことが確かめられた。

一方、長周期地震計の上下動成分は振子の吊りバネの温度変化が周波数特性に影響することがしばしば問題になる。そこで製作した地震計の変換器について温度試験を行った。

図1.2.6に試験結果を示す。-5°Cで約5%の出力低下があるが常温付近での温度特性はきわめてよい。なお、バネ材には明石合金株式会社製の恒弾性合金アカシスパンASCを使用した。これはNi、Cr、Ti、Al、Feの合金を硬化処理したもので熱弾性係数は $-1.0 \sim +1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 、熱膨張係数は $8.1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ である。

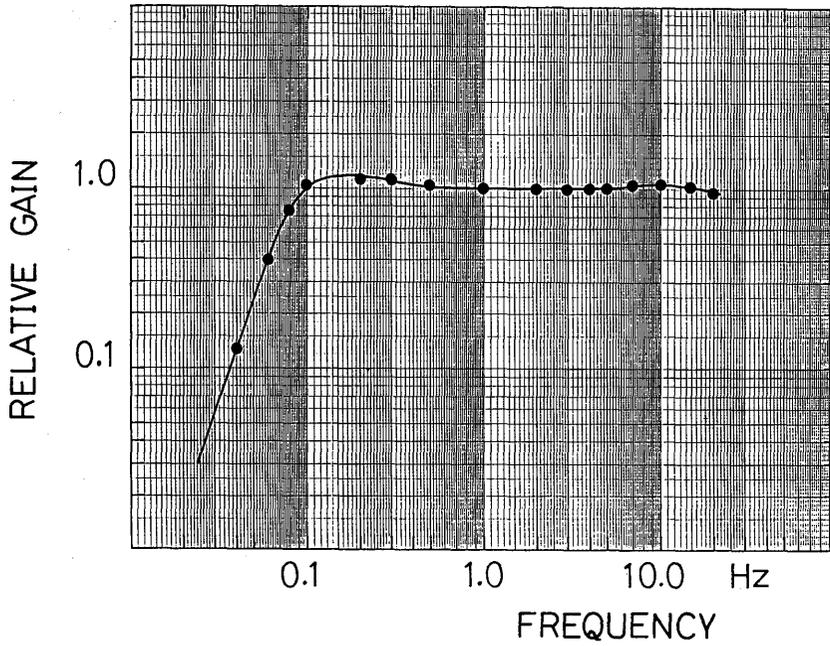


図1.2.4 振動試験で求めた火山用長周期地震計の周波数特性

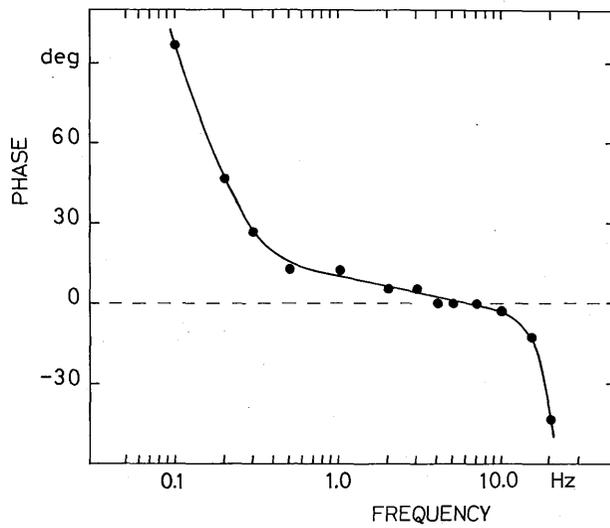


図1.2.5 振動試験で求めた火山用長周期地震計の位相特性

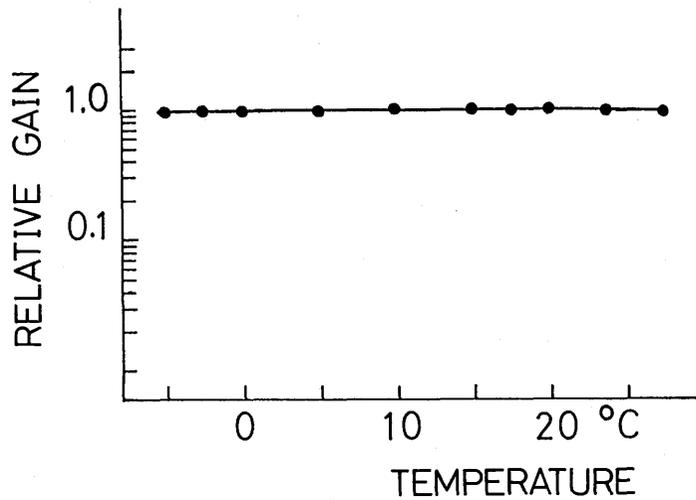


図1.2.6 火山用長周期地震計の変換器（上下動）の温度特性

4. 観 測

4.1 概 要

前節で述べた火山用長周期地震計を阿蘇山測候所の地震計台に設置し、1982年10月23日から1984年3月13日まで倍率500倍で観測を行った。データレコーダー及び長時間連続記録計で記録したアナログ磁気テープとモニター記録紙は、半月毎に阿蘇山測候所職員が交換し、気象研究所へ郵送した。気象研究所でアナログ磁気テープを再生し、地震記象の読み取り、解析等を行った。また、テープには火山用長周期地震計の3成分と時刻の他に、阿蘇山測候所のC点地震計3成分を同時に記録し比較解析した。

図1.2.7には、阿蘇山測候所の地震観測網(A、B、C、D、E点、JMA-A74型電磁地震計： $T_0 = 1$ 秒、 $V = 3,000$ 倍による)と今回製作した火山用長周期地震計を設置してある測候所(O点)及び中岳火口の位置を示す。測候所は中岳第1火口の西南西約1.2kmの地点にある。

4.2 観測された震動

火山用長周期地震計で記録した火山性震動、火山以外の地震、脈動及び人工的雑震動について次に述べる。

4.2.1 火山性震動

これまで阿蘇山測候所は短周期の地震計 ($T_0 = 1$ 秒) で観測を行ってきたが、火山性震動として計測した震動には、孤立型微動、火山性地震、火山性連続微動があり、これらはいずれも中岳火口付近で発生すると考えられている。

図1.2.8、図1.2.9、図1.2.10は、それぞれ孤立型微動、火山性地震、火山性連続微動の記録

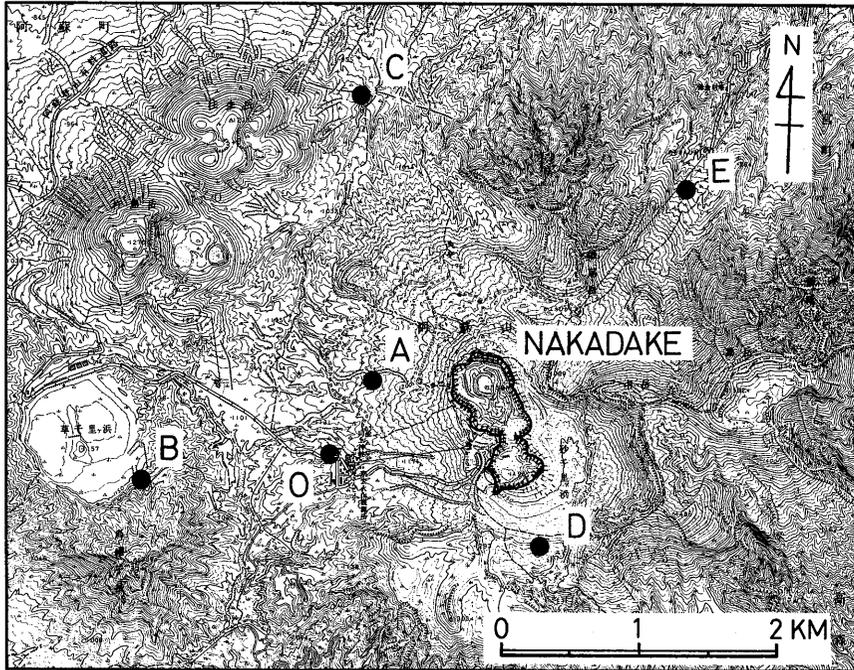


図1.2.7 中岳火口と阿蘇山測候所(O)及び同測候所による地震観測点(A~E)

例である。各図で、上段の3つは火山用長周期地震計の記録、下段の3つはこれと同じ震動のC点の記録である。

図1.2.8の記録には、孤立型微動に対応して卓越した長周期の震動がみられる。この例のような火山性長周期震動はいずれも孤立型微動に対応して観測されたが、逆に孤立型微動が観測されても長周期震動が観測されない場合も多数あった。

図1.2.9は、中岳火口付近で発生した火山性地震(P-S:0.3秒)で、A型火山性地震とも呼ばれている。この型の地震は観測期間中に20個以上発生したが、いずれも長周期成分は含まれていなかった。

図1.2.10に示した例は、周期0.3秒前後の火山性連続微動で、1982年11月末から12月上旬と1983年9月下旬にA点での振幅が3~4 μ に達するものが発生した。この連続微動発生中にはときどき長周期震動が観測されたが、同じ時刻に対応するC点の記録をみると、その付近だけに1秒程度の明らかに周期の異なる波動が検測された。このことは、連続微動発生中に図1.2.8の型の震動が重なって起こったと推定される。従って、この連続微動は本質的には長周期成分は含んでいないと考えられる。

以上述べたように、火山性長周期震動は孤立型微動にのみ対応して観測された。

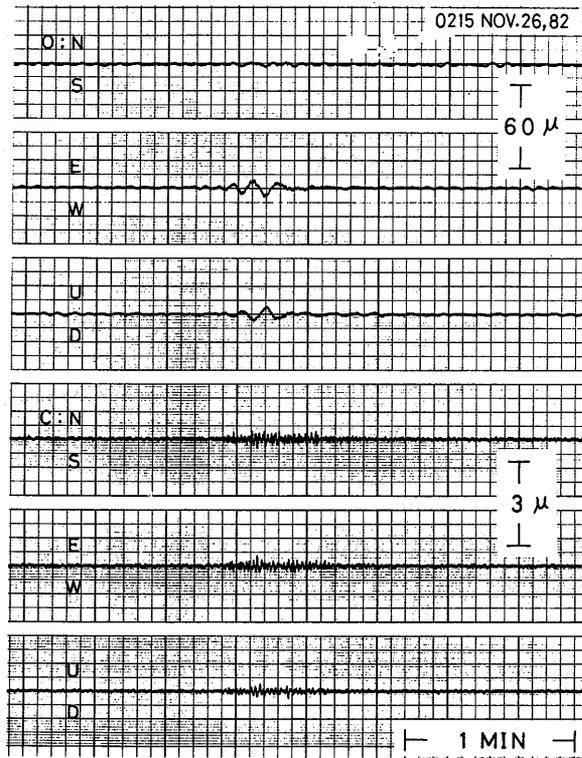


図1.2.8 孤立型微動の記録例
上段3つは火山用長周期地震計の記録、
下段3つはJMA-A74型電磁式地震計の記録

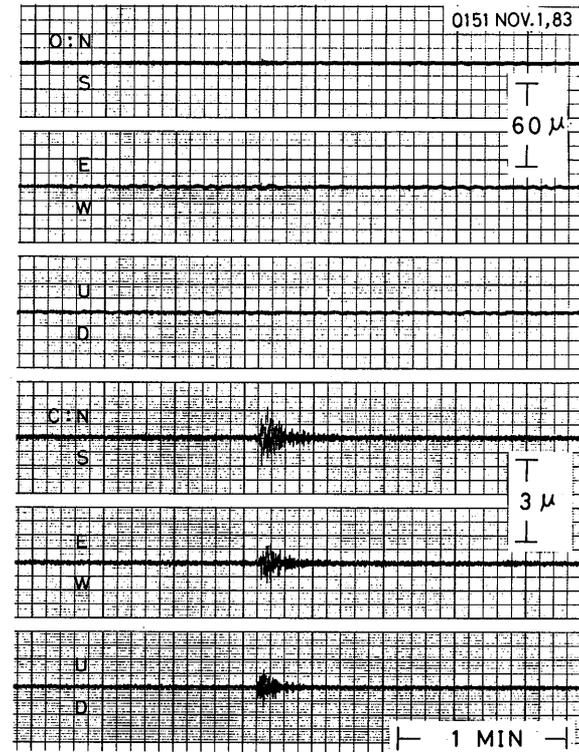


図1.2.9 A型火山性地震の記録例
記録の並べ方は図1.2.8と同じ。

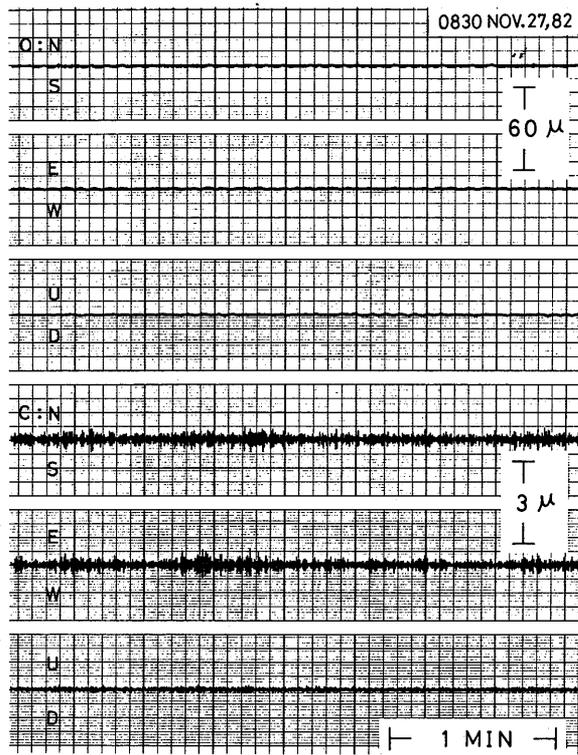


図1.2.10 火山性連続微動の記録例
記録の並べ方は図1.2.8に同じ。

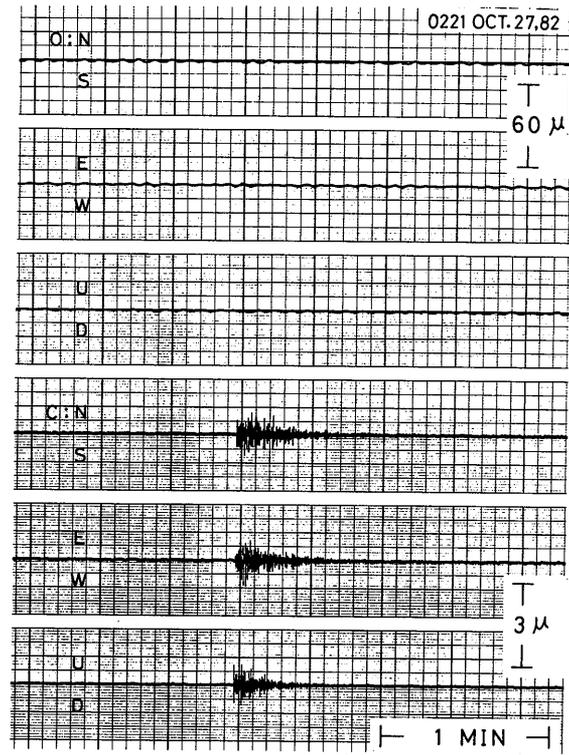


図1.2.11 阿蘇カルデラ北西外輪付近で発生した地震の記録例
記録の並べ方は図1.2.8に同じ。

4.2.2 火山以外の地震

阿蘇カルデラ外輪付近ではしばしば地震が群発する。図1.2.11には、1982年10月下旬に阿蘇カルデラ北西外輪で発生した群発地震の記録例を示す。上段の3成分は火山用長周期地震計の記録、下段の3成分はC点の短周期地震計の記録 (P-S: 2.3秒) である。この時には、同じ地域で発生した地震を10個以上記録したが、いずれも長周期震動は観測されなかった。

図1.2.12は1982年12月28日22時49分 (JST) のフィリピン付近の地震 (19.945°N、121.397°E、 $H=34\text{km}$ 、 $M_b=6.0$ 、 $\Delta=1,730\text{km}$) の記録である。火山用長周期地震計は遠地地震の波動をよく記録していて、遠地地震観測用の地震計としても適していることがわかる。

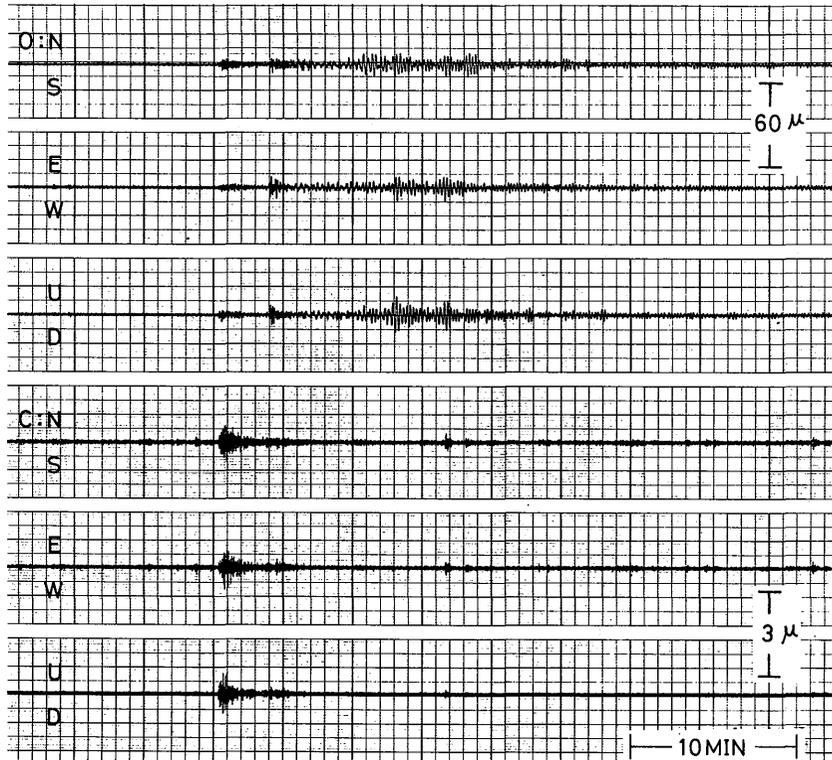


図1.2.12 1982年12月28日22時49分 (JST) のフィリピン付近の地震。
記録の並べ方は図1.2.8と同じ。

4.2.3 脈 動

脈動は、台風や低気圧など気象擾乱が主な原因の震動で、火山用長周期地震計の観測帯域で最も大きなバックグラウンドノイズである。今回の観測でも上下動成分で 2μ 以上の振幅を記録した場合は27回あったが、このときの気象概況は、台風の接近、西高東低の冬型及び九州付近を通過

する低気圧のほぼ3つのパターンに代表される。図1.2.13には、冬型の気圧配置による吹き出しのあった1982年11月10日21時頃の脈動の記録例を示す。最大振幅は 5.7μ 、卓越周期はほぼ5秒で定常的な振動である。図1.2.14には、この脈動のオービットを示してあるが、振動方向は非常に複雑である。水平動と上下動の最大振幅の比は約2:1で、水平面内での振動が卓越している。図1.2.15には同時刻のC点の記録を示す。

図1.2.16のa)、b)、c)には、台風、冬型天気、及び九州付近を低気圧が通過する場合の脈動の相対的なスペクトル(いずれも南北動成分で、それぞれ0.2Hzで正規化したもの)を示す。a)は台風5号によるもの(1983年8月15日07時20分頃)で、卓越周期は7秒である。このときの脈動の最大振幅は南北動の 10.8μ 、阿蘇山測候所の06時の平均風速は 8.2m/sec で風向は北北東、台風5号は阿蘇山の南南東約400kmの海上にあった。b)は冬型の天気の時のも(1983年2月19日04時55分頃)で、卓越周期は5秒である。脈動の最大振幅は南北動の 7.6μ 、阿蘇山測候所の06時の平均風速は 6.2m/sec で風向は西、発達した低気圧が秋田沖と岩手沖にあった。同図c)は阿蘇山を挟むように九州南部と北部を低気圧が通過した時のも(1983年6月16日14時05分頃)で、卓越周期は4秒である。脈動の最大振幅は南北動の 9.0μ 、阿蘇山測候所の15時の平均風速は 7.0m/sec で風向は南西、低気圧は宮崎県沖と山陰付近にあった。それぞれの場合のスペクトルには違いがみられる。

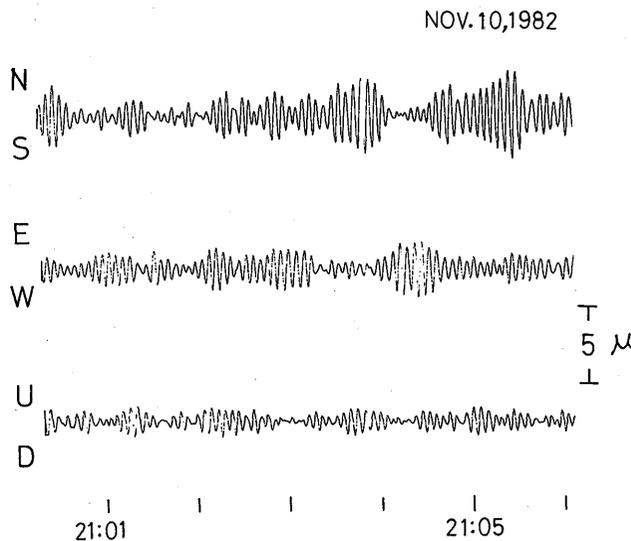


図1.2.13 火山用長周期地震計による脈動の記録例 (1982年11月10日21時頃)。

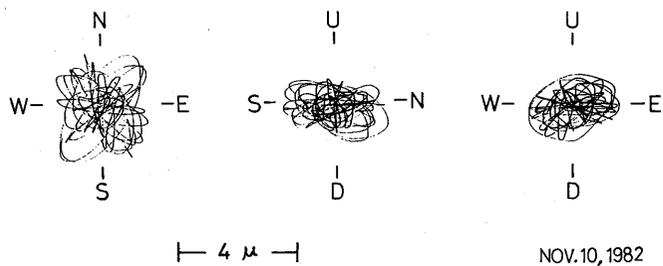


図1.2.14 図1.2.13に示した脈動のオービット

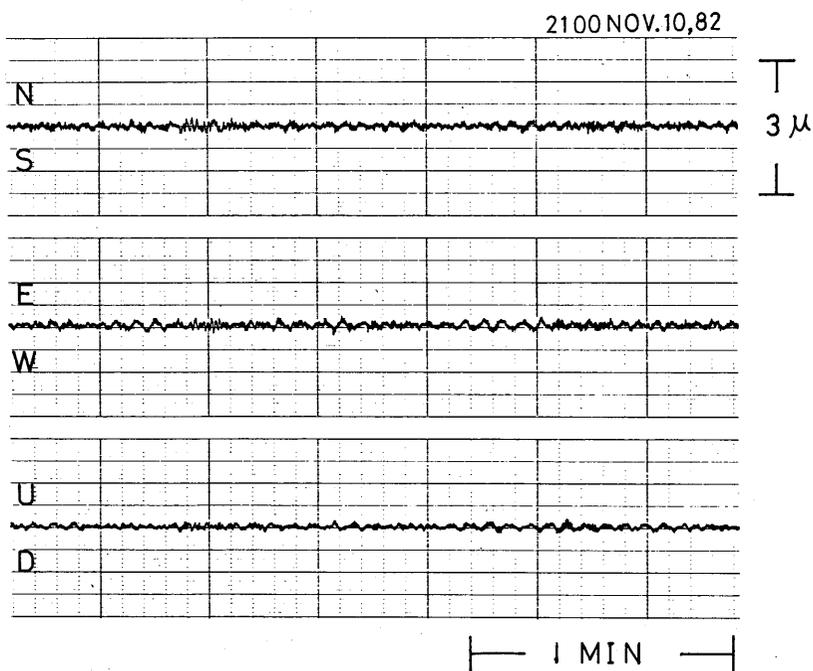


図1.2.15 阿蘇山測候所のC点における脈動の記録例。

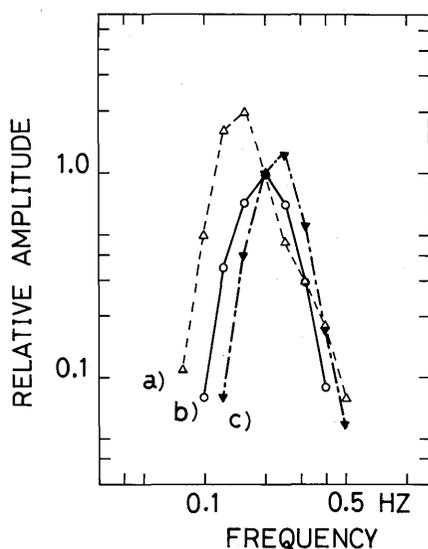


図1.2.16 脈動のスペクトル

- a) 台風5号接近時 (1983年8月15日)
- b) 冬型の気圧配置による吹き出し時 (1983年2月19日)
- c) 九州南部と北部を低気圧が通過した時 (1983年6月16日)

4.2.4 人工的雑震動

火山用長周期地震計の変換器は、阿蘇山測候所の地震計台に設置してあるので、この台の付近で人が作業したり、物を動かすことにより雑震動が記録される。この震動の周期は数秒、最大振幅は2~3 μ で、水平2成分に顕著に現われ、上下動成分はほとんど記録されない。しかし、その記象は振幅の変化が不自然で、他の記象と識別することは容易である。

5. 火山性長周期震動

5.1 波形の特徴

ここでは、図1.2.8に示した型の火山性長周期震動の解析結果を述べる。

図1.2.17には、火山性長周期震動の記録を3例示してある。波動はいずれも東西動成分と上下動成分に卓越し、南北動成分は非常に小さい。波形は数振動の波から成り、最大振幅での見掛けの周期は約8秒である。

図1.2.18には、代表的な長周期震動のオービットを示してあるが、水平面内での振動方向は約E11°N~W11°S、東西断面での振動様式は、西上り、東下がりで、長軸方向は東下がりで約40度である。現在もっとも活動的な火口は中岳第1火口であるが、その火口の中心はこの長周期震動の振動方向から約12度北へずれている。

Sassa (1935) は、阿蘇山で観測される火山性微動を4つに分類した。その中で、周期3.5~7秒の孤立した微動を第2種火山性微動と呼んだ。この微動を1932年10月と1933年8~9月に本堂観測所(阿蘇山測候所の東南東約300mの地点にある)で観測した時の特徴として、i) 周期約6秒、ii) 水平面内の振動方向はN74°E~S74°Wで、これは第4火口の方角にあたる、iii) それと直角方向の振幅は約1/5程度で周期は約半分、iv) 上下動の振幅は水平動と同程度、v) 振動様式は西上り、東下がり、等をあげている。

今回観測した火山性長周期震動は、これらの特徴とほぼ一致しているので、第2種火山性微動に相当すると考えられる。以後、本論ではこの型の火山性長周期震動を第2種火山性微動と呼ぶことにする。

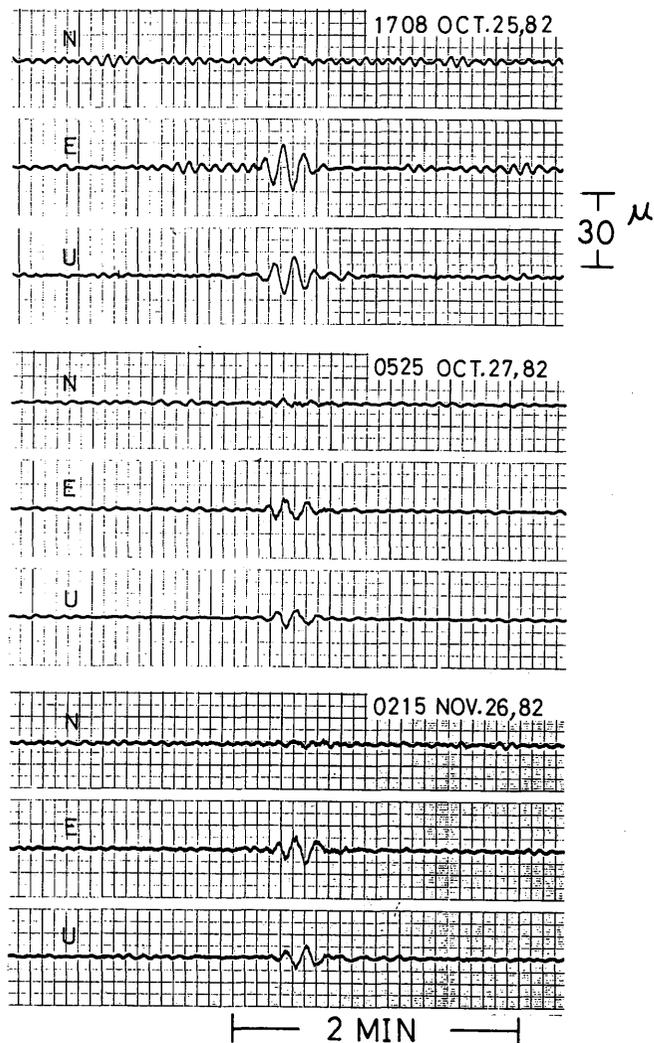


図1.2.17 火山性長周期震動の記録例

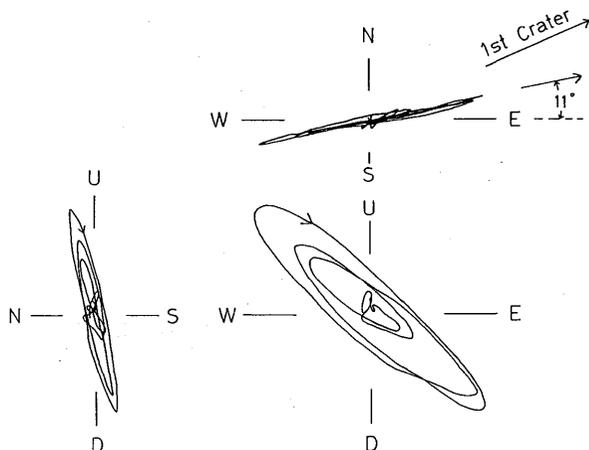


図1.2.18 火山性長周期震動のオービット

5.2 発生状況

表1.2.3 (本章末尾) には上下動成分で 2μ 以上の第2種火山性微動の日別発生回数を、表1.2.4 (本章末尾) には最大振幅とその周期の験測結果をそれぞれ示す。

図1.2.19には第2種火山性微動の発生状況(上下動成分、 2μ 以上)を示す。この図の下段は微動の最大振幅、上段はその最大振幅部分の周期である。

1982年10月から12月には、 $2\sim 6\mu$ の振幅を持つ微動がほぼ一様に発生している。1983年1月から4月にかけては、この微動の振幅は全般に小さく、また発生数も少ない。しかし、5~6月頃からは、振幅は $2\sim 3\mu$ で小さいが、発生数は次第に増加し、11月には148回を記録した。一方、周期は6~10秒で、時間的な周期の変化はほとんどみられない。図1.2.20には周期別の頻度分布を示してあるが、最も多いのは7~8秒のものである。

4.2.1節で述べたように、第2種火山性微動は孤立型微動に対応して観測された。しかし、孤立型微動は必ずしも長周期の震動を伴うとは限らず、伴う場合もあればそうでない場合もある。図1.2.21には、同じくらいの大さの孤立型微動を2個並べてあるが、矢印Aで示したものは明瞭な長周期震動を伴っているのに対して、矢印Bで示したものには長周期成分は含まれていないか、あっても小さい。この例のように、明瞭な孤立型微動が観測されても長周期震動がほとんど記録されていないものも多数あった。

図1.2.22には、第2種火山性微動(黒丸)とA点で振幅 0.5μ 以上を記録した孤立型微動(白丸)の月別発生回数を示す。第2種火山性微動は、観測開始から1983年5月までは毎月数回~20回発生していたが、6月頃から増加傾向を示し、11月には148回観測された。一方、孤立型微動も、1982

年10月から1983年4月までは毎月数回程度であったが、5月頃から次第に増え始め、11月には2706回を記録した。

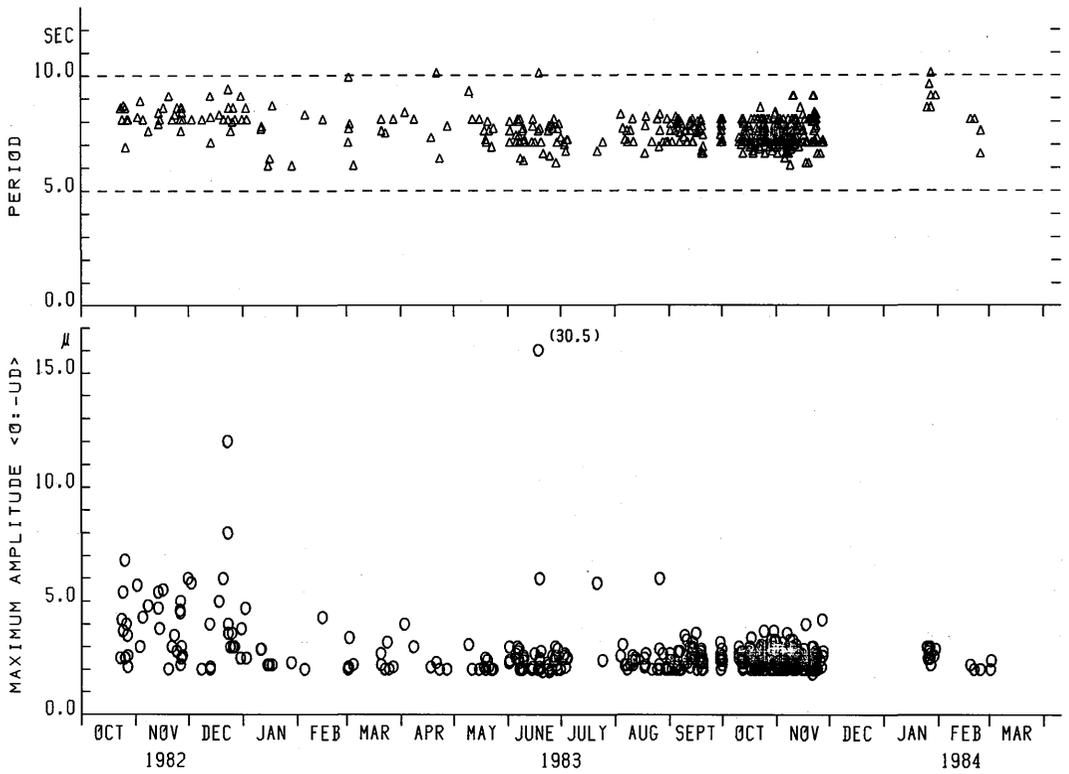


図1.2.19 第2種火山性微動の発生状況
上段は周期、下段は振幅の推移

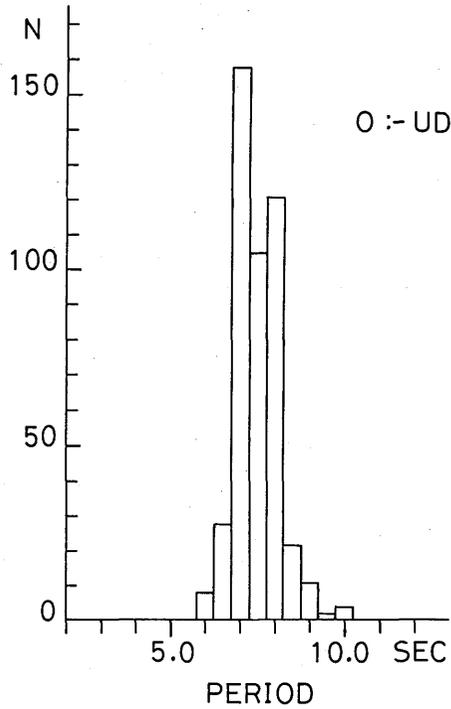


図1.2.20 第2種火山性微動の周期別頻度分布 (O点の上下動成分)

図1.2.23には、第2種火山性微動の最大振幅とそれに該当するC点の孤立型微動の最大振幅との関係を示す。前者は後者に比べて、数倍から1桁以上大きい。

図1.2.24には、C点で記録した孤立型微動の周期別頻度分布を示す。最大振幅部の波動の周期は、1秒から2秒の間にほとんど分布している。この地震計 ($T_0 = 1$ 秒) の特性は1秒以上の周期の波動に対しては倍率が著しく低下するので、このことを考えれば図1.2.24の頻度分布はかなり特異なことであり、この微動は、1秒以上の長い周期の震動が卓越したものであることを示唆する。

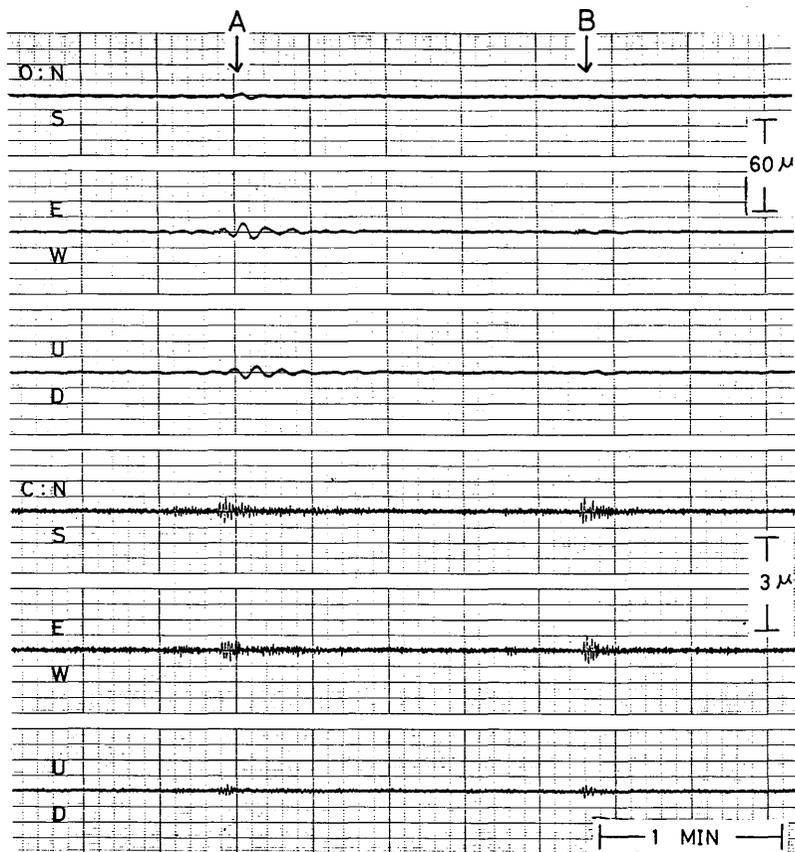


図1.2.21 第2種火山性微動を伴う孤立型微動（矢印A）と伴わない孤立型微動（矢印B）の記録例

これまで述べてきたように、従来孤立型微動として観測していた微動には、その振幅の数倍以上もある長周期の震動、すなわち第2種火山性微動を伴っていたものがあつた。一方、菊池(1974)によれば、第2種火山性微動は火山性微小地震に対応して発生している。おそらく第2種火山性微動は、単独に発生するものではなく、孤立型微動あるいは火山性微小地震の発生と相互に密接に関係していると推定される。

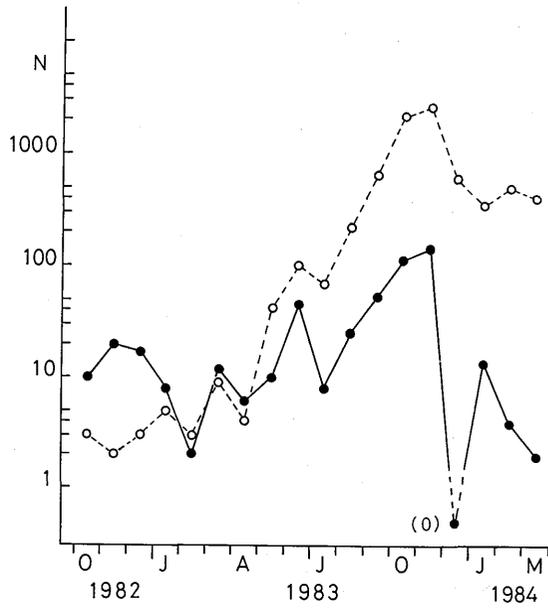


図1.2.22 第2種火山性微動（黒丸）と孤立型微動（白丸、A点での振幅 0.5μ 以上のもの）の月別発生回数

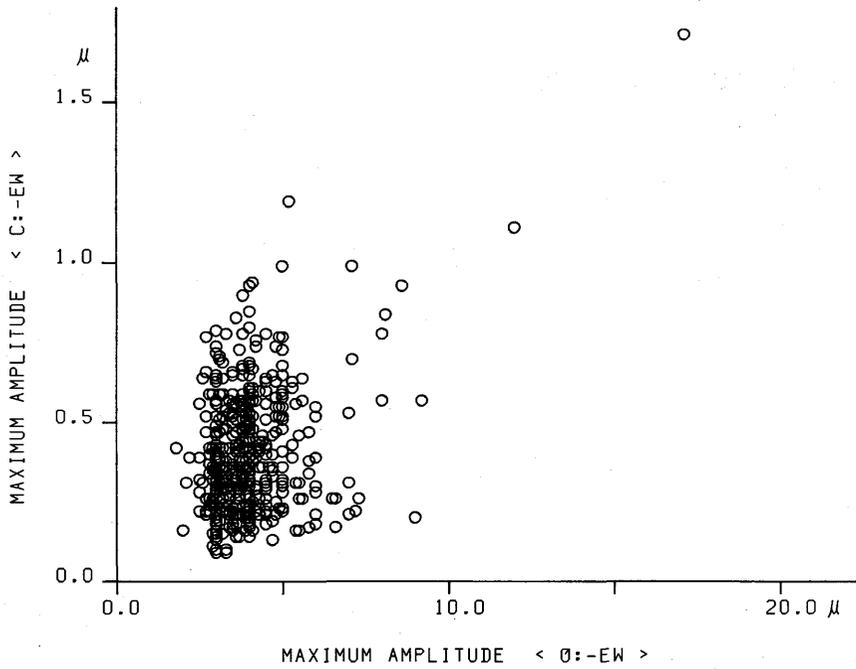


図1.2.23 火山用長周期地震計による第2種火山性微動の最大振幅（O点の東西動成分）と短周期地震計による最大振幅（C点の東西動成分）の関係

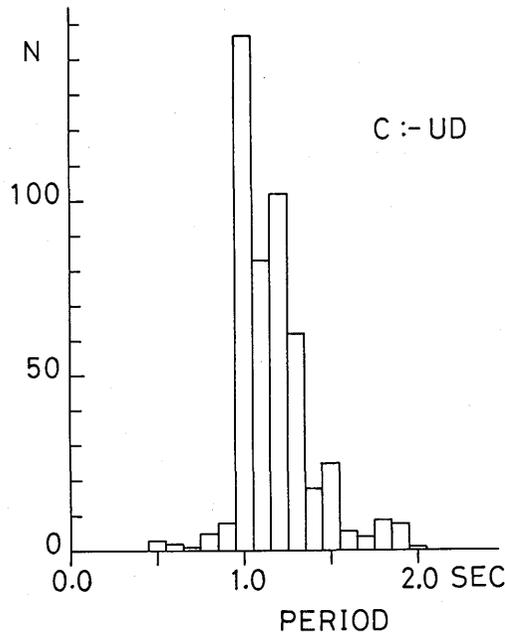


図1.2.24 第2種火山性微動を伴う孤立型微動（C点の地震計による）の最大振幅の周期別頻度分布

6. 第2種火山性微動と火山活動

第2種火山性微動は、火山下のマグマ溜りの固有振動によって生成されるもので、その周期の変化はマグマ溜りの内部状態の変化を示すものと考えられている (Sassa 1935)。久保寺 (1964)、Kubotera (1964) はこの微動源の理論解として半径2～4 kmのマグマ溜りを求めている。また、Sassa (1935) によれば、1933年の大噴火活動前にはこの微動の周期に時間的な変化があった。

このように、この微動は火山下のマグマ溜りの内部状態に関する情報を伝えるとともに、将来の火山活動を予測する上で極めて重要な微動である。

中岳第1火口は、1980年初め湯溜りを形成し、現在 (1984年3月) まで続いている。火口壁は少しずつ崩壊して、湯溜りの面積は拡がり、1981年10月12日には直径約170mの大きさとなった (土肥・大田1983)。火口底では、噴湯現象や高さ数m程度の小規模の土砂噴出がときどき発生している。火口壁及び湯面からは白色の噴煙を最高200～300m程度にあげているが、その量は少ない。

本研究の観測期間中の阿蘇山の表面活動は、上述のように静穏であったが、1983年5月以降地震活動が活発化し、11月には第2種火山性微動が148回観測された。また、孤立型微動の発生回数も2,706回に達し、噴火活動への進展が懸念された。しかし、12月にはいと第2種火山性微動は

1回も観測されなくなり、また孤立型微動も640回と急激に少なくなった。今回観測した第2種火山性微動は、発生回数には変化があったが周期には変化はみられなかった。表面活動も前述のように静穏で、この微動の発生状況に対応するような活動の消長はみられなかった。

7. ま と め

火山で長周期地震計による観測を行うことは、これまで非常に困難であった。その主な理由は、長周期地震計は観測室の温度変化や地震計台のわずかな傾斜等でその性能が著しく変化したためである。

本研究では、観測環境が多少悪くても安定した性能を有する長周期地震計「火山用長周期地震計」を設計・製作した。

この地震計は、固有周波数0.5Hzの短周期の電磁式変換器に微分回路を含んだフィードバック増幅器を組み合わせて、その固有周波数を0.1Hzまで低くしたものである。

振動試験の結果、この地震計は、総合特性として0.1Hzから10Hzの周波数帯域で地動変位に比例した出力があること、倍率は、50倍から100倍、200倍、500倍まで切替えられ、 $\pm 10^{-4} \sim \pm 0.4 \text{ mm}$ の地動変位を観測できることが確かめられた。また、温度試験では $-5^{\circ}\text{C} \sim 27^{\circ}\text{C}$ の広い温度範囲で安定に動作することが確認された。

類による第2種火山性微動に相当する長周期震動が多数観測された。

この微動の周期は、6～10秒（大部分は7～8秒）で、振幅はほとんど数 μ 以下であった。10 μ 以上を記録したのは1982年12月20日07時53分の微動（最大振幅は東西動成分の17.1 μ ）と、1983年6月18日08時26分の微動（最大振幅は東西動成分の37.2 μ ）の2つであった。また、この微動は、これまで阿蘇山測候所で孤立型微動と分類している火山性微動に対応して発現していることがわかった。しかし、孤立型微動が起これば第2種火山性微動も必ず発生するものではなく、明瞭な孤立型微動が観測されても第2種火山性微動が観測されない場合も多数あった。

第2種火山性微動の発生回数は、1982年10月～1983年4月は月平均10回程度であったが、1983年5月以降はその数倍以上に増加した。しかし、マグマ溜りの大きさに関係すると考えられているこの微動の周期には、時間的な変化はみられなかった。

今回の観測は、火山活動の静穏な時期に行ったので、阿蘇山の平常時における第2種火山性微動の基礎的資料が得られたことになる。

参考文献

- Kubotera, A. (1964) : Volcanic micro tremor of the second kind——Nature of its wave generation and source condition——, Special Contrib. Geophy. Inst., Kyoto Univ., 1, 81-91.
- Sassa, K. (1935) : Volcanic micro-tremor and eruption earthquakes, Mem. College of Science Kyoto Univ. 18, 255-293.
- 田望・中禮正明・田中康裕・細野耕司 (1984) : 振子に電気的フィードバックを施した火山用長周期地震観測装置の開発、気象研究所研究報告、35、21-29.
- 菊池茂智 (1974) : 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——、京都大学防災研究所年報、第17号B、107-114.
- 土肥規男・大田安男 (1983) : 1979年9月の噴火後に形成された地形図の比較による阿蘇中岳第1火口の地形変化、火山噴火予知連絡会会報、27、39-44.
- 久保寺章 (1964) : 阿蘇火山の微動について(I)、第2種火山性微動の波動特性とその震源の解明、火山II、9、87-98.

表1.2.3 第2種火山性微動の日別発生回数

年		1982			1983					
日	月	10	11	12	1	2	3	4	5	6
1		(10月23日観測開始)	1				3			3
2					1	2		2	1	
3				1						
4				1			1			
5										
6										2
7										3
8				1						5
9					1			1		1
10									1	3
11						1				1
12						1			1	
13				2	3					
14				1		1				3
15						1				1
16				1			1		1	
17						1				1
18					1			1		6
19				1					2	1
20					1			1	2	1
21				1						
22				1				1	1	
23			2		4					2
24			2	1	1			1		2
25			2		1			1		1
26			1	6	1				1	2
27			3	1	1			1		1
28						1				4
29										2
30				1	1					1
31					1					
計		10	20	17	8	2	12	6	10	46

年		1983					1984			
日	月	7	8	9	10	11	12	1	2	3
1				2	1	8				1
2		1		1		6				1
3		3	1	1		8				
4		2		2		4				
5			1	4		6				
6			1	3		13				
7			2	1		6				
8						8				
9			1	2		9				
10			2	2	3	10				
11			1	1	2	4				
12			2	3	8	8				
13				3	5	7				
14				2	1	1				
15				1		5				
16				3	6	2				
17			3	1	8	5				
18			1	4	2	2				
19				5	4	2			1	
20				2	6	2				
21		1	1		5	12			1	
22					10	8				
23					8	5				
24		1	1		10	2			1	
25			1		5	1		2	1	
26			3		5	2		4		
27					2	2		6		
28			1		3					
29			1	4	6			1		
30			2	7	12			1		
31					4					
計		8	25	54	116	148	0	14	4	2

表1.2.4 第2種火山性微動の最大振幅とその周期

発現時			N		E		Z		発現時			N		E		Z	
日	時	分	μ	s	μ	s	μ	s	日	時	分	μ	s	μ	s	μ	s
1982									1982								
10月									12月								
23	03	14	1.5	(6.8)	4.5	(7.9)	2.5	(8.5)	23	13	49			6.0	(8.0)	3.6	(8.5)
	23	00	1.9	(6.8)	5.5	(8.6)	4.2	(8.0)	24	17	12			3.6	(8.0)	3.0	(7.5)
24	16	04	2.8		6.6	(8.0)	5.4	(8.6)	25	15	00			5.0	(7.8)	3.6	(7.9)
	17	53	2.0		4.7	(8.1)	3.7	(8.6)	26	03	02			4.0	(8.0)	3.0	(8.5)
25	17	08	1.6		9.0	(8.6)	6.8	(8.5)	27	02	53			4.0	(8.5)	3.0	(8.0)
	22	11	1.5		3.4	(7.5)	2.5	(6.8)	30	11	45			3.0	(9.0)	2.5	(9.0)
26	14	57	1.5		5.8	(7.8)	4.0	(8.0)	31	00	59	1.0		4.3	(8.1)	3.8	(8.0)
27	05	25	1.5	(6.3)	4.5	(8.2)	3.5	(8.0)	1983								
	09	06			2.9	(7.5)	2.1	(8.0)	1月								
	11	15			3.5		2.6		2	06	49	1.4	(9.0)	6.6	(8.5)	4.7	(8.5)
11月									2月								
	1	17	37	1.9		7.2	(8.1)	5.7	(8.1)	20	24			3.8	(8.0)	2.5	(8.0)
	3	08	03			3.9	(8.3)	3.0	(8.8)	10	23	47		4.5	(6.8)	2.9	(7.6)
	4	21	58			5.8	(8.1)	4.3	(8.0)	11	07	51		4.1	(8.0)	2.9	(7.7)
	7	23	23	1.1	(8.0)	6.0	(7.7)	4.8	(7.5)	14	22	09		3.0	(6.0)	2.2	(6.0)
13	17	39	1.4		7.3	(7.0)	5.4	(7.8)	15	21	43			3.0	(6.6)	2.2	(6.3)
	18	32	1.5		6.5	(7.5)	4.7	(8.3)	17	10	07			3.0	(8.2)	2.2	(8.6)
14	10	55	1.1		5.0	(7.0)	3.8	(8.0)	28	10	15			3.1	(6.8)	2.3	(6.0)
16	10	16	1.3	(7.5)	7.0	(8.2)	5.5	(8.5)	2月								
19	13	15			3.0	(9.0)	2.0	(9.0)	4	23	16			2.8	(8.6)	2.0	(8.2)
21	10	57			4.5	(7.0)	3.0	(8.0)	15	01	47	1.7	(6.6)	5.8	(7.3)	4.3	(8.0)
22	20	48			5.0	(8.0)	3.5	(8.2)	3月								
24	06	06			4.0	(8.0)	2.8	(8.5)	1	14	21			3.5	(7.8)	2.0	(7.0)
26	02	15			5.4	(8.0)	4.6	(8.0)	21	09				3.0	(7.5)	2.0	(9.8)
	09	24			6.0	(8.0)	4.5	(8.5)	21	45		1.6	(3.0)	3.5	(7.6)	2.1	(7.6)
	09	50	2.2		6.0	(8.2)	5.0	(8.5)	2	09	58			4.5	(8.0)	3.4	(7.8)
	10	06			3.1	(7.5)	2.2	(7.5)	22	49		2.3	(4.4)	4.0	(6.0)		
	22	45			3.0	(8.0)	2.5	(8.5)	4	15	43			3.6	(5.7)	2.2	(6.0)
	23	06	1.3		3.9	(8.0)	3.0	(8.3)	20	09	21	1.0		3.4	(7.5)	2.7	(8.0)
27	12	25			4.3	(7.5)	2.6	(8.0)	13	14				3.1	(7.6)	2.2	(7.5)
30	16	20			8.0		6.0		22	16	54			3.5	(7.0)	2.0	(7.4)
12月									24	00	06			3.8	(7.0)	3.2	
2	11	14	2.1		8.0	(7.2)	5.8	(8.0)	25	00	48			3.0	(7.2)	2.0	
8	10	07	2.3		3.8		2.0	(8.0)	27	08	10			3.0	(8.0)	2.1	(8.0)
13	00	07			7.0	(9.5)	4.0	(9.0)	4月								
	08	07			3.3	(7.0)	2.0	(8.1)	2	19	23			4.5	(7.5)	4.0	(8.3)
	09	16			3.4	(6.5)	2.1	(7.0)	8	01	12			4.1	(8.0)	3.0	(8.0)
18	07	10			7.0	(8.0)	5.0	(8.2)	17	18	42			3.3	(7.5)	2.1	(7.2)
20	15	38	2.0		9.2	(8.5)	6.0	(8.0)	20	23	08			2.9	(10.0)	2.3	(10.0)
23	07	53	6.0	(6.0)	17.1	(7.9)	12.0	(8.0)	22	16	51			3.0	(7.0)	2.0	(6.3)
	08	47	3.1		12.0	(9.0)	8.0	(9.3)	26	23	17			3.0	(6.5)	2.0	(7.7)
	11	47	2.0		5.0		4.0		5月								
									9	08	45			4.0	(9.8)	3.1	(9.2)

表1.2.4 (続き)

発現時	N	E	Z	発現時	N	E	Z
日時分	μ s	μ s	μ s	日時分	μ s	μ s	μ s
1983				1983			
5月				6月			
11 06 57		3.0 (7.7)	2.0 (8.0)	24 11 42		3.2 (6.6)	2.0 (6.4)
15 08 15		3.0 (7.7)	2.0 (8.0)	25 15 16		3.2 (7.0)	2.0 (7.8)
18 02 13	2.2 (5.1)	3.1 (6.8)	2.1 (7.5)	26 02 33	1.1	4.3 (7.0)	2.6 (7.6)
21 21	1.0 (5.5)	4.0 (6.5)	2.5 (7.1)	21 45		3.8 (7.0)	2.4 (8.0)
19 05 20		3.0 (7.3)	2.0 (7.0)	27 17 53		4.5 (6.3)	3.0
20 00 44		3.4 (7.4)	2.4 (7.9)	28 00 53		3.9 (7.0)	2.6 (6.1)
18 50		3.2 (6.4)	2.1 (7.5)	02 54		3.9 (6.1)	2.5
22 08 30		3.0 (7.0)	2.0 (6.8)	13 59		3.9 (7.1)	2.2 (7.0)
23 08 00		3.3 (6.2)	2.0 (7.6)	22 48		3.6 (6.5)	2.0
6月				29 01 29	1.9	4.3 (6.9)	2.9 (7.6)
1 12 26		3.1 (6.6)	2.3 (7.0)	18 01		3.7 (6.9)	2.6 (7.8)
13 24		4.0 (7.0)	3.0 (7.9)	30 17 17		3.0 (6.2)	2.0 (7.2)
17 09		3.1 (6.8)	2.4 (7.5)	7月			
5 04 55		3.8 (7.1)	2.7 (7.3)	2 13 37		4.0 (7.0)	2.6 (7.0)
06 01		3.9 (6.5)	2.5 (7.0)	3 00 50		4.1 (7.0)	2.7 (6.9)
6 03 31		4.2 (6.9)	3.0 (8.0)	05 47		3.7 (7.0)	2.7
12 20		3.8 (7.0)	2.8 (7.9)	14 34		3.6 (6.6)	2.1 (6.6)
18 40		3.6 (6.5)	2.5 (7.3)	4 05 18		3.5 (7.0)	2.5 (7.1)
7 02 37		4.4 (6.6)	2.9 (7.0)	16 50		3.6 (6.5)	2.5 (7.1)
07 33		3.7 (7.0)	2.3 (7.0)	21 14 14		8.1 (6.2)	5.8 (6.6)
10 54		2.9 (7.8)	2.0 (8.0)	24 18 05		3.6 (7.1)	2.4 (7.0)
12 31		3.2 (6.7)	2.0 (7.0)	8月			
16 24		3.1 (6.3)	2.0 (6.3)	3 22 29		3.6 (8.7)	2.6 (8.2)
8 20 23		2.9 (7.7)	2.0 (7.5)	5 04 26	1.9	4.3	3.1 (7.6)
9 07 52		2.9 (7.3)	2.0 (7.6)	6 08 18		4.0 (6.3)	2.2 (7.1)
13 11		3.9 (6.5)	2.4 (6.2)	7 10 22		3.5 (7.1)	2.2 (7.5)
14 35		4.0 (7.0)	2.6 (7.0)	20 33		3.1 (6.5)	2.0 (7.0)
10 00 09		4.7 (7.6)	2.5 (7.1)	9 11 33		3.0 (7.1)	2.2 (7.5)
14 06 19		3.1 (7.0)	2.0 (7.0)	10 16 46		3.0 (7.5)	2.4 (8.0)
18 41		2.9 (7.0)	2.0 (7.7)	18 18		3.0 (8.0)	2.6 (8.0)
20 30	1.0	2.9 (7.5)	2.1 (8.0)	11 02 54	1.1	2.5 (7.6)	2.2 (7.0)
15 23 01		4.4 (6.9)	2.7 (7.0)	12 09 04		5.0	2.5
17 20 52		3.0 (6.5)	2.0 (7.5)	09 09		5.0 (7.0)	2.4
18 08 26	12.9 (10.1)	37.2 (10.0)	30.5 (10.0)	17 13 59		4.0 (6.8)	2.5
19 00	1.1 (6.0)	4.0 (7.0)	2.5 (7.6)	16 20		2.6 (6.5)	2.1 (6.5)
19 58	3.1	7.1	6.0	23 30		3.1 (7.5)	2.2 (7.7)
20 59		3.5	2.0	18 09 47		4.3	2.7 (8.1)
21 02		3.5	2.4	21 18 14		3.2 (7.2)	2.0 (7.0)
21 08		3.7	2.1	24 21 11		3.0 (7.7)	2.0 (8.0)
19 13 09	1.0 (7.0)	3.9 (7.3)	2.8 (7.0)	25 21 37		3.7 (7.0)	2.2 (6.8)
20 16 00		3.2	2.0 (6.5)	26 02 14		3.7 (7.8)	2.9
23 13 26		4.0 (7.0)	2.3 (7.5)	06 40	2.5	8.6 (8.0)	6.0 (8.2)
16 13		3.1 (7.3)	2.0 (7.5)	09 45		3.0 (7.6)	2.0 (7.5)
24 03 15		4.0 (6.9)	2.2 (7.7)	28 00 56		4.0 (6.7)	2.7 (7.0)

表 1.2.4 (続き)

発 現 時			N			E			Z			発 現 時			N			E			Z		
日	時	分	μ	s		μ	s		μ	s		日	時	分	μ	s		μ	s		μ	s	
1983												1983											
8月												9月											
29	20	07				2.9	(7.0)		2.0	(7.0)		19	20	37				3.6	(7.5)		2.3	(7.3)	
30	08	30				3.2	(6.9)		2.1	(8.0)		20	00	30				4.5	(6.0)		2.3	(6.5)	
		21				3.0	(7.4)		2.0	(7.0)				01				3.1	(7.2)		2.0		
9月												29											
1	04	54	1.1			4.9	(7.0)		2.7	(7.5)				19	18			5.0	(7.0)		3.2	(7.3)	
		11				3.0	(7.9)		2.4	(7.8)				21	45			3.0	(7.0)		2.5	(7.0)	
2	04	19				3.5	(7.0)		2.0	(7.0)				22	43			3.6	(7.0)		2.4	(7.3)	
3	23	58				3.0	(7.8)		2.4	(7.5)				23	47			3.2	(7.8)		2.7	(8.0)	
4	10	44				3.0	(7.9)		2.2	(8.1)		30	00	00				3.0	(7.6)		2.5	(7.0)	
		15				3.4	(7.8)		2.0	(7.8)				03	39			2.5	(8.0)		2.0	(7.8)	
5	07	10				2.8	(7.0)		2.1	(8.0)				10	06	1.0		4.0	(7.2)		2.5	(7.5)	
		10				3.4	(7.2)		2.2	(7.8)				14	30			3.5	(7.2)		2.6	(7.7)	
		17				3.8	(7.0)		2.8	(7.6)				17	20			3.8	(7.7)		2.9	(7.1)	
		21				3.1	(7.5)		2.2	(8.0)				19	20			5.0	(6.8)		2.5	(7.0)	
6	13	10				3.6	(7.0)		2.0	(7.0)				21	56			3.1	(7.3)		2.2	(8.0)	
		17				3.7	(6.5)		2.2	(7.4)		10月											
		19				3.4	(6.8)		2.8	(7.9)		1	01	03	1.0			2.8	(8.0)		2.4	(8.0)	
7	13	31				3.0	(7.1)		2.0	(7.8)				10	08	07		4.0	(6.2)		2.7	(7.0)	
9	00	49	1.0			4.0	(7.0)		2.2	(7.2)				10	08	1.9		3.8	(6.6)		2.5	(7.2)	
		12				4.5	(7.6)		3.5	(7.5)				10	22			5.0	(6.5)		3.0	(7.0)	
10	05	14	1.3			4.1	(6.2)		2.6	(7.5)				11	19	27	1.5	3.2	(6.9)		2.5	(6.9)	
		16				4.7	(7.1)		3.3	(7.0)				22	58			3.2	(6.7)		2.3	(7.0)	
11	01	21	1.0			3.7	(6.8)		2.3	(7.0)				12	00	52	1.3	4.5	(6.8)		2.8	(7.1)	
12	11	10				4.3	(7.0)		2.5	(7.8)				01	47			3.4	(7.5)		2.4	(8.0)	
		12				4.7	(7.0)		3.0	(7.9)				08	59			3.0	(7.4)		2.5	(7.0)	
		14				2.7	(7.2)		2.1	(7.5)				11	06			4.5	(6.7)		2.5	(7.2)	
13	04	54				4.2	(7.4)		2.6	(7.9)				15	30	1.0		4.0	(7.3)		2.8	(7.9)	
		17				3.9	(6.6)		2.6	(7.0)				16	01			3.8	(7.0)		2.0	(6.5)	
		18				4.3	(7.7)		3.0	(8.0)				18	21			3.0	(8.0)		2.1	(8.0)	
14	02	18	1.3	(6.4)		5.4	(7.0)		3.2	(7.0)				22	30	1.0		4.0	(7.0)		2.7	(7.8)	
		10				3.8	(7.3)		2.9	(7.7)		13	02	48	1.2			4.2	(7.0)		2.6	(7.2)	
15	00	39	1.1			4.0	(7.1)		2.7	(7.7)				04	30	1.2		4.5	(6.7)		2.5	(7.5)	
16	00	24	1.2			4.7	(7.3)		3.6	(7.4)				11	57			3.6	(7.0)		2.3	(7.8)	
		13				2.9	(8.0)		2.0	(7.5)				12	21	1.0		4.1	(7.0)		2.8	(7.0)	
		21				4.0	(7.0)		2.7	(7.9)				18	42			4.0	(7.0)		2.7	(7.3)	
17	17	34				3.6	(7.0)		2.5	(7.6)				14	10	01		3.1	(7.4)		2.6	(7.5)	
18	02	39				3.5	(7.2)		2.3	(7.5)				16	03	44	1.0	4.0	(7.1)		2.8	(7.7)	
		13				3.0	(8.5)		2.5	(8.0)				09	18	1.0		3.9	(7.0)		3.0	(7.5)	
		18				4.2	(7.2)		2.8	(7.9)				10	58	1.1		3.0	(6.6)		2.6	(6.8)	
		23				3.9	(6.7)		2.9	(6.6)				13	16	1.1		4.0	(7.0)		3.0	(7.0)	
19	06	56				4.0	(6.0)		2.6	(6.5)				17	16	1.2		5.2	(7.0)		3.0	(7.0)	
		07				3.6	(6.1)		2.0					20	43			4.0	(7.0)		2.5	(7.0)	
		07				3.5	(7.1)		2.3	(7.7)				17	00	42		3.8	(6.9)		2.4	(7.0)	
		07				3.5	(7.1)		2.3	(7.7)				02	34			3.0	(7.5)		2.1	(7.2)	
		19				3.5	(6.4)		2.4	(6.8)				07	09			3.5	(6.0)		2.0	(6.9)	

表1.2.4 (続き)

発現時			N			E			Z			発現時			N			E			Z		
日	時	分	μ	s		μ	s		μ	s		日	時	分	μ	s		μ	s		μ	s	
1983												1983											
10月												10月											
17	10	03				3.8	(7.4)		2.5	(8.0)		24	16	06				3.8	(6.5)		2.0	(7.0)	
	11	43	1.0	(7.0)		4.9	(7.0)		3.4	(7.2)		17	23		1.1			4.5	(7.3)		3.7	(7.8)	
	17	47				3.8	(6.5)		2.7	(7.0)		17	49		1.0			3.0	(7.0)		2.3	(7.5)	
	20	49				4.0	(6.5)		2.4	(7.0)		18	52					2.5	(7.0)		2.3	(7.8)	
	22	26				4.0	(6.5)		2.4	(6.9)		19	40		1.0			3.0	(8.0)		2.3	(8.0)	
18	07	44	1.1			3.8	(6.4)		2.5	(6.6)		23	37					3.3	(6.4)		2.3	(7.4)	
	14	46	1.0			3.7	(6.2)		2.3	(6.5)		25	01	48	1.0			3.4	(7.0)		2.5	(7.6)	
19	05	21				3.0	(7.5)		2.0	(8.0)		02	28		1.0			3.6	(7.0)		2.0	(7.2)	
	09	48	1.0			3.3	(6.4)		2.1	(7.0)		04	43		1.0			3.5	(7.0)		2.8	(7.1)	
	20	58				3.5	(7.0)		2.3	(7.0)		06	07		1.0			3.8	(6.5)		2.3	(6.5)	
	21	27				3.6	(7.0)		2.0	(7.0)		16	35		1.0			3.2	(7.1)		2.0	(7.6)	
20	08	07				3.0	(7.3)		2.0	(7.6)		26	02	00	1.2			4.5	(6.9)		2.6	(7.3)	
	13	14	1.5			3.3	(6.2)		2.3	(7.0)		05	31					3.3	(7.0)		2.4	(7.5)	
	14	53				3.1	(7.0)		2.5	(8.0)		09	56		1.0			3.3	(7.0)		2.8	(8.0)	
	18	28				3.8	(7.7)		2.5	(7.5)		11	16					3.7	(7.2)		3.1	(7.2)	
	21	29				3.1	(7.0)		2.1	(7.3)		18	33		1.5			4.0	(6.9)		2.7	(7.0)	
	23	43				3.1	(6.7)		2.4	(7.0)		27	13	21	1.0			3.5	(7.0)		2.2	(8.0)	
21	05	48				3.7	(7.7)		2.9	(8.0)		20	17					3.5	(6.8)		2.5	(6.8)	
	07	58				3.1	(7.0)		2.4	(7.5)		28	03	59	1.1			3.8	(7.0)		3.0	(7.2)	
	11	43				3.0	(7.2)		2.1	(7.2)		08	23					2.7	(7.0)		2.0	(7.0)	
	18	41				3.1	(7.4)		2.3	(7.5)		19	49		1.0			4.0	(7.2)		3.3	(7.3)	
	19	57	1.2			3.8	(7.0)		2.2	(6.8)		29	03	23				3.9	(7.4)		2.7	(7.4)	
22	01	03				3.7	(7.0)		2.5	(7.0)		05	50					3.9	(6.3)		2.3	(6.6)	
	02	16				3.3	(7.3)		2.6	(7.3)		09	20		1.0			3.9	(7.0)		2.5	(7.4)	
	05	40				3.8	(6.5)		2.0	(6.8)		09	29					4.2	(7.2)		2.8	(7.3)	
	08	15				3.5	(7.0)		2.3	(7.0)		13	28					3.0	(6.9)		2.4	(6.9)	
	09	07	1.0			3.2	(6.5)		2.0	(6.7)		22	06		1.0			3.0	(7.0)		2.3	(7.0)	
	09	30	1.0			3.4	(7.0)		2.3	(7.0)		30	04	16	1.0			3.0	(6.8)		2.5	(7.0)	
	10	43	1.0			4.3	(6.8)		3.0	(7.0)		05	16		1.0			3.8	(6.6)		2.5	(7.0)	
	15	49	1.0			3.3	(7.3)		2.5	(8.5)		05	32		1.8			4.5	(7.5)		3.0	(7.7)	
	18	58				2.8	(7.0)		2.2	(8.0)		06	23					3.0	(7.6)		2.0	(7.0)	
	23	23	1.0			3.9	(6.9)		2.5	(7.3)		07	54					2.9	(7.5)		2.4	(7.0)	
23	04	49				3.9	(6.8)		2.3	(7.0)		08	08		1.4			5.0	(7.0)		3.7	(7.0)	
	07	13	1.2			4.5	(7.2)		3.1	(7.5)		08	38					4.0	(7.0)		2.7	(7.4)	
	08	36				3.0	(7.1)		2.3	(7.0)		16	49					3.0	(6.8)		2.4	(7.3)	
	08	58	1.0			3.8	(6.7)		2.4	(7.0)		18	27		1.1			4.5	(7.0)		3.3	(7.0)	
	11	22				3.2	(7.0)		2.1	(7.5)		18	42		1.5			3.6	(8.0)		2.2	(8.2)	
	12	52	1.0			3.1	(7.3)		2.3	(7.5)		20	13		1.0			3.0	(7.9)		2.3	(7.8)	
	16	50	1.2			3.4	(7.8)		2.7	(8.0)		20	20					3.7	(6.8)		2.6	(7.0)	
	17	07	1.0			3.5	(7.0)		2.1	(7.0)		31	01	33				3.8	(7.5)		3.0	(7.3)	
24	04	46	1.0			3.9	(7.0)		2.3	(7.5)		04	10					3.1	(8.0)		2.5	(8.3)	
	05	19	1.0			3.0	(7.4)		2.2	(7.0)		07	15					4.7	(6.8)		3.3	(7.0)	
	05	29	1.0			4.0	(7.0)		2.5	(7.8)		16	29		1.0			3.8	(6.5)		2.3	(7.0)	
	09	07	1.2			4.8	(7.0)		3.1	(7.0)													

表 1.2.4 (続き)

発 現 時	N	E	Z	発 現 時	N	E	Z
日 時 分	μ s	μ s	μ s	日 時 分	μ s	μ s	μ s
1983				1983			
11月				11月			
1 02 14		5.0 (7.2)	3.0 (7.2)	6 21 20		4.1 (8.0)	3.6 (7.6)
04 16		4.0 (6.9)	2.5 (7.8)	7 03 08		4.0 (6.7)	2.7 (7.0)
08 40	1.2	3.6 (6.2)	2.0 (6.5)	09 29		2.8 (8.2)	3.0 (8.0)
08 48		3.5 (7.0)	2.5 (6.8)	15 01		4.0 (6.8)	2.4 (6.5)
11 03		2.7 (7.9)	2.3 (8.0)	16 11		2.6 (7.4)	2.3 (6.8)
16 49		2.8 (7.5)	2.0 (7.5)	21 04		4.2 (7.0)	2.9 (7.0)
18 17		4.0 (6.8)	2.5 (7.0)	22 19		1.8 (6.5)	2.3 (6.9)
22 21		2.5 (7.5)	2.4 (7.8)	8 00 32		4.8 (7.0)	2.9 (7.0)
2 03 24		3.8 (8.0)	2.3 (8.0)	03 33		3.0 (6.8)	2.9 (7.0)
04 04		3.0 (6.5)	2.0 (7.0)	07 41		3.0 (6.8)	2.1 (7.2)
11 44		3.5 (6.8)	2.5 (7.2)	09 59		4.9 (6.7)	2.7 (6.9)
12 14		4.4 (7.2)	3.0 (7.6)	10 57		2.7 (7.5)	2.9 (7.2)
15 36		2.8 (7.0)	2.3 (6.9)	11 57		3.3 (7.0)	2.6 (6.8)
22 11		2.8 (8.5)	2.0 (8.0)	13 29		5.4 (6.5)	3.3 (6.0)
3 00 43		3.4 (7.7)	2.6 (8.0)	21 41	2.0	3.6 (6.6)	2.3 (7.0)
10 36		3.5 (7.5)	2.9 (7.9)	9 01 11		3.2 (6.4)	2.4 (6.7)
11 41		3.0 (7.2)	2.5 (7.1)	02 25		4.0 (7.9)	2.6 (7.8)
12 06		3.5 (7.0)	2.5 (7.1)	06 06		3.0 (7.1)	2.9 (7.0)
12 52	1.0	4.0 (6.4)	2.5 (7.0)	07 46		3.0 (7.0)	2.6 (7.2)
16 55	1.4	3.9 (7.0)	2.5 (7.0)	09 31		5.0 (7.2)	2.9 (7.4)
18 19	1.0	4.0 (6.8)	2.9 (7.0)	11 41		3.0 (6.0)	2.5 (7.5)
19 50		3.8 (7.0)	2.0 (7.5)	12 54	2.0	4.1 (7.0)	3.0 (8.0)
4 00 05	1.0	4.1 (7.0)	2.5 (7.1)	18 02		4.0 (6.7)	2.6 (7.0)
16 04		3.0 (7.0)	2.0 (8.0)	21 13		4.0 (7.0)	2.8 (8.0)
17 43	1.4	4.2 (7.2)	3.2 (7.4)	10 01 34		4.0 (7.0)	2.8 (9.0)
19 57		4.9 (7.0)	2.0 (7.0)	03 01		5.0 (7.0)	3.3 (7.2)
5 02 17		3.8 (7.0)	2.1 (7.0)	07 13		4.0 (7.0)	2.5 (7.0)
05 35	1.3	4.0 (6.6)	2.3 (7.0)	12 57			2.0 (9.0)
09 22		2.7 (8.0)	2.1 (7.5)	13 46			2.4 (6.9)
13 11		4.0 (6.3)	2.9 (6.3)	14 54			3.0
21 45	1.0	3.5 (7.8)	2.7 (7.5)	15 02			2.4 (7.5)
23 31	1.4	2.7 (7.0)	2.2 (7.5)	18 25	1.8	5.8 (6.7)	3.0 (7.2)
6 00 39		2.7 (6.9)	2.0 (6.5)	20 20	1.5	4.8 (7.2)	2.4 (7.1)
05 01		3.5 (6.9)	2.8 (7.6)	22 50		5.0 (6.8)	2.5 (8.0)
06 38		5.0 (7.0)	3.0 (7.4)	11 11 46	2.8	6.0 (6.3)	2.9 (6.9)
07 36		3.9 (7.0)	2.5 (6.5)	14 38	3.3	5.5 (6.9)	2.8 (7.0)
09 49		2.5	2.0 (6.5)	19 21	1.0	4.0 (7.0)	2.0 (8.0)
10 16		3.0 (7.0)	2.6 (7.2)	22 03	1.6	5.6 (7.0)	3.1 (7.7)
10 23		4.0 (6.8)	2.1 (7.0)	12 00 26		4.0 (6.9)	2.0 (8.0)
14 46		3.0 (6.5)	2.0 (7.0)	00 38		4.6 (7.0)	2.1 (7.2)
15 04		2.0 (6.6)	2.8 (6.8)	01 26		4.0 (7.3)	2.1 (8.0)
17 04		3.8 (6.7)	2.2 (7.0)	02 14		4.0 (7.2)	2.3 (7.6)
18 23		2.2 (6.6)	2.0 (7.0)	07 47		3.9 (7.5)	2.8 (7.5)
19 45		2.1 (7.0)	2.5 (6.6)	09 58		5.6 (7.0)	2.7

表1.2.4 (続き)

発現時	N	E	Z	発現時	N	E	Z
日 時 分	μ s	μ s	μ s	日 時 分	μ s	μ s	μ s
1983				1983			
11月				11月			
12 15 22		5.6 (7.7)	2.9	22 15 01		3.0 (8.0)	2.4 (7.1)
22 03		4.8 (6.1)	2.2	15 31		3.6 (8.0)	2.4 (8.0)
13 04 53		7.1 (6.1)	2.5 (7.7)	16 10		5.3 (6.7)	2.7 (7.0)
10 54		3.5 (8.2)	2.5	19 51		6.0 (7.3)	2.2 (7.6)
15 39		4.7 (7.0)	2.5 (7.7)	23 00 18		3.0 (7.8)	2.0 (8.0)
16 08		5.0 (6.4)	2.4 (6.8)	07 41		4.3 (8.2)	2.2 (8.2)
18 40		4.3 (7.0)	2.7	09 01		5.3 (7.2)	2.8 (8.0)
19 52		4.0 (6.8)	2.2	10 01		4.5 (7.1)	2.6 (7.7)
20 58		4.1 (6.5)	2.2 (7.0)	21 48		4.0 (6.8)	2.7 (7.2)
14 06 25		4.0 (8.0)	2.2 (8.5)	24 02 54		3.0 (6.0)	2.6 (6.5)
15 02 01		4.0 (7.0)	2.4 (7.7)	05 17		4.8 (7.9)	2.0
06 01		5.0 (7.0)	2.7 (7.5)	25 17 46		3.0 (7.2)	2.4 (6.5)
17 09		4.8 (6.5)	2.0 (7.0)	26 11 06		4.3 (6.8)	2.1 (7.0)
18 22		4.1 (7.3)	2.2 (8.2)	21 26		3.6 (7.5)	4.2
22 33		4.0 (6.9)	2.0 (7.5)	27 04 33		5.0 (6.2)	2.6 (7.1)
16 08 27		6.0 (7.0)	2.9 (7.3)	12 06		3.7 (7.0)	2.8 (7.0)
23 52		5.0 (7.3)	2.0 (8.0)	1984			
17 00 51		5.0	2.2	1月			
04 12		4.0 (5.5)	2.0	25 12 25		5.0	3.0 (8.5)
10 06		3.9 (7.3)	2.5	23 33		3.0	2.5
11 27		3.7 (7.0)	2.3 (7.0)	26 08 16		5.1	2.8
14 09		5.5 (6.0)	4.0 (6.1)	18 47		3.5 (8.0)	2.9 (9.5)
18 09 53		5.5 (5.7)	2.3 (7.0)	19 15		4.0	3.0
22 25		4.2 (7.0)	2.4 (8.0)	20 03		3.0	2.5
19 03 39		3.4 (7.7)	2.1 (6.1)	27 04 30		3.7	2.5
17 46		3.5 (7.5)	2.0 (8.0)	04 38		3.5	3.0
20 13 28		3.2 (7.2)	2.3 (8.0)	06 05		3.8	2.5
21 09		4.6 (7.0)	2.5 (7.0)	15 54		4.0 (8.4)	2.7 (9.0)
21 00 02		4.8 (7.5)	3.0 (7.9)	15 57		3.5 (8.2)	2.2 (8.5)
07 39		5.3 (7.0)	3.0 (7.9)	16 51		3.6 (9.4)	2.2 (10.0)
08 12		2.7 (9.0)	2.3	29 12 46		4.0 (9.2)	2.6
09 47		3.0 (8.5)	2.0 (8.1)	30 08 14		4.8 (9.0)	2.9 (9.0)
09 53	1.3	2.8 (7.4)	1.8 (7.9)	2月			
12 18		4.8 (6.8)	2.2 (7.0)	19 04 51		3.0 (8.0)	2.2 (8.0)
12 48		4.1 (8.3)	2.7 (9.0)	21 09 52		3.5 (7.0)	2.0 (8.0)
17 58		4.0 (7.6)	2.2 (8.0)	24 21 03		2.9 (6.1)	2.0 (6.5)
19 00		5.3 (7.6)	3.0 (8.0)	25 01 09		3.3 (7.0)	2.0 (7.5)
20 44		3.8 (7.2)	2.5 (7.5)	3月			
23 25		3.3 (8.0)	2.5 (8.2)	1 17 04		3.0 (7.0)	2.0
23 54		3.0 (9.0)	2.0 (9.0)	2 02 40		3.7	2.4
22 00 28		3.9 (7.0)	2.0 (8.0)				
10 07		3.8 (8.1)	2.5 (7.9)				
11 09		3.8 (8.0)	2.0 (8.3)				
14 24	1.7	4.7 (7.2)	2.5 (8.2)				