

吉松地震観測所における地震観測 (II)

—1978～1979年の加久藤カルデラの地震活動—

石 原 和 弘

A SEISMIC OBSERVATION AT KAKUTO CALDERA IN SOUTHERN KYUSHU, JAPAN (II)

—SEISMIC ACTIVITY AT THE WESTERN SOMMA AND GROUND-TILT IN 1978 AND 1979—

By Kazuhiro ISHIHARA

Synopsis

An earthquake of magnitude 4.9 occurred at the western somma of Kakuto caldera in March 17, 1979. Epicentral distributions of foreshocks and aftershocks are investigated.

The area of foreshocks is nearly twice larger than that of aftershocks occurred till May 1979. After June, a tendency that seismic activity extends to inside of the caldera, is recognized. Rapid change of ground-tilts amounting to 10 arc second, was observed preceding the occurrence of the main shock, epicentral distance of which is 7 kilometers from the observatory. The rate of secular variation of ground-tilts has decreased and the trend of ground-tilts also changed in azimuth after the main shock had occurred.

1. は じ め に

前回報告¹⁾したように1978年に吉松地震観測所は霧島火山の北西山麓から加久藤カルデラの西部外輪山附近へ移設された。従来に較べ、移設先の方が観測点設置場所の表層地質が堅固であり、観測坑の奥行が深くなっている。比較並行観測の結果、従来の地震観測点より移設先の方が微小地震の検知能力が数倍優れていることが分った。

従って、以前より加久藤カルデラの seismicity について詳しい知識が得られる可能性がある。本稿では1978年8月から1979年12月までのルーチン観測の解析から得られた加久藤カルデラの地震活動の特徴および地震に先行して生じたと考えられる傾斜変動について報告する。

2. ルーチン観測のシステム

観測点(約 500 m span の3点)の配置等については前回報告した。吉松地震観測所のルーチン観測は、高倍率の3点地震観測、長周期地震計による低倍率地震観測および気泡式2軸傾斜計による傾斜変動観測からなる。**Fig. 1**に観測システムのブロック図を示す。

3点観測のシステムは比較並行観測¹⁾の時とはほぼ同じである。*A*, *B* および *C* 坑内に設置されている換振器 ($T_0=1.0$ sec, $k=1.0, 3.3$ volt/kine) の出力信号は埋設ケーブルにより観測所内に伝送され、直流増巾器 (gain 80 dB_{max}) により増巾される。増巾された地動信号は信号遅延装置 (8 bits/word, 3 k words) で15.36 sec (200 sample/sec) 遅延され、アナログデータレコーダへ収録される。起動制御装置には3点の上下動成分が入力され、3点共に設定レベルを越えた時にデータレコーダおよびインク書き記録器へ駆動信号を出力する。データレコーダの出力での感度は1.5 mkine/volt である。*A* 坑の3成分については、常時煤書き記録

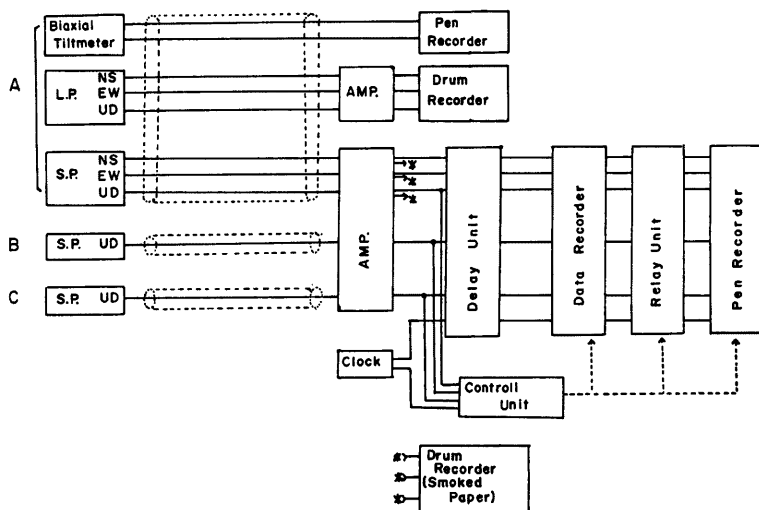


Fig. 1. Block diagram of observational system at Yoshimatsu observatory.

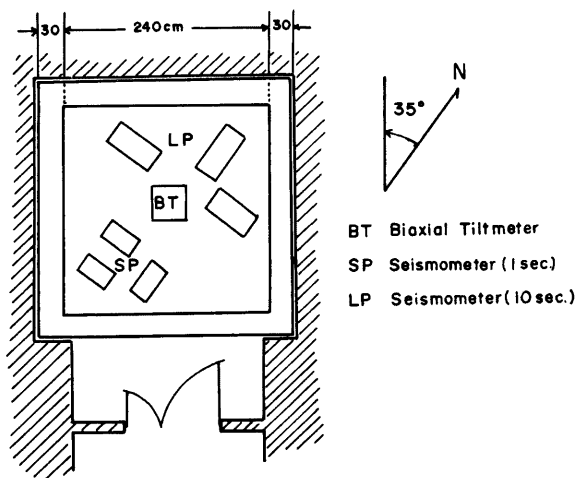


Fig. 2. Arrangement of instruments at the observational room in the vault A.

器にモニター記録を行っている。

低倍率地震観測の換振器 ($T_0=10$ sec, $h=1.0$, 10 volt/kine) は A 坑内に設置している。記録はドラム式長期間レコーダ (1ヶ月巻) に行っている。記録紙上の感度は 0.1 kine/cm で, chart speed は 120 mm/min. である。

2 軸傾斜計（Rockwell 社製、出力 0.107 volt/arc sec.）も A 坑内に設置している。記録器としては打点式レコーダを使用している。記録紙上の感度は $0.1''/\text{div.}$ ($1 \text{ div.} = 1.8 \text{ mm}$) である。

A 坑の計器室内の sensor の配置を Fig. 2 に示す。計器台は 1 辺 2.4 m の正方形であり、観測坑の側壁とは巾 30 cm、深さ 1 m の溝により切り離されている。坑口から計器室入口の仕切りまでは約 95 m あり、計器室から真上の地表面までの被覆厚は約 50 m ある。

データレコーダに収録された地震についてはインク書き記録器に再生し、3 点間の着震時の差および S-P time を読み取り、3 点観測法により震源決定を行った。震源決定に使用した速度構造は 3 層モデルであり、表層については V_p 3.9 km/sec. 層厚 1.5 km、第 2 層は V_p 4.8 km/sec. 層厚 3.6 km および下層は V_p 5.9 km/sec. としている。又 V_p/V_s は $\sqrt{3}$ と仮定した。

マグニチュードについては、気象庁発表のマグニチュード（地震月報による）と煤書モニター記録上の振動継続時間（F-P time：単位 sec.）の比較から

$$M = 2.3 \log(F-P) - 1$$

とした。比較は 1978 年 8 月以降加久藤カルデラ付近で発生したマグニチュード 3.3 から 4.9 までの 9 個の地震について行なった。比較した地震の数が少なく問題があるので、微小地震の大きさを区分する目安として使用している。即ち、この式によれば、F-P time が 8 sec. 未満の地震は $M < 1$, 8 sec. から 25 sec. までのものは $1 \leq M < 2$, そして 25 sec. から 70 sec. までの地震は $2 \leq M < 3$ となる。マグニチュードが明記してある場合は、気象庁発表の値である。

3. 加久藤カルデラの地震活動

煤書き記録の検測結果では、1978 年 8 月から 1979 年 12 月までに加久藤カルデラおよびその周辺地域で発生したと判断される S-P time 3 sec. 未満の地震は 1200 余个であった。これらの地震のうち推定マグニチュード 1.5 以上（F-P time 15 sec. 以上）のものはほぼすべてデータレコーダに収録されており、その数は 373 個であった。そのうち 288 個については 3 点観測法で震源が決定できた。震源の深さは 10 km 前後あるいは 10 km 以浅であった。

Fig. 3 に震源決定できた地震の震央分布を、Fig. 4 に局地地震の日別発生頻度を示す。

1978 年 8 月 29 日にマグニチュード 4.3 の地震がカルデラ東部の飯野附近で発生し、この地域での顕著な地震活動は 9 月末まで続いた。9 月 13 日にはマグニチュード 4.2 の地震が発生した。マグニチュード 3 以上と推定される地震は 9 月 20 日までに 8 個発生した。この地域では 1975 年から 1976 年にかけても群発地震が発生している²⁾。今回発生した地震群も活動の推移からみて群発地震といえよう。

1978 年 12 月 7 日にはカルデラ西部外輪山でマグニチュード 4.5 の地震が発生した。

1979 年 3 月 17 日 12 時 26 分 マグニチュード 4.9 の地震が西部外輪山山麓の菱刈附近で発生した。マグニチュード 4 からみると 1968 年のえびの地震以後最大規模の地震である。同日 12 時 47 分にはマグニチュード 4.0 の余震が発生している。一連の余震活動は 5 月中旬まで続いた。マグニチュード 3 以上と推定される余震は 3 月 25 日までに 7 個発生している。

地震活動の推移から、Fig. 4 の横軸にそって I, II, III および IV で示したように 4 つの期間に分け、それぞれの期間の震央分布を Fig. 5 および Fig. 6 に示した。

I. 1978 年 8 月から 10 月まではカルデラ東部に集中して地震が発生している。他の部分ではマグニチュード 2 以上の地震の発生は認められない。

II. 1978 年 11 月から 1979 年 2 月までの期間では、カルデラ西部から西部外輪山にかけての地域へ震央の分布が移動している。

III. 1979 年 3 月から 5 月までの期間は地震が西部外輪山の狭い範囲に集中して発生している。

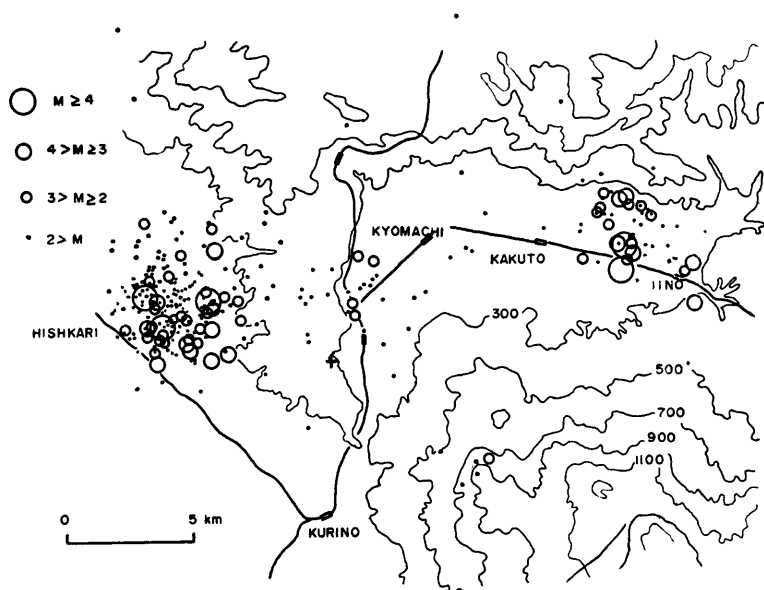


Fig. 3. Epicentral distribution of earthquakes occurred in and around Kakuto caldera, August 1978–December 1979.

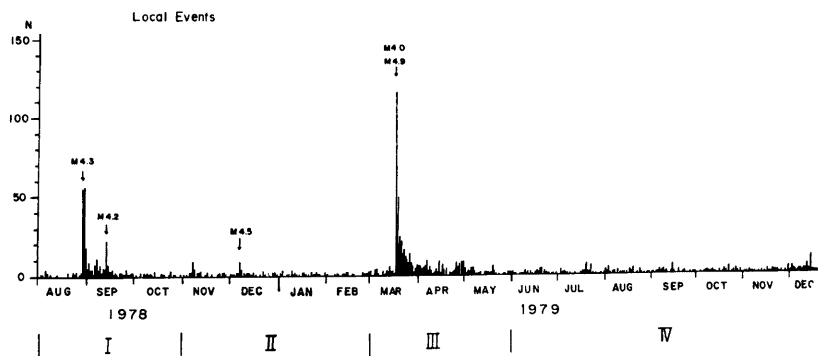


Fig. 4. Daily frequency of local events observed at Yoshimatsu observatory.

IV. 1979年6月以降12月までの期間にはカルデラ西部および西部外輪山一帯および霧島火山の北西山麓の広範囲にわたり、分散して地震が発生している。

解析の対象とした期間が短かく、これだけの例で加久藤カルデラ全体の地震活動を特徴づけることは困難である。しかし、西部外輪山の地震活動についてみると、Iの期間では微小地震の発生はほとんど認められないが、IIでは南北約5km、東西約10kmの範囲に微小地震活動および12月にはマグニチュード4.5の地

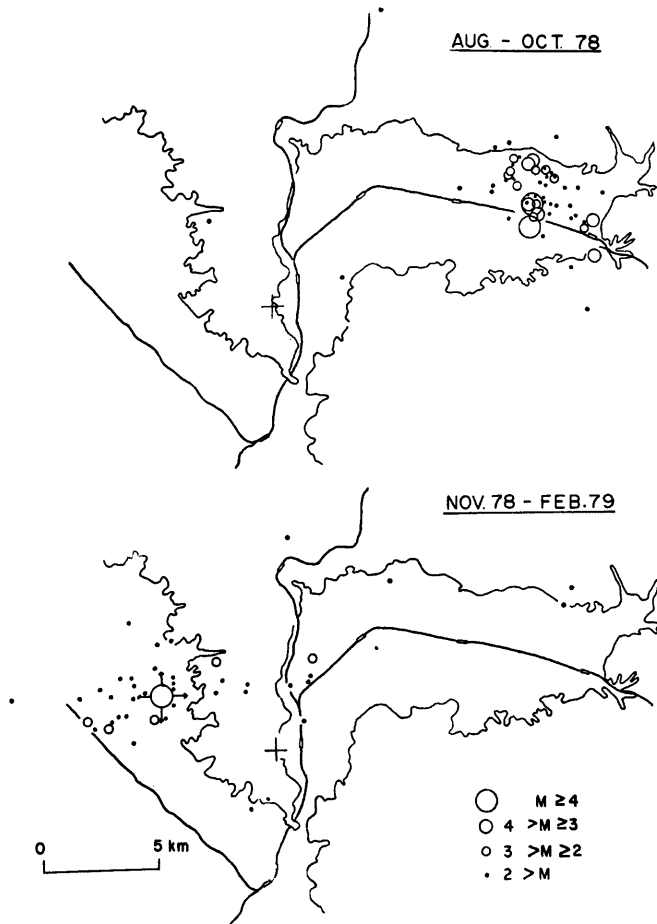


Fig. 5. Epicentral distribution in the period I (upper), and in the period II (lower).

震が起っている。Ⅲの期間では、Ⅱの期間の微小地震の分布範囲のうち西側の部分の約 $5\text{ km} \times \text{約 } 3\text{ km}$ の狭い限られた範囲にマグニチュード 4.9 の地震を含む顕著な地震群が集中発生している。Ⅳの期間ではⅡおよびⅢの期間の震央分布範囲を含む広範囲に分散して微小地震が発生している。3月17日のマグニチュード 4.9 の地震を「主震」とすれば1978年12月7日のマグニチュード 4.5 の地震を含む1978年11月から1979年2月までのⅡの期間のカルデラ西部および西部外輪山の地震活動は「前震」と呼ぶべきものであろう。西部外輪山の地震活動については、今回の地震活動と比較できる観測結果がないが、カルデラ内部の群発地震（例えば1968年のえびの地震³¹⁾）とは発生過程に違いがあるようである。

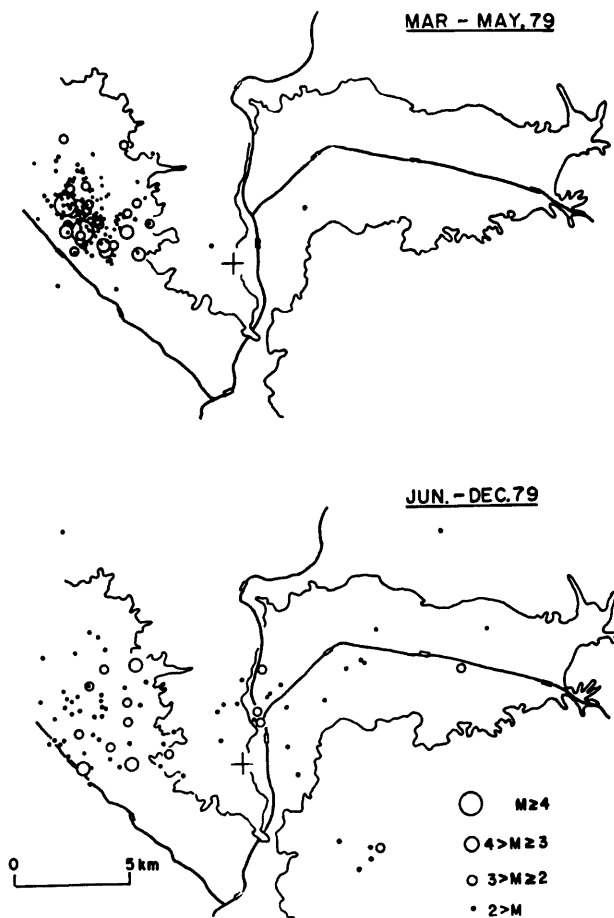


Fig. 6. Epicentral distribution in the period III(upper), and in the period IV(lower).

4. 傾斜変動と地震の関係

気泡式2軸傾斜計により観測された傾斜変動を Fig. 7 に示す。 EW 成分の変化曲線に添えた矢印はマグニチュード3以上の地震の発生を示す。矢印の上の()内の数値は震央距離 d (km)である。マグニチュード4以上の地震については気象庁発表の値を添書きした。下段には吉松の北西約10 kmの大口市の日降水量を表示している。

経年変化についてみると、1978年8月から1979年2月までは約 $3''/\text{month}$ の北西上りであったが、1979年3月西部外輪山で発生した地震群を境に7月末までは約 $1.5''/\text{month}$ の西南西上りの傾斜変動に転じている。8月中旬以降については経年的な傾斜変動はほとんど認められない。

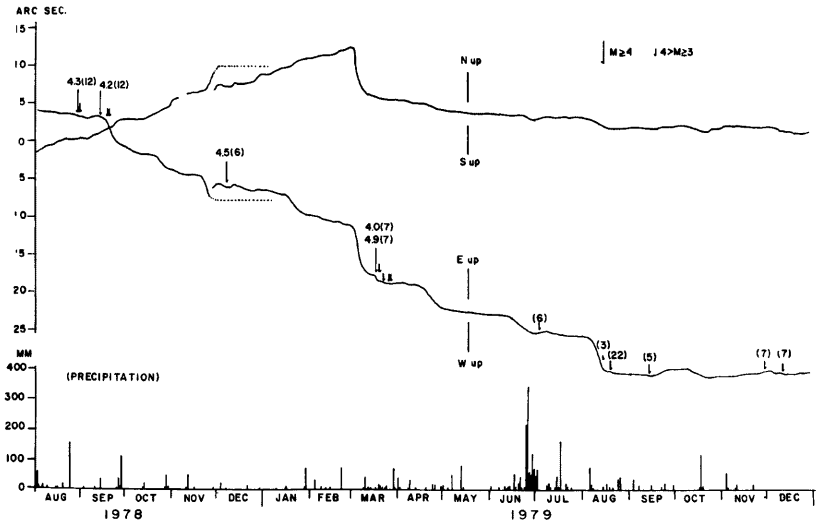


Fig. 7. Ground-tilts observed at Yoshimatsu observatory and the local earthquakes of magnitude larger than 3. Numbers above arrows are magnitude and epicentral distance in kilometers. The value of magnitude is shown only for the events of magnitude larger than 4.

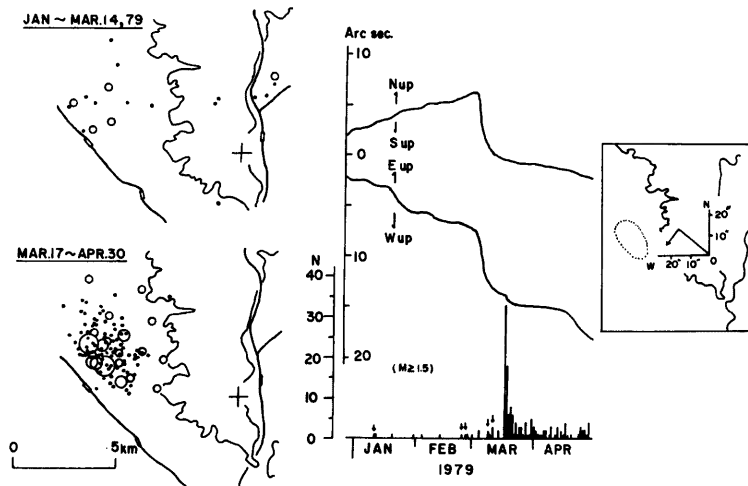


Fig. 8. Relation between ground-tilts and seismic activity in the western part of the caldera (right) and epicentral distributions of foreshocks and aftershocks (left).

短期的変動についてみると、西部外輪山に発生した地震、特にマグニチュード4以上の地震に先行して数秒角の傾斜変動が認められる。

1978年12月7日のマグニチュード4.5の地震(d 6 km, 深さ 5 km)の発生の約18日前から約4'の北西上りの傾斜変動が認められた。傾斜変動速度は11月25日に最大値 $0.9''/\text{day}$ を示した。なお11月28日には計器台の縁切り溝の水を汲み出したため傾斜変動が不連続になっている。1月末には元の水位(満水)に戻ったので、破線で示した傾斜変動があったものと推定した。

1979年3月17日のマグニチュード4.9の地震(d 7 km, 深さ 8 km)の発生前に先行して3月1日頃から約 $10''$ の南西上りの傾斜変動が認められる。傾斜変動速度は3月4日に最大値($2.5''/\text{day}$)に達している。

傾斜変動に対する降水量の影響は傾斜計の記録部の感度を下げていることもあり明瞭ではないが、1000 mm以上の降水量があった1979年6月下旬についてみてもその影響は高々 $2''$ 程度である。従って、地震に先行して観測された傾斜変動には降水の影響はほとんどないと判断される。

1979年3月17日の地震の発生前後の傾斜変動と西部外輪山の地震活動の対応関係を Fig. 8 に示した。マグニチュード1.5以上の日別発生回数を傾斜変動と同じ時間軸にならべている。矢印はマグニチュード2以上の「前震」を示す。

2月下旬マグニチュード2以上の地震が発生しはじめてから急激な傾斜変動がはじまっている。傾斜変動の方向は「主震」の方位とは一致せず、余震域の長軸の方向と直交関係にある。

観測された傾斜変動量をカルデラ西部外輪山地塊の傾斜変動量とみることには問題がある。しかし傾斜変動の経年変化が3月17日の地震を境に変動の方向がかわり、変動速度が減少する傾向となったことと、西部外輪山の地震活動の推移を考えあわせると、1979年2月末までの経年変化を西部外輪山地域の歪の蓄積過程であると定性的にはみなすことができるかもしれない。

5. お わ り に

吉松地震観測所における約1年半の地震観測および傾斜変動の観測資料からは加久藤カルデラ西部外輪山地域の地震活動に関連して興味深い解析結果が得られた。しかし、これだけの観測資料だけから加久藤カルデラの地震の発生過程を議論することは困難である。又、地震発生に関係した地盤変動を定量的に議論するには、傾斜変動の連続観測に加え、測地学的観測(例えば水準測量)を併せて実施する必要があると考える。

本稿をおわるにあたり、貴重な御助言を頂いた加茂幸介教授、観測システムの保守点検にあられた桜島火山観測所所員の方々には厚く感謝の意を表します。又、宮崎地殻変動観測所、理学部火山研究施設および九州大学島原火山観測所の方々からは記録の一部を見せていただいた。記して御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 石原和弘, 須藤靖明: 吉松地震観測所における地震観測(Ⅰ) — 2つの3点観測網からえられた震源位置の比較 —, 京都大学防災研究所年報, 第22号 B-1, 1979, pp. 35-44.
- 2) 宮崎 務, 山口 勝, 増谷文雄, 寺尾弘子: “1975~1976年” 霧島火山北方地域における群発地震活動, 地震研究所集報, 第51号, 1976, pp. 115-149.
- 3) Minakami, T., S. Utibori, M. Yamaguchi, N. Gyoda, T. Utsunomiya, M. Hagiwara and K. Hirai: The Ebino Earthquake Swarm and the Seismic Activity in the Kirishima Volcanoes, in 1968-1969, Part 1, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 47, 1969, pp. 721-743.