

吉松地震観測所における地震観測（Ⅲ）

——震源近傍で観測された先行傾斜変化——

石 原 和 弘

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

—ABNORMAL TILT CHANGES BEFORE SMALL EARTHQUAKES—

By *Kazuhiko* ISHIHARA

Synopsis

The relation between tilt change at Yoshimatsu Observatory and seismic activity at Kakuto Caldera is investigated.

Secular variation of tilt was changed in azimuth according as the area of high seismicity migrated around the observatory. Abnormal tilt changes were observed before the occurrence of small earthquakes at the western somma, the epicentral distances of which are 5-8 kilometers. Microseismic activity during the abnormal tilt changes became higher. Seismic energy released by microearthquakes generated before small earthquakes was correlated with the quantity of abnormal tilt changes.

1. は じ め に

前回報告したように、加久藤カルデラ西端に位置する吉松地震観測所の気泡式傾斜計では1978年12月および1979年3月に西部外輪山附近で発生したマグニチュード4.5および4.9の地震発生の約半月前から異常傾斜変化が観測された。この地域の地震活動はその後も断続的に続いており、マグニチュード3クラスの地震のいくつかについては、同様の地震発生に先行した異常傾斜変化が観測されている。本稿では、吉松地震観測所における地震観測および傾斜変動観測結果に基づき、傾斜変化—経年変化および異常傾斜変化—と加久藤カルデラ附近の地震活動との関係についての検討結果を報告する。

2. 地 震 活 動

観測システム、震源決定方法については既に前回報告した¹⁾。震源決定は3点観測法によって行っている。

加久藤カルデラ附近で発生した微小地震のマグニチュードは、吉松地震観測所の地震記録上の振動継続時間 (F-P time) によって推定した。1978年から1980年までにこの地域で発生した小地震については、地震月報に記載されているマグニチュード (M_{JMA}) と吉松地震観測所における F-P time の間に下式の関係がある (Fig. 1)。

$$M_{JMA} = 2.86 \log(F-P) - 2.54 \pm 0.25$$

この関係は M_{JMA} 2.8~4.9の地震についての比較から得られたものであるが、微小地震にも外挿できると仮定して、この地域で発生した微小地震のマグニチュード M を下式で定義する。

$$M = 2.86 \log(F-P) - 2.54$$

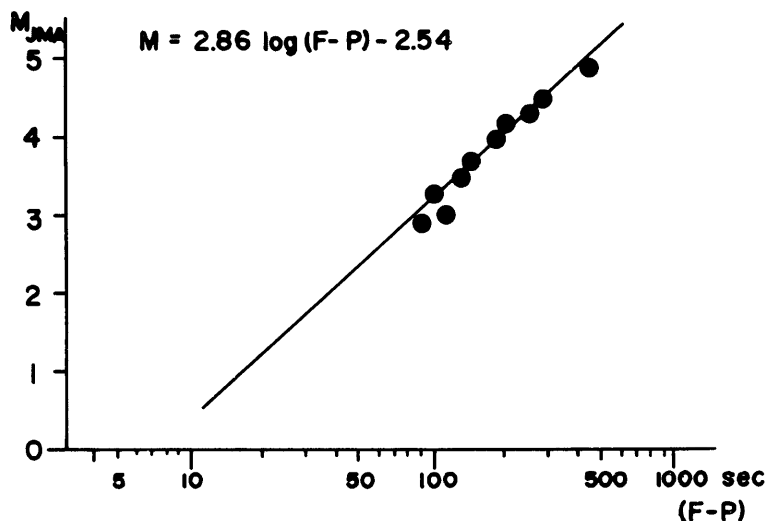


Fig. 1. Relation between magnitude (JMA) of small earthquakes generated on Kakuto Caldera and F-P time recorded at Yoshimatsu Observatory.

但し、F-P time の単位は秒である。

煤書き記録から、加久藤カルデラ附近（観測所から 15～20km の範囲）で発生したと判断される S-P time 3sec 以下の地震の10日毎の発生頻度を Fig. 2 に示す。1978年8月以降にこの地域で発生したマグニチュード4以上の地震は5個である。1978年8月29日および9月13日にはカルデラ東部でそれぞれ M_{JMA} 4.3, 4.2 の地震が発生している。微小地震の発生回数も増加している。12月7日には M_{JMA} 4.5 の地震が西部外輪山で発生した。この地震は顕著な余震群を伴っていない。翌1979年3月17日には前年12月の地震とはほぼ同じ地域で M_{JMA} 4.9 および4.0の地震が発生した。この地震は1968年のえびの地震以来最大規模の地震であり、マグニチュード3クラスの地震を含む余震活動は1980年末まで続いた。

次に、局地震の発生頻度および震央分布の変化を考慮して、Fig. 2 の下段に示す5つの期間に分けて、震央分布を示す (Fig. 3～Fig. 7)。各図には、この地域の地形の特徴を最もよく代表する300m の等高線を表示した。加久藤カルデラを中心とみると、この等高線は北および西側では外輪山との境界を、南側では霧島火山群との境界に相当する。

各々の期間の地震活動の特徴を述べる。

- I 1978年8月29日に M_{JMA} 4.3 の地震がカルデラ東部の飯野附近で発生した。この期間の地震活動はカルデラ東部に集中している (Fig. 3)。
- II 1978年11月から微小地震活動はカルデラ西部へ移動した。12月7日に発生した M_{JMA} 4.5 の地震は、マグニチュードから言えばIの期間の地震より大きいにもかかわらず、顕著な余震活動を伴っていない (Fig. 4)。
- III 前年12月に発生した地震とはほぼ同じ地域、即ち西部外輪山附近で、3月17日に M_{JMA} 4.9 の地震が発生している。1978年12月の M_{JMA} 4.5 の地震は、この地震の「前震」と言える。マグニチュード3以上の地震の発生は西部外輪山地域に限られる。又、微小地震活動もカルデラ西部から西部外輪山附近に集中している (Fig. 5)。

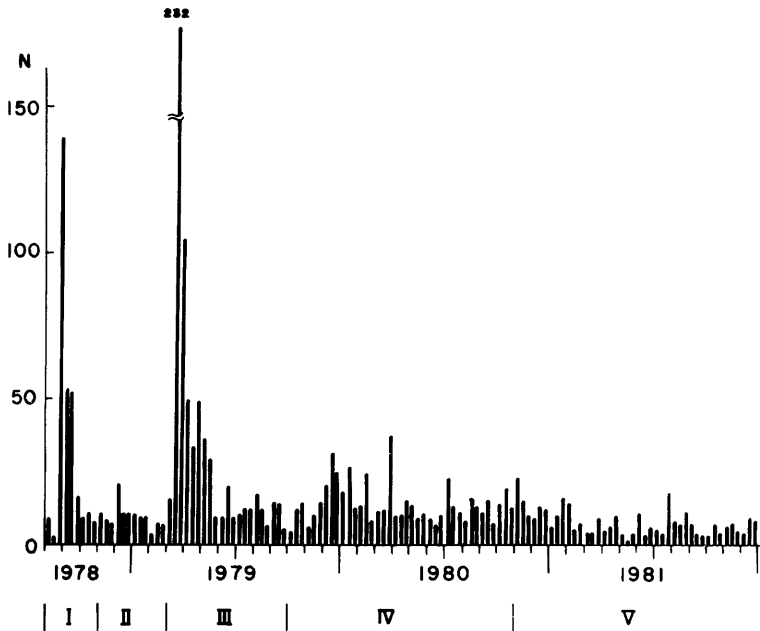


Fig. 2. Frequency of earthquakes generated on and around Kakuto Caldera (every ten days).

Ⅳ マグニチュード 3 以上の地震を含む西部外輪山地域の余震活動は1980年まで続いている。微小地震活動は、西部外輪山からカルデラ西部および霧島火山北西山麓へ広がる傾向が認められる。この期間の後半にあたる1980年8月にはカルデラ北西端でM3.1の地震が発生した (Fig. 6)。

Ⅴ 1980年11月から霧島火山北西山麓附近において微小地震活動が高まり、12月3日には $M_{JMA} 3.2$ の地震が霧島火山中央部附近で発生している。1982年1月にはカルデラ中央部北寄りで M3.2 の地震が発生した。この期間、西部外輪山地域ではマグニチュード 3 以上の地震は発生しておらず、微小震活動もカルデラ附近全域に広がる傾向を示す (Fig. 7)。

なお、震源の深さはいつれの期間においても最深 10km、大半は 5~8km である。

I からⅤまでの期間を通してみた場合、次の2つのことが指摘できる。先づ、加久藤カルデラ附近の東西約 25km、南北約 20km の狭い範囲内でも、地震活動域は 5~10km の拡がりをもって、順次移動する傾向があるということである。しかもマグニチュード 3 以上の地震が発生する地域では、事前に微小地震が発生する傾向も認められる。

第2には、加久藤カルデラの地震活動と霧島火山の地震活動の関係についてである。水上ら²⁾ は1968年2月に発生したえびの地震の後、霧島火山群の地震活動が高まったことを指摘している。同様の傾向は、1979年の西部外輪山地域の地震活動の後、1980年12月に霧島火山群内での $M_{JMA} 3.2$ の地震発生に至る過程でも認められる。

I. AUG. - OCT. 1978

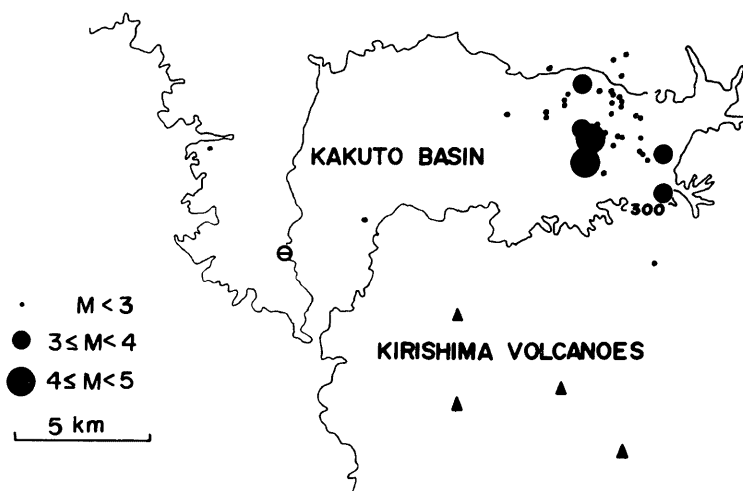


Fig. 3. Epicentral distribution of earthquakes in the period I (Aug.-Oct., 1978).

II. NOV. 78 - FEB. 1979

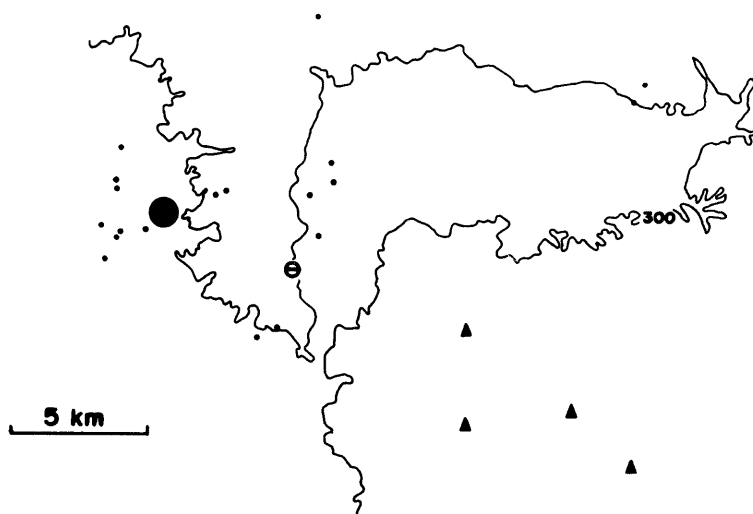


Fig. 4. Epicentral distribution in the period II (Nov., 1978-Feb., 1979).

Ⅲ MAR.-SEP. 1979

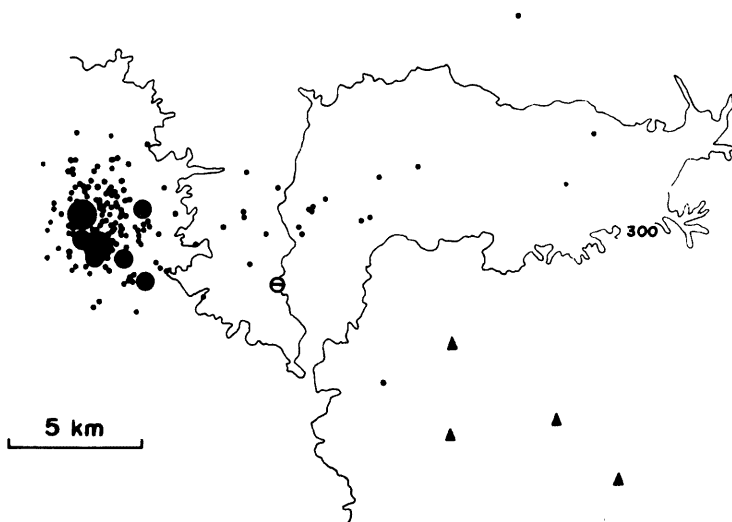


Fig. 5. Epicentral distribution in the period III (Mar.-Sep., 1979).

Ⅳ. OCT.79-OCT.1980

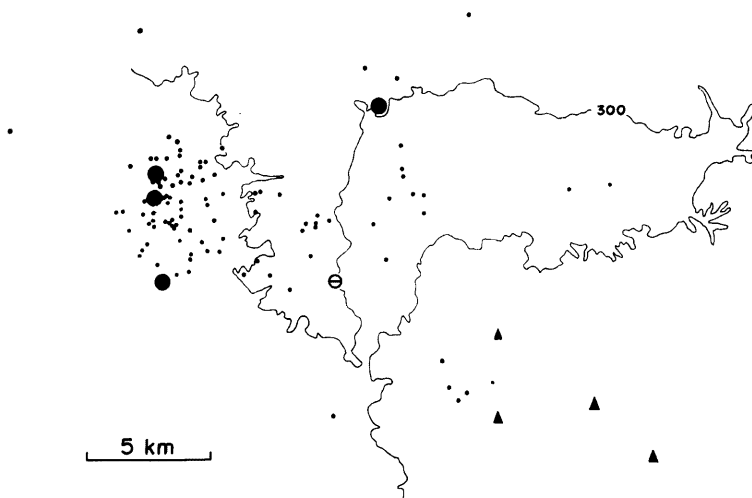


Fig. 6. Epicentral distribution in the period IV (Oct., 1979-Oct., 1980).

V. NOV.80 - JAN.1982

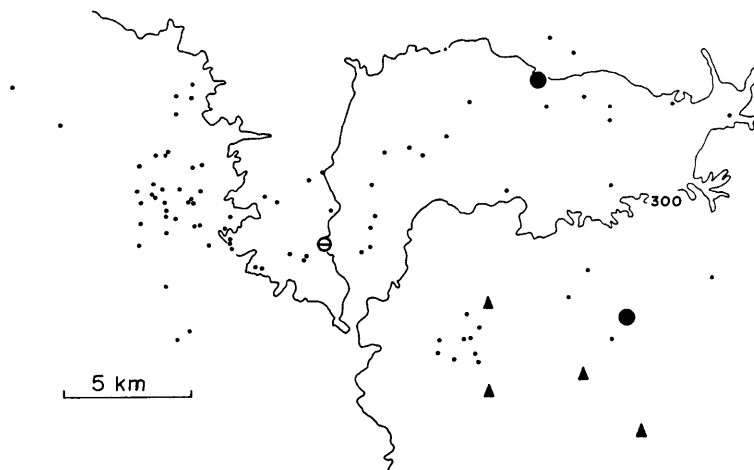


Fig. 7. Epicentral distribution in the period V (Nov., 1980-Jan., 1982).

3. 震源近傍で観測された傾斜変化

前回報告したように¹⁾ 吉松地震観測所のA坑(奥行100m)には、気泡式傾斜計(米国 Rockwell 社製)が設置してある。ここでは、傾斜変化と加久藤カルデラ附近の地震活動との関係、特に西部外輪山附近で発生した小地震に先行した異常傾斜変化について述べる。Fig. 8 に1978年8月から1982年1月までの傾斜変化と加久藤カルデラ附近で発生したマグニチュード3以上の地震発生との関係を示す。

経年変化についてみると、大きく分けて、3つの期間に分けることができる。地震活動の期間分けから言えば、ⅠおよびⅡ、ⅢおよびⅣ、Ⅴに相当する。第1の期間には北西上り、第2の期間では西上りの傾向から後半(Ⅳに相当する時期)においては経年的傾斜変化はほぼ停止している。第3の期間には南上りの傾斜変化が卓越している。経年変化の傾向が変化した時期には、1979年3月に観測所の西北西方面の外輪山で M_{JMA} 4.9 の地震が、1980年12月には観測所からみて南東方向の霧島火山群で M_{JMA} 3.2 の地震がそれぞれ発生している。なお、1981年12月からは東上りの傾向が認められるが、翌1982年1月にはカルデラ中央部附近で $M_{3.2}$ の地震が発生している。

1978年8月以降の経年変化と地震活動域の移動を比較する限りでは、吉松地震観測所で観測された傾斜変化のうち経年変化に相当する部分は、観測所周辺の地震活動域の移動を反映しているとみなせる。

Fig. 8 において、小地震(マグニチュード3~5)に先行して急激な異常傾斜変化(先行傾斜変化と呼ぶことにする)が生じている例がいくつか認められる。観測所からの震央距離が5~8kmと短い西部外輪山地域の地震(又は地震群)については、1例を除き2~3秒角以上の先行傾斜変化を伴っている。観測所東方で発生した小地震(震央距離10~15km)についても1~2秒角の傾斜変化が認められるが、小地震発生と傾斜変化との時間的關係は明瞭でない。

ここでは、Fig. 8 において①から⑥で示す比較的明瞭な先行傾斜変化が認められた場合について、小地震発生前の傾斜変化と微小地震活動の關係を検討する。

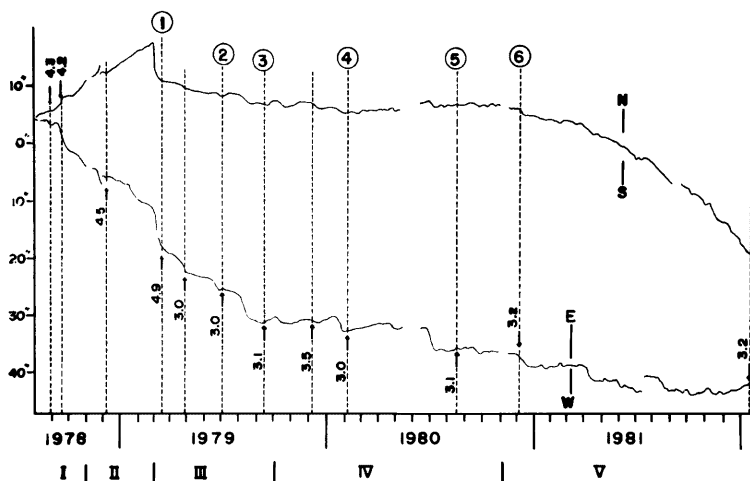


Fig. 8. Ground-tilt change observed at Yoshimatsu Observatory and the occurrence of local earthquakes the magnitude of which are greater than 3. Upward arrows show small earthquakes which occurred on the western somma and downward arrows do those generated at the eastern part of the caldera and on Kirishima Volcanoes.

- (1) はじめに最も典型的な①の場合について述べる (Fig. 9)。

傾斜変化についてみると、北西上りの経年的な傾斜変化 (約 $3''/\text{month}$) は3月1日から急激な南西上りに転じ、3月15日までに10秒角の傾斜変化を生じた後、3月17日に $M_{\text{JMA}}4.9$ に主震が発生している。なお、主震発生の前日には南西上りの傾斜変化が停止・若干回復する傾向が認められる。

1月からの微小地震活動についてみると、1月11日に $M2.1$ の地震が発生したが、2月中旬まで $M1$ をこえる地震の発生は認められない。2月24日に $M2.1$ の地震が発生した後、西部外輪山附近の微小地震活動は活発化している。2月24日以降、3月15日までの微小地震活動による放出エネルギーは $5 \times 10^{15} \text{ ergs}$ と見積られる。

次に②から⑥の場合 (Fig. 10～Fig. 14) について述べる。

- (2) ②から④の場合、先行傾斜変化の期間およびその直前・直後の時期に西部外輪山附近の微小地震活動がやや活発化すること、先行傾斜変化がほぼ停止した後 (あるいは若干回復して) 小地震が発生していることは共通して認められる。

先行傾斜変化の期間は2～3週間とはほぼ一致しているが、傾斜変化開始から小地震発生までの期間は①の場合よりやや長く、約3週間から1ヶ月半である。

- (3) ⑤および⑥の場合 (Fig. 13 および Fig. 14) は、前節で述べたようにカルデラ附近の微小地震活動がカルデラ内および霧島火山山麓へ移行する時期にあたり、先行傾斜変化から小地震発生に至るまでの経過は前の4例ほど単純ではない。

⑤の場合、8月31日に観測所西方 3.2km で $M2.8$ の地震が発生したが、既に8月19日にカルデラ北西端で $M3.1$ の地震が発生している。7月上旬からの先行傾斜変化がいつれの地震にかかわっているか判定しがたい。

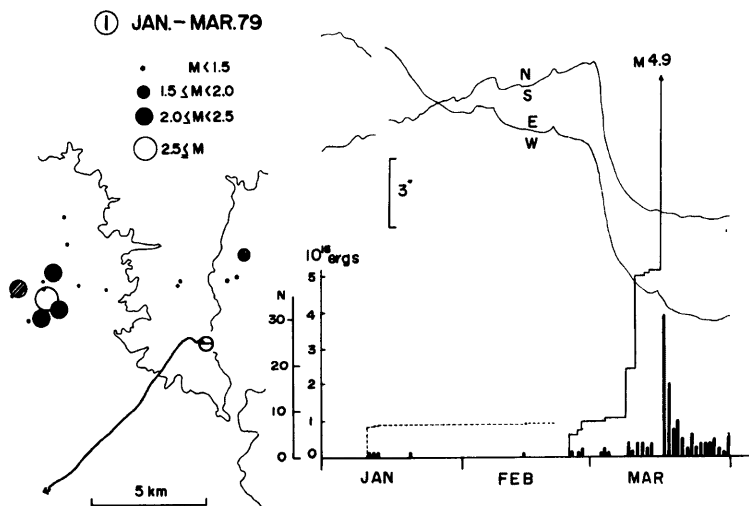


Fig. 9. Relation between abnormal tilt change and seismic activity on the western somma. The vector of tilt change and epicentral distribution of microearthquakes before the main shock (lefthand). Closed circles show the epicenters of foreshocks and a open circle dose that of the main shock. A shadowed circle shows the event generated on Jan. 11.

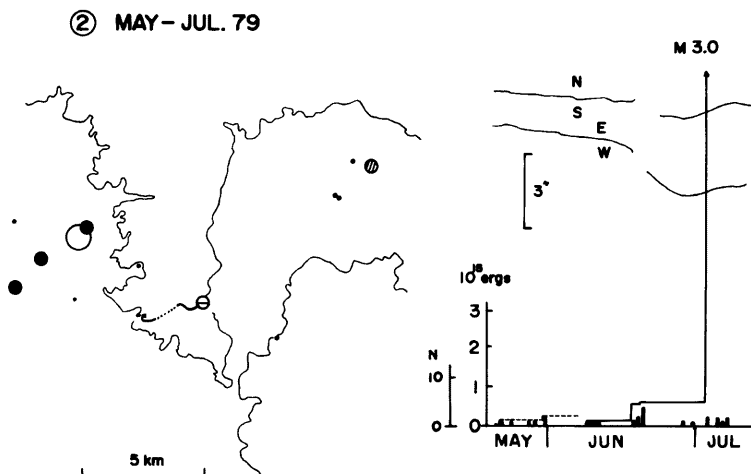


Fig. 10. Relation between abnormal tilt change and seismic activity on the western somma (May-Jul., 1979). A shadowed circle shows the event on May 18, 1979.

③ JUL.-SEP. 79

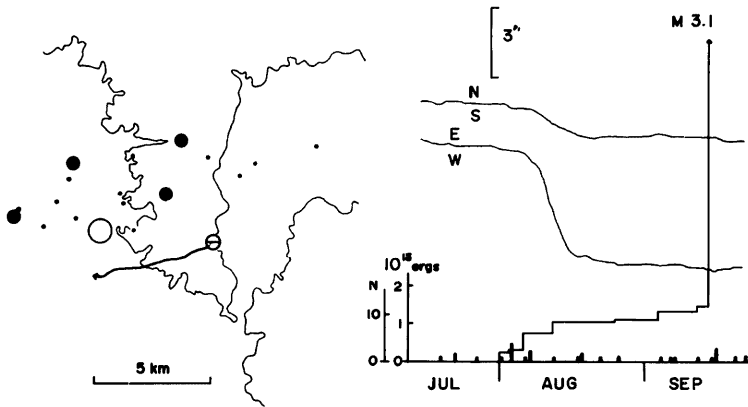


Fig. 11. Relation between abnormal tilt change and seismic activity on the western somma (Jul.-Sep., 1979).

④ JAN.-FEB. 80

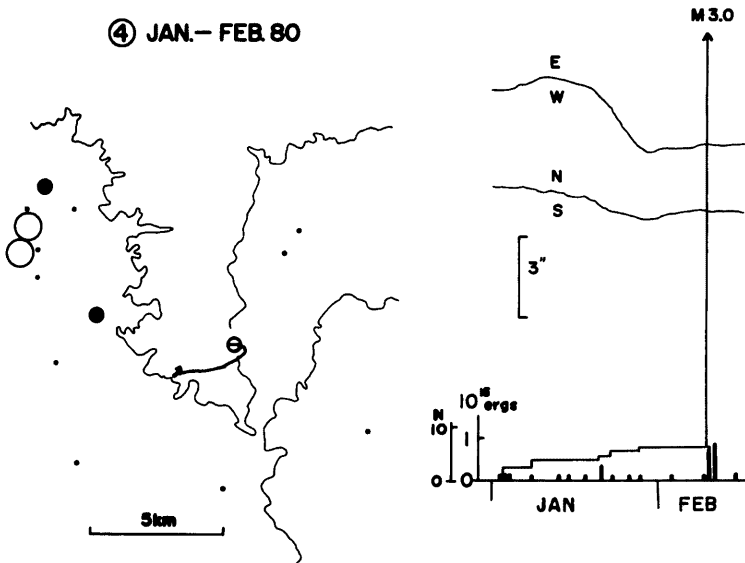


Fig. 12. Relation between abnormal tilt change and seismic activity on the western somma (Jan.-Feb., 1980). Two shocks magnitude of 3 occurred on February 10, 1980.

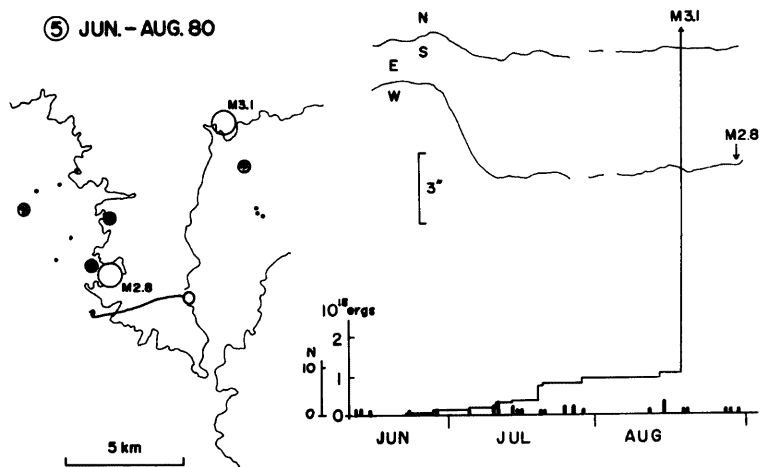


Fig. 13. Relation between abnormal tilt change and seismic activity on the western somma (Jun.-Aug., 1980).

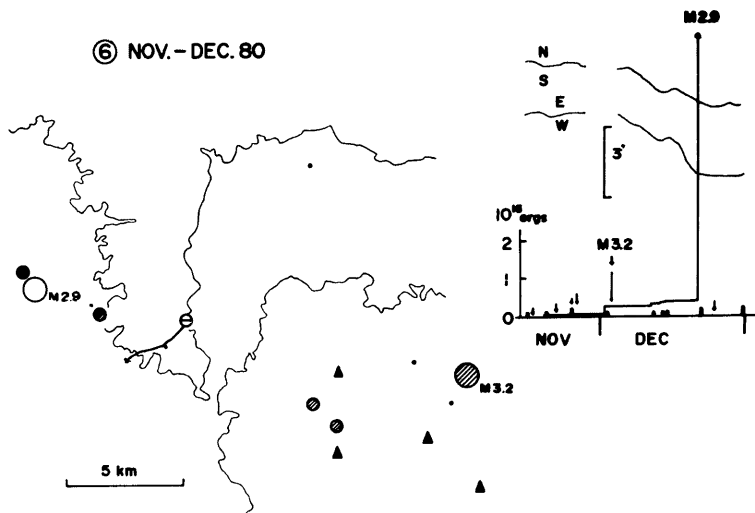


Fig. 14. Relation between abnormal tilt change and seismic activity on the western somma (Nov.-Dec., 1980). Arrows and shadowed circles show the occurrence of earthquakes on Kirishima Volcanoes and their epicenters.

⑥の場合、カルデラ西部外輪山では12月22日発生した $M_{2.9}$ の地震に先立ち、12月3日霧島火山群で $M_{JMA} 3.2$ の地震が発生した。傾斜変化の様子も①～⑤の場合ほど単純ではない。先行傾斜変化の開始時期を12月上旬とするか、中旬とみるか判断しがたい。経年変化の傾向もこの時期から変わっており、霧島火山群で発生した地震の影響が何らかの形で及んでいる可能性もあるかもしれない。

先行傾斜変化期およびその直前・直後に西部外輪山附近の微小地震活動が高まる傾向が、①～⑥のいずれの場合にも認められることから、傾斜変化量と先行傾斜変化期における微小地震による放出エネルギーの関係を検討した (Fig. 15)。この図において、前駆的微小地震の放出エネルギーは、Fig. 9～Fig. 14 の中でエネルギー積算の起点とした日から1ヶ月間または小地震発生までの積算値を採用している。

①および⑥の場合には前述したような問題が残るが、傾斜変化量と前駆微小地震の放出エネルギーの間には相関関係が認められる。

小地震のマグニチュードとの関係については、観測所からの震央距離が多少異なり単純な比較はできないが、マグニチュードが大きいほど前駆微小地震の放出エネルギーが大きく先行傾斜変化も大きい傾向が多少認められる。

以上述べたような先行傾斜変化と前駆的微小地震活動の時間的一致および量的相関関係から推論すると、西部外輪山附近で発生した小地震は、事前に震源近傍のある領域で微小破壊が起り、同時に震源近傍の地表に変位を生じた後発生したと考えられる。

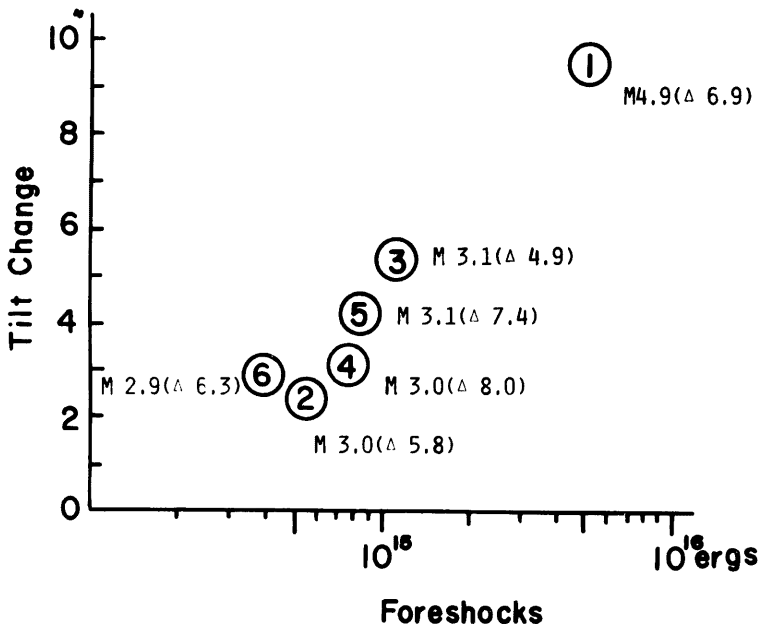


Fig. 15. Relation between abnormal tilt changes and the amounts of seismic energy released by microearthquakes which occurred before small earthquakes. M means the magnitude of main shocks and Δ does the epicentral distance in kilometer from the observatory.

4. ま と め

加久藤カルデラ附近の地震活動と吉松地震観測所における傾斜変化の関係について検討し、次の結果を得た。

- (1) カルデラ附近の地震活動は 5~10km の振りをもって漸次移動する傾向がある。吉松地震観測所の傾斜計で記録された経年変化には、地震活動域の移動に対応した変化が認められる。
- (2) カルデラ西部外輪山附近で発生した小地震に先行して、震央距離 5~8km の吉松地震観測所では異常傾斜変化が幾例か観測された。先行傾斜変化の期間とはほぼ一致して、微小地震活動も高まる傾向が認められた。震央距離と先行傾斜変化の大きさの間にはほとんど相関は認められなかったが、先行傾斜変化量と前駆微小地震活動の放出エネルギーの間には相関関係が認められた。

本稿での結論は、地震活動と傾斜変化という 2つの現象の時間的関係を比較対照して、しかも地震の発生地域を限定として得られたものである。

先行傾斜変化が、加久藤カルデラのどの地域で発生する小地震についても生じるかどうかを明らかにするには、複数の傾斜変動観測点が必要であろう。

又、先行現象（先行傾斜変化・前駆微小地震活動）の実体を明らかにするには測地測量およびこの地域で発生する地震、特に前駆微小地震の特性を明らかにするための解析が必要である。

本稿を終るにあたり、色々と御助言を頂いた加茂幸介教授に厚く御礼申し上げます。吉松地震観測所の観測システムの保守点検には桜島火山観測所所員が当たっている。記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 石原和弘：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—，京大防災研究所年報，第23号 B-1，昭55. 4，pp. 21-28.
- 2) Minakami, T., et al.: The Ebino earthquake swarm and the seismic activity in the Kirishima Volcanoes in 1968-1969, Part 4, Shift of seismic activity from the Kakuto Caldera to Shimmoe-dake, Naka-dake and Takatiho-mine, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 48, 1970, pp. 205-233.