

火山性地殻変動(Ⅱ)

—桜島火山の爆発に伴なう異常傾斜変化について—

江 頭 庸 夫

VOLCANIC CRUSTAL DEFORMATIONS (II)

—On the Anomalous Tilting Movements Accompanied with
the Explosions of Volcano Sakura-jima—

By *Tsuneo* ETO

Synopsis

Magmatic pressures associated with volcanic activity, in addition to causing volcanic earthquakes, can produce a change of level and marked tilting of the earth's surface near the volcano.

This aspect of volcanic behaviour has received particular attention from volcanologists because of its value and a prediction aid. At Volcano Sakura-jima, tilt measurements by means of horizontal pendulum type tiltmeters have been carried out for many years.

In this paper, abnormal tilting movements recorded at the Kita-dake and Haruta-yama stations accompanied with the volcanic explosions of Minami-dake crater were analyzed during the period from October, 1963 to October, 1965.

Anomalous tilt recorded at the Kita-dake station shows particular north-eastward dip and the abnormal tilt measured at the Haruta-yama shows the same tilt pattern in the direction of north.

1. は じ め に

火山活動に伴なって、あるいは前後して、その火山地域に起る地殻変動は、火山にしばしば発生する火山性地震とともに、火山物理学的に興味深い問題である。

防災研究所附属桜島火山観測所は、火山性地殻変動観測の目的で、桜島火山の周辺に、北岳、春田山、袴腰、冷水および霧島の5地殻変動観測室を設置して、伸縮計、傾斜計および検潮儀による連続観測を行っている。

これらの観測室における常時観測の記録には、火山活動に起因すると考えられる異常な地殻の変動が、しばしば記録されている。

北岳、および春田山観測室における水平振子型傾斜計による地殻傾動観測の記録より、異常傾斜変化と桜島火山の爆発との関係について、若干の解析をこころみた。

2 桜島火山における傾斜変動観測

2・1 観 測 室

桜島内における水平振子型傾斜計設置の地殻変動観測室は、春田山、北岳および袴腰の3観測室である。

Fig. 1 に、その位置を示した。

もし、ある火山で、種々の地球物理学的観測により、火山性地殻変動の力源となるような、たとえば magma reservoir, の位置が推定されている場合には、^{1), 2)} その力源に、比較的接近した位置に観測室を設置することは、火山性地殻変動を検出するのに非常に有利であろう。

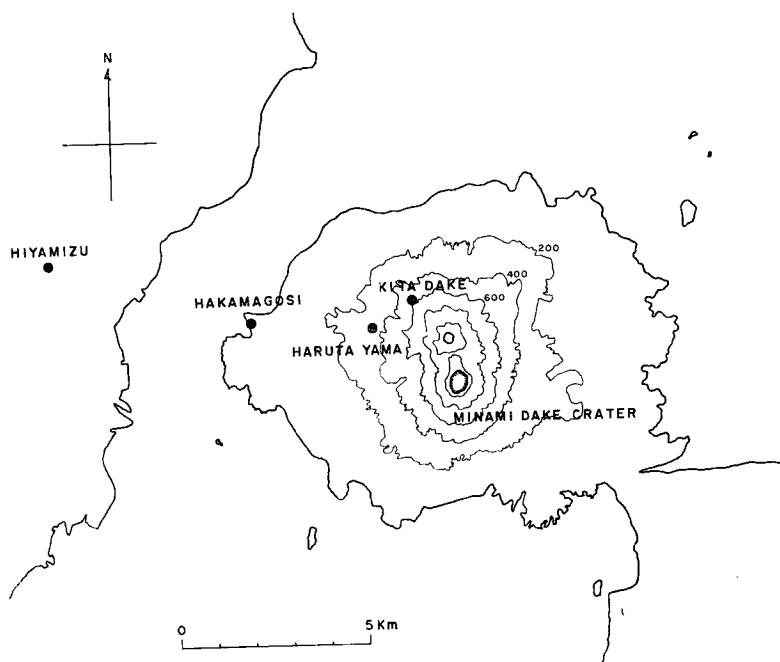


Fig. 1 Map of Volcano Sakura-jima. Showing observing stations for crustal deformations. The Sakura-jima Volcanological Observatory is located at Haruta-yama.

2・2 傾斜計

桜島の3観測室に設置されている傾斜計は、スーパー・インパール製の Zöllner 吊り水平振子型傾斜計、各2成分である。光学距離は、1~2 meter で、1 週42cmの記録紙速度で記録を行っている。

Table. 1

Sensitivity of the horizontal pendulum type tiltmeters at the Kita-dake and Haruta-yama stations, during the period October, 1963—October, 1965.

Station	Direction of observation	Recording optical length	Sensitivity on the recording photographic paper
Kita-dake	N — S	1.0 meter	0.0285 — 0.0414 "/mm
	E — W	1.0	0.0265 — 0.0519
Haruta-yama	N — S	1.2	0.0281 — 0.0327
	E — W	1.2	0.0270 — 0.0433

北岳、および春田山の傾斜計観測には、**Teble. 1** の感度で記録させた。北岳観測室の傾斜記録は、ほかと比較して変動が大きいので、感度の検定には特に注意をはらい、ほとんど毎週、記録紙交換のときに検定を行い、正確な観測をするように心がけた。

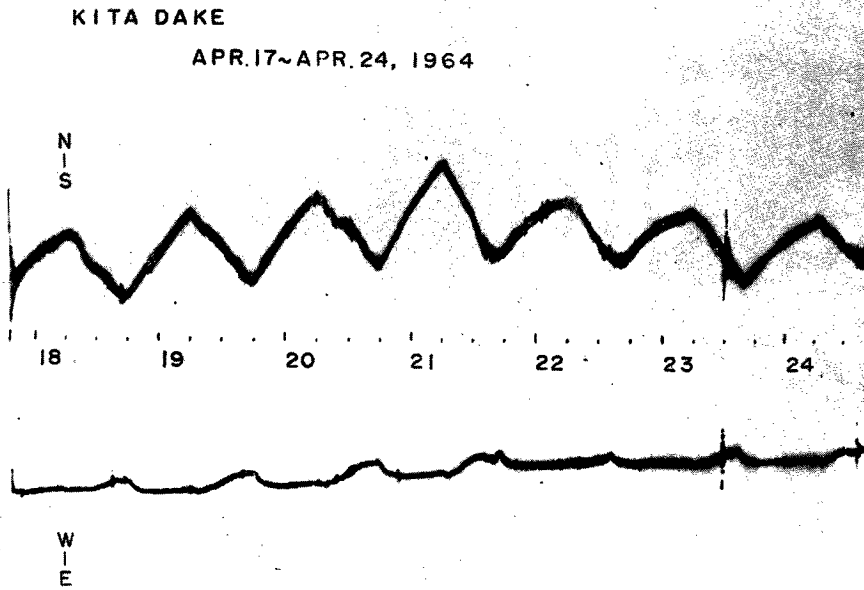


Photo. 1 Normal tilt recorded at the Kita-dake station.

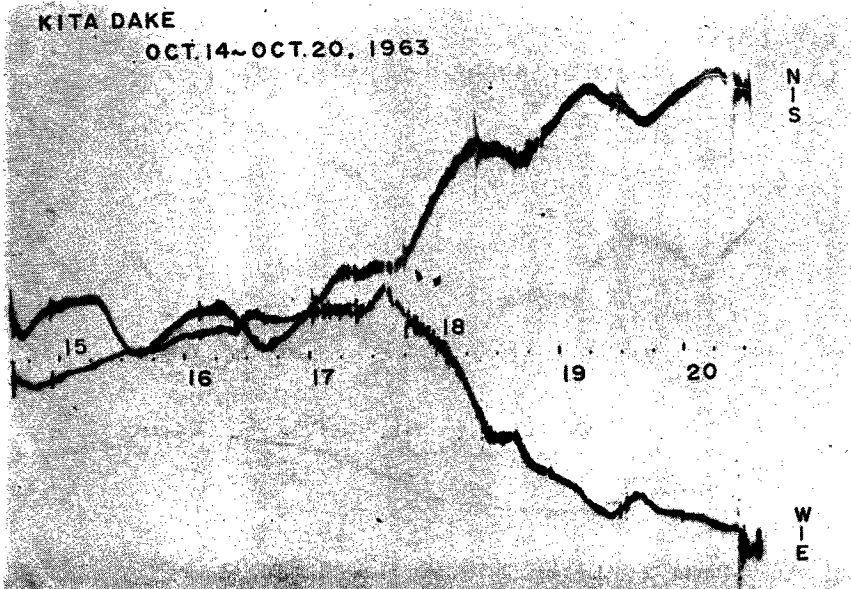


Photo. 2 Typical north-eastward abnormal tilt before the explosions.

今回の異常傾斜変化の解析にあたっては、北岳観測室における観測方法が確立して、正確な試料が得られるようになった1963年10月より、1965年10月末までの2年間の記録について、これを行った。北岳の傾斜記録には、一部欠測もあるが、約2年分だけであるので経年変化についての議論は、多年の試料を得てからにしたいと考える。

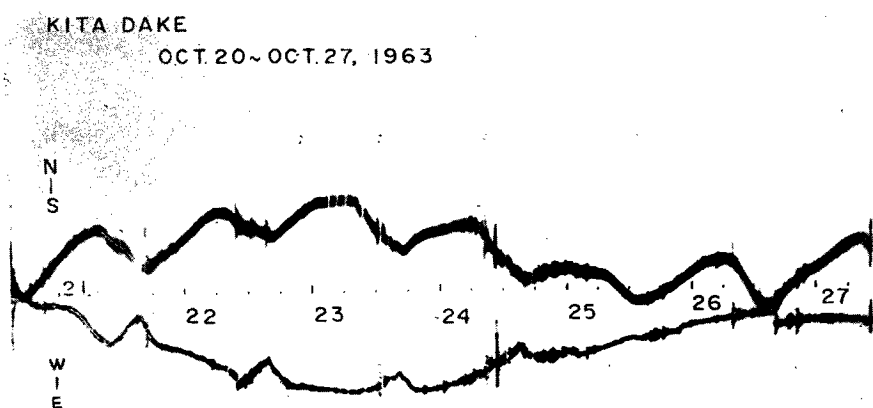


Photo. 3 Abnormal tilt recorded at the Kita-dake station.

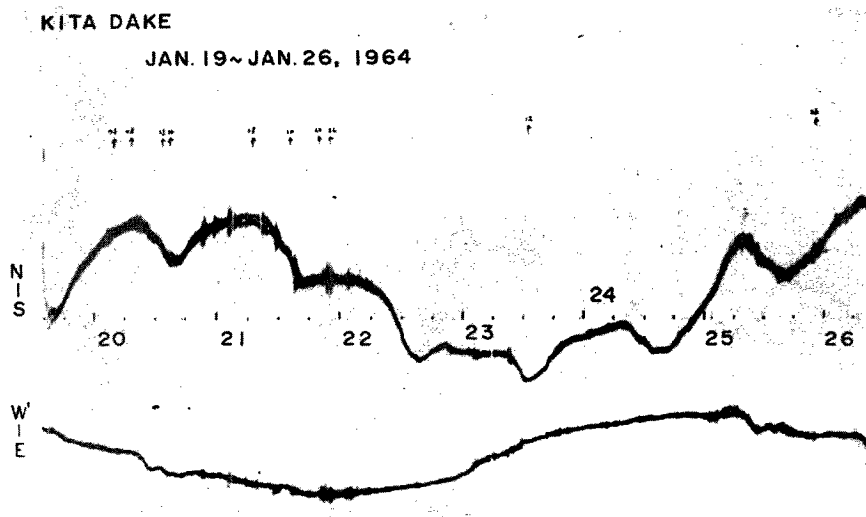


Photo. 4 Abnormal tilt recorded at the Kita-dake station.

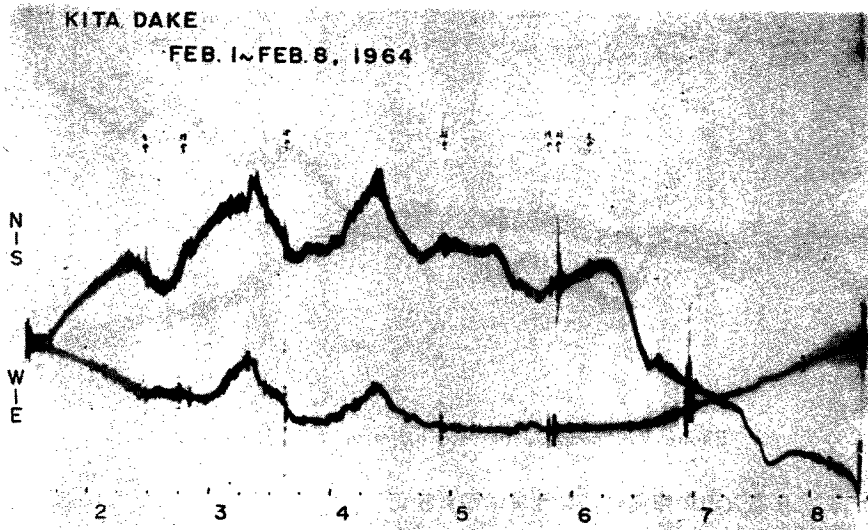


Photo. 5 Abnormal tilt recorded at the Kita-dake station,

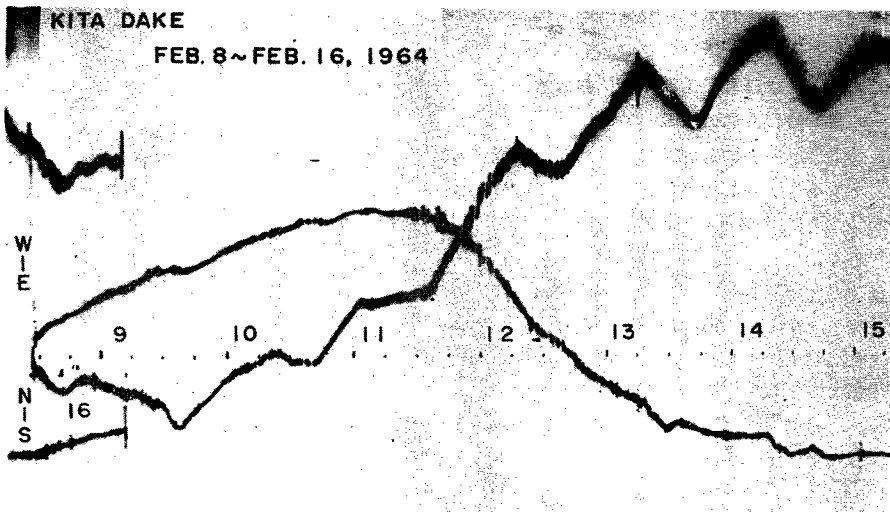


Photo. 6 Typical north-eastward abnormal tilt accompanied with explosions of Minami-dake crater,

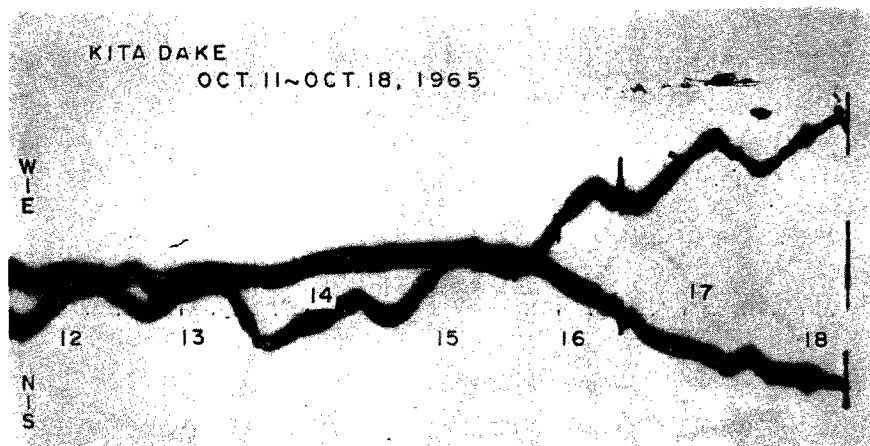


Photo. 7 Anomalous tilt recorded at the Kita-dake station.

3. 桜島火山の爆発に伴う異常傾斜変化

3・1 記録例

1963年10月、北岳観測室における傾斜変動観測が軌道によって以来、多くの異常傾斜変動の記録が得られている。Photo. 1～Photo. 7 に、そのうちの7例を示した。Photo. 1は、比較のためにかけたが、異常傾斜変動のない1記録例である。傾斜変動の静かな時期には、通常 Photo. 1のような記録が得られる。

Photo. 2～Photo. 7は、それぞれ北岳観測室の傾斜計が記録した異常傾斜変動の記録例である。

3・2 北岳および春田山観測室における

異常傾斜変動の比較

北岳、および春田山において得られた傾斜記録には温度変化による日変化が認められる。これらの日変化を除去するために、6時間ごとの読取値について、24時間の移動平均を行った。異常傾斜変動の起っている時期の前後を含め、北岳および春田山の記録より、日変化を除去したものを、Fig. 2～Fig. 12 に比較して示した。これらの図表において、その期間に発生した南岳火口の爆発のうち、比較的規模の大きいものを、↑で記入した。北岳観測室において記録された異常傾斜変動は、他に例のないほど顕著なものである。その変動は、大部分が北下り、および東下りの地殻の傾斜運動をしめし、急激に立ち上がる場合が多い。

春田山観測室は、北岳観測室の南西約1.3kmの位置にあり、現在活動中の南岳火口からの距離は約2.7kmである。

春田山の記録をみると、北下りの異常傾斜変動は、

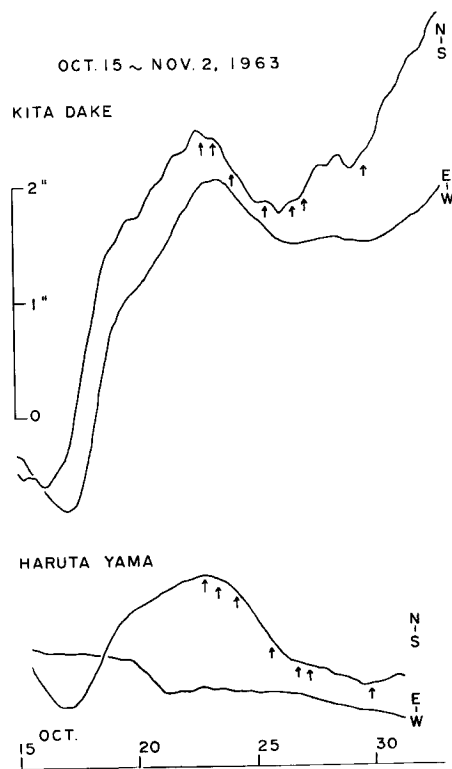


Fig. 2 Graph showing abnormal tilt accompanied with the explosions. Arrows show the explosions at Minami-dake crater.

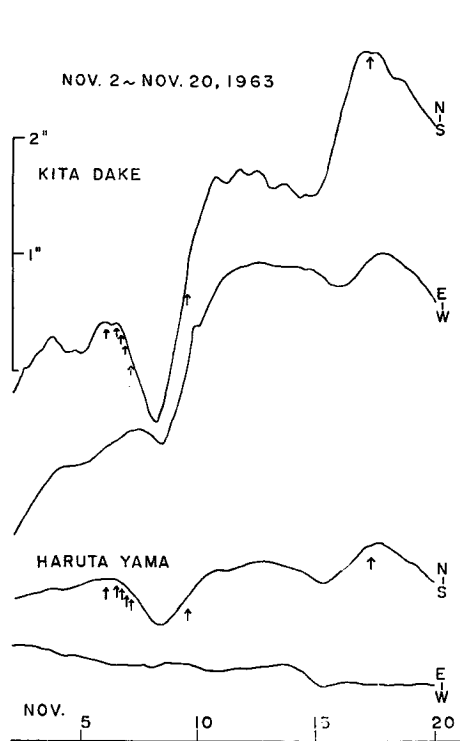


Fig. 3 Graph showing abnormal tilt accompanied with the explosions. Arrows show the explosions at Minami-dake crater.

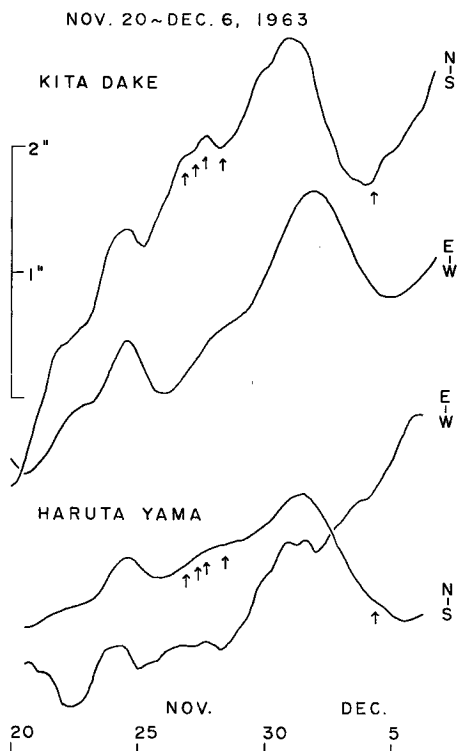


Fig. 4 Graph showing abnormal tilt accompanied with the explosions. Arrows show the explosions at Minami-dake crater.

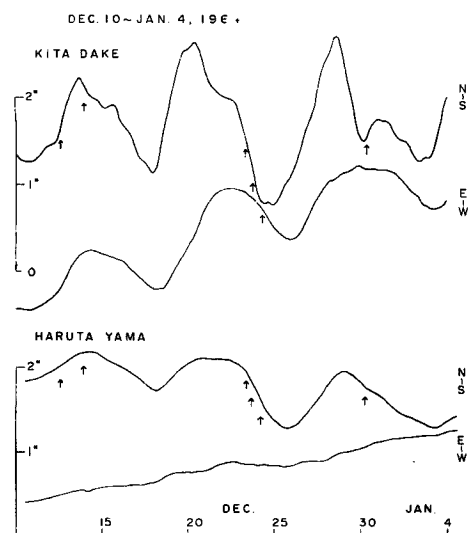


Fig. 5 Graph showing abnormal tilt accompanied with the explosions. Arrows show the explosions at Minami-dake crater.

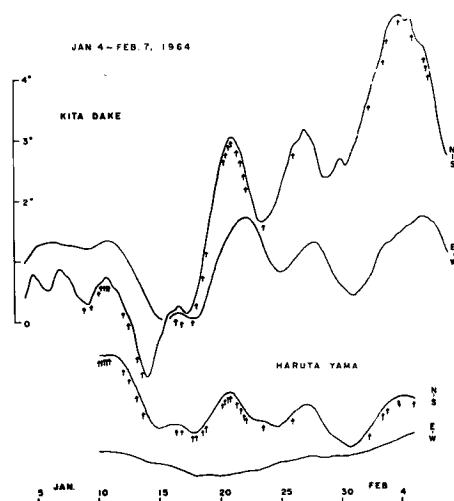


Fig. 6 Graph showing abnormal tilt accompanied with the explosions. Arrows show the explosions at Minami-dake crater.

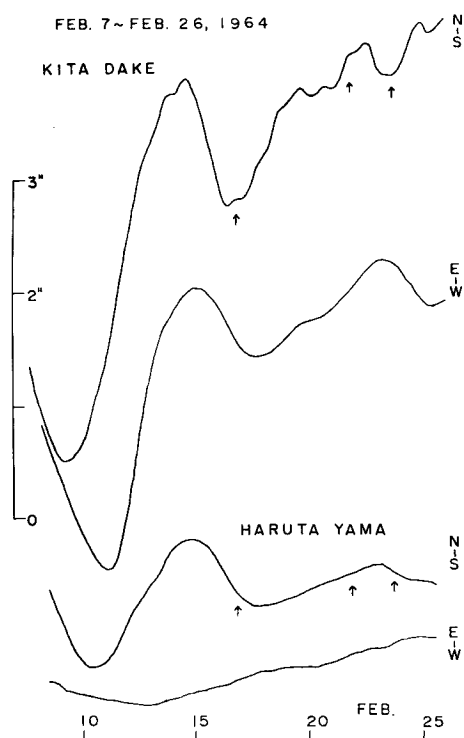


Fig. 7 Graph showing abnormal tilt accompanied with the explosions. Arrows show the explosions at Minami-dake crater.

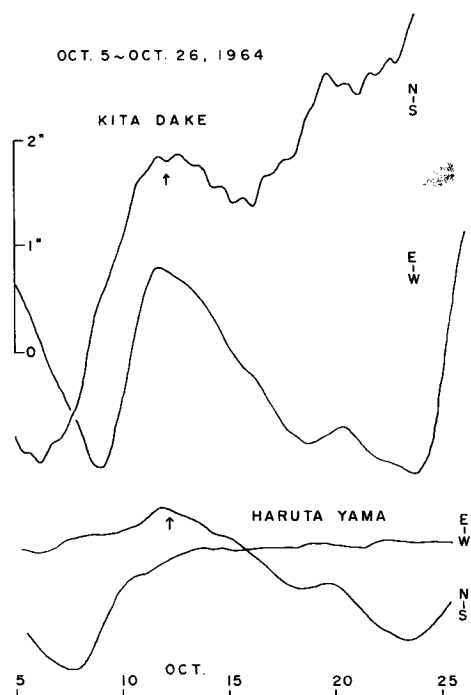


Fig. 8 Graph showing abnormal tilt accompanied with the explosions. Arrows show the explosions at Minami-dake crater.

北岳観測室の南北成分の変動に、よく一致している。しかし、東西成分はほとんど一致していない。この2観測室が約 1.3km 離れているにもかかわらず南北方向の傾斜変動に、同じような異常変動が記録されていることは、はなはだ興味深いことである。

このような火山性の異常傾斜変動の、どの段階で、南岳の爆発が起っているか。Fig. 6 に示したように、南岳の火山活動がきわめて旺盛で、連日爆発しているような時期には、異常傾斜変動と一連の爆発群とを対比させることは、かなり困難である。しかし、孤立型の爆発、あるいは静止期をはさんで、数個の爆発群の続いて発生する活動型の場合には、異常傾斜記録にかなり共通した特徴がみとめられる。

北岳の記録において、北東方向下りの異常傾斜変動がピークに達する前に爆発があった例は、かなり少数しかない。一方、異常傾斜変動がピークに達した頃、あるいはピークを下る頃に爆発が発生した例が大部分であった。一般的には、異常傾斜が始まってからは、爆発危険期に入るが、ピークから後の方で爆発する可能性が、やや多いようである。

1964年4月24日19時56分 (Photo. 1 参照) の爆発のように、異常傾斜変化を伴なわないで、爆発した例がある。しかし、このような例は少数であって、大きな異常傾斜変動には、ほとんどまちがいがなく、火山活動が伴うものようである。

3・3 北岳観測室における異常傾斜変動の方向性

北岳観測室の傾斜記録の読取値を移動平均したものについて、異常傾斜変動の発生している期間の傾斜ベクトルを書き、その特徴を調べた。Fig. 13～Fig. 22 に、その異常傾斜ベクトルを図示した。

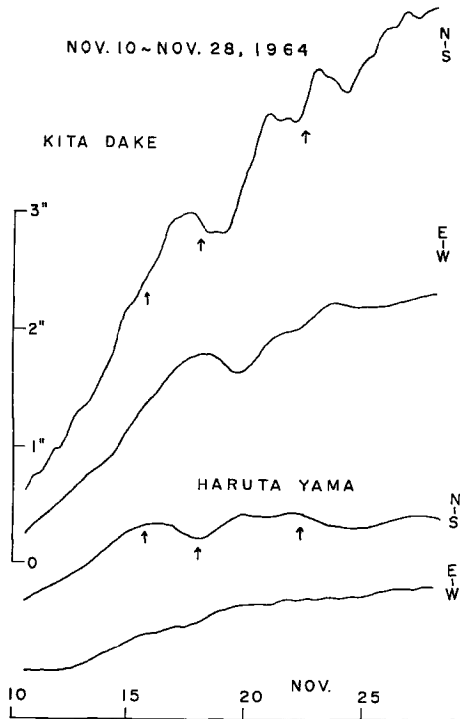


Fig. 9 Graph showing abnormal tilt accompanied with the explosions. Arrows show the explosions at Minami-dake crater.

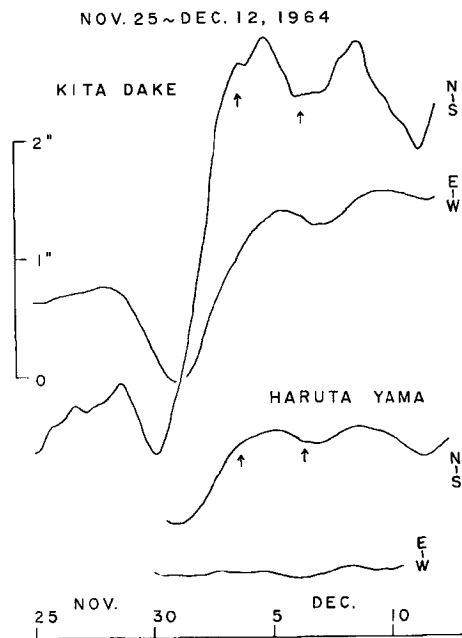


Fig. 10 Graph showing abnormal tilt accompanied with the explosions. Arrows show the explosions at Minami-dake crater.

桜島火山の爆発に伴う異常傾斜ベクトルについては、次のような著しい特徴が認められるようである。

① 北岳の異常傾斜ベクトルは、多数の例が、北東方向への、特異な、しかも顕著な変動を示している。北岳観測室の場合、南岳火口は、ほぼ南東方向になるから、火口方向から約 90° 北へむいた方向となる。

桜島における異常傾斜変動の北東指向性については、袴腰、および冷水観測室における吉川の観測³⁾にも述べられている。

② 異常傾斜が始まると、傾斜ベクトルは急に北東に向きをかえる。そのまま北東方向に急速度で進行し次に往路をあとどりする。(Fig. 13, 16, 20, 21 参照)。しかし、傾斜ベクトルは最初の位置まではもどらないで elastic flow creep のような残差が生じているようである。

③ 傾斜ベクトルが北東方向に急速度で進行し、あとどりをする段階で、どちらかの傾斜成分の変動が若干早かったりおくれたりすると、傾斜ベクトルはループを図く。南岳の爆発は北東方向へ急速度で進んだ傾斜ベクトルが方向転換をすること、あるいは、ループを書いている間などに多く発生しているようである。

3・4 北岳観測室における異常傾斜速度

3・3 において、南岳の爆発の前に、急速度の北東方向下りの異常傾斜が観測される例が多いことをのべた。このような、爆発の前駆現象としての異常傾斜変動は、どのような速度で進行して行くか。また、その進行速度と爆発との間に、どのような関係があるか。このようなことを調べるために、北岳の異常傾斜ベクトル図に書かれたベクトル曲線が、24時間中にたどった軌跡より傾斜変化量を算出して、日傾斜速度

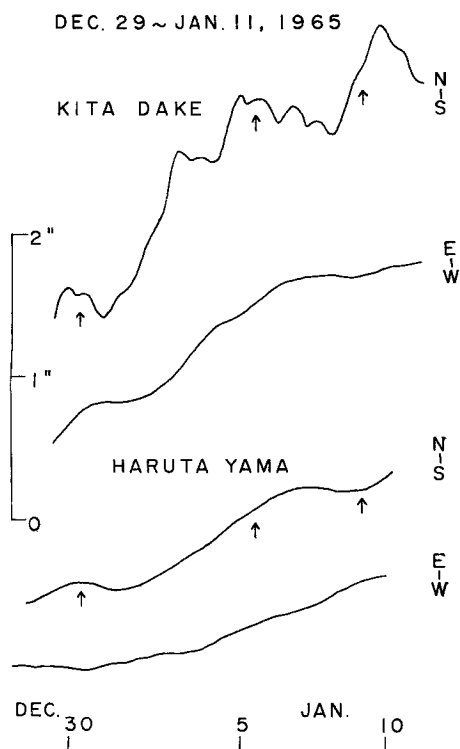


Fig. 11 Graph showing abnormal tilt accompanied with the explosions. Arrows show the explosions at Minami-dake crater.

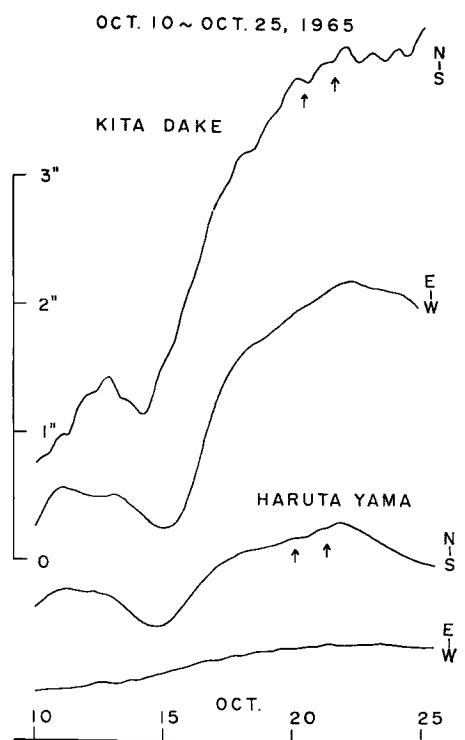


Fig. 12 Graph showing abnormal tilt accompanied with the explosions. Arrows show the explosions at Minami-dake crater.

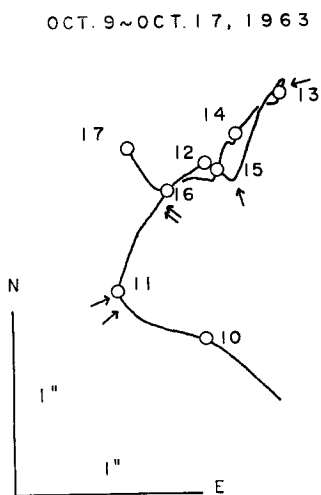


Fig. 13 Graph showing vector diagram of abnormal tilt observed at the Kita-dake station. Arrows show the explosions.

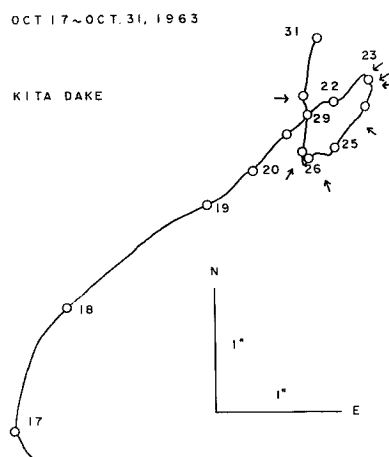


Fig. 14 Graph showing vector diagram of abnormal tilt.

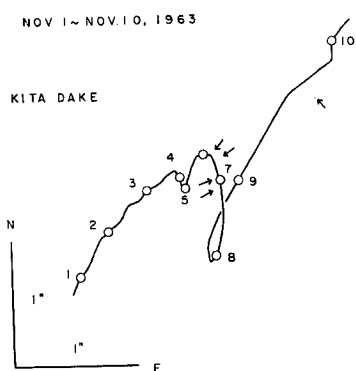


Fig. 15 Graph showing vector diagram of abnormal tilt.

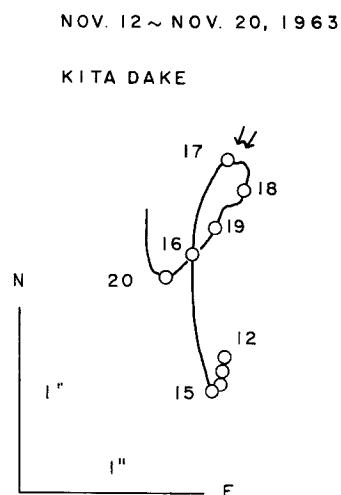


Fig. 16 Graph showing vector diagram of abnormal tilt.

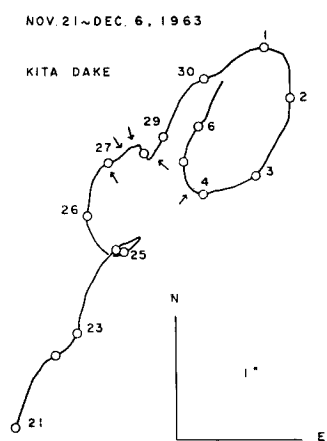


Fig. 17 Graph showing vector diagram of abnormal tilt.

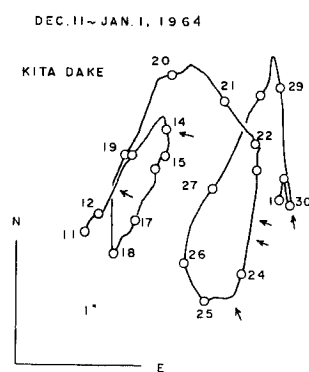


Fig. 18 Graph showing vector diagram of abnormal tilt.

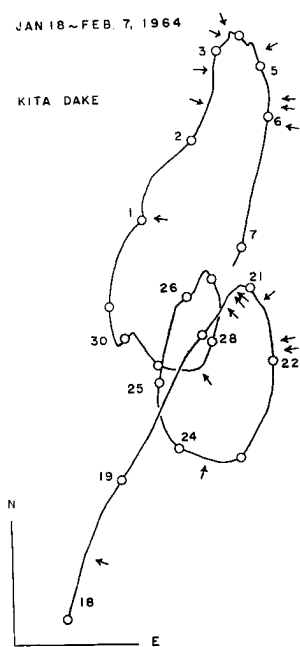


Fig. 19 Graph showing vector diagram of abnormal tilt.

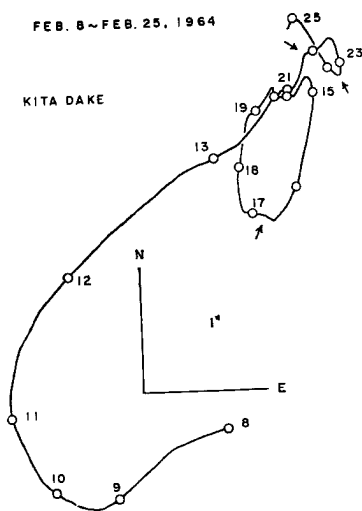


Fig. 20 Graph showing vector diagram of abnormal tilt.

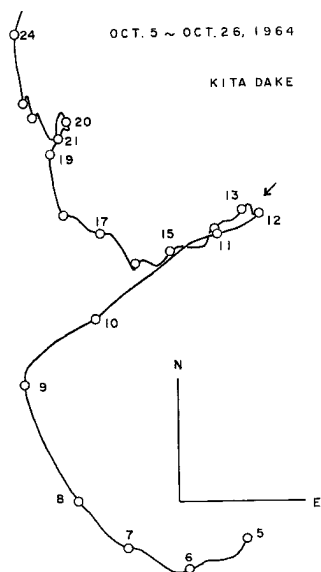


Fig. 21 Graph showing vector diagram of abnormal tilt.

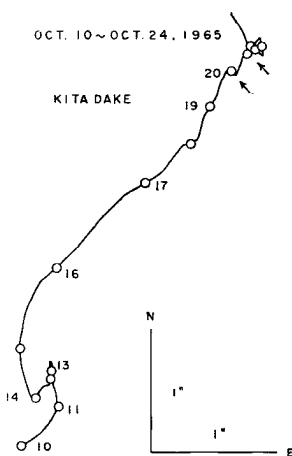


Fig. 22 Graph showing vector diagram of abnormal tilt.

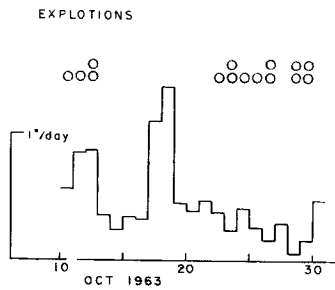


Fig. 23 Graph showing daily velocity of abnormal tilt at the Kita-dake station. Open circles show the explosions.

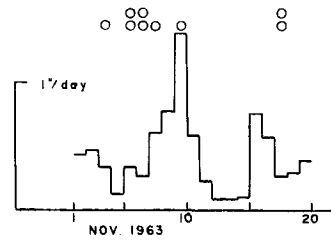


Fig. 24

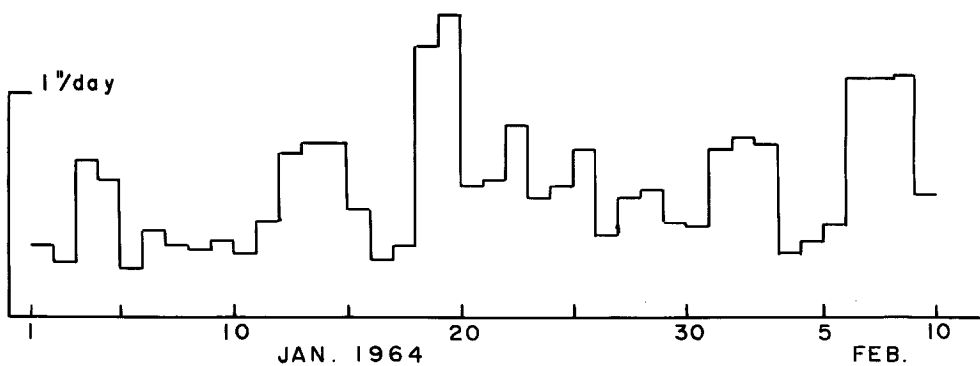
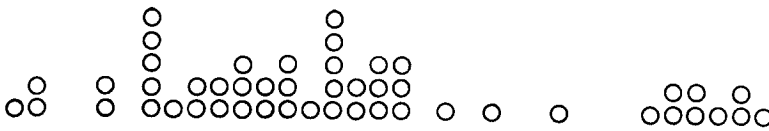


Fig. 25 Graph showing daily velocity of abnormal tilt at the Kita-dake station. Open circles show the explosions.

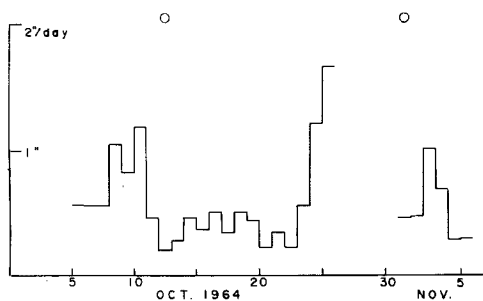


Fig. 26 Graph showing daily velocity of abnormal tilt at the Kita-dake station. Open circles show the explosions.

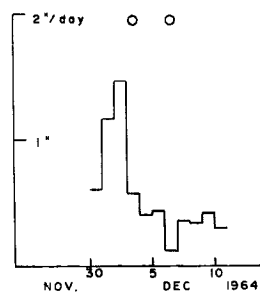


Fig. 27

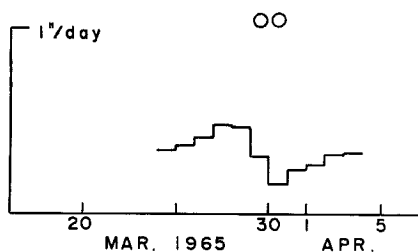


Fig. 28 Graph showing daily velocity of abnormal tilt at the Kita-dake station. Open circles show the explosions.

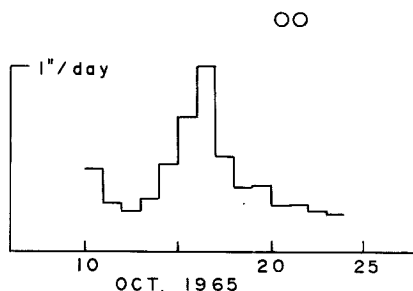


Fig. 29

($''/\text{day}$) を求めた。その 7 例を Fig. 23~Fig. 29 に図示した。北岳観測室において記録された異常傾斜速度は、 $1.5''/\text{day}$ にも達することがある。

Fig. 25 のように、連日爆発している活動期においては、異常傾斜速度と南岳火口の爆発との相関をしらべることは困難である。しかし、孤立型あるいは数回の爆発群が静止期をはさんで発生する場合には、異常傾斜速度の変化の様子は、比較的良好に似ている。このようなときには、異常傾斜速度が極大値をとってから数日の間に、南岳の爆発の発生した例が多いようである。

4. 異常傾斜変動と南岳の爆発

1963年10月11日から、1965年10月21日迄の間に、149回の南岳火口の爆発があった。北岳の傾斜記録において、異常傾斜変動が認められた爆発回数と、認められなかったもの、あるいはなかった爆発回数との月別総和を Table. 2 にまとめた。

1964年5月~8月、1965年5月は、欠測により北岳傾斜計の記録は得られなかった。欠測期間に起った32回の爆発を除外した117回の爆発のうち、前記の異常傾斜変動の伴ったものは106回であり、傾斜観測期間中に発生した爆発の90.6%に、何らかの異常傾斜変動が認められた。11回の爆発においては、異常傾斜変

化は認められなかった。また、異常傾斜変動は記録されたが、爆発が伴なわなかった例は、2年間に3回であった。

Table. 2

Date and number of explosions at Minami-dake crater	Monthly number of explosions	Number of explosions		Remarks
		observed the anomalous tilt	without the anomalous tilt	
1963				
Oct. 11, 12(2), 22, 23, 24, 25, 26(2), 28(2), 29(2).	13	13	0	Fig. 2, 13, 14, 23. Photo. 2, 3.
Nov. 3, 6(3), 7, 9, 17(2), 20, 26, 27(2), 28.	13	13	0	Fig. 3, 4, 15, 16, 17, 24.
Dec. 4, 12, 14, 22, 23(2), 24, 30.	8	8	0	Fig. 4, 5, 17, 18.
1964				
Jan. 4, 5(2), 8, 9, 10(5), 11, 12(2), 13(2), 14(3), 15(2), 16(3), 17, 18(5), 19(2), 20(3), 21(3), 23, 25, 28.	40	40	0	Fig. 6, 19, 25. Photo. 4.
Feb. 1, 2(2), 3(2), 4, 5(2), 6, 16, 21, 23, 28.	13	12	1	Fig. 6, 7, 19, 20, 25. Photo. 5, 6.
Mar. 23, 27	2	2	0	
Apr. 24.	1	0	1	Photo. 1
May. 5, 11, 13, 14(2), 16(2), 20, 21, 23.	(10)	lack of observation		
Jun. 1(6), 5(2), 7, 9, 13, 14, 15,	(13)	"		
Jul. 10, 11, 28, 31.	(4)	"		
Aug. 11, 31.	(2)	"		
Sep. 18, 30.	2	0	2	
Oct. 12.	1	1	0	Fig. 8, 21, 26.
Nov. 1, 15, 18, 22.	4	4	0	Fig. 9, 26.
Dec. 3, 6, 30.	3	3	0	Fig. 10, 27.
1965				
Jan. 5, 9, 24, 27.	4	2	2	Fig. 11.
Mar. 29, 30.	2	2	0	Fig. 28.
Apr. 15, 24, 30.	3	0	3	
May. 26, 30, 31.	(3)	lack of observation		
Jun. 20.	1	1	0	
Jul. 5, 11.	2	0	2	
Aug. 5.	1	1	0	
Sep. 19, 29.	2	2	0	
Oct. 20, 21.	2	2	0	Fig. 12, 22, 29. Photo. 7.
Total number of explosions during tilt observations :	117	106	11	
lack of tilt observations :	(32)			

5. お わ り に

防災研究所附属桜島火山観測所における常時観測の記録より、北岳および春田山観測室において得られた桜島火山の爆発に伴う異常傾斜変化について解析をこころみた。

おわりに、観測、記録整理、議論に際しての、吉川助教授はじめ桜島火山観測所の諸氏の御協力に対して、心より感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Yoshikawa, K. : On the Crustal Movement Accompanying with the Recent Activity of the Volcano Sakurajima (Part 1)
Bulletin No. 48, Dis. Prev. Res. Insti., Kyoto Univ., 1961
- 2) 江頭庸夫 : 火山性地殻変動 (I)
—最近の桜島火山における垂直変動と火山活動との関係—
京大防災研究所年報第8号, 昭和40年. pp. 71~82.
- 3) Yoshikawa, K. : On the Crustal Movement Accompanying with the Recent Activity of the Volcano Sakurajima (Part 2)
Bulletin No. 50, Dis. Prev. Res. Insti., Kyoto Univ., 1962