

## 伊豆大島で観測されたノコギリ歯型傾斜変動と 火山活動の関係

福 山 英 一\*  
国立防災科学技術センター

### **Relationship between Saw-Teeth-Shaped (STS) Tilt Change Observed at Izu-Oshima Volcano and Its Volcanic Activities**

by

**Eiichi Fukuyama**

*National Research Center for Disaster Prevention, Japan*

#### **Abstract**

Eruptions of the Izu-Oshima volcano of 16th and 18th, Nov. 1987 gave us important informations for revealing the dynamic process of volcanic activities. These informations are obtained from Saw-Teeth-Shaped (STS) tilt change data, volcanic tremor data, and long term tilt change trend data when STS tilt change appears. The author proposed a magma contraction model, whose fundamental assumption is that the tensional force originated by decrease of magma pressure is periodically released by a fracture system around the central crater. This model suggests that long-term tilt change and correspondence between STS tilt change and volcanic tremor enable us to predict the volcanic activity. Five days before the eruption of 16th Nov. 1987, we observed synchronized occurrence of STS tilt change and volcanic tremor but opposite correlation to the usual case, which indicated high volcanic activity based on Fukuyama's model. We also observed another correlation data of STS tilt change and volcanic tremor (in this case, it looks like successive volcanic earthquakes) 4 hours before the 16th eruption and 2 hours before the 18th eruption. The STS tilt changes, however, were not so clearly correlated to volcanic tremor, suggesting fluctuation of magma movement. Based on those observational results, we propose that simultaneous observation of crustal deformation and volcanic tremor will provide the most important information for understanding the state of volcanic activity and predicting a pending eruption.

---

\* 第2研究部地震防災研究室

1. はじめに

伊豆大島火山は、1986年11月15日より中央火口における噴火を開始し、同年11月21日には、割れ目噴火を伴う大規模な噴火活動へと発展したが、同年12月18日の噴火を最後に、噴火活動は休止していた。ところが、約1年間の沈黙を破り、1987年11月16日より、伊豆大島火山は、再び噴火活動を開始した。我々は、伊豆大島外輪山北西部に位置する御神火茶屋に、1986年2月に伊豆大島第1火山観測施設(GJK, 図1)を設け、1986年9月26日より深さ約80mの観測井の井底において傾斜計による観測を、また、1987年2月20日より地表において地震計( $T_0=1.0$  sec)による観測を開始した。同観測点において、1987年1月ごろから、間欠的に発生する火山性微動の開始時刻及び終了時刻と非常によく対応するノコギリ歯型傾斜変動(図2)が、休止期間をさみながらも、継続して観測された。気象庁大島測候所の体積歪計にもこれに対応する変動が捕えられていた(神定ら, 1987)。福山(1988)は、この特異な傾斜変動を説明するためマグマ収縮モデルを提案し、このノコギリ歯型傾斜変動と火山の活動状態との関連性を示唆した。

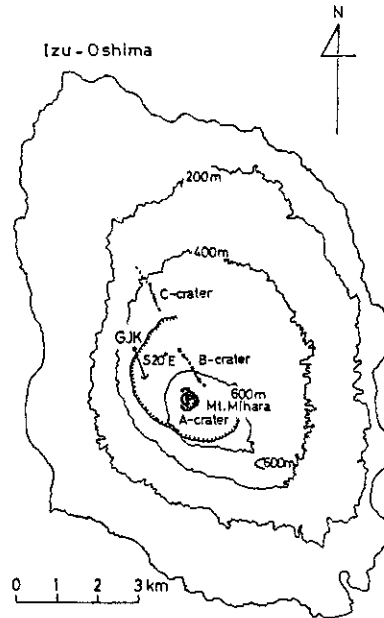


図1 伊豆大島第1火山観測施設(御神火茶屋, GJK)位置図  
Fig.1 Location of the Gojinka-chaya (GJK) station.

地殻変動のデータから、噴火前の inflation-deflation process を捕らえることにより、噴火予知を試みようという研究は古くからある。すでに、キラウエア火山(Klein, 1984)、セント・ヘレンズ火山(Swanson et al, 1986)や、桜島火山(加茂・石原, 1986)などでは、傾斜計・伸縮計のデータや火山性地震の発生頻度などを用いての噴火予知の実用化が進みつつある。しかし、今回得られたような seismic なデータと地殻変動データがきっちりした対応関係を示す観測事例は、筆者の知る限りでは他に例がなく、噴火のダイナミクスに関する今までにない重要な情報を与えてくれるものと思われる。

本論文では、まず、ノコギリ歯型傾斜変動の特徴及びマグマ収縮モデルについて説明し、このモデルを用いて1987年11月の噴火の前に得られたデータを解釈する。さらに、1987年11月16日10時47分及び11月18日3時29分の噴火の直前に現れた傾斜変動についても若干の考察を行うことにする。

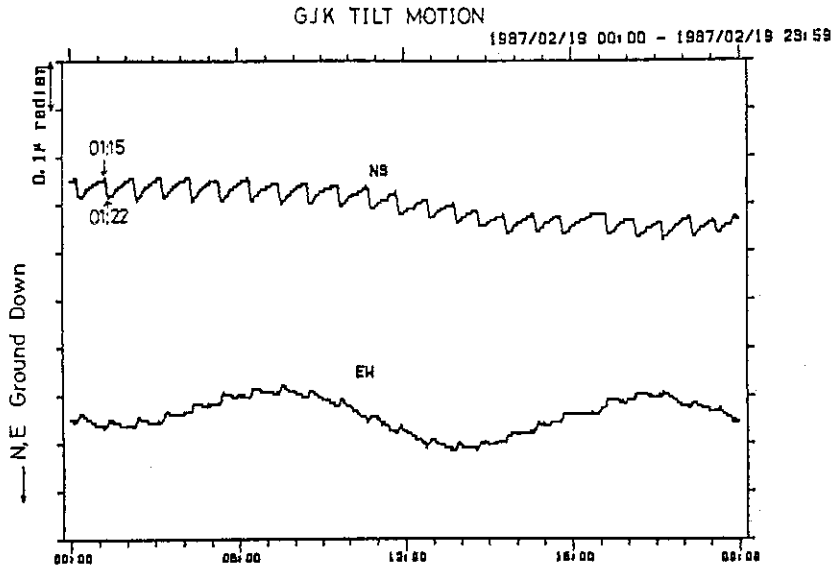


図 2 (a) ノコギリ歯型傾斜変動の例 (1987年 2月19日)  
Fig. 2 (a) Examples of Saw-Teeth-Shaped tilt changes on Feb. 19, 1987.



図 2 (b) ノコギリ歯型傾斜変動と対応する火山性微動 (1987年 2月19日 1時)  
Fig. 2 (b) Related seismograms at 01h on Feb. 19, 1987.

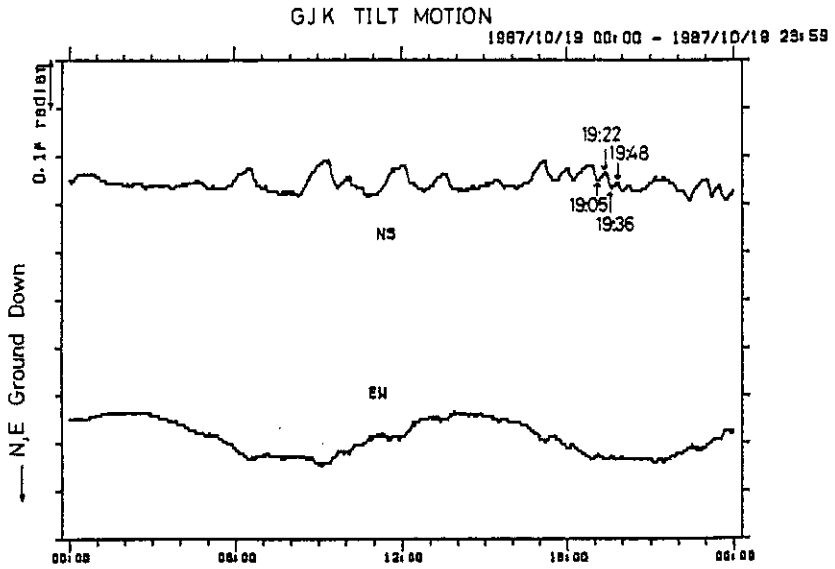


図 2 (c) ノコギリ歯型傾斜変動の例 (1987年10月19日)  
 Fig. 2(c) Examples of Saw-Teeth-Shaped tilt changes on Oct. 19, 1987.

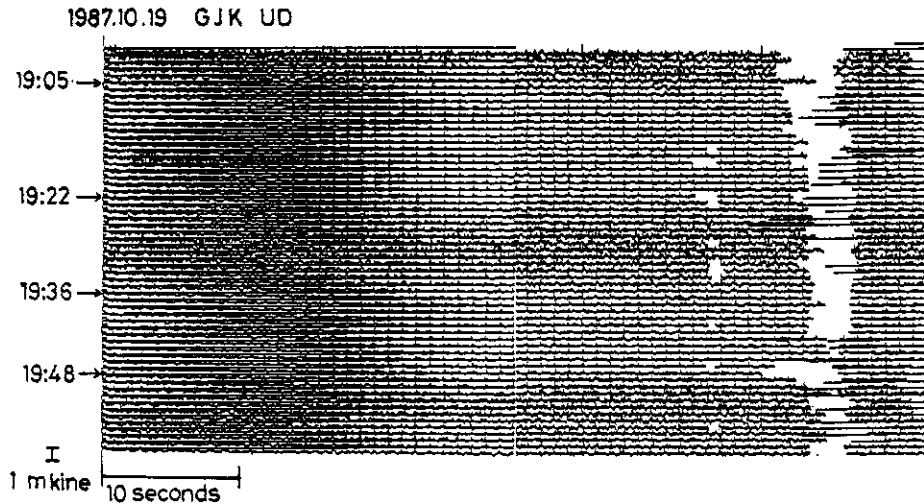


図 2 (d) ノコギリ歯型傾斜変動と対応する火山性微動 (1987年10月19日19時)  
 Fig. 2(d) Related seismograms at 19h on Oct. 19, 1987.

## 2. ノコギリ歯型傾斜変動とマグマ収縮モデル

まず、簡単に、御神火茶屋の傾斜計で継続的に観測されていたノコギリ歯型傾斜変動の特徴を説明する。この傾斜変動は、1987年2月5日より観測され始め、1987年11月18日まで続いた。御神火茶屋の傾斜計は、1987年1月26日まで感度を落としていたために、これ以前の状況不明であるが、気象庁大島測候所の体積歪計の記録（神定ら、1987）からみて、ノコギリ歯型傾斜変動の発生開始時期は1987年1月1日頃と考えられる。図2（a, b）に、このノコギリ歯型傾斜変動発生初期の2月19日の記録例を、図2（c, d）に、今回の噴火1カ月前の10月19日の記録例を示す。図3にこの変動の模式図及び火山性微動との対応関係を示す。この傾斜変動は、2つのステージからなる。1つは、火山性微動を伴わない継続時間の長い（1時間から3時間程度）ほぼ山頂方向（S20°E）下がりの傾斜変動を示すステージ（ステージI）であり、もう1つは、火山性微動を伴った継続時間の短い（6分から1時間程度）ほぼ山頂方向（S20°E）上がりの傾斜変動を示すステージ（ステージII）である。この2つのステージが交互に発生しており、その過程において、傾斜量は蓄積されない。この変動には、発生期間中に形態の変化がみられ、初期には、非常にシステムティックに発生していたが、次第に振幅・継続時間において規則性が乱れ不均質な形態になっていった。

この特異な傾斜変動を説明するモデルとして福山（1988）はマグマ収縮モデルを提案した。図4に、その模式図を示す。このモデルによれば、ノコギリ歯型傾斜変動の発生メカニズムは次のように説明できる。中央火口直下に流体マグマが存在し、1986年11月の大噴火によって高まった地下深部の圧力が次第に減少するために、マグマは、地下深部に戻ろうとする動きをし、マグマ自体の減圧に伴っ

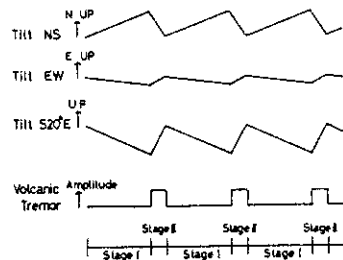


図3 ノコギリ歯型傾斜変動の模式図。変動の主要な成分（S20°E）への投影、及び、微動発生との対応関係も同時に示してある。

Fig. 3 Schematic illustration of Saw-Teeth Shaped tilt change. Principal component of tilt change (S20°E) and occurrence of volcanic tremors are also shown.

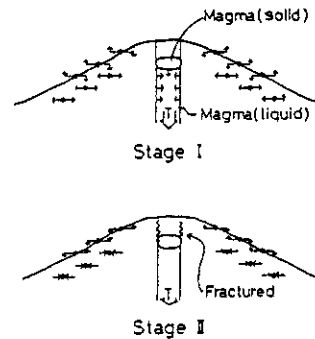


図4 マグマ収縮モデルの概念図。矢印は、マグマに働く力の向き、及び、それによって生じる歪及び傾斜の向きを示す。ステージI、ステージIIは、図3に示した期間である。

Fig. 4 Schematic illustration of Magma contraction model. Arrows inside the magma indicate the internal force direction, and arrows outside the magma indicate the stress or strain direction. 'Stage I' and 'Stage II' correspond to those in Fig 3, respectively.

て周囲に張力場を生じている。ステージⅠでは、この張力によって山体は弾性変形をし、御神火茶屋においては、山頂方向が下がる継続時間の長い傾斜変動が観測されることになり、ステージⅡでは、この張力が火道周辺の破壊現象によって間欠的に解放され、御神火茶屋においては、微動を伴う山頂方向が上がる継続時間の短い傾斜変動が観測されることになる。ステージⅡに現れた火山性微動のソースは火道周辺の破壊現象である。このモデルは、気象庁大島測候所の体積歪計もこの変動に同期して変動し、ステージⅠに対応して伸び、ステージⅡに対応して縮みの変動を示していること（神定ほか、1987）、火山性微動の到来方向は中央火口方向であること（古本ほか、1987；伊神、1987；山岡ほか、1987）、1986年11月の噴火以後中央火口は沈降し（宮崎ほか、1987）、重力値が減少していること（渡辺ほか、1987）、といった観測事実ともよく調和している。

### 3. 噴火前のデータとその解釈

これまで間欠的に発生していた火山性微動が、1987年10月末から11月初めにかけて連続微動に変化し、11月11日まで続いた。これとほぼ同期して、11月5日より、御神火茶屋の傾斜計は、長期的なトレンドの方向を、中央火口方向上がりへと変え、11月12日まで続いた（図5）。この期間中はノコギリ歯型傾斜変動は継続的に出現していた。11月11日2時頃、大振

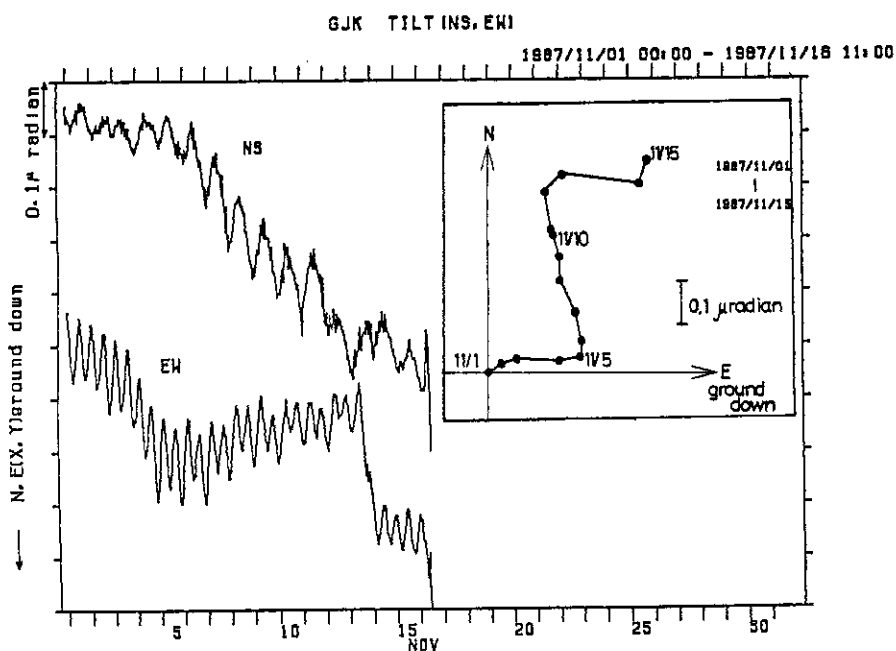


図5 御神火茶屋における傾斜変動図（時間値プロット）、および、傾斜ベクトル（日値プロット）  
Fig. 5 Hourly plots of tilt change at GJK with daily plots of tilt vector.

幅で振幅がゆらぎがある微動（波形からは、地震が連続して発生しているようにも見てとれる）が12分間ほど連続微動に重なって発生した（図6）、この微動を前節の火山性微動と区

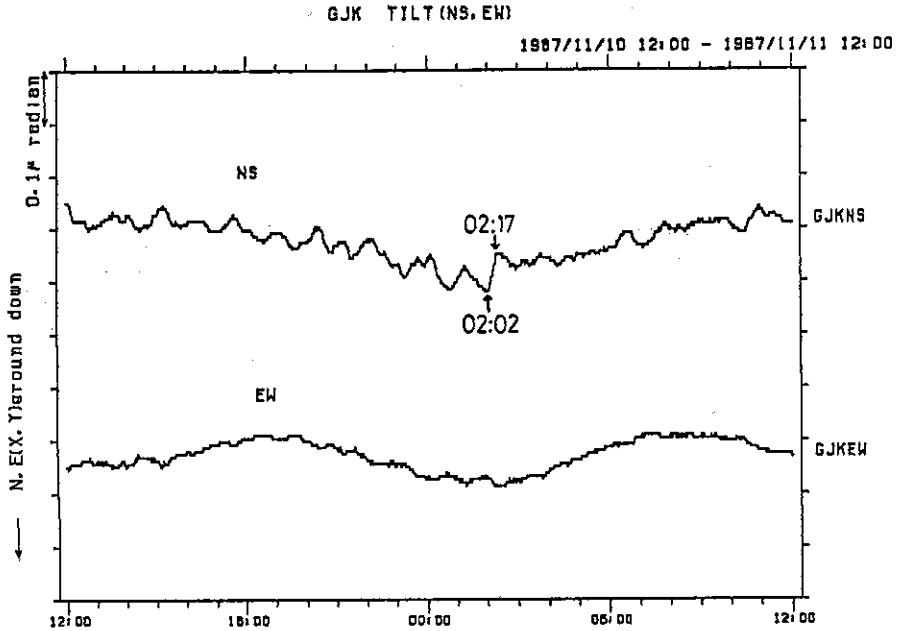


図6 (a) 御神火茶屋 (GJK) における傾斜変動図 (分値プロット)  
 Fig. 6(a) Minutely plots of tilt change at GJK.

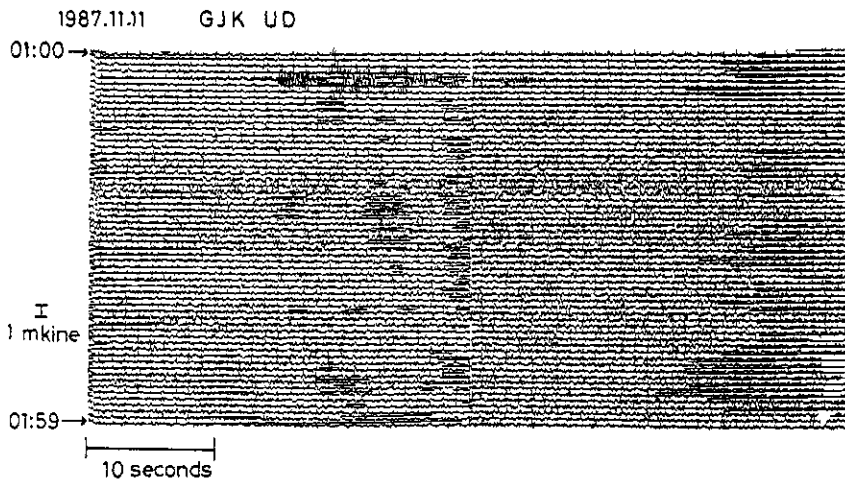


図6 (b) (a)に対応する上下動成分地震記象 (1トレースは1分)  
 Fig. 6(b) Vertical componet seismograms at GJK.  
 One trace consists of one minute seismogram.

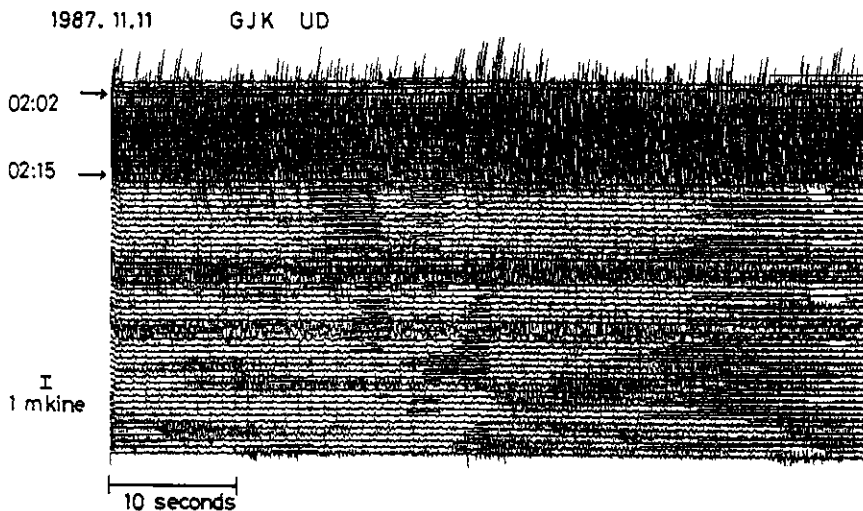


図 6 (c)(a)に対応する上下動成分地震記象 (1トレースは1分)  
 Fig. 6(c) Vertical component seismograms at GJK.  
 One trace consists of one minute seismogram.

別するために、「大振幅微動」と呼ぶ。この大振幅微動は、ノコギリ歯型傾斜変動と時間的によく対応しているが、その対応関係はこれ以前とは逆である(図7)。すなわち、従来は、御神火茶屋において、中央火口方向上がりの傾斜変動に対応して微動が発生するという関係であったが、大振幅微動の場合は、中央火口方向下がりの傾斜変動に対応して微動が発生している。

このデータは、一見マグマ収縮モデルと相反するように見えるが、以下に述べるように、同モデルの立場から矛盾なく説明することができる。マグマ収縮モデルは、中央火口直下のマグマが地下深部に戻っていくことによって生じるマグマ内の減圧をノコギリ歯型傾斜変動発生起動力と考えている。山体が弾性体として振舞うとすれば、

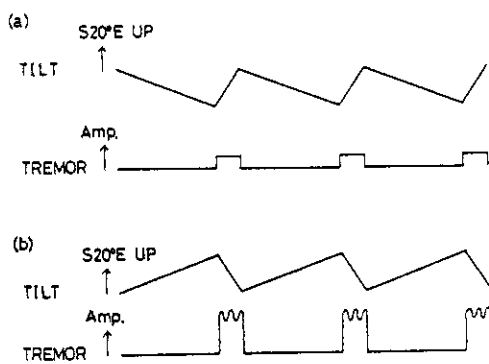


図 7 ノコギリ歯型傾斜変動と火山性微動の(a)正常な対応関係と(b)1987年11月16日の噴火の5日前に観測された異常な対応関係

Fig. 7 (a) Normal correlation between Saw-Teeth-Shaped tilt change and volcanic tremor.  
 (b) Abnormal correlation observed 5 days before the 1987 Nov. 16 eruption.



起動力の向きは長期的な傾斜変動のトレンドの向きと一致する。つまり、マグマの向きが下向き（減圧）であれば山頂は下がる傾向に、上向き（増圧）であれば上がる傾向になる。大振幅微動の発生した時期は、全体として山頂方向上がりの傾斜変動が観測されており、マグマ収縮モデルにおいて想定していた起動力とは逆センスの増圧の場にあったものと考えられる。この起動力によって、ステージⅠに対応する傾斜変動は、山頂方向上がりとなり、この増圧が破壊現象によって緩和されるとすれば、ステージⅡに対応しては、山頂方向下がり傾斜変動となる（図7）。増圧を生じさせる原因としては、深部からのマグマの上昇、あるいは、発泡現象等によるマグマの内圧の増加などが考えられ、いずれにせよ、火山活動の活発化を示すものである。つまり、ノコギリ歯型傾斜変動の山頂方向下がり期間に発生した大振幅微動は、火山活動の活発化を示すシグナルであった可能性がある。

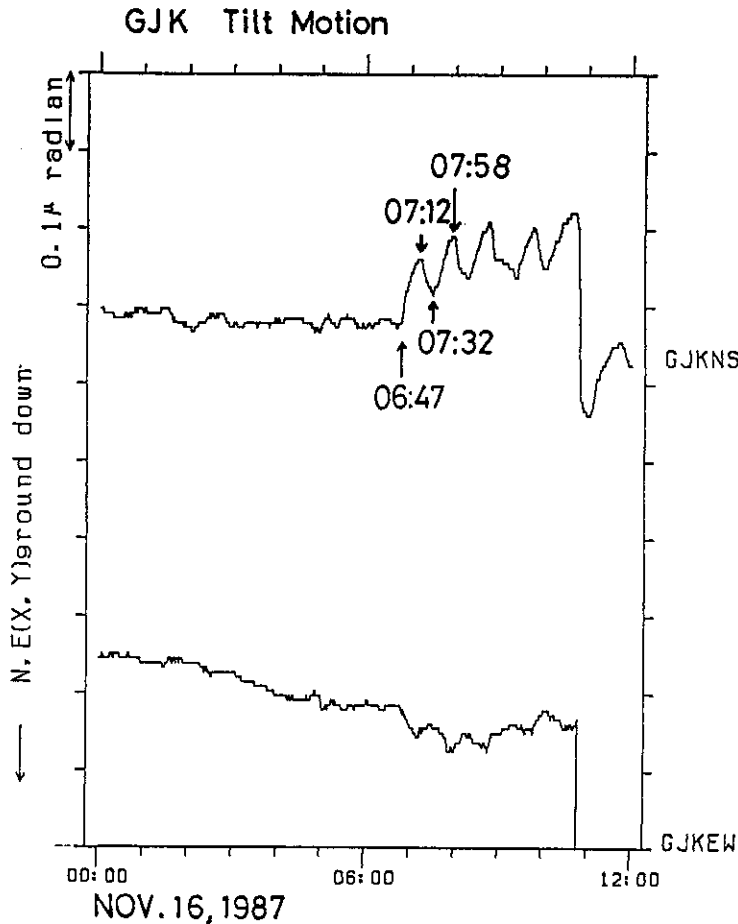


図8 (a) 1987年11月16日の噴火直前の傾斜変動図（分値プロット）

Fig. 8(a) Minutely plots of tilt change at GJK just before the 1987 Nov. 16 eruption.

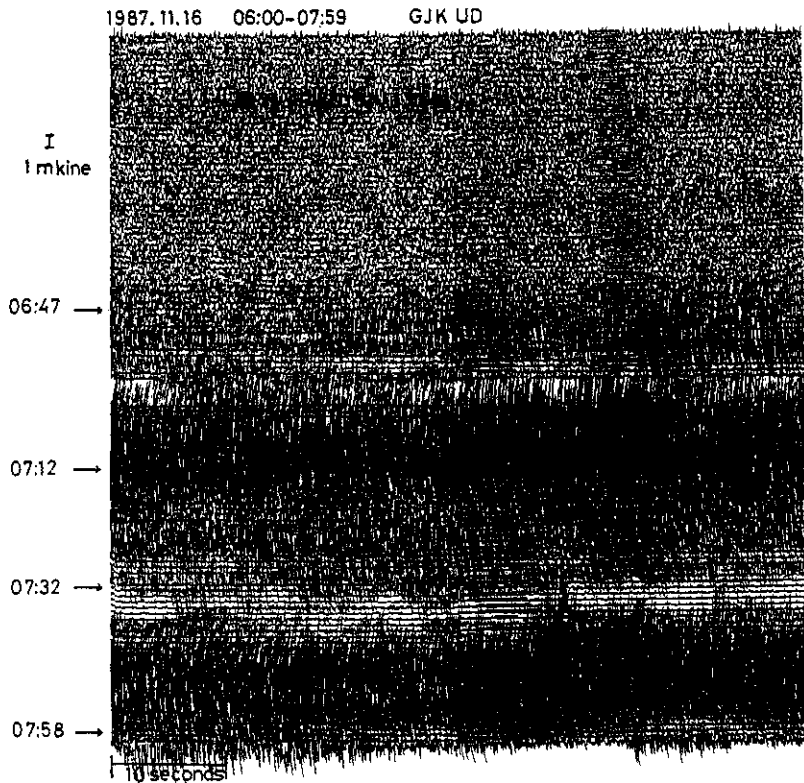


図8 (b) (a)に対応する上下動成分地震記象 (1トレースは1分)  
 Fig. 8 (b) Corresponding vertical component seismograms.

#### 4. 噴火直前の変動

##### 4.1 1987年11月16日の噴火

1987年11月16日10時47分より、中央火口において噴火が始まった。噴出物は、岩塊と火山灰で、噴出量は、数千トンであった(気象庁, 1987a)。この噴火によって溶岩の流出は認められていない。噴火後、中央火口において、約30mの陥没が観測された(気象庁, 1987a)。この噴火の4時間前の6時47分より、山頂方向下がりの緩やかな傾斜変動のトレンドが生じ、その変動に重なって、ノコギリ歯型傾斜変動が振幅を大きくして発生した(図8)。この変動と微動との対応関係は従来とは異なり、傾斜が山頂方向下がりを示すステージの後半部分から山頂方向上がりになるステージの前半部分の区間に対応して、大振幅微動が発生している。この現象は、マグマ収縮モデルによれば、起動力となるべき中央火口直下の圧力の向きが、時間的に変動していることが考えられる。この原因としては、マグマの上下運動によるものとするよりも、発泡現象によって、局所的にマグマの内圧に変化が生じたと考えた方

がよい。なぜなら、長期的なトレンドは、山頂下がりを示しており、起動力の方向は、大略的には減圧と考えられるからである。

#### 4.2 1987年11月18日の噴火

1987年11月18日3時29分頃より、中央火口において噴火が始まった。この噴火の噴出物は主に火山灰で、噴出量は数百トンと推定される（気象庁，1987b）。噴火後中央火口においてさらに100 mの陥没が認められた（気象庁，1987b）。この噴火の約2時間前の1時14分より、山頂下がりへのステップ状の傾斜変動が観測されていた。これは、長期的なトレンドが山頂方向下がりへ向き、その上にノコギリ歯型傾斜変動が重なっていると解釈される。しかも、このノコギリ歯型傾斜変動は、通常とは逆センスで、山頂下がりへの継続時間の短い傾斜変動と同期して、火山性地震（これは、前述の大振幅微動と同一であると考えられる）の発生が認められる（図9）。この現象をマグマ収縮モデルを用いて解釈すると、次のようにな

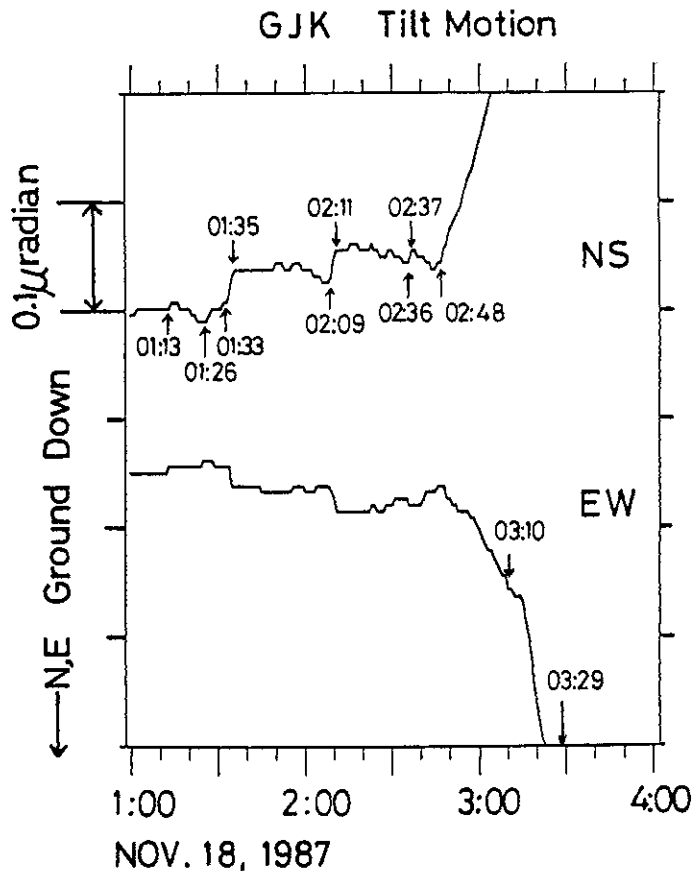


図9 (a) 1987年11月18日の噴火直前の傾斜変動図（分値プロット）

Fig. 9 (a) Minutely plots of tilt change at GJK just before the 1987 Nov. 18 eruption.

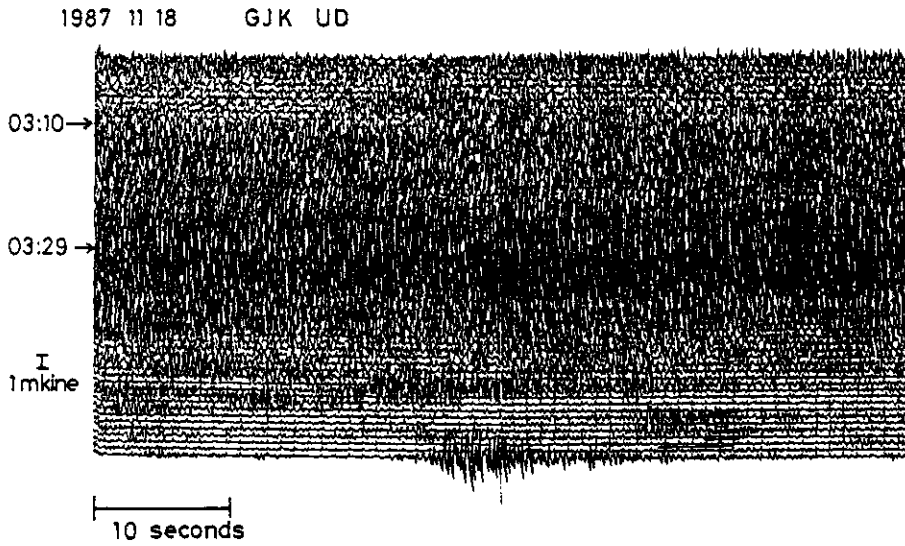


図9 (b)(a)に対応する上下動成分地震記象 (1トレースは1分)  
Fig. 9 (b) Corresponding vertical component seismograms.

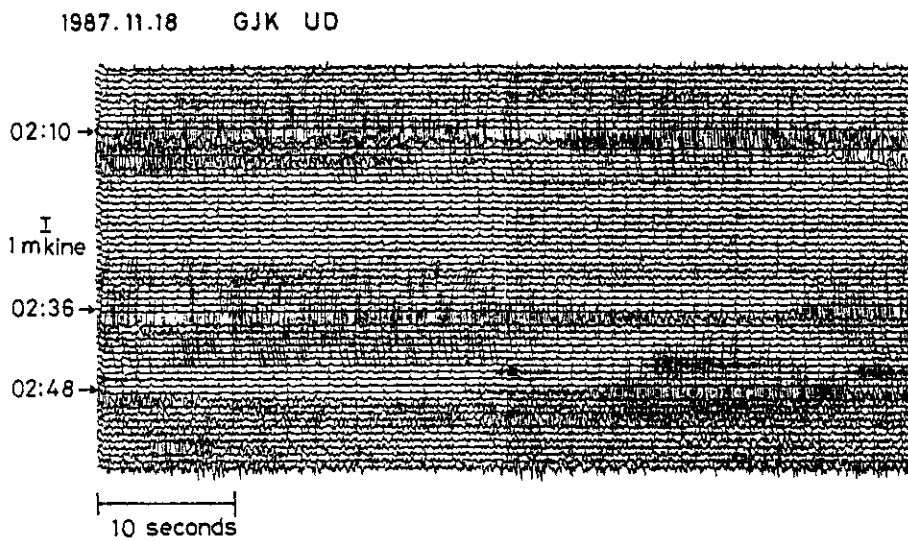


図9 (c)(a)に対応する上下動成分地震記象 (1トレースは1分)  
Fig. 9 (c) Corresponding vertical component seismograms.

1987. 11. 18 GJK UD

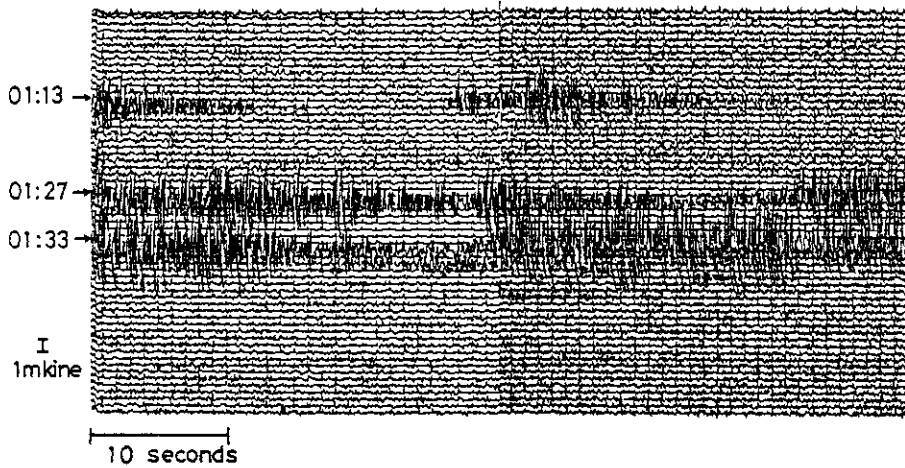


図9 (d) (a)に対応する上下動成分地震記象 (1トレースは1分)

Fig. 9(d) Corresponding vertical component seismograms.

る。長期的なトレンドが山頂方向下がりであることから、起動力は、大局的には減圧である。さらに、山頂方向が下がる傾斜変化をしたときに大振幅微動が発生することにより、マグマ収縮モデルのステージⅠに対応する期間に、弾性変形をするのではなく、破壊現象を起こしてしまう。つまり、この現象の起動力は、急激にマグマが下向きに移動することによる急激な減圧と考えられる。この噴火は、ノコギリ歯型傾斜変動の発生源（図4に示されている1986年11月の噴火によって地下から上がってきたマグマが固化した部分）が破壊され、マグマの後退が進展し、それに伴い地表近くの固化した噴出物が舞い上げられたために発生したものと考えられる。

## 5. 結論

ノコギリ歯型傾斜変動が確認された1987年2月から今回の噴火直前の1987年10月の間は、傾斜トレンドはやや山頂方向下がりであり、火山性微動がステージⅡの期間に発生していた。この期間は、地表面に現われる目立った火山活動はなく、火山活動は沈静化の方向に向かっていたものと考えられる。

しかし、11月11日には、傾斜トレンドが中央火口方向上がりであり、ノコギリ歯型傾斜変動の山頂方向上がりの期間に対応した大振幅微動が観測された。このデータは、マグマ収縮モデルに基づいて考えると、火山活動の活発化を示唆するものと解釈される。

11月16日6時47分の噴火4時間前からは、ノコギリ歯型傾斜変動との対応がはっきりしない大振幅微動が山頂方向下がりの傾斜トレンドをともなって発生した。この噴火は、局所的

なマグマの内圧の増加によるものと考えられる。

11月18日3時29分の噴火約2時間前からは、ノコギリ歯型傾斜変動の山頂方向下がりの特徴に対応する火山性地震が、山頂方向下がり傾斜トレンドをともなって発生した。この噴火は、マグマが大幅に後退し、ノコギリ歯型傾斜変動の発生源を壊し、その際に、周囲の物質を舞い上げることによって生じたと考えられる。

以上の結果は、マグマ収縮モデルに基づいて、ノコギリ歯型傾斜変動とサイスミックな活動との関連性を調べることによって、火山の活動状態の把握が可能となることを示している。すなわち、火山性微動や火山性地震の発生状況とノコギリ歯型傾斜変動の発生パターンとの対応関係と傾斜の長期的なトレンドを監視することで、火山活動の活発度の評価が可能になると考えられる。

## 謝 辞

本論文を作成するにあたって、大竹政和主任研究官（地震予知総括）、鈴木芳宏地殻力学研究室長には、有益な助言を頂いた。ここに謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) 福山英一(1988)：伊豆大島の火山性微動と同期したノコギリ歯型傾斜変動，火山特集号「伊豆大島1986年の噴火」（投稿中）
- 2) 古本宗充・國友孝洋・井上 公・嶋田基史・深尾良夫・山田功夫・高木靖彦・早川雅彦・出原 理・小林美佐子・水谷 仁・高木治三(1987)：伊豆大島カルデラ北部における火山性微動の観測，地震学会講演予稿集，1987年秋季，152。
- 3) 伊神 輝(1987)：伊豆大島カルデラ東部における火山性微動の観測，地震学会講演予稿集，1987年秋季，153。
- 4) 加茂幸介・石原和弘(1986)：地殻変動連続観測で捕捉された山頂噴火の前駆現象，京都大学防災研究所年報，29B-1，1-12。
- 5) 神定健二・佐藤 馨・上垣内修(1987)：体積歪計の変化からみた1986年伊豆大島火山噴火活動の推移，月刊地球，9，409-418。
- 6) 気象庁(1987a)：第12回火山噴火予知連絡会大島部会資料，1987年11月16日
- 7) 気象庁(1987b)：第13回火山噴火予知連絡会大島部会資料，1987年11月18日
- 8) Klein, F.W. (1984)：Eruption forecasting at Kilauea volcano, Hawaii, *J. Geophys. Res.*, **89**, 3059-3073.
- 9) 宮崎 努・坂下至功・行田紀也・長田 昇・江頭庸夫・清水 洋(1987)：伊豆大島火山における水準測量—1987年3月～7月末—，日本火山学会講演予稿集，1987年秋季，17。
- 10) Swanson, D.A., T.J. Casadevall, D. Dzurizin, R.T. Holcomb, C.G. Newhall, S.D. Malone, and C.S. Weaver (1985)：Forecasts and predictions of eruptive activity at Mount St. Helens, USA: 1975-1984, *J. Geodynamics*, **3**, 393-423.
- 11) 渡辺秀文・大久保修平・沢田宗久・田島広一・坂下至功・横山 泉・前川徳光(1987)：伊豆大島火山1986年噴火に伴う重力変化，日本火山学会講演予稿集，1987年秋季，18。
- 12) 山岡耕春・坂下至功・渡辺秀文(1987)：地震計アレイによる火山性微動の観測，日本火山学会講演予稿集，1987年秋季，14。

(1988年1月20日 原稿受理)