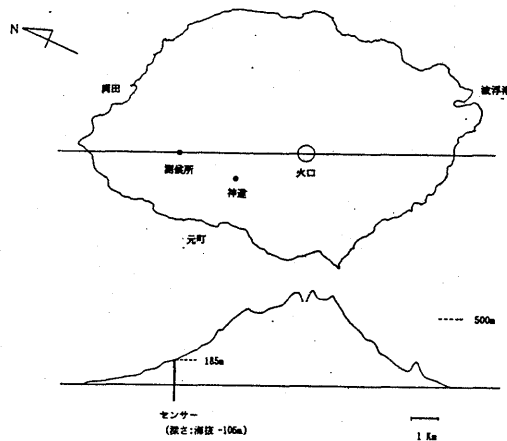


# 伊豆大島噴火に伴なう体積歪計の変動\*

気象庁\*\*

「1986年伊豆大島噴火」と前後して、大島を中心とした周辺の体積歪観測点で噴火活動と関連すると思われる数多くの変動が観測された。第1(a)図に最も顕著な変動を記録した大島体積歪計の埋設位置を示す。また第1(b)図に観測孔底付近の地質構造を柱状図で、第1(c)図に歪計埋設状況を模式図でそれぞれ示す。なお、大島では体積歪計以外に、観測孔付近に気圧計を、歪計センサー直上モルタル内に温度計をそれぞれ設置し並行観測を行なっている。測器の特性については、体積歪計については二瓶ら(1987)、気圧計は檜皮ら(1983)、温度計は沢田ら(1984)を参照されたい。

第2図に大島の観測開始以来の永年トレンドを日平均値で示す。初期の急激な伸びはセンサー埋設に使用したモルタルの凝固熱の発生の衰えに伴い熱拡散が卓越し、センサー付近の媒質が冷却する事によるみかけ上のものとして解釈できる。伸びが止まった以降の時期については、周辺テクトニクスや地震活動と関連すると思われる現象が数多く記録されてきた(二瓶ら(1987))が、今回の噴火に伴った変動は、その大きさ、顕著なトレンド変化の頻度等で群を抜いている事がわかる。以下、低感度長周期成分(LP)、高感度短周期成分(SP)、気圧・潮汐応答という3つの観点から大島の活動を論ずる。第3図にLP、SP成分の周波数特性を相対振幅特性図で示す。



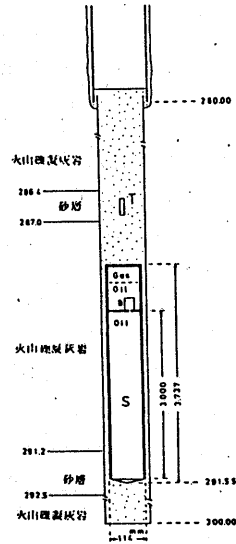
第1(a)図 大島体積歪計埋設位置  
神達地震計設置位置もあわせて示す。

Fig.1(a) Location map of OSHIMA volumetric strain meter and KANDACHI seismogram.

\* Received Aug. 15, 1987

\*\* 上垣内修・佐藤 馨

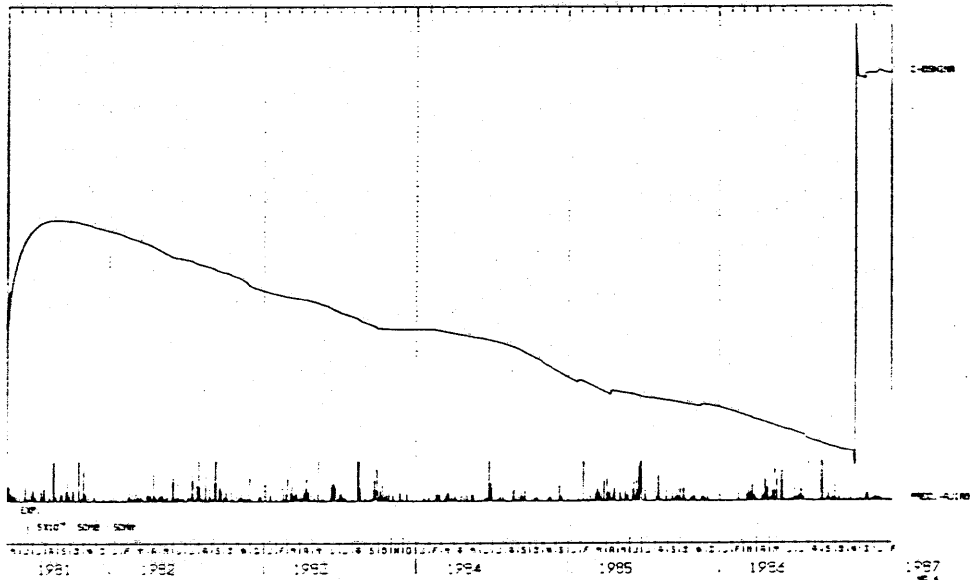
深度 (m)	地質名	色調
201.00	玄武岩	赤黒色
207.70	玄武岩	灰白色
218.00	玄武岩	赤黒色
224.20	玄武岩	灰白色
229.40	凝灰岩、輝岩の互層	黄緑色
234.30	玄武岩	灰白色
240.00	凝灰岩	黄緑色
249.00	玄武岩	灰白色
268.40	凝灰岩	黄緑色
270.90	火山礫岩	黒色
280.00	凝灰岩	灰白色
300.00		



第 1(c)図 大島体積歪計の埋設状況  
T は温度計を表わす。

Fig.1(c) Schematic map of the settlement of OSHIMA volumetric strainmeter in bottom of the bore-hole. T stands for the thermometer.

第 1(b)図 大島体積歪計埋設深度付近の地質柱状図  
Fig.1(b) Columnar section in the vicinity of the settled depth of OSHIMA volumetric strainmeter.



第 2 図 大島体積歪永年変化  
気圧補正済日平均値で示す。網代における日降水量もあわせて示す。  
Fig.2 Daily mean value of OSHIMA volumetric strain as a secular variation. Corection for atmospheric perturbation is done. Daily precipitation at AJIRO is also shown.

# 1. 長期トレンドから見た火山活動

第4, 5, 6 図に長期トレンドとしてのLP成分で見た時の顕著なフェーズをローマ数字で示す。ただし, 第4 図および第5 図には統計数理研究所と緯度観測所の共同研究による潮汐解析プログラムBAYTAP-G (石黒ら (1984)) を用いた潮汐・気圧補正結果もあわせて示す。すなわち, 地殻変動データを以下に示す式の様に分解した結果である。

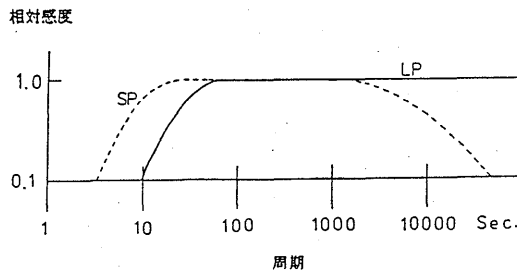
$$\text{①地殻変動データ} = \text{②} \left\{ \begin{array}{l} \text{トレンド} \\ + \\ \text{降水等未知入力に} \\ \text{対する応答成分} \end{array} \right\} + \text{④潮汐応答成分} + \text{⑥気圧応答成分}$$

$$\begin{array}{ccc}
 \uparrow & & \uparrow & & \uparrow \\
 \text{⑦降水} & & \text{③起潮力ポテンシャル} & & \text{⑤気圧変動}
 \end{array}$$

丸内の数字は図中グラフの上段からの順序を表わす。

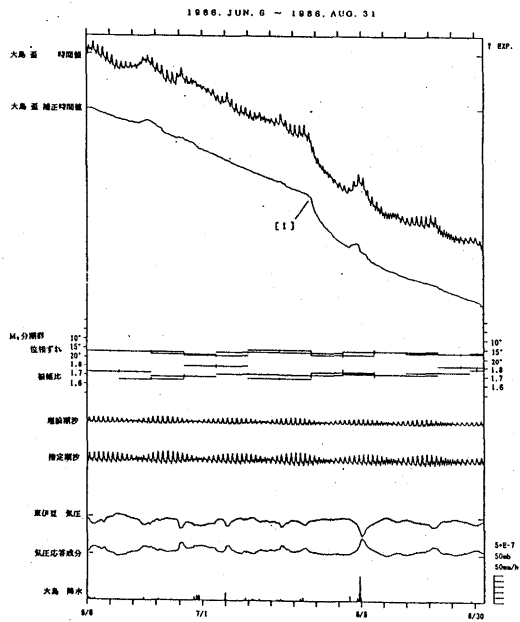
この補正により, 詳細な変化まで識別可能となるのがわかる。また, 同図には潮汐, 気圧応答成分とともに潮汐定数の時間変化も示したが, これについては後述する。ローマ数字で示されたフェーズについての解説記事は第1表にまとめた。なお, ローマ数字は付されていないが, 1987年2月末からの伸び~縮みは, IX~Xと同様の現象と考えて良い。これらのフェーズのうち, 温度の上昇・下降によるみかけの縮み, 伸びで説明可能なもの以外については大島の地下深部のマグマだまりの圧力増減(それぞれ体積歪は伸び・縮みに対応)によって定性的に説明可能と思われるが, 1986年12月18日の山頂噴火については, その余効が全くと言って良い程記録されていない等の問題も残されている。

「温度変化によるみかけの伸び・縮み」について説明しておく, 体積歪計では検出機構にシリコンオイルを介在させているため原理的に温度変化の影響を受けやすい。各種設計値より, 1℃の温度上昇に対して約  $2 \times 10^{-4}$  strain の縮みとなる。その係数を用いて, 気圧・潮汐補正後の時間値に対して温度補正を行なった結果を第7図に示す。この様にフェーズ[I]前後でのトレンドの変化が見えなくなり, 温度上昇によるみかけの変化であった事がわかる。ただし, 本当に解決しなければならないのは温度変化の原因である事は言うまでもない。



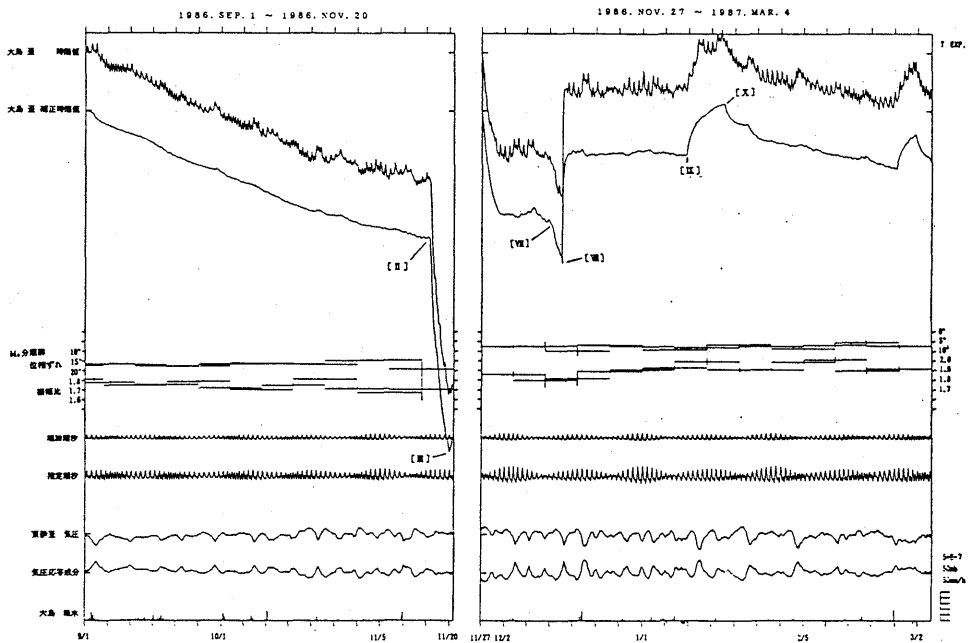
第3図 SP, LP成分の相対振幅感度周波数特性

Fig.3 Frequency dependence of relative sensitivity for SP and LP component.



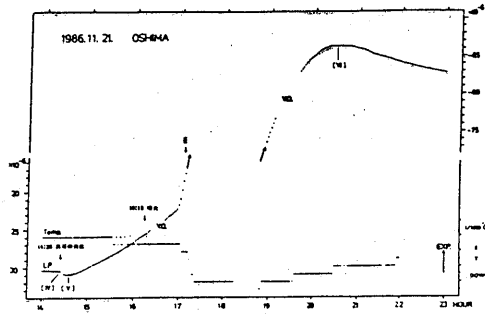
第4図 大島体積歪時間値とその成分別分解結果  
詳しくは本文参照

Fig.4 Hourly data of OSHIMA volumeric strain  
and its decomposition. See the text for detail.



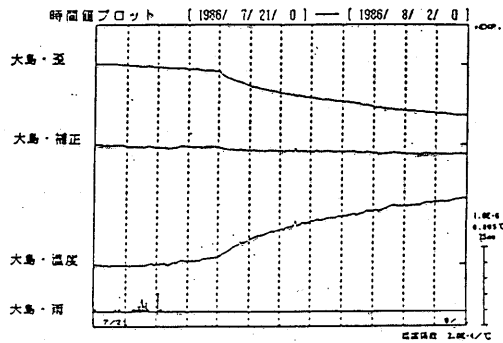
第5図 第4図に同じ

Fig.5 The same as figure 4.



第6図 昭和61年11月25日 伊豆大島火山噴火直前・後での大島体積歪および坑底温度変化

Fig.6 Variation of OSHIMA volumetric strain and temperature at the bottom of the bore-hole before and after IZU-OSHIMA eruption in November 21, 1986.



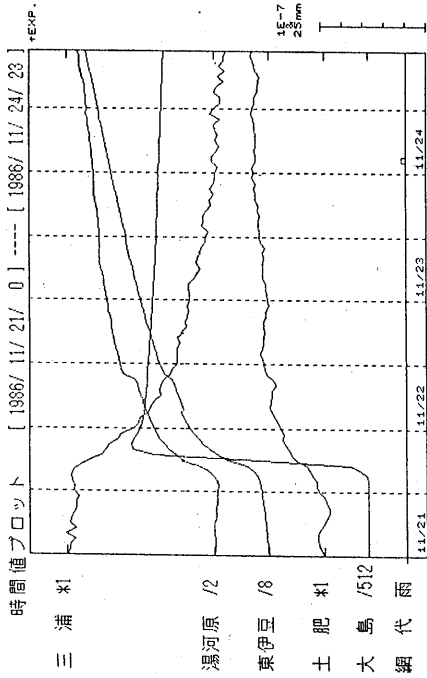
第7図 大島体積歪および坑底温度変化と温度補正された体積歪変化 (フェーズ[I]の前後)

Fig.7 Variation of OSHIMA volumetric strain and temperature at the bottom of the bore-hole and volumetric strain with corection for temperature change before and after the phase [I].

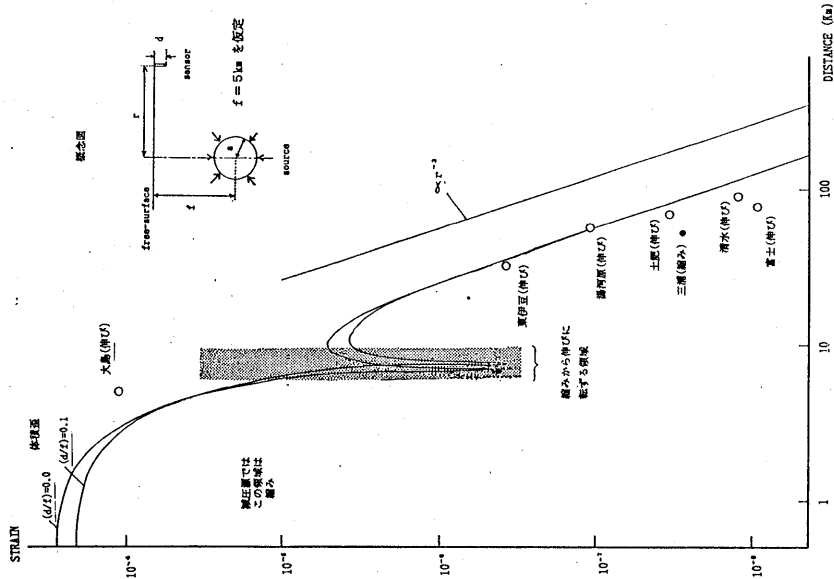
第1表 第4, 5, 6図に示された顕著なフェーズに関する説明事項

現象番号	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
発生時刻	1986年 7月25日	1986年 11月15日 18時21分	1986年 11月20日 0時頃	1986年 11月21日 14時25分	1986年 11月21日 14時32分	1986年 11月21日 20時30分頃	1986年 12月12日	1986年 12月14日 15時50分	1987年 1月10日	1987年 1月18日
L P 現象	縮みトレンド増 以前は約 $3.2 \times 10^{-8}$ / day)	縮みトレンド増	伸びに転じる	ほぼトレンドなし→縮み	伸びに転じる 17時頃より加速	縮みに転じる	縮みトレンド増 大	伸びに反転	ほぼトレンドなし→伸び	縮みに反転
大きさ	約 $0.9 \times 10^{-6}$ の 付加的縮み	約 $3.4 \times 10^{-6}$ の 縮み	約 $0.3 \times 10^{-6}$ の 伸び	約 $0.5 \times 10^{-6}$ の 縮み	約 $1.2 \times 10^{-4}$ の 伸び	約 $2.0 \times 10^{-5}$ の 縮み	約 $0.7 \times 10^{-6}$ の 縮み	約 $1.8 \times 10^{-6}$ の 伸び	約 $0.8 \times 10^{-6}$ の 伸び	約 $0.3 \times 10^{-6}$ の 縮み
継続時刻 (終了時刻)	約9日	約4.6日 (III)	約1.5日 (IV)	7分間 (V)・ (VI)	約6時間 (VI)	約10日(12月 1日0時頃)	約2.6日(14日 15時15分)	約1.5日	約8日 (X)	約2日
S P 現象	なし	ゆっくりとした 縮み	なし	IVの前に変動顕 著	観測不能	IIと同様	なし	備考参照	なし	なし
微小ステップ状現象	発生中 (1986年4～ 12月)	大島付近の地震 に伴い伸びのス テップ	なし	同上	同上	同上	発生中 (12月4～12日) わずかわずか	17日から微動に 伴う伸び ステップ	1月初旬からのステップは 本文参照	
坑底温度変化	$4 \times 10^{-3}$ ℃の 上昇	なし	なし	なし	最大時で $7 \times 10^{-3}$ ℃の低下	Vの温度低下は 22日までにはほ ぼ戻る。	$3 \times 10^{-3}$ ℃の 上昇	なし	$4 \times 10^{-3}$ ℃の 低下	$1 \times 10^{-3}$ ℃の 上昇
火山活動・動 微動発生	間欠的に火山性 微動発生	同日17時25分 山頂噴火。16日 より火山性地震 も激減。	19日23時頃 噴火活動急激に 衰え、微動振幅 も激減。	IVに数分の先行 する地震活動再 開	同日16時15分 噴火。 M = 6.1の地震 も発生	夜半までに噴火 地震数減少	なし	18日17時23 分山頂噴火。 17～21日には 間欠的微動	微動発生については本文参照	
降 水	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
備 考	温度変化による みかけのものが 主。	噴火の前兆らし きものは、1日 前からやや縮み が緩やかになっ た事以外なし。	21日午前から の活動再開に伴 い伸びトレンド やや緩やかにな る。		温度低下は岩体 の断熱膨張では は説明可。		温度変化による みかけのものが 主。	伸び反転の直前 10分間に約 $4.5 \times 10^{-8}$ の縮み。 波形はIV～Vに 類似。 山頂噴火の前兆 は $10^{-8}$ 位のゆ らぎのみ。 余効はなし。		温度変化によるみかけのものが主。

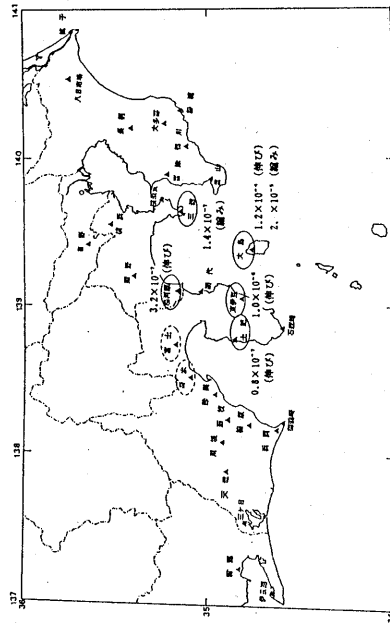
(a)



歪変化にともなう噴火直前～大島が増みに転じた時点と大島からの距離の関係図



異常変化発生以来の積算歪量 (1986.11.21~12.2)



- 第 8(a) 図 昭和 61 年 11 月 21 日 伊豆大島火山噴火前後での大島を含む周辺観測点での体積歪変化  
 気圧・潮汐補正された時間値で示す。観測点名右の数値はスケールに対する倍率を表わす。
- 第 8(b) 図 大島および周辺観測点での体積歪総変化量
- 第 8(c) 図 山川モデルによる理論体積歪変化量と観測量。横軸は伊豆大島火口からの水平距離  
 Fig. 8(a) Volumetric strain change with corrections for atmospheric perturbation and tide in  
 and around IZU-OSHIMA before and after the eruption in November 21, 1986.  
 Numerals in the right of station-names stand for the amplification relative to the scale.
- (b) Net volumetric strain change at the stations in and around IZU-OSHIMA.
- (c) Observed volumetric strain changes in relations to the theoretical values calculated from  
 YAMAKAWA-model. Abscissa is for horizontal distance from IZU-OSHIMA crater.

1986年11月21日の噴火に伴って、大島を中心とする周辺観測点で顕著なトレンド変化が記録された。第8(a)図に潮汐・気圧補正後の変化を時間値で示す。また、第8(b)図で示した地点以外にも変化が現われており、それらの総変化量を地図上に示したのが第8(c)図である。これらの変化を統一的に説明するため、茂木～山川モデル(山川(1955))を導入する。すなわち、大島火口直下5 kmに球対称圧力源を仮定する。これはマグマだまりを想定したものである。その様な減圧によって任意の距離、深さで期待される体積歪と実際の観測値をあわせて示したのが第8(d)図である。参考のため面積歪についても計算したが、体積歪のパターンと大差はないので省略する。大局的にはこのモデルによって説明可能である事がわかる。しかし、i) 三浦の縮みセンス、ii) 大島の変化の他点との顕著な差異と伸びのセンスについては説明不能である。ii) の伸びセンスを説明するために極浅部(3 km以浅)に小容積高減圧源を置く事も考えられるが、減圧量が現実的でない値となる。また、圧力源の形状をくさび型等の球以外に置きかえても、様な圧力減であれば、遠方での伸び・縮みの方位依存性は現われなと思われ、i) に対する説明モデルとはならないであろう。第6図は噴火直前～直後の大島の変化の拡大図であるので再度着目すると、上記モデルによる縮みに、他の原因による伸びが重なったものと見る事ができる。噴火を伴わず、マグマだまりに減圧をもたらすメカニズムとして、マグマ貫入による液体部容積増を想定するならば、貫入に伴った体積歪計設置周辺部分の陥没による応力開放で伸びセンスを説明するモデルも可能であろう。また、陥没により正断層が形成される事になるが、これによってもたらされる四象限型の体積歪パターンによりi) を定量的に説明する事も可能かもしれない。

なお、前記球対称減圧源モデルでは球の半径と減圧量は独立には求まらないが、半径として仮定する量を変化させた時の対応する減圧量を以下に示す。ただし地殻の剛性率として $3 \times 10^{11}$  dyne/cm<sup>2</sup>を仮定した。圧力源の深さ付近での静水圧を考えあわせると、半径は2 kmよりは大きいと推定される。

また、フェーズ(VIII)以降、温度変化によるみかけの歪変化以外ではトレンドがほぼゼロあるいは以前のトレンドの約半分になっている。同様の現象は1983年の三宅島噴火直後にも見られており興味深い。今回に関しては陥没による周辺テクトニクスからのデカップルとしても考えられよう。

半 径 ( km )	減 圧 量 ( bar )
5	約 90
3	約 400
1	約 10k

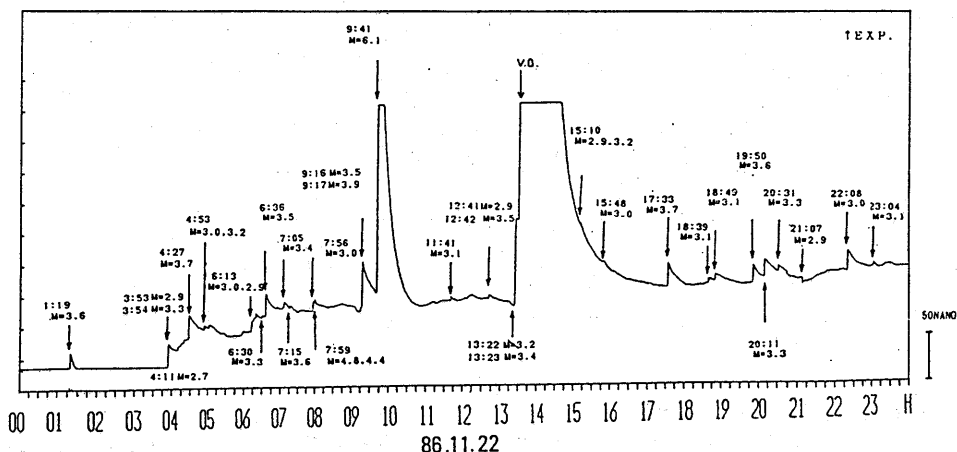
## 2. 短期的変化から見た火山活動

大島ではこれまでも“ステップ”と呼ばれる立ち上がり時間数分のシャープな変化が数多く記録されてきた(沢田ら(1984))が、局所的地震の発生との対応は認められなかった。しかし今回の一連の活動については、地震発生および火山性微動発生と歪ステップの発生との間に非常に良い対応が認められる。第9図は地震発生と良い対応を示すステップのSP成分での変化である。そのほとんどが伸びのセンスを示しているため、地震の発震機構解との対応は考えにくい様であるが、ステップの振幅と地震波の振幅の間には相関関係が認められる。



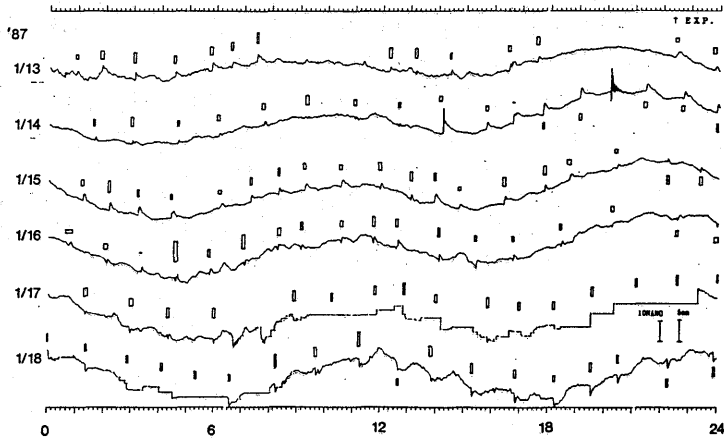
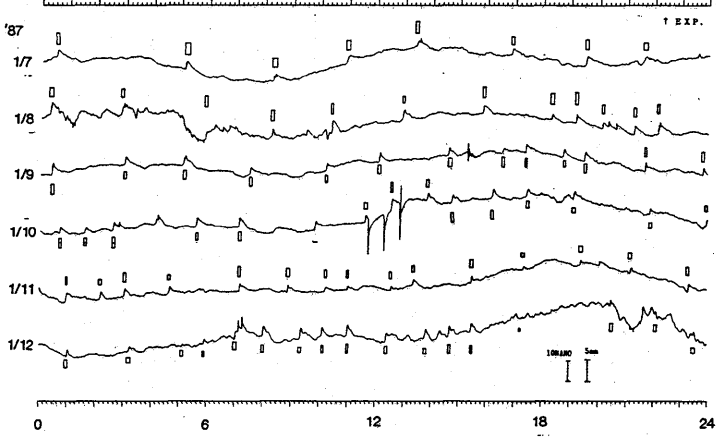
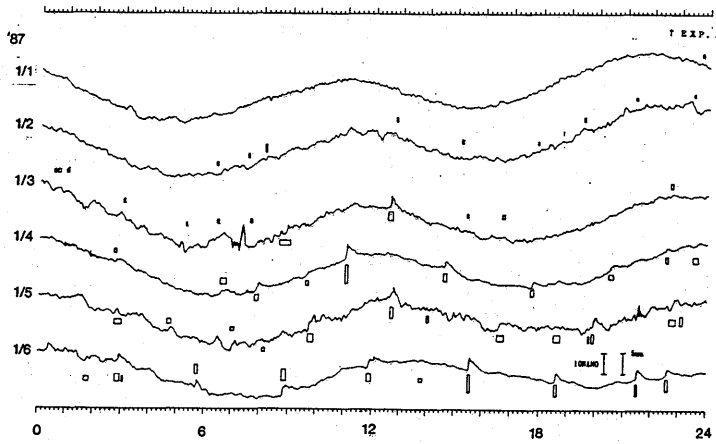
第10(a)~(e)図に火山性微動と良い対応を示すステップ変化をSP成分で示す。白ぬきの四角の横辺が微動発生期間に、縦辺が神達観測点地震計での微動最大片振幅を表わす。神達観測点の位置は第1図を参照されたい。第10図には一月末までの例しか示されていないが、二月以降の状況は1月25日のSP波形によって代表されている。ステップは微動の発生とほぼ同時か数分遅れて立ち上がり、微動の停止と同期して歪変化は極値をむかえる。微動の周期は1月初旬は長周期卓越(0.5~1 Hz)であったが、中旬から短周期成分が重なりはじめ、22日頃から顕著となった(5~6 Hz)。それと対応して、ステップのセンスも伸びから遷移的段階を経て縮みへと移行している。1986年12月18日の山頂噴火前にも火山性微動の発生と対応したステップが記録されたが、その状況は1987年1月初旬のそれとほぼ同じである。SP成分は2時間以上の周期の変化については歪速度に比例した特性を示すので、ステップによって歪が蓄積されるかどうかの判断は困難である。そこでLP成分に対して潮汐・気圧の補正を行なったものが第11図である。LP成分は周期無限大まで平坦な振幅特性を持つため、実際の現象そのままの変化を記録する。1月初旬のステップ変化については微妙であるが、中旬以降(1987年2月現在も同様)については歪は蓄積されていない事がわかる。ただ、ステップ発生頻度とステップ振幅から期待される歪蓄積量と実際の長期トレンドの傾向の比較等から、初旬についても歪の蓄積はなかったものと推定される。が、極値に達してから回復に要する時間は、伸びのセンスに変化していた初旬頃の方が縮みに転じてからに比べて明らかに長く、単なるセンスの反転でない事がわかる。

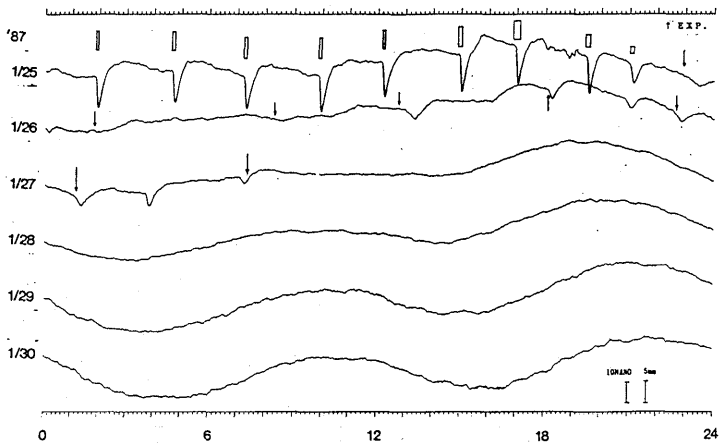
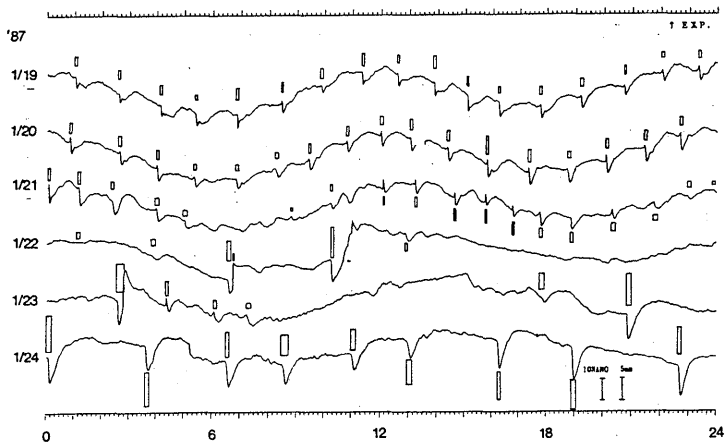
第12図に微動発生間隔および歪ステップと微動の振幅比の時間的变化を示す。特筆すべきは①微動発生間隔の一定化と②微動に比べて効果的にステップ変化が現われる様になった事である。この2点および③ステップ変化のセンスの連続的遷移、④微動発生、終了とステップ変化との時間的対応、⑤ステップに蓄積歪はのっていない事等が火山性微動の発生のメカニズムと考える上で強力な拘束条件となるであろう。



第9図 火山性地震の発生と良い対応を示す大島体積歪ステップ変化例  
V.O. はバルブオープンを表わす。

Fig.9 Examples of volumetric strain step correspond with the occurrence of the volcanic earthquakes. V.O. stands for the valve-open.

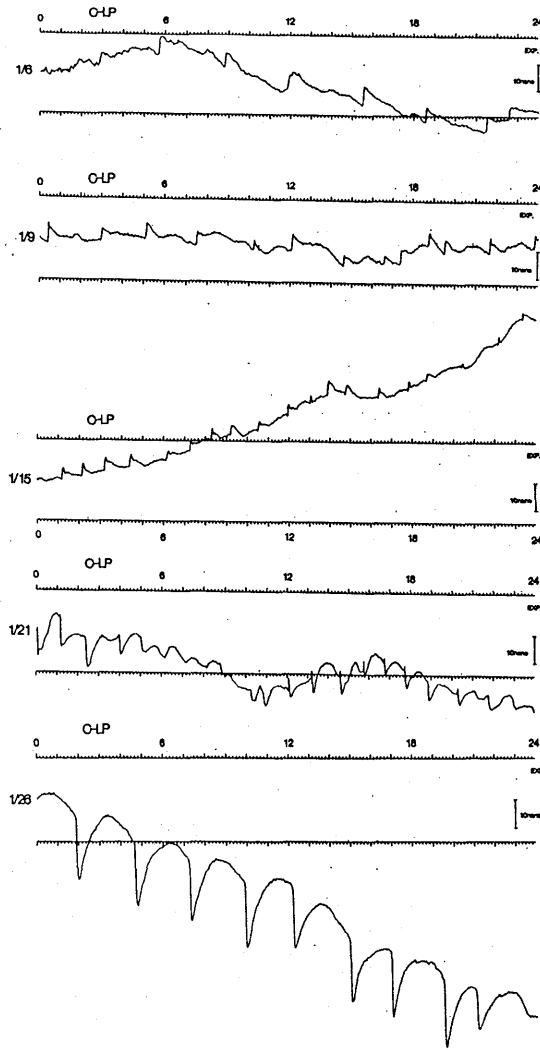




第10(a)~(e)図 火山性微動と良い対応を示す大島体積歪ステップ変化例をSP記録で示す。図右下のスケールはそれぞれ歪： $10^{-8}$  ストレイン，微動：神達における最大片振幅5mmに相当。詳しくは本文参照。

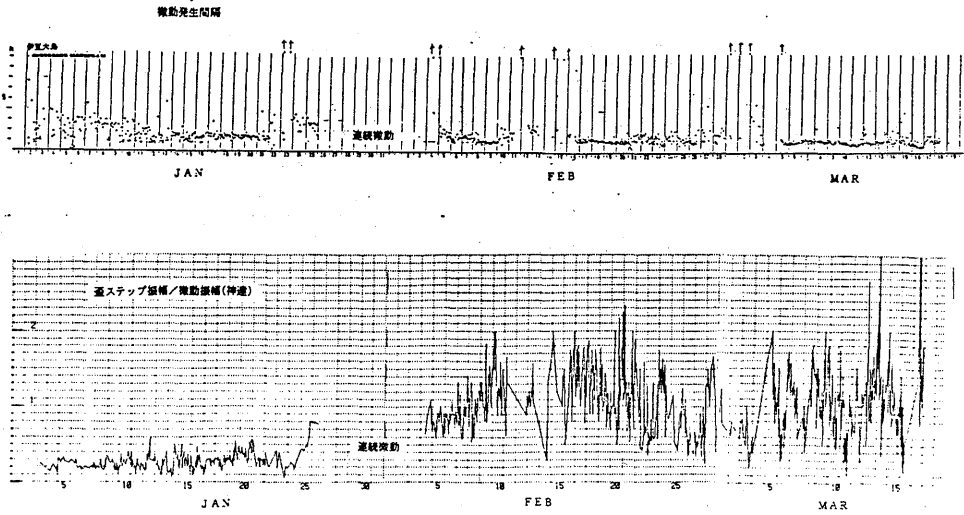
1月10日正午前後に感度検定，1月17~18日には欠測有。

Fig.10(a)~(e) Volumetric strain step as SP component correspond with volcanic tremor. The scale correspond to 10 nano strain and 5 mm of maximum-half-amplitude recorded at KANDACHI seismogram. There are calibrations in January 10, and lackings from January 17 to 18. See the text for detail.



第 1 1 図 気圧・潮汐補正後の大島体積歪ステップ変化例  
L P 記録で示す。

Fig.11 Volumetric strain step as LP component  
with corrections for atmospheric perturbation  
and tide correspond to volcanic tremor.



第12図 1987年1月～3月における 上段：伊豆大島火山性微動発生間隔  
 および 下段：神達における微動振幅に対する歪ステップ変化の  
 変化量の比。下段の縦軸のスケールは任意。

Fig.12 Upper : Time interval of the occurrence of IZU-OSHIMA  
 volcanic tremor.  
 Lower : Relative amplitude ratio of volumetric strain  
 step to volcanic tremor amplitude recorded at  
 KANDACHI seismogram. The scale is arbitrary.

⑤より歪変化をもたらすソースは、時間的に階段状でなく、インパルス状でなければならない。増圧インパルスを想定すれば、③よりソースは深部から浅部へ移動したと考えるべきであろうし、実体波と歪との幾何学的減衰特性からも②は調和的である。ただし、①や、歪変化の回復に要する時定数の短期化から考えて、微動発生メカニズム自体も一月初旬から下旬にかけて変化したのではないと思われる。今後、傾斜計データ等の他の観測項目とあわせる事によりさらに有効な情報となる事が期待される。

第13図に大島測候所のモニター記録計による歪記録を示す。アナログ連続記録であるため、短周期の振動も記録されている。ただしペン位置に相対ずれがあるため等時性には注意を要する。図中に矢印で示したのが同時刻に対応する。横軸一目盛が2時間である。1986年1月20日未明頃からSP記録に縮み方向のステップおよび振動的波形が明瞭に記録されている。噴火後、21日夜までに5回のパルプオープンを行なったためSP記録は非常に乱れている。LP記録では噴火直前の縮みが明瞭である。

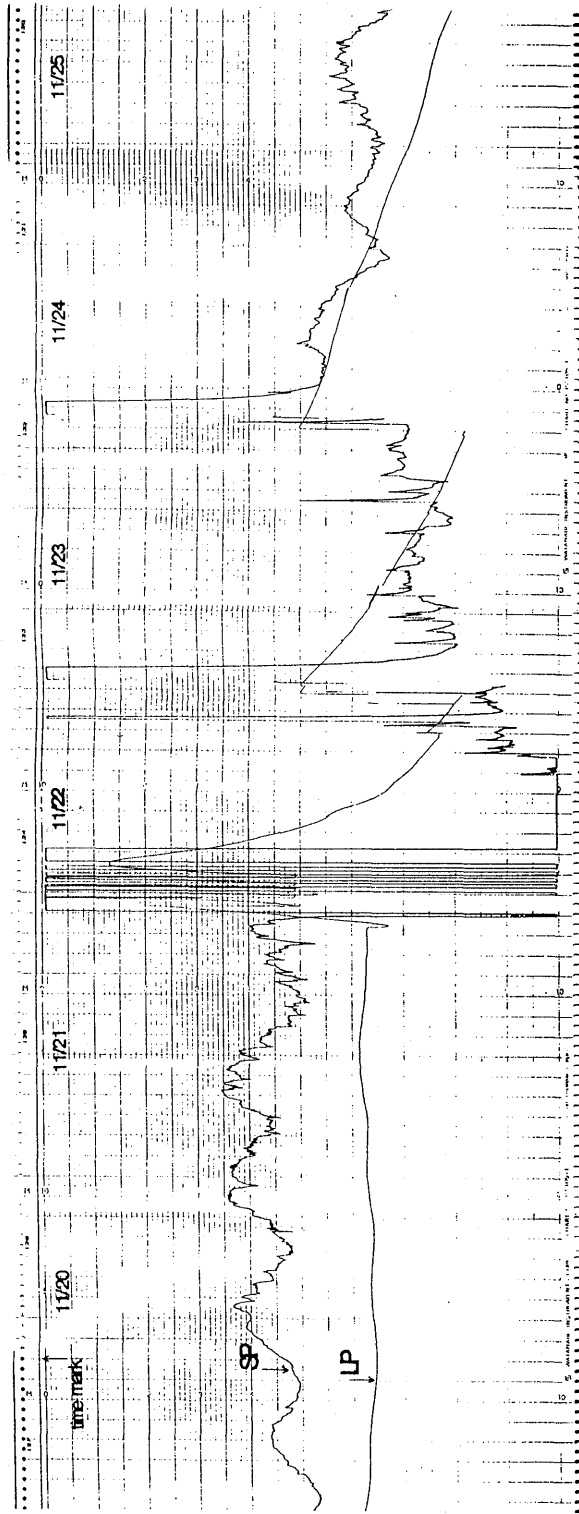
### 3. 気圧・潮汐応答から見た火山活動

再び第4, 5図に戻る。前述のBAYTAP-Gにより大島の体積歪記録に含まれる気圧・潮汐応答成分を抽出し、応答係数の時間変化を示した。解析は一解析区間を14日とし、7日づつ重複させながら行なった。十字印の横棒の高さで係数の値、長さで解析区間、縦棒の長さで誤差を表わす。補正結果は抽出後の残差として、係数の信頼性を見る上でのめやすとなる。大島では位相ずれ角の変化を伴わない経年的

潮汐振幅の増大が報告されている(沢田ら(1984))が、噴火前後で、そのレートと比較しても有意に大きな振幅比増大が認められる。さらに位相ずれ角(正が進み)が有意に遅れ方向に出ているのが今回の特徴である。図には最も精度良く求めた  $M_2$  分潮群に対する結果のみ示したが、他の分潮群についても上述の傾向が認められる。気圧係数(檜皮ら(1983))については補正結果に見られる様に若干の任意性が残る様であるので、図には示さなかったが、(係数を推定する上で、補正後データの滑らかさにどれだけの重みを置くかで結果が異なるため)潮汐振幅比の増大に対応して気圧係数の減少という傾向が見られる様であり、本当だとすると興味深い。これらを海洋潮汐の荷重による効果もあわせて、地殻のみかけの弾性定数の変化によって説明するモデルも可能と思われる。

### 参 考 文 献

- 1) 石黒真木夫, 佐藤忠弘, 田村良明, 大江昌嗣(1984):「地球潮汐データの解析」, 統計数理研究所集報 32, p 77~85.
- 2) 沢田可洋, 福井敬一, 佐藤 馨, 二瓶信一, 福留篤男(1984):「1983年三宅島噴火前後に伊豆大島の体積歪計で観測された特異な現象」, 火山-29, p 141~152.
- 3) 二瓶信一, 上垣内修, 佐藤 馨(1987):「埋込式体積歪計による観測(1)」, 験震時報 50, p 65~88.
- 4) 檜皮久義, 佐藤 馨, 二瓶信一, 福留篤男, 竹内 新, 古屋逸夫(1983):「埋込式体積歪計の気圧補正」, 験震時報 47, p 91~111.
- 5) 山川宜男(1955):「内部力源による半無限弾性体の変形について」, 地震 8, p 84~98.



第13図 大島測候所内モニター記録による。昭和61年11月21日 伊豆大島噴火前後での体積歪変化

Fig. 13 Volumetric strain change before and after IZU-OSHIMA eruption in November 21, 1986, recorded at analogue recorder in OSHIMA Weather Station.