地殻歪の指示者としての火山噴火

木 村 政 昭*

Volcanic Eruptions as a Possible Indicator of the Crustal Strain

Masaaki KIMURA*

Abstract

Time-space relation between major eruptions in Izu region and large earthquakes along the Sagami Trough shows the following correlation:

$$T = 49.88 - 21.04 \log D,$$

where T is the time interval from beginning of a major eruption to the occurrence of the large earthquake in year and D is the distance in km from the epicenter to the volcano. The relationship reveals that the time interval is shorter as the distance between the epicenter and the volcano is smaller. This suggests that a future shock area gives a stress increase to the volcano and a major eruption occurs by squeezing up of magma. Then, it would be followed by a large earthquake along the Sagami Trough to release a compressional strain accumulation. Subsequently, the magma reservoir is expanded and the magma head subsides down, and a series of the volcanic activities ceases. This change is closely related to a level change of the magma head in the summit crater of Izu-Oshima Volcano. Thereby, Izu-Oshima Volcano has a role as a very sensitive strain gauge. The time-space relationship suggests that the strain in the region along the middle Sagami Trough has been accumulated since the major eruption of Izu-Oshima Volcano in 1986.

I. はじめに

伊豆大島火山(図1)の火山活動は、広域的かつ長期的に進行する本域のテクトニック応力変化と密接な関係をもつという指摘がなされている(たとえば、中村, 1971; Kanamori, 1972; 木村, 1973; Kimura, 1976)。そこで、火口底のデータに加えて、当域および周辺の地震活動のデータをはじめとする諸データを用い、本域の火山活動とテクトニック歪との関係を考察した。その結果、火山活動が歪計の役割を果たしている可能性について、従来の指摘をより客観的に具体的に

把握することができた。またそれにより、相模トラフ付近ではテクトニック歪の蓄積が進行していることが示唆された。

小論では、火山の規模を噴出量に基づいて、総噴出物量 $1,000\text{万m}^3$ より大きい噴火を「大噴火(great)」, $1,000\text{万}-1\text{万m}^3$ は「中噴火(medium)」, それより少ないものは「小噴火(little)」とした。小論で、主噴火という言葉を使うことがあるが、それは活動期中の最大噴火を示し、必ずしも大噴火を意味しない場合もある。歴史噴火については、震災予防調査会(1918a, b), Tsuya *et al.* (1956), 森本(1958), Nakamura(1961,

* 琉球大学理学部海洋学科

* College of Science, University of the Ryukyus

図1 火山および相模トラフの位置

有史以降の大地震余震域（実線の円）．点線で囲まれた範囲は津波の震源域．プレート境界は Kimura (1981), 木村 (1988 b) に基づく．白い矢印は、プレートのスリップベクトルを示す (Seno *et al.*, 1993)．×は大地震の震央．三角は活火山を示す．NAM：北米プレート，PHL：フィリピン海プレート，PAL：太平洋プレート．

1964), 中村 (1963), Isshiki (1964) および気象庁の地震月報および火山報告等を参照した。地震については、一般に $5 \leq M < 7$ が中地震, $7 \leq M$ が大地震とされているのでこれに従った。

II. 噴火と大地震の時・空間関係

相模トラフ周辺の活火山と有史以降の同トラフ沿い（相模トラフに平行に南北へそれぞれおよそ 100km 以内）の $M \geq 7.4$ の大地震を図1に示した。古いため場所や規模の不確実な、818年と1257年の地震については省略した。図2のグラフに用いたものには、「1」から「5」まで番号を付した。震央は×印で示してあり、基本的には理科年表および勝又（1993）等によった。図中、太線で囲まれた部分は余震域を示した。破線で囲まれた部分は津波の波源域 (Matsuda *et al.*, 1978 ; 相田, 1981 ; 渡辺, 1985) を示してある。また、1923年の関東大地震の震央に関しては再決定されたもの (浜田, 1987) を用いた。古くて、余震域の不明な

ものは、震央のみを小円で示した。

図2は、図1の中にある大地震と火山噴火発生との時・空間関係（表1）を示したものである。横軸の距離とは、ある火山からある地震の震央までの距離（震央距離）のことである。そして、時間とは、ある火山の主噴火（ここではすべて大噴火）の開始時から、ある大地震発生時までを年数で示したものである。点線は時間を対数で回帰させたものである。これは、相模トラフ付近の火山噴火と大地震との間に何らかの物理的関係が逆相関関係で成立している可能性を示している。火山の主噴火（通常大噴火）の発生から大地震発生までの時間を T 、火山から発生した大地震の震央までの距離を D とすると、平均して、

$$T = 49.88 - 21.04 \log D$$

という関係式が得られた。このグラフの意味するところは、震源域に近い火山が地震発生よりかなり前に噴火し、遠い火山では遅れて噴火していくということを示している。また、一つの火山でみ

図 2 主噴火と相模トラフに沿う $M \geq 7.4$ の大地震の時空関係
time: 噴火から地震までの時間. distance: 火山から地震までの震央距離.
プロット円のそばの番号は図 1 の地震に付されたものと同じである.

表 1 有史以降の相模トラフ付近の大地震 ($M \geq 7.4$) と関連火山 (図 1) の噴火との関係

Earthquake	Location	Magnitude	Volcano	Location	Eruption (year)	Distance (km)	Time (year)
878.11.01	35. 5° N 139. 3° E	7.4	Mt. Fuji	35.35° N 138.73° E	864	50	14
1605.02.03	34. 3° N 140. 4° E	7.9	Miyakejima	34.08° N 139.53° E	1595	80	10
1605.02.03	34. 3° N 140. 4° E	7.9	Izu-Oshima	34.72° N 139.40° E	1600	100	5
1677.11.04	35. 5° N 142. 0° E	8					
1703.12.31	34. 7° N 139. 8° E	7.9-8.2	Izu-Oshima	34.72° N 139.40° E	1684	35	19
1703.12.31	34. 7° N 139. 8° E	7.9-8.2	Mt. Fuji	35.35° N 138.73° E	1700	120	3
1909.03.13	34. 5° N 141. 5° E	7.5					
1923.09.01	35.35° N 139.15° E	7.9	Izu-Oshima	34.72° N 139.40° E	1912	70	11
1953.11.26	34.00° N 141.70° T	7.4	Izu-Oshima	34.72° N 139.40° E	1950	230	3

てみると、近くで大地震が起こるときは噴火から地震までの時間がかかり、遠くで大地震が起こるときは短時間であるということを示している。ここにあげた例はまだ少ないが、この時間と距離の逆相関関係は、本域の $M < 7.4$ の地震についても成立し (木村, 1994 a, b), またすでに東北日本や九州,あるいは太平洋沿岸で認められることがわかっている (Kimura, 1978; 木村, 1985)。今後もこうなるという保証は必ずしもないが、これまでの経過からみれば、本域の火山は、大地震について実に敏感な歪計の役割を果たしている可能性がある。

本域で有史以降発生した $M 7.4$ 以上とされる

大地震 7 例のうち, 1677 年と 1909 年を除いて他の 5 例について, それ以前に対応する噴火があったと言える。ただし, それぞれの地震発生に対して必ずしも複数の火山が噴火しているわけではない。これはマグマ供給との関係であろう。ここで, 伊豆大島の噴火は, 5 例の地震中 878 年地震の 1 例を除いた 4 例で対応している。

逆に, 大噴火があれば, $M \geq 7.4$ の大地震発生ということはない。ただし, 資料の揃ってきた 1600 年以降では, 伊豆大島の主な噴火 (ほとんど大噴火以上) が 1986 年を除くと 9 回あり, そのすべてに $M \geq 6.7$ の地震 (実は 1 例を除くと $M \geq 7$ の大地震) が相模トラフ付近で必ず発生していて,

図3 伊豆大島三原山の火口底の海拔高度変化と付随する現象
(1) 相模トラフ付近の大地震 ($M \geq 7.2$). 破線は西日本の濃尾地震 ($M 8.0$). 太線は図1の曲線に乗る地震。(2) 三原山の火口底の海拔高度変化. 大円は大噴火, 小円は中噴火を表わす.

それらすべてが, 図2のカーブと整合的であることが示されている(木村, 1994b)。したがって, 大島の大噴火があったら, まず相模トラフ付近で大地震発生の可能性があるともみべきであろう。

III. メカニズム

1) 火口底高度変化と噴火・地震

マグマを上昇させる力は, 基本的にはマグマに働く浮力であると考えられ, 地殻浅部の密度がマグマより小さいために両者の密度が逆転する場所でマグマの滞留が起き, マグマ溜りが発生すると考えられる。このマグマ溜りから地表に向けてマグマが上昇するメカニズムは, 大局的には, 地殻応力の増大あるいは応力勾配によるマグマの絞り出しと, 減圧による発泡によるマグマ浮力の増大の二つが考えられる(井田, 1990)。中村(1971)は, 伊豆大島火山の噴火を火口底の昇降という目でみると, 両者の関係は地震発生に先立ち, テクトニック歪の進行によりマグマが絞り上げられた例ではないかとの指摘を行った。そして, 中村(1975)は, 伊豆大島下のマグマ溜りを $1,000\text{--}1\text{万 km}^3$ と仮定すると, 伊豆大島付近の地殻に10万分の1程度以下の体積変化があれば, 地震前の

マグマ頭位の上昇, 地震後の低下は少なくとも定性的には支持されるとした。

図3に最近までの火口底の高度変化を示した。火口底の観測データは, 1974年までは Tsuya *et al.* (1956) および木村・豊田(1975)等により, それ以降は主として筆者らが行った新たな観測によった。主として通常の航空機による空中写真測量を行い, 火口について5,000分の1の地形図を作成し測量にあてた。その間随時行われた火口縁からの目視観測によってデータを補強した。さらに, 他諸機関により行われた観測データも参考にした。伊豆大島の内輪山である三原山の火口底には, しばしば赤熱の溶岩湖が出現する。これは地下のマグマ溜りに直接連絡して, 準静水圧的平衡を保っているとみられる。溶岩湖のみえない時には, マグマ頭位は不明なわけである。図3の molten lava の表示は, 溶岩湖が現われていたり, 噴火の際に溶融溶岩が認められたりする時期を示している。1962年以降は10年余りにわたって溶岩湖が現われていた。それに加えて, 周辺の地震活動による応力変化が敏感に火口底変化に反映されていることが観察されていること(たとえば, 木村, 1989)等から, 長期的な目でみると, 火口底は概

略マグマ頭位の推移を示しているとみられる。

今世紀に入ってから伊豆大島の大噴火は、1912-1914 (明治・大正噴火)、1950-1951 (昭和噴火)、1986年と3回あった。三原山の火口底の上面がある高さ以上に達すると噴火が起こることはすでに指摘されている (Tsuya *et al.*, 1956)。これら3回の大噴火についても、すべてその数年以上前から火口底が上昇に向かっていて、そして、相模トラフ付近で発生した大地震後火口底が下がっている。地震による瞬間的な歪変化にやや遅れて、火口底レベルに変化が表れる傾向がみられる (木村, 1988 a)。このような傾向は、この火口底 (=マグマ頭位) の上昇は広域圧縮応力によりマグマが絞り上げられたものとみるのが合理的である。

大島火山の南方70 km に隣接する三宅島火山では、近年、1874年、1940年、1962年、1983年の噴火があった。図3によると、この4回の同火山の噴火時およびその後数年以内に、三原山の火口底が100m オーダーの上昇があった。また、伊豆大島の体積歪計で三宅島の噴火や地震活動の影響と考えられる歪変化が観測されている (澤田ほか, 1984)。これらの変化は、相模トラフ付近に位置する両火山が同時に広域応力の影響を受けた変化を示していると解釈できる。

一方、日本列島付近で生じた地震より大島の地殻にかかる歪を計算することにより、それらの地震が大島のマグマ溜りを膨らます方向に働いたり縮める方向に働いていることが指摘されている (Yamashina and Nakamura, 1978)。一般に日本海溝や南海トラフで発生した大地震は、マグマ溜りを縮める方向に働き、したがって火口底を上昇させる。そのような地殻歪は南関東の土地傾動にも表れる。すなわち、日本付近のプレート境界での巨大地震が、一部を除いて南関東を一時的に圧縮変形させることが指摘されている (藤田, 1985)。前述した噴火後の大地震として対応しなかった1677年と1909年の房総沖の地震は、このようなタイプの地震ではないかと推定される。すなわち、1677年地震の発生後は7年後の1684年に貞享の巨大噴火、1909年地震後は3年後の1912年に大正の噴火を行った。後者については、その後の火口底

の顕著な上昇との関係も認められる (図3)。これらの例は、大地震後に大島下に圧縮応力の増大をもたらし、マグマ頭位上昇を促す役割を演じたと思われる。この場合は、近い地震のときに噴火は早く、遠い地震のときに遅く表れている。これは、地震によってもたらされる応力増大による歪蓄積が地震より離れている場合は時間がかかるためであろう。

1912年大島大噴火から1923年関東大地震発生までの間と、1950年大噴火と1953年房総沖地震発生までの間の応力変化については、火口底変化からはどのような解釈がなされるであろうか。噴火と地震の時間差は、火山からの震央距離と逆相関をもつ (図2)。図3によると、噴火から地震までの間は概略火口底レベルの高い時期に相当する。すなわち、この間は火山体下に圧縮応力がかかっている時期とみられる。噴火と大地震に規則的な時・空関係が認められるという事実 (図2) は、噴火に直接影響を与える圧縮応力が震源域から局所的にもたらされることを示している。つまり、大地震を発生させる応力は広域的なものであるのに対して、相模トラフ周辺の複数の火山のそれぞれの主噴火時の火山周辺の応力は、周辺で発生する大地震との位置関係によって決められていると考えられる。そこで次に、それぞれの震源域から火山への圧力増加について考察したい。

2) 主噴火とテクトニック歪の関係

図2に示される噴火時期と次に発生する大地震の時・空関係を説明するモデルを模式的に図4に示した。太平洋プレートの西進およびフィリピン海プレートの北東進により、既存断層、ここではフィリピン海プレートの北側の境界にあたる相模トラフに歪が蓄積する。その際まだ歪解放が行われていない所に歪が蓄積される (図4-1のS)。これが将来大地震を発生する場所となる。図2の関係を説明するためには、そこから火山体方面に圧力が及び、マグマ上昇がもたらされ近い火山から次々と噴火させていくことになる (図4-1のAから図4-2のBへ圧力増大が及ぶ)。既存断層から周辺に圧力増大をもたらすようなメカニズムは明らかではないが、定性的には、まず差応力の増

図 4 既存大断層付近の火山噴火と大地震発生との時・空間関係を示すモデル

大域が既存断層を中心として周辺に広がった後、ダイレイタンスー現象による体積膨張の効果によって、周辺差応力増大域が遠方に拡大するのではないと思われる。震源域に充分歪が蓄積されれば、そこで大破壊が起こって歪解放が行われる(図 4-3)。そしてマグマ溜りがふくらみ、マグマが下降していき休止期に入る。

ここで、噴火活動のサイクルについて整理しておく。過去の例について、伊豆大島、三宅島両火山近傍および周辺(ほぼ三原山を中心とした 50 km 半径内)の通常の微小地震活動をみると、大噴火時に対応したピーク群(P_2)を中心として、その前(P_1)と後の時期(P_3)に地震がほぼ対称的に群発している(Kimura, 1976; 木村, 1978, 1983)。火山活動は、それら P_1 , P_2 , P_3 で 1 サイクルとなっている。通常、本域の火山の大噴火は P_2 の時期に行われている。 P_1 とか P_3 には小～中噴火が行われることがある。これらの地震群発のメカニズムは決して単純ではないと思われるが、この P_2 に対する P_1 と P_3 の関係は、力学的に一連の現象が進行する状態を示しているものとみられる。

伊豆大島三原山の火口底高度変化をみると、1986年の大噴火の際に大きく火口底上昇の変化が

あった。しかし、それより12年前に約100 m 近い火口底の上昇があり、階段状に上昇してきた。前回の昭和噴火の際の火口底の変化も同様なパターンを示している(図 3)。通常の地震活動をみると、大噴火前の火口底上昇期に活動が活発となり、その後一時活動が衰え、噴火時に活動的となり、それが火口底変化と一致しているようにみえる(木村, 1989)。火山周辺の微小破壊がおさまリ、封圧が増えてくると、マグマ溜りの収縮によりマグマ上昇がある。火道内で圧縮されたガスの地表への放出により、小噴火を伴い易い。これを付近の地震活動とあわせて P_1 とする。火山体付近の封圧の増大は周辺地域(概略50 km 以内)にその影響が及び、付近で中破壊が起こり(通常 $5 < M \leq 7$ の地震)、封圧低下のための新たな割れ目にマグマが移動するためか、マグマは一気には上昇しない。そのため、マグマの上昇は一休みすることになる。

また歪が蓄積され、地震が群発する。そしてマグマの再上昇が行われる。大島の例では、これまでは、海拔500 m 以上にマグマ頭位が達すると、それは地表への流出につながり大噴火となる。これが P_2 である。やがて、付近で中破壊が起こったり、大噴火でマグマが放出されて、地震群発がおさまリ一時静穏になる。再度封圧が高まり、地震が群発する。これが P_3 である。火道にマグマやガスがまだ残っているときは、それらが圧縮されて中・小噴火が起きる。なお歪蓄積が続くと、周辺にプレート境界など既存の大断層があるときは、しばしばそれが破壊して大地震が発生し、それにより歪が解放され、マグマ溜りが膨らみ、火口底は低下して 1 サイクルの活動に終止符を打つ。そして、火口内には煙突状の堅孔があり、それは「中央火孔」と言われ、マグマ頭は地表からは窺えないほど深くなる。

以上 P_1 , P_2 , P_3 とは、当域に歪が蓄積されていき一様に微小地震回数が増加していく中で、火山活動で歪解放が行われるために生じた局地的な変化を反映して生じるものと言えよう。その後、1987年と、1990年の小噴火後段階的に火口底が下がって現在に至っている。そして、1987年噴火の

際に、上昇していたマグマはマグマ溜りへ drain back したとされる (井田ほか, 1988)。ただし、この前年に大島下に北西-南東方向の大亀裂が生じた (山岡, 1987; 橋本・多田, 1988) ため、このとき、それら周辺の割れ目にマグマが移動した可能性も検討する必要がある。

3) 大地震直前の噴火について

伊豆大島三原山の 1912-1914 年の大噴火後は、溶岩流出を伴う顕著な噴火は認められなかった。ところが、1922年12月8日から1923年1月30日に顕著な噴火活動 (中噴火) が発生した。火口内の溶岩が中央火孔外に流出し、溶岩の表面は標高 655 m ほどに上昇した。1923年2月には、直径 110 m の火孔があり、その中に一辺の長さが約 35 m の正方形に近い溶岩湖があった。しかし活動が終わると直ちに火口底は沈下をはじめ、その中央部は新しい中央火孔を作りはじめた。その直後の 1923年9月1日に関東大地震 (M 7.9) が発生したのである。活動開始から約 9 カ月後であった。1924年には約 645 m と、10 m ほど低下した。また、1950 年の大噴火後、静かだった三原山で、1953年10月以来噴火がはじまり 1954年1月16日にまで及んだ。1953年12月27日には、 $6 \times 10^5 \text{ m}^3$ 以上の溶岩が噴水状に出、1954年1月16日の活動は 1953年以来最大であった。この間 1953年11月26日に房総沖地震 (M 7.4) が発生した。その後噴火活動は沈静化に向かった。再噴火から地震まで約 1 カ月であった。また、この例では、大地震後にも噴火活動が活発になった。三原山から 70 km 離れた 1923年関東大地震は噴火後 9 カ月で発生し、230 km 離れた 1953 年房総沖地震は約 1 カ月後の発生であった。注目すべき点は、この場合も主噴火 (P_2) と大地震の関係と同じように、近くで地震が起こる場合は噴火→地震の時期が長く、遠くで起こる場合はその逆である。主噴火→大地震の関係と異なる点は、 P_2 噴火のそれとは平行した曲線にならず、噴火から大地震発生間隔もきわめて短いことである。これらから、①噴火を誘発させた原因は地震側にあり、②しかもそれは、ほとんど割れる直前の変化を示している、ことが示唆される。これは、地震側の性質の違いを反映して

いると考えられる。

まず、比較的近い火山で P_3 の小噴火に達すると、その 1 年以内に大地震が発生するような力学的関係をもっていたとしよう。すると、より離れた火山体付近の圧力が高まるまで 2~3 年かかるとしたら、その火山が P_3 噴火に達するまでに大地震が起こってしまうことになる。つまり、通常のゆっくりした応力の伝播では説明できない。そのためには、これまでとは不連続的な変化が必要となる。たとえば地震発生による影響の場合をみてみよう。地震後に噴火するケースがあるが、その場合であると、地震後の西太平洋の火山弧の例では、100 km 離れた火山へは 1 カ月以内、300 km 離れた火山で 3 カ月前後に噴火があり、これらは指数関数的な正の相関を示す (Kimura, 1978)。相模トラフでは、1605年の房総沖地震後、震央距離 180 km の八丈島で 9 カ月後に噴火が行われた (宇津, 1984)。これでは、百数十 km 離れた火山に 1 年以内に影響を与えることができる。したがって、 P_3 の中噴火の場合も、地震が起これば数カ月前後で火山噴火に影響を与える変化 (圧力変化?) をもたらすことができる。実際には過去地震計で地震がつかまっていなかったし、津波の発生もなかった。しかしながら、それに相当する地震計にはとらえきれないクリープのような現象が起きた可能性は否定できない。関東付近の断層が地震を伴わずクリープを起こしているだろうという指摘もある (藤田, 1985)。大島の 1953年11月26日の房総沖地震発生後からおおよそ 2 カ月後の 1954年1月16日に 1953年以来最大の噴火が行われている。これもクリープの影響であろうか。この際、どちらも 1~2 カ月の時差であることは、圧力源が基本的に同じであることを示している。

以上のように、震源で発生した変化は数カ月前後で火山に伝わりその直後地震が発生すると考えると、近くの火山と遠くの火山とで P_3 の主要噴火が時差をもって発生することが説明される。クリープのような現象が起これば、それまでとは不連続的な応力変化が考えられる。それが圧縮応力によりマグマを絞り上げる方向に働くか、それとも引張応力による減圧により発泡を促し、噴火を

もたらずかのどちらかが考えられる。そのほか振動がマグマ溜りに刺激を与えることも考えられる。それらいずれが正しいかの検討は別の機会にゆずりたい。

中村(1971)は、今世紀の三原山噴火→大地震という関係が成立するのは、「1923年1月の噴火→同年9月の関東大地震(M 8.3, 震央距離70 km)および、1950-1951年の噴火→1953年房総沖地震(M 8.3, 震央距離200km)である」としている。しかし、図2の時空関係と図3の火口底高度変化との対応から第1義的に関係があると認められるのは、中村(1971)のそれとは異なり、1912-1914年の大噴火と1923年の関東大地震、1950年の大噴火と1953年の房総沖地震である。一方これとは別に、ここでは1922-1923年の中噴火と1923年関東大地震、1953年中噴火と1953年房総沖地震といったような P_3 時の中噴火との対応が認められたのである。

IV. 歪蓄積状況

最近の大地震発生の時系列をみると、1909年に相模トラフ東端北側の歪が解放され、次いで西端付近で1923, 1930年地震により歪解放が行われた。次いで1972年、東端付近の歪が解放された。その結果、その中間にあたる1923年関東大地震と1953年房総沖地震との間が歴史地震的には空白域(いわゆる第1種空白域)となっている(図1)。最近20年間ほどの通常地震活動からも、当域を中心としてその周辺の地震活動が活発となっているようにみえる(木村, 1994 a)。そこは、ちょうど、1605年地震の震源と重なる。比較的データの揃った1600年以降の例では大島の主要噴火が1986年を除くと9回あり、そのすべてに噴火後 $M \geq 6.7$ の地震が伴っていることは既述の通りである。そのうち、 $M \geq 7.4$ の地震が約半数の4回起っている。そして $M < 7.4$ の小型の地震は、すべて東経 140° 以西の相模湾から小田原方面、すなわち相模トラフの西端付近で起っている。現在房総沖に空白域があるとする、 $M \geq 7.4$ の地震エネルギーの蓄積が推定され、これは空白域の大きさとも矛盾しないようにみえる。

ここで、あまりにも単純であるが、仮に1605年の震源が再活動すると仮定し、震央 A ($34^\circ 18' N$, $140^\circ 16' E$) を想定してみる(図1)。ここで仮に、伊豆大島からAまでの震央距離を図2の曲線に投影すると、噴火から地震までの時間は8年に対応する。そこで、1986年大島噴火は、8年後にA点で発生するはずの大地震の震源域から伝播した応力増加の影響を受けたと仮定される。大島の8年を基準とすると、1983年の三宅島大噴火、1986年の大島大噴火、1989年の手石海丘噴火、そして1990年の箱根火山の噴気活動(P_2)の時系列は、図5のAで示される流れとなる。これは、図2から求められる曲線に整合的である。ただし、このほかに三宅島南西90 km ほどの銭州海嶺付近近($33^\circ 40' N$, $138^\circ 45' E$) に力源を求めても、1983年三宅島噴火の以降噴火北上を説明できる(木村, 1994 b)。

一方、小田原、東海地方に空白域があるとされているので、それぞれ震央B ($35^\circ 15' N$, $139^\circ 10' E$), C ($34^\circ 30' N$, $138^\circ 30' E$) を想定してみた。まず、小田原の震央(図1のB)からの時・空曲線は、図5のBで示される。矢印は、Bが力源であった場合の噴火順序を示す。東海地方の空白域内に点Cをとった場合は、曲線が図5のCとなる。どちらもAのそれと逆な傾きをもつため、これまでの噴火と地震の関係からははずれることを示している。

次に、火口底変動から現在の地殻歪蓄積の状態をみてみたい。図3をみると、1986年の噴火後、かなり火口底が低下している。しかしこの低下は次の理由により、本域の広域圧縮応力の解放によるものではないと考えられる。まず、火口底が完全に下がりがきっていないことがあげられる。1974年に火口底はおおよそ100 m ほど上昇したが、まだその地点よりさらに30 m ほど高い位置でとどまっている。Tsuya *et al.* (1956) は海拔300m 以上になると噴火すると言っているが、確かに、それ以上に火口底があるときは噴火能力があるとみられ、それは、本域の歪が解放されていないことを示している。1986年噴火では、地下に大亀裂が生じた。上昇していたマグマの一部が、そこへ流

図 5 最近の火山噴火と予想震源域との関係
点線カーブは図2で求められたもの。

入していったため火口底が一時的に低下した可能性がある。1912年噴火と1950年噴火の際は、このような亀裂が生じなかったため、このような低下がなかったであろう。したがって、火口底の高度変化からは、本域の歪みがすっかり解放されてはいないことが示唆される。

謝 辞

伊豆大島火口底の航空撮影は、柿澤榮一、豊田純一氏らとの共同研究の一環として行ってきた。火口付近の状況に関する資料については、気象庁大島測候所、大島住民および民間の方々の御協力があった。また、石川有三、石橋克彦、吉井敏尅氏らには震源データについて御教示いただいた。さらに、小論公表の機会を与えた下さった小山真人・高橋正樹、山岡耕春氏らには紙面をもって謝意を表する。

文 献

- 相田 勇 (1981): 東海道沖におこった歴史津波の数値実験. 東京大学地震研究所彙報, **56**, 367-390.
 浜田信生 (1987): 1923年関東地震の震源の深さについて. 験震時報, **50**, 1-6.
 橋本 学・多田 堯 (1988): 1986年伊豆大島噴火前後の地殻変動. 火山, 第2集, **33**, S136-S144.
 藤田尚美 (1985): 地震予知連絡会発足のころ. 測量, 12月号, 27-31.
 井田喜明 (1990): 火山噴火が開始する条件. 火山, 第2集, **35**, 299-312.
 井田喜明・山岡耕春・渡辺秀文 (1988): マグマ後退期

の火山活動の発生機構——1986年12月以後の伊豆大島火山噴火の解釈. 東京大学地震研究所彙報, **63**, 183-200.

- Isshiki, N. (1964): *Oshima Volcano*. Guidebook for Excursion 2. Geological Survey of Japan, 24 p.
 Kanamori, H. (1972): Relation between tectonic stress, great earthquake and earthquake swarms. *Tectonophysics*, **14**, 1-12.
 勝又 護編 (1993): 地震・火山の辞典. 東京堂, 318p.
 木村政昭 (1973): 相模湾周辺に発生する巨大地震予知に関する考察. 地学雑誌, **82**, 171-188.
 Kimura, M. (1976): Major magmatic activity as a key to predicting large earthquakes along the Sagami Trough, Japan. *Nature*, **260**, 131-133.
 Kimura, M. (1978): Significant eruptive activities related to large interplate earthquakes in the north-western Pacific margin. *J. Phys. Earth.*, **26**, S 557-S570.
 木村政昭 (1978): 噴火と大地震. 東京大学出版会, 187 p.
 Kimura, M. (1981): A new view of the Fossa Magna in central Japan. *Bull. College Sci., Univ. Ryukyus*, **31**, 55-60.
 木村政昭 (1983): 伊豆大島および三宅島火山の活動の規則性. 火山, 第2集, **28**, 160-162.
 木村政昭 (1985): 地震と地殻変動. 九州大学出版会, 195 p.
 木村政昭 (1988 a): 噴火の規則性——伊豆大島・三宅島——. 火山, 第2集, **33**, S319-S329.
 木村政昭 (1988 b): 伊豆海嶺北部の活構造. 日本地質学会第95年学術大会講演要旨集, p. 222.
 木村政昭 (1989): 群発地震と噴火の時空関係——伊豆大島火山——. 火山, 第2集, **34**, 61-66.
 木村政昭 (1994 a): これから起こること. 青春出版社,

217 p.

木村政昭 (1994 b) : 火山噴火と地震の時・空関係——日本付近の大地震について——. 京都大学防災研究所年報, **37**, 印刷中.

木村政昭・豊田純一 (1975) : 伊豆大島三原山火孔底最近の変動. 火山, 第2集, **20**, 65-78.

Matsuda, T., Ota, Y., Ando, Y. and Yonekura, N. (1978) : Fault mechanism and recurrence time of major earthquakes in southern Kanto district, Japan, as deduced from coastal terrace data. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **89**, 1610-1618.

森本良平 (1958) : 歴史時代における伊豆大島の噴火活動の概観. 火山, 第2集, **3**(特集号), 17-38.

Nakamura, K. (1961) : Stratigraphic studies of the pyroclastics of Oshima Volcano Izu, deposited during the last fifteen centuries. II. Activity of parasitic volcanoes. *Sci. Pap. of the College of General Education, Univ. Tokyo*, **11**, 281-319.

中村一明 (1963) : 伊豆大島火山の噴火史. 科学, **33**, 141-319.

Nakamura, K. (1964) : Volcano-stratigraphic study of Oshima Volcano, Izu. *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, **42**, 649-728.

中村一明 (1971) : 地殻歪の指示者としての火山——火山のテクトニクス例——. 火山, 第2集, **16**, 63-71.

中村一明 (1975) : 火山の構造および噴火と地震の関係.

火山, 第2集, **20**, 229-240.

澤田可洋・福井敬一・佐藤 馨・二瓶信一・福留篤男 (1984) : 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, 第2集, **29**, 141-152.

Seno, T., Stein, S. and Gripp, A. (1993) : A mode for the motion of the Philippine Sea Plate consistent with NUVEL-1 and Geological data, *J. Geophys. Res.*, **98**, 17941-17948.

震災予防調査会 (1918 a) : 日本噴火誌 上編. 震災予防調査会報告, No. 86, 1-236.

震災予防調査会 (1918 b) : 日本噴火誌 下編. 震災予防調査会報告, No. 87, 1-116.

Tsuya, H., Okada, A. and Watanabe, T. (1956) : Evolution of Mihara Volcano Oshima, Izu, in the course of its activities since 1874. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **34**, 33-59.

宇津徳治 (1984) : 地震学. 共立出版, 310 p.

渡辺偉夫 (1985) : 日本被害津波総覧. 東京大学出版会, 206 p.

山岡耕春 (1987) : 伊豆大島割れ目噴火と地震活動. 月刊地球, **9**, 386-390.

Yamashina, K. and Nakamura, K. (1978) : Correlations between tectonic earthquakes and volcanic activity of Izu Oshima Volcano, Japan. *J. Volcanol. and Geotherm. Res.*, **4**, 133-250.

(1994年5月6日受付, 1994年7月18日受理)