

火山噴火予知連絡会 伊豆部会
伊豆大島の火山活動に関する勉強会
報 告 書
ー伊豆大島噴火シナリオー

平成 20 年 9 月
気象庁

火山噴火予知連絡会 伊豆部会

伊豆大島の火山活動に関する勉強会報告書

目次

はじめに	1
伊豆大島噴火シナリオ	
1. はじめに	4
2. 噴火ケースとイベントツリー	5
3. 噴火ケース	9
(1-1) 山頂噴火(中小規模)	9
(1-2) 山頂噴火(大規模)	15
(2) 割れ目噴火	18
(3) カルデラ噴火	27
4. マグマ供給システム	30
(1) 地質学・岩石学的知見	30
(2) 観測・探査等による知見	35
(3) マグマ供給システムのイメージモデル	37
5. 観測網及び観測体制の課題	38
6. 引用文献	40
参考資料	
1. 伊豆大島の火山活動に関する勉強会委員名簿	44
2. 伊豆大島勉強会活動経過概要	45
3. 過去の噴火のまとめ	
3-1. 伊豆大島の噴火履歴	48
3-2. 1986年噴火のまとめ	52
3-3. 1950-1951年噴火のまとめ	58
3-4. 安永噴火のまとめ	64
3-5. 安永、1950-1951年、1986年噴火以外の噴火のレビュー	67
4. 最近の観測成果(勉強会資料より抜粋)	69
5. 伊豆大島の観測体制	151

はじめに

伊豆大島は前回の噴火(1986 年)から約 20 年が経過している。20 世紀以降ではおよそ 30～40 年間隔で噴火が発生しており、次回の噴火に備え、過去の火山活動や現在の活動状況の整理を行い、次の噴火の形態にどのようなものが考えられるか、また噴火前にどのような現象が発生するかなど、中長期的観点から検討を行なった。

本報告書はこれらの検討結果をとりまとめたものである。

伊豆大島噴火シナリオ

1. はじめに

(1) 噴火シナリオ作成の目的

火山噴火はマグマ組成、噴火発生場の構造、周辺応力場等多くの要因に左右されるため、噴火発生時の観測・調査だけでは、正確な活動評価は困難である。噴火の短期予知にとどまらず、規模、様式、推移予測等のより高度な火山噴火予知を目指すためには、過去の噴火履歴や火山学的知見に基づいて事前に可能な噴火シナリオ（予想される噴火前駆現象や噴火活動推移を網羅した噴火事象系統樹）を検討しておくことが有用である。また、噴火シナリオは、噴火発生前後の活動評価および噴火予知高度化にとって重要なデータを確実に取得するための観測体制整備や効果的な防災対応計画の作成と訓練を実施するうえでも重要である。1986年に噴火した伊豆大島火山では、1989年以来、深部からのマグマ供給・蓄積により山体膨張が継続している。これまでの噴火履歴を参照すると、次の噴火に向けた観測体制および防災計画の検討と準備を進めておくべき時期を迎えている。そこで、火山噴火予知連絡会伊豆部会では、2005年11月以来8回にわたって、関係機関の参加のもと「伊豆大島の火山活動に関する勉強会」を開催し、伊豆大島火山の過去の噴火履歴および最近の活動状況を検討し、今後の火山噴火シナリオをとりまとめた。

(2) 噴火シナリオ作成の方針

噴火シナリオ作成にあたっては、可能な噴火シナリオ全てを網羅するのではなく、噴火履歴からみて最も可能性の高い山頂噴火、割れ目噴火および可能性は低いが大規模な噴火の3ケースに大別して時系列的に整理することにした。また、今後の観測体制整備と実際に噴火を迎えた際に噴火シナリオを有効に活用するため、各噴火ケースの準備過程、前駆現象および活動推移に関する注目すべき現象とその観測調査上の重要課題を明記した。

(3) 今後の課題

勉強会での検討によってマグマ供給系に関するいくつかの課題が明らかとなり、各機関の努力によって観測調査が実施された結果、一部の課題は解明された。シナリオで指摘された諸課題を解明するためには、観測体制を整備するとともに今後の観測調査・研究成果を取り込みシナリオの高度化を図る必要がある。また、観測データとその解析結果を、これまでの火山噴火に関する研究成果と総合して評価し、現在の状態から火山噴火に至るまでの過程を様々な観点から想定し予測を試みることが重要である。

2. 噴火ケースとイベントツリー

(1) はじめに

伊豆大島火山の過去の噴火事例を整理し、類似火山の事例もふまえて、将来伊豆大島火山で発生するいくつかの噴火ケースを想定し、各噴火ケースの全体の関係を見るためイベントツリー図としてまとめた。

ここで想定したのは、山頂（中央火道）噴火、山腹割れ目噴火、カルデラ噴火の各噴火ケースで、各噴火ケースの発生可能性の高低、想定される前駆現象、各噴火ケースで想定される噴火様式、災害因子、想定される時間スケールを示した。噴火様式、災害因子については過去の発生事例も示した。

なお、噴火推移イベントツリーは、現時点で明らかとなっている過去の噴火推移から可能性が高いものを想定しているが、将来発生する噴火ケース、推移は想定とは異なることがあり得ることに留意すべきである。

(2) 想定した噴火ケース

①山頂（中央火道）噴火ケース

主マグマ溜りから中央火道を上昇したマグマによって発生する山頂火口およびその周辺からの噴火を想定したもので、最も可能性が高い噴火想定とした。過去の噴火例は噴火規模が大規模（噴出量 1 億トン以上；1777-78 年噴火など）と中規模（噴出量 1 億トン未満；1950-51 年噴火など）に分けられるが、噴出量以外の噴火推移はよく似ており、イベントツリー上では区別しない。

この噴火ケースでは、噴火様式が異なり災害因子も異なることから、マグマ噴出率が大きなマグマ上昇期噴火と、マグマ噴出率が小さいマグマ後退期噴火に分けた。マグマ上昇期噴火は粗粒スコリア降下、溶岩流流出で、マグマ後退期噴火は爆発的噴火と細粒火山灰降下でそれぞれ特徴付けられる。

②山腹割れ目噴火ケース

新たな岩脈の貫入によるカルデラ外での山腹割れ目噴火を想定したもので、山頂噴火ケースについて可能性がある噴火想定とした。事例として、大規模山頂噴火を伴うもの（1421?年(Y4)噴火など）や山頂噴火がないか規模が中規模以下と考えられるもの（1986 年 B、C 火口噴火、1338?年(Y5.0)噴火など）がある。図 4 には山頂噴火を伴わずに山腹割れ目噴火が発生する経路も示した。いずれも岩脈貫入に伴う山腹、山麓浅部での地震活動、地殻変動の有無が重要な判断材料となる。また岩脈貫入が起きても噴火に至らない場合もあり得る。

③カルデラ噴火ケース

山頂部の陥没などによるカルデラ形成を想定したもので、可能性は高くないが影響範囲の広さから留意すべき噴火ケースとした。約 1700 年前の S₂期噴火や 2000 年三宅島噴火など他の類似火山事例から、大規模な岩脈によるマグマ溜りからのマグマ排出に伴う山頂部陥没を想定した。カルデラ噴火に至る推移は、山腹割れ目噴火ケースと同様に、山頂噴火、山腹割れ目噴火を伴わないケースもあり得るため、大規模な岩脈貫入とそれによる顕著な地震活動、地殻変動の有無が重要な判断材料となる。

(3) 過去の実例

ここでは、過去に発生したいくつかの噴火事例の推移を示した。

①1986 年噴火（中規模山頂噴火→山腹割れ目噴火）

中規模山頂噴火が先行し、新たなマグマの岩脈状貫入による山腹割れ目噴火が発生した事例である。山腹割れ目噴火を伴った山頂大規模噴火も同様の推移をたどると考えられる。

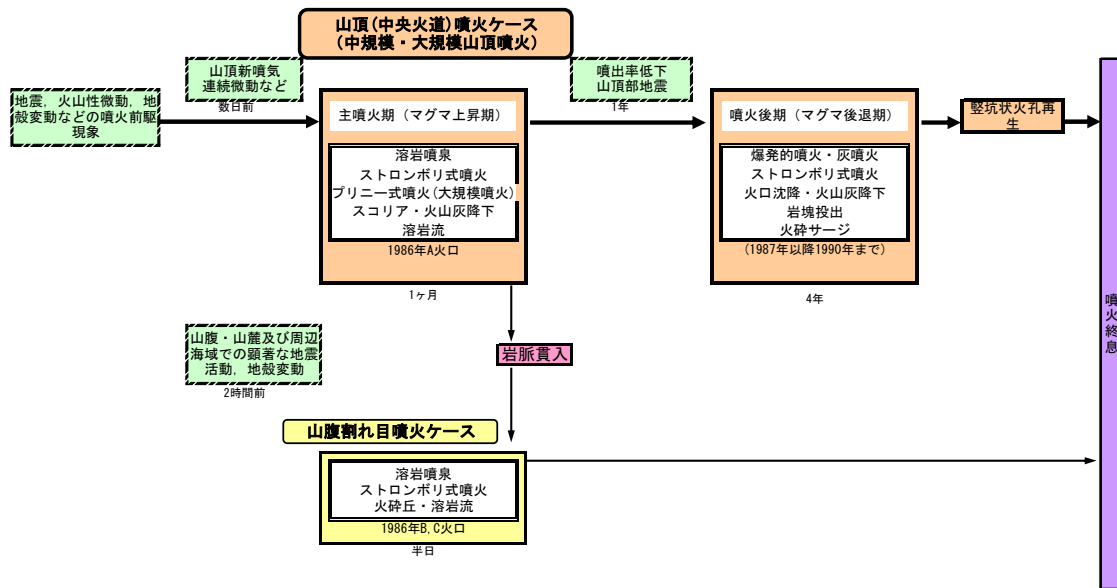


図1 1986 年噴火の推移

②1777-78 年(Y1)噴火（大規模山頂噴火）

大規模山頂噴火の典型例である。1950-51 年噴火のような中規模山頂噴火もほぼ同様の推移をたどる。

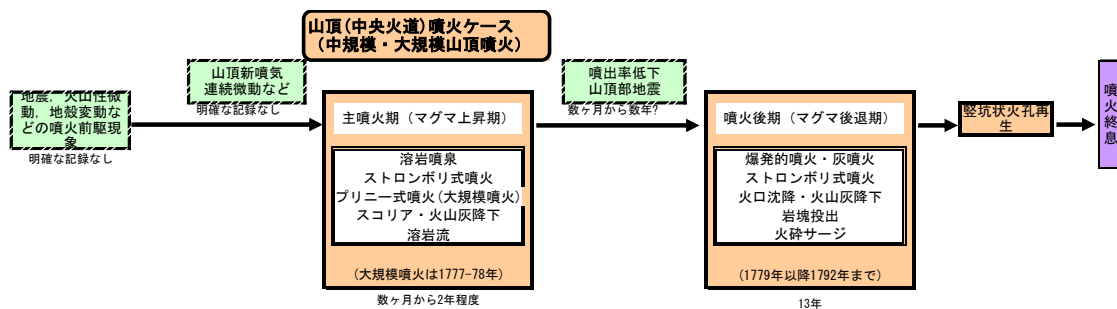


図2 1777-78 年噴火の推移

③S2（約 1700 年前）噴火（カルデラ形成噴火）

最新のカルデラ形成噴火である S2 噴火の推移を示す。

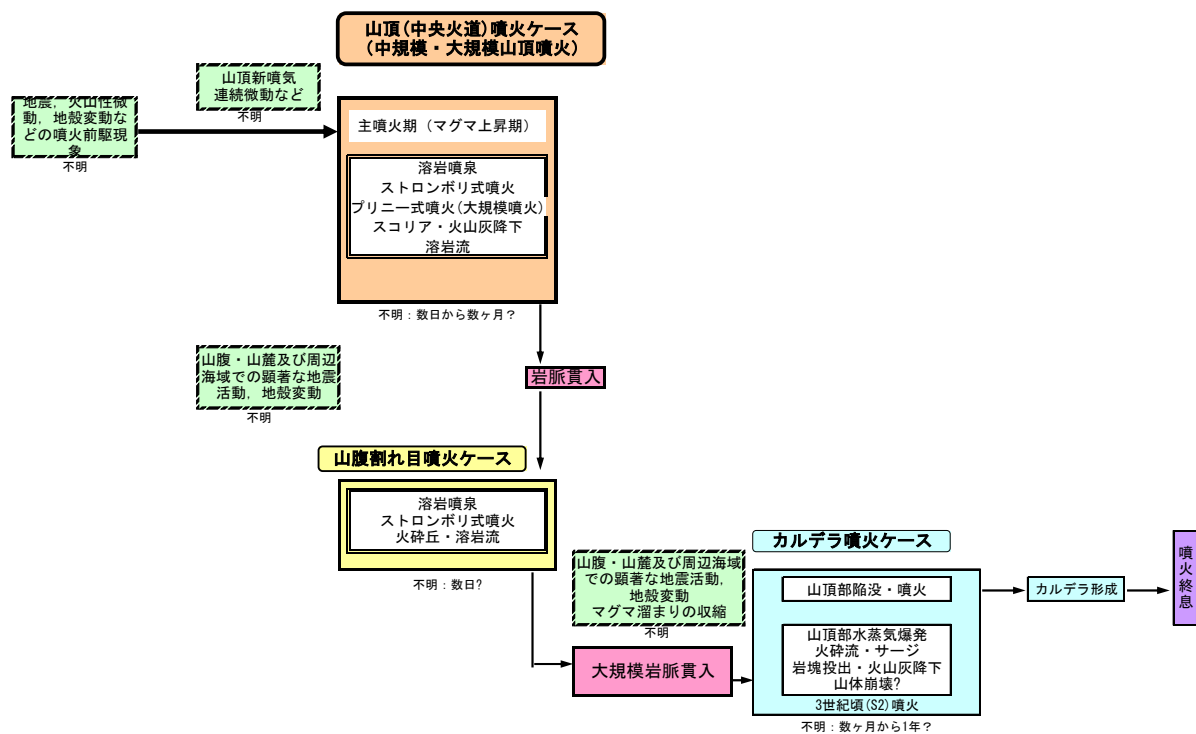


図3 S2（約 1700 年前）噴火の推移

(4) 噴火推移のイベントツリー

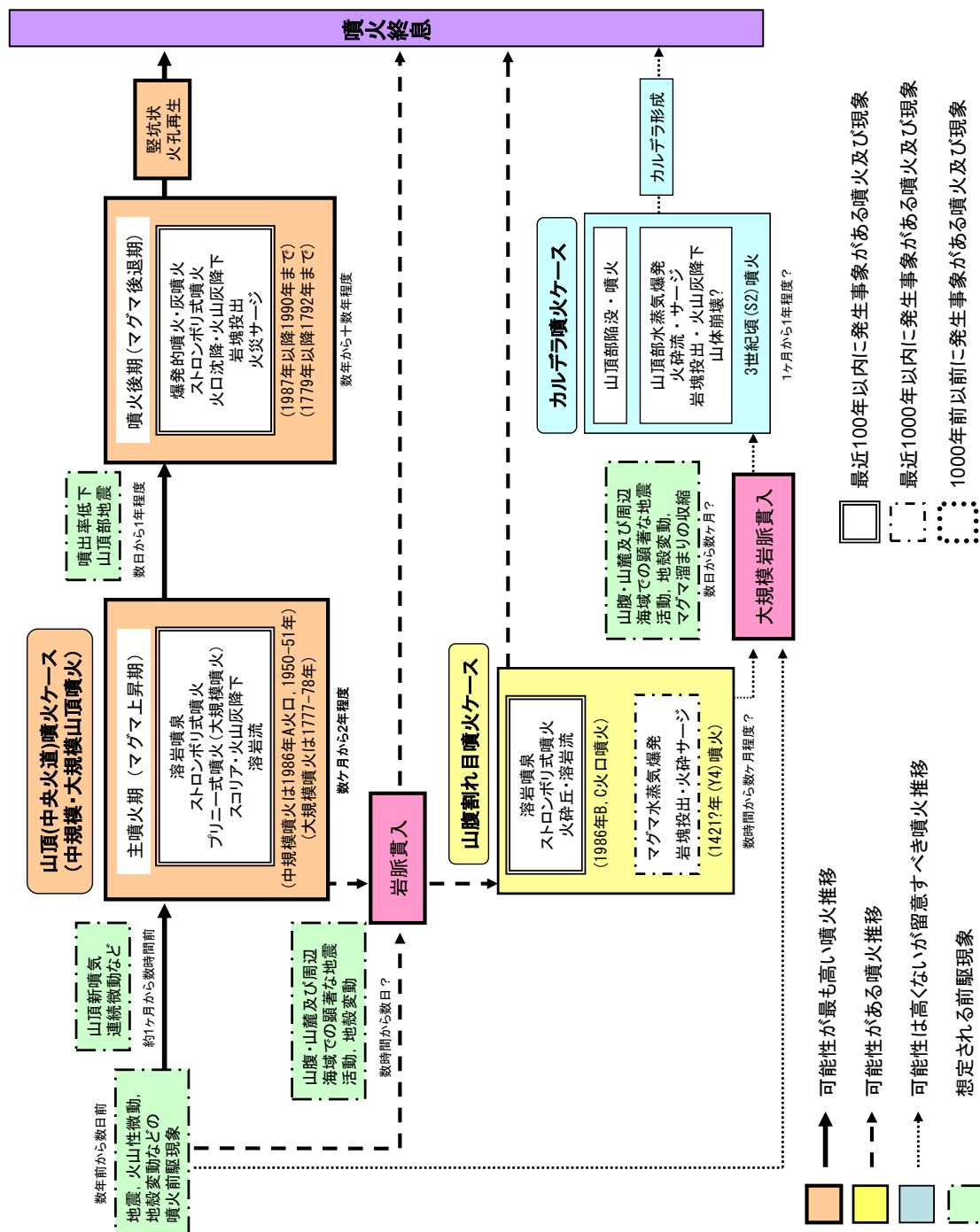


図4 伊豆大島の噴火推移のイベントツリー

3. 噴火ケース

(1—1) 山頂噴火 (中小規模)

伊豆大島火山において最も発生する可能性が高いと予想される三原山山頂噴火の特徴、準備過程、前駆現象、噴火様式、活動推移および注目点と今後の課題について、1950-51 年噴火、1986-87 年噴火および最近の観測データにもとづきまとめる。

① 特徴

- ・噴火発生場所：三原山山頂火口で発生する可能性が高い。
- ・マグマ組成：玄武岩質 ($\text{SiO}_2=51\text{-}53\%$)、小規模噴火では Al_2O_3 に富み、中規模噴火ではやや Al_2O_3 に乏しい (斜長石斑晶の集積度の違いを反映)。
- ・噴火様式：山頂火口内からの溶岩噴泉により溶岩湖が形成され、溶岩噴出量 1 千万 m^3 程度以上の中規模噴火では溶岩がカルデラ床へ溢流する。火口周辺にスコリアや火山弾が降下し、火砕丘が成長する。
- ・前駆現象：山頂火道内におけるマグマや高温火山ガスの上昇に伴って、火口周辺で微動、熱異常、電磁気的变化、火山ガス組成変化等が出現する可能性が高い。

② 時系列

(準備過程)

- ・深部からのマグマ供給により山体膨張が継続するが、噴火数年前に膨張速度等が変化する可能性もある。また、マグマや高温火山ガスが上昇を開始した場合には、山頂火口底の熱異常、火口直下の熱消磁と比抵抗減少、マグマ起源火山ガス成分の増加などが予想される。
- ・1986 年噴火前には、1960 年代半ばから 1978 年頃にかけて、大島周辺の地震活動が次第に活発化し、その後は増減を繰り返した (図 5 下)。また、1970 年代から 1980 年頃まで山体膨張が継続し、その後は噴火に至るまで平均膨張速度は鈍化した (図 5 上)。
- ・1974 年小噴火以降、山頂火口内の熱異常は縮小傾向にあったが、1979 年頃から増大傾向に転じた (図 6)。また、三原山南麓における全磁力および三原山地下の見掛け比抵抗の変化トレンドが、1980 年頃に増加傾向から減少傾向へ転化した (図 7 a、b)。
- ・1986-87 年噴火後は、1989 年頃に山体膨張が始まり、2001 年以降は平均膨張速度が半減している。そのなかで、1-2 年間隔で山体膨張の加速や収縮などの揺らぎが発生し、膨張の加速に伴って大島島内および周辺海域の地震活動が活発化している。

(短期的な前駆現象)

- ・噴火開始に至るまで、山頂周辺で顕著な地殻変動は発生しない可能性がある。1986 年噴火前にカルデラ域で繰り返された水準測量によると、1982 年から 1986 年山頂噴火開始直後まで、外輪山に対してカルデラ内の沈降が継続していた (宮崎・他、1988)。また、北西山麓の体積歪計でも、11 月 15 日の山頂噴火開始まで、特に顕著な変動は観測されなかった (神定・他、1987)。また、1986 年 8 月に大島北部で、9 月には西部で群発地震活動が発生したが、カルデラ内の地震活動は低調であった (山岡・他、1988)。しかし、山頂火口近傍で高感度な傾斜観測等を実施すれば、マグマの上昇に伴う微小な変動を捉えられるかもしれない。

- ・ 山頂火口周辺において、火山性微動の発生、地磁気・比抵抗変化の加速、熱異常、重力増加、火山ガス組成の変化等が想定される。1986年噴火開始の4ヶ月前の7月初めから、カルデラ内の観測点で火山性微動が観測されるようになった。当初は発生間隔がほぼ一定で間欠的に発生し、次第に振幅が増大した。8月下旬になると発生間隔・振幅に乱れが目立つようになり、10月19、22日には大振幅のバースト的微動が発生した。その後、10月24日には小振幅の連続微動へと変化した(図9)。また、火口底の熱異常域が拡大(図6)、地磁気および見掛け比抵抗の減少が加速し(図7、図8)、噴火開始約1ヶ月前の山頂火口周辺の噴気ガス組成は、1983年と比べてCO₂、H₂含有量が増大した(平林・他、1988)。
- ・ 噴火直前には、火口内噴気活動の活発化、微動振幅の増大などが予想される。1986年11月15日噴火開始の数日前から火口壁南東部で新たな噴気域が確認され、噴火当日午前には壁の崩落も生じた。また、噴火開始の約10時間前から、連続微動に重なって大振幅のバースト的微動の発生があった(図10)。

(噴火様式)

- ・ 初期には、山頂火口からの溶岩噴泉、溶岩湖形成、カルデラ床への溶岩流出、火口周辺にスコリア降下、火砕丘の成長。
- ・ 後期には、マグマ後退に伴う爆発的噴火と火山灰放出。マグマ後退と上昇の繰り返し。
- ・ 数年後には、壱坑状火口の再生。

(活動推移)

- ・ マグマが大量／急速に上昇噴出する場合には、大規模な岩脈貫入や割れ目噴火、山頂部周辺の陥没を引き起こす可能性がある。また、噴火が長期間継続する可能性もある。

③注目点および課題

- ・ 噴火準備過程の解明においては、地殻変動、電磁気変化等の統合的な観測により、マグマの上昇開始に至る過程を確実に捉えることが重要である。1986年噴火では、1970年代からの山体膨張の継続と噴火数年前からの平均膨張速度の鈍化という経年変化があった(図5)。より短い時間スケールのゆらぎがあったかどうかは不明であるが、地震発生回数の変動からみて、膨張変動の揺らぎが生じていた可能性が高い。特に、山体膨張の揺らぎと噴火へ向けてのマグマ上昇とをいかに識別するかが重要な課題である。地震、地殻変動、熱、電磁気現象の連続観測に加えて、重力や火山ガスの連続あるいは高頻度な観測を実施する必要がある。また、2001年以降の山体膨張速度の鈍化のメカニズムを解明するためには、三宅島・神津島・新島等周辺の地殻活動との関連を調べる必要がある。
- ・ 短期予測の確度を向上させるためには、短期的な前駆現象発生メカニズムの解明とモデル化が必要である。
- ・ 噴火様式と規模予測のためには、マグマ組成の迅速な解析と噴出率の計測が重要である。
- ・ 噴火規模と推移の予測のためには、山体変動源の迅速な解析(位置、体積変化量など)が重要である。
- ・ マグマの上昇、後退と爆発的噴火の予測のためには、火口周辺での地震、重力、電磁気観測等による火道内マグマ移動(上昇／下降)の定量的な把握が重要である。

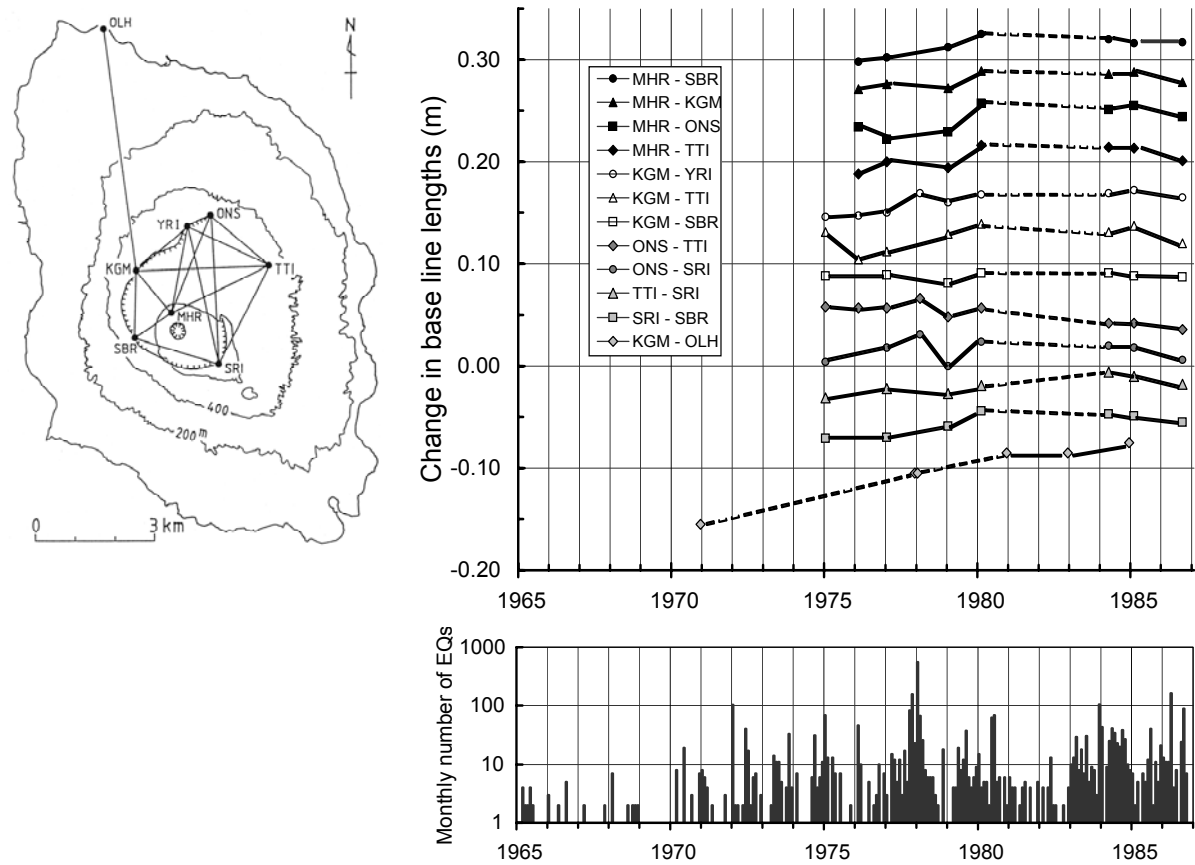


図5 1986 年噴火前の辺長変化と月別地震発生回数（元町測候所で $S-P \leq 2$ 秒）（渡辺、1998 を改変）

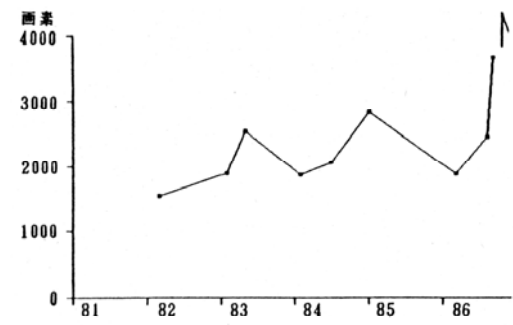
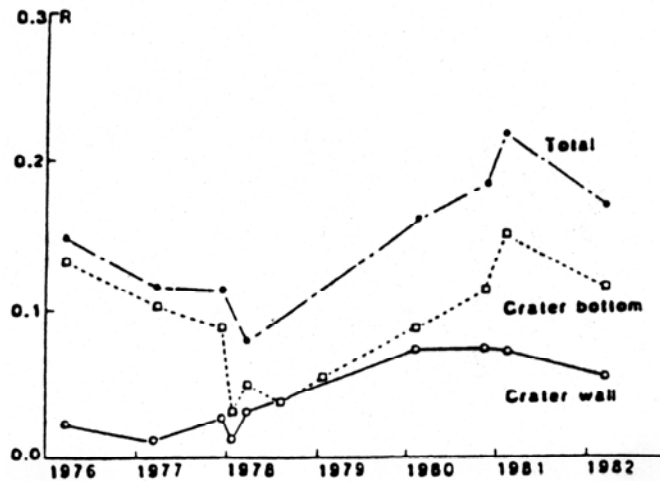


図7 A 異常の面積の変化.

図6 1986年噴火前の三原山頂火口底における熱異常域の変化(鍵山・辻、1987)

左：火口内の熱異常域の面積の変化。縦軸 (R)：写真で判読した熱異常域の面積／(火口直径)²。火口内の熱異常は、1974年小噴火以降縮小傾向にあったが、1978年以降、増大傾向に転じた。

右：平常温度より4℃以上高温となる熱異常域の画素数をカウントしたもの。1画素は約80m²に相当する。

1986年の測定は3月、8月、9月24日に実施したもので、8月以降に急激に拡大している。

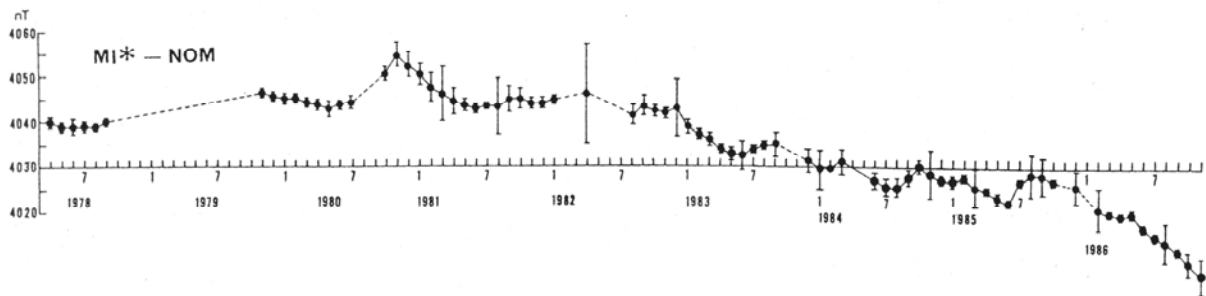


Fig. 3. Time variation in total intensity difference between MI* and NOM.

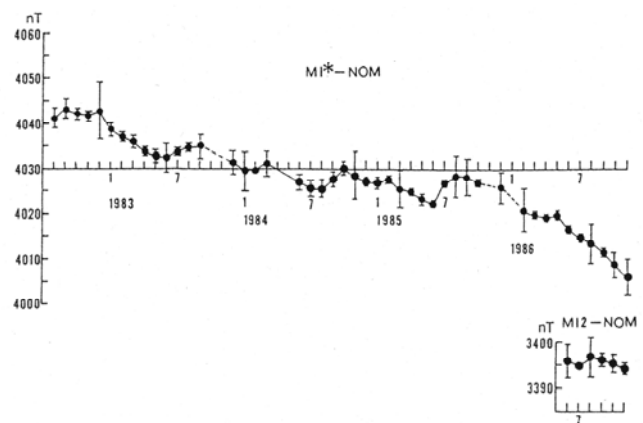
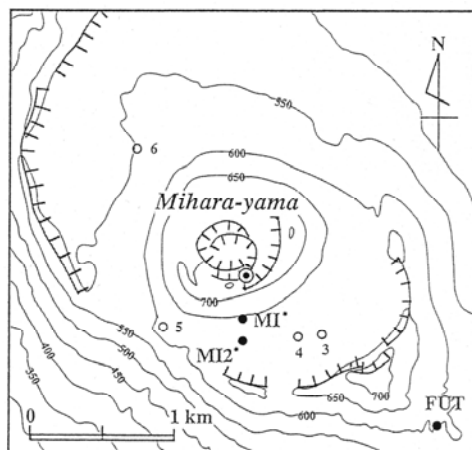


Fig. 5. Time variations in total intensity at MI2* in comparison with those at MI*.

図7 野増を基準とする三原山南麓の全磁力変化(Yukutake et al.、1990b)

1980年以降、変化トレンドが増加傾向から減少傾向へ転じ、1986年にさらに減少が加速している。

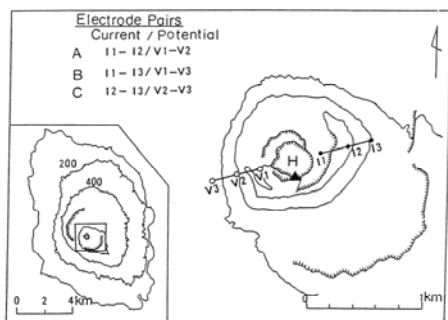


Fig. 3. Electrode arrangements of bipole-bipole measurements across the central crater. Three pairs of electrodes are used for monitoring the resistivity change: A with the current electrodes I₁, I₂ and the potential electrodes V₁, V₂; B with I₁, I₃ and V₁, V₃; C with I₂, I₃ and V₂, V₃. The solid triangle designates the newly formed crater from which the central eruptions occurred in 1986–1987. H represents the crater pit which was filled with lava from the new crater shown by the double circle.

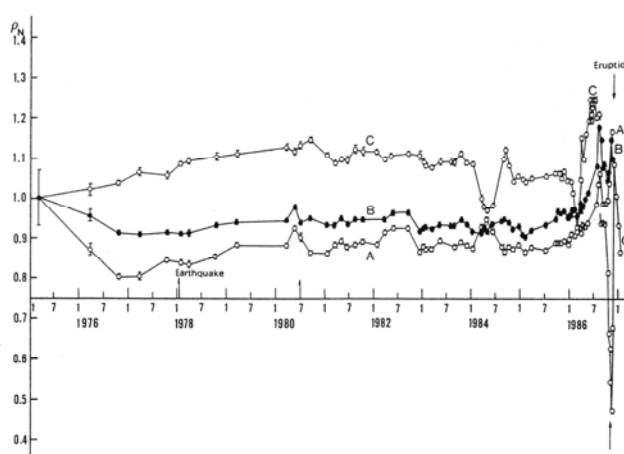


Fig. 7. Time variations in the apparent resistivity obtained by bipole-bipole measurements across the central cone. A, B and C denote the resistivities derived from electrode pairs A, B and C as illustrated in Fig. 3. Resistivity values are normalized by those of March, 1985, when the apparent resistivity was 84 ohm·m for A, 112 ohm·m for B and 168 ohm·m for C. Vertical arrows represent times of earthquake occurrence; January 14, 1978, when an earthquake of magnitude 7.0 took place about 10 km west of the volcano, and June 29, 1980, when an earthquake of magnitude 6.7 occurred about 20 km northwest.

図8 三原山の見掛け比抵抗変化 (Yukutake et al., 1990a)

電極組み合わせ C (地下数百 m の深さの比抵抗変化を反映) の比抵抗は、1980 年頃に変化トレンドが増加傾向から減少傾向へ反転し、1986 年 8 月以降噴火開始までさらに急速に減少している。

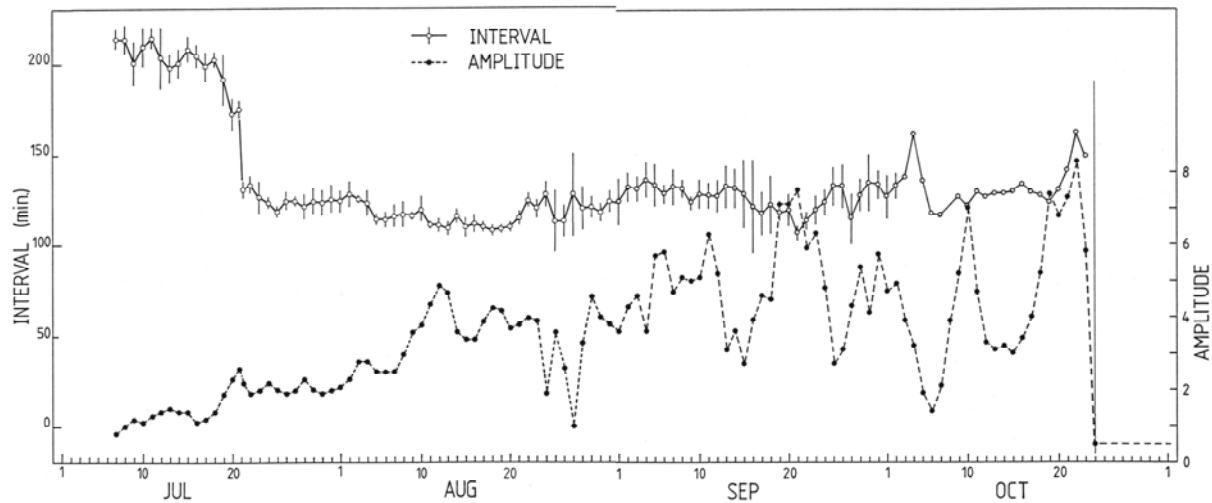


図9 1986 年山頂噴火に前駆した微動の振幅と発生間隔の日平均値 (渡辺、1987)

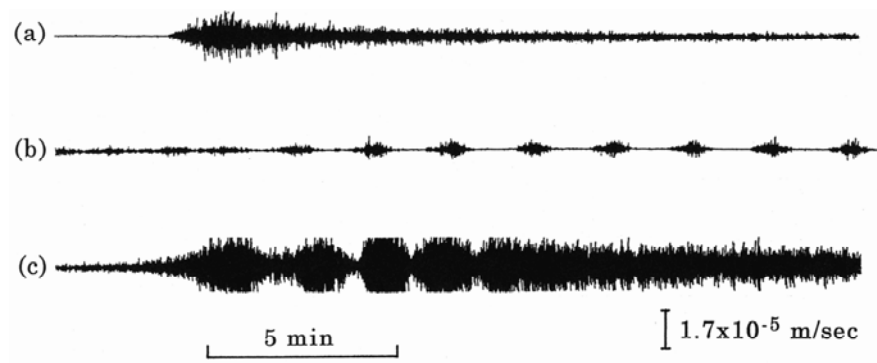


図10 1986年噴火前に発生した微動のカルデラ内における観測波形の推移（渡辺、1998）

- (a) 9月17日：7月～10月に間欠的に発生した微動の典型例、
- (b) 10月4日：2～3分間隔で繰り返す小振幅微動、
- (c) 11月15日：噴火直前の大振幅微動。

（１－２）山頂噴火（大規模）

伊豆大島の最近 1700 年間の 12 回の大規模噴火(Nakamura、1960、1964)による噴出量は、それぞれが数億トンのオーダーである。中規模噴火とされる 1986 年クラス、1950～51 年クラスの噴出量はそれより 1 桁少ない。最も新しい大規模噴火は安永噴火（1777 年～1792 年）であって、この噴火は新期大島層群の中では N₄、N₁ 噴火に次いで規模が大きい。大噴火に関する情報は、もっぱら科学的な観測がない時代の文書記録、および地質、岩石学的な調査に限られる。推移を含めた議論ができるのは、安永噴火（1777～92 年噴火）が唯一のものであろう。

①特徴

- ・噴火発生場所：三原火口および周辺（カルデラ内）
- ・マグマ組成：無斑晶質で均質な玄武岩質マグマ（初期に斜長石集積マグマが噴出する場合あり）。
- ・噴火様式：
噴火初期 三原山火口からの溶岩噴泉（～ストロンボリ式噴火）、溶岩湖形成、（サブ）プリニー式噴火。火口周辺および風下側山腹にスコリア、火山灰の降下。
主噴火期 （サブ）プリニー式噴火。火口周辺および風下側山腹～山麓にスコリア、火山灰の降下。火砕丘の成長。溶岩がカルデラ床へ、さらにカルデラ縁を越えて流下。数ヶ月から 1 年程度、消長を伴い継続。
噴火後期 三原山火口でマグマ後退と、それに伴う爆発的な噴火、マグマ後退と上昇の繰り返し。火山灰の放出。竪坑状火口の再生。数年から十数年程度継続。
- ・噴出量：数億トン

②時系列

活動推移 （1777 年（安永六年）噴火の例）

- ・準備過程・前駆段階 噴火に先立つ現象について歴史記録には明確な記述は残っていない。1986 年噴火など最近の中規模噴火と同様の前駆現象が想定される。
- ・第Ⅰ期 1777 年 8 月 31 日 山頂三原山火口で噴火開始。火山灰、火山毛、スコリアを噴出。火山灰は風向きにより全島に降下したが、3cm（一寸）堆積したところはない。（おそらく）溶岩流出なし。火映現象あり。
- ・第Ⅱ期 1778 年 4 月三原山火口から（サブ）プリニー式噴火によるスコリア噴出（図 1）、カルデラ内にスコリア丘形成、山麓にも降下。居住地で地震・爆音、空振を感じる。昼間でも噴煙により真っ暗。北東方向中ノ沢に溶岩流下（図 12）。5 月末～9 月末は落ち着く。火映現象もなくなる。平穏な生活が可能だった。
- ・第Ⅲ期 1778 年 10 月から活発化。11 月にはカルデラ内の火口から南西方向赤沢に、その数日後には東北東ゴミ沢に溶岩流下（図 12）。特に最後の溶岩流は島の東部を広く被い、先端は 5.5km 離れた海にまで達した。その間、噴煙・鳴動・地響き・空振・火映が顕著。
- ・降灰期 静穏な 5 年間の後、1783 年 11 月 25 日（天明三年十一月二日）から 1786 年（天明六年）にかけて、さらに 1789 年（寛政元年）頃にもしばしば降灰があり、1792 年（寛政四年）秋に至って初めて静穏に帰し、16 年間にわたった安永大噴火が終了した。
1778 年 11 月に溶岩の流下によって野増―差木地間の通行が一時不通になった。結局、居住地へ溶岩流が達することはなかった（図 12）が、降下スコリア、降下火山灰が野増（50cm 以上）、元町・泉

津(それぞれ20~30cm)堆積した(図11)。火砕物・溶岩を含む総噴出量は6.5億トン(Nakamura、1964)。農業・漁業の不作・不漁に対し、1778年、1779年、1784年(2回)、1785年、1787年、1791年に支援があった。溶岩、スコリアと同様もしくはそれ以上に降灰による打撃が大きかったらしい。

③ 注目点及び課題

- ・活動推移は中規模噴火と似る。違いは、噴出総量が多い(>1億トン)こと、噴出率の高い(サブ)プリニー式噴火(カルデラ外にまで達するスコリアを降らせる)があること。噴火開始段階では噴火規模の予測はできない。大規模噴火に特徴的なマグマ(後述 Group 1 マグマ)を検出できれば、判断の材料になる。
- ・噴火開始から7.5か月後に第Ⅱ期の活動があり、(サブ)プリニー式噴火によるスコリア放出、スコリア丘形成および最初の溶岩流出があった。次の第Ⅲ期の溶岩流出はさらにその7ヶ月後であった。
- ・溶岩流の噴出量が多いとカルデラから溢流し、居住地区まで、あるいは都道(一周道路)まで達する可能性がある。
- ・カルデラ外での山腹噴火が同時に発生・または山腹噴火に移行する例がある(Y₄噴火など)。山腹噴火開始前にはマグマの移動に伴う活発な震源領域とその移動、地殻変動が観測されるであろう。

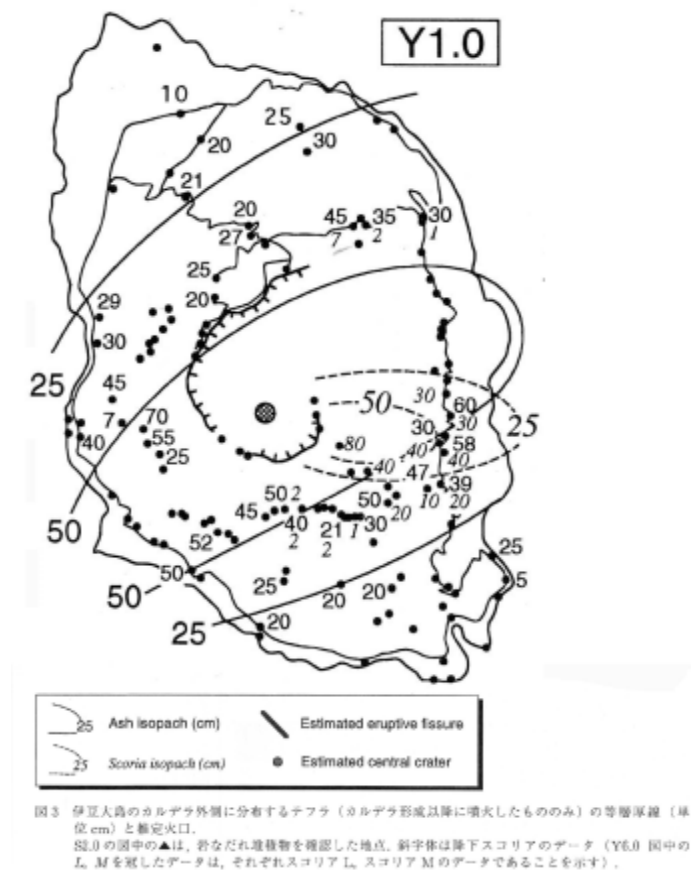


図11 Y₁基底スコリア(破線)および火山灰(実線)の層厚(cm)(小山・早川、1996)

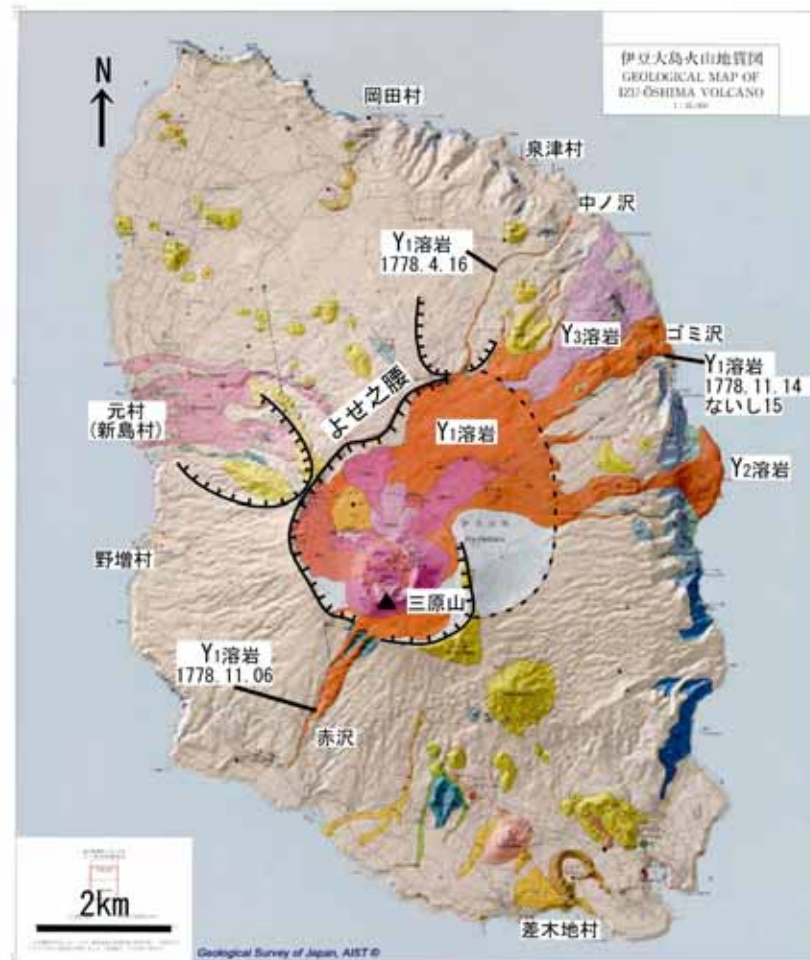


図12 伊豆大島火山地質図(川辺、1998). Y₁溶岩の流下の日付、当時の地名ほかを加筆

(2) 割れ目噴火

割れ目噴火は垂直の板状に貫入したマグマ（以下、岩脈と言う）の一部が地表に達して噴火にいたる現象で、線状の火口からカーテン状にマグマを噴出する場合や、丸い噴出孔が線状に並ぶ場合もある。いずれも、地下にある1つ又はほぼ同じ走行を持つ少数の岩脈からマグマが噴出するものと考えられる。割れ目噴火は岩脈貫入の結果として発生するが、2000年三宅島の火山現象のように、割れ目噴火を伴わない岩脈貫入や、伊豆半島東方沖活動のように岩脈貫入は頻繁に起こるが、噴火は稀にしかおこらない場合もある。従って、割れ目噴火を考える場合には岩脈貫入現象と割れ目噴火を分けて考え、岩脈貫入の限られた場合に割れ目噴火を引き起こすと考えるのが妥当である。

岩脈貫入現象は、マグマが急激に供給されて浮力中立深度で水平方向に広がる現象であり、伊豆半島、伊豆諸島などの広域応力場の最大主応力と最小主応力の方向が、共に水平面近くにある場合によく見られる。岩脈の走行は最大主応力の方向、開口は最小主応力の方向にほぼ一致する。これは、このような方向に岩脈が貫入する場合が、力学的エネルギーの消費が最も小さいためである。岩脈貫入は、山頂噴火に続いて発生するケースが多いが、単独で発生する場合もある。

割れ目噴火は、マグマが岩脈貫入により浮力中立に達した後、何らかの原因で密度が更に低下（浮力を獲得）し、地表に達する現象と理解できる。従って、マグマ噴出口の位置は地下の岩脈の直上であるので、噴火口は岩脈の貫入方向に一直線に並ぶ。多くの場合は山腹で噴火し、溶岩噴泉、ストロンボリ式噴火と溶岩流出が想定される。噴火が海岸線に近い場合には、それに加えて水蒸気爆発やマグマ水蒸気爆発も想定する必要がある。

① 特徴

- ・発生場所：岩脈の進展する方向は、広域応力の圧縮場の卓越する方向と一致するため、伊豆大島では岩脈は北西～南東の直線に進展する。過去の噴火履歴を参照すると、三原山付近を通過するケースが多いが、三原山を通らない場合もあった。
- ・岩脈貫入深度：1986年の伊豆大島噴火時の震源分布から貫入深度は4km～9kmと推定される。人工地震による構造探査の結果を参照すると、伊豆大島直下深さ3km、周辺では深さ4.5kmに大きなP波速度不連続面（即ち、密度不連続面）が存在し（図13）、この深度が浮力中立又は岩脈貫入の上限の有力な候補である。
- ・岩脈貫入の際には深部から急激なマグマの供給があると考えられる。例えば、1986年伊豆大島噴火の際には、山頂からのマグマ噴出量は、最も噴出率の高かった山頂噴火開始から1日間で約 $1 \times 10^7 \text{m}^3$ （11月15～16日）程度であったのに対して、B及びC火口からのマグマの噴出は最初の数時間に集中し、その総量は $2 \sim 3 \times 10^7 \text{m}^3$ （図14）であった（遠藤・他、1988）。地下に貫入したマグマは噴出した量より多く、多田・橋本(1988)によるとおおよそ $3 \times 10^8 \text{m}^3$ であると見積もられている。
- ・岩脈貫入と同時に、岩脈先端で急激な応力の集中が起こり、地震が急増する。1986年の伊豆大島噴火時には、11月16日の山頂噴火以降発生したM3～4の大きな地震は11月18日には発生しなくなった。その後、割れ目噴火の直前からM3～4の地震が、B及びC火口付近で頻発した（図15、図16）。他の地域における岩脈貫入でも同様に、マグマの貫入とほぼ同時に大きな地震が頻発し始める。震源は岩脈先端に集中するため震源は面的に広がる。岩脈進展に伴い、震源は移動するが、1986年伊豆大島、1998年伊豆半島東方沖、2000年三宅島を参考にすると、移動速度は1km/hr程度と予想される。
- ・岩脈貫入による顕著な地殻変動が観測される。1986年伊豆大島噴火時には、御神火茶屋に設置され

ていた傾斜計で割れ目噴火の約2時間前からの極めて大きな傾斜変動が観測されている。

- ・割れ目噴火の噴出物の分析から、主マグマ溜り起源と思われる組成が均質なマグマによる割れ目噴火 (Group 1) と、より浅い副マグマ溜り起源と思われる分化が進み組成幅が広いマグマによる割れ目噴火 (Group 2) の2種類がある。従って、岩脈貫入から割れ目噴火に至る過程は少なくとも2つの異なった過程が存在すると思われる (図 17)。
- ・1986 年噴火時の B 及び C 火口列から噴出したマグマは、分化の進んだマグマであったことが知られており (藤井・他、1988) Group 2 に属する。これは、カルデラ内の地下に滞留していたマグマが、山頂噴火を起こしたマグマからの作用 (圧力、熱、化学反応など) により地表から噴出したと考えられる。
- ・一方、Group 1 に属する割れ目噴火については、詳しく解明されていない。1) 深部マグマ溜りから山頂火道を用いて短時間に多量のマグマが上昇し、全島規模の岩脈の貫入が起こり、その一部の地域で割れ目噴火に至った。2) 山頂火道以外の場所をマグマが上昇し、岩脈を形成して割れ目噴火を起こした。の2通りのシナリオが予想される。

②時系列

- ・山頂噴火が前駆するケースが多いが、山頂噴火を伴わない場合もある。山頂噴火の時系列については、(1-1) 山頂噴火を参照。
- ・割れ目噴火の前兆 (傾斜方向の変化、火山性微動の発生様式の変化)
1986 年伊豆大島噴火の場合、11 月 19 日 23 時頃より御神火観測点で傾斜変動の方向が変化した。それまで北西下がりを示していたものが、僅かに南東下がりの方方向に変化した (山本・他、1988 : 図 18 の A3)。それに同期して、山頂噴火以来連続して発生していた火山性微動が間欠的になった (山里・他、1988 : 図 8)。その約 40 時間後の 11 月 21 日 14 時 30 分より本格的な岩脈貫入が開始した (図 18 の A4)。19 日 23 時頃より見られた僅かな傾斜方向の変化や火山性微動の発生様式の変化が、岩脈貫入の前駆的な現象である可能性があるが、確証はない。他の岩脈貫入を例に取ると、伊豆半島東方沖においては本格的な岩脈貫入の約 1 日前より、前駆的な傾斜変動や微小地震活動がある (Okada et al、2000、 Hayashi and Morita、2004)。
- ・岩脈貫入の開始
急速な地殻変動が開始し、ほぼ同時に地震活動の顕著な増大が見られる。1986 年噴火時には御神火茶屋 (距離 1 ~ 2 km) で 10^{-4} rad/hr 程度、波浮 (距離約 6 km) で約 10^{-6} rad/hr の急激な傾斜変動 (図 18 の A4) が観測された。また、M3 ~ 4 程度の規模の大きな地震が B 火口、C 火口の形成された地域で頻発し始めた。その約 2 時間後に割れ目噴火が発生した。
- ・割れ目噴火の進展
割れ目の進展する方向は北西 ~ 南東方向と予想される。また、その進展速度 (岩脈先端の進行速度) はマグマの粘性で決まり、伊豆大島の場合には 0.3 ~ 3 km/hr 程度の速度と予想される。1986 年の噴火時の震源移動速度はほぼ 1 km/hr であった。
- ・割れ目噴火の終焉
Group 2 の場合には、噴出するマグマの総量は噴火以前に貫入していた副マグマ溜りの大きさによる。副マグマ溜りのマグマが噴出し尽くせば、割れ目噴火は終息する。一方、Group 1 の場合については、その噴出量については予想がつかず、防災上は大規模な貫入になる可能性を念頭に置く必要がある。噴出物の分析によると、割れ目噴火の後、山頂噴火を起こす可能性がある。火山活動は、割れ目

噴火発生終息以降もしばらく続く可能性が高い（1986 年活動、2000 年三宅島噴火活動）。

③ 注意すべき点及び課題点

- ・岩脈貫入の中期的な（数ヶ月程度前）前兆は、検出できるかどうか疑わしい。伊豆半島東方沖群発地震の場合には、数ヶ月前に微小な地殻変動が前兆的に現われるようにも見えるが（村上、2006）、海に囲われた伊豆大島では全島的な上下変動を高精度に捉えることが困難で、中期的な前兆現象を捉えることは難しいと思われる。
- ・岩脈貫入の短期的な予測についても、現時点で可能かどうか判らない。1986 年噴火の際に見られた 11 月 19 日 23 時頃の傾斜変動と微動の振幅変化が観測されたが、これらの現象がその 40 時間後に起こる岩脈貫入の前兆現象であるか否かについては、研究の余地がある。また、岩脈貫入前にどのような事象が地下で発生するかについては未解明であり、この分野の研究が求められる。
- ・本格的な岩脈貫入現象の開始を示す地殻変動は大きく、観測網が正常に機能していれば割れ目噴火の直前の現象を捉えることは容易であると思われる。しかし、このような直前現象から、割れ目噴火までには 1～2 時間程度しか時間的な余裕はない。従って、割れ目噴火に対する警報の発表は監視現場での即時的な判断が求められる（図 21）。
- ・現在観測されている間欠的な山体膨張は 1～2 年間隔で発生し、1 回のマグマ貫入量は数百万 m^3 である。これは、中規模噴火で噴出するマグマの数分の一程度である。このような山体膨張現象が噴火現象とどのように結びつくかについては未解明である。ただし、このような現象のマグマ貫入率は $10^4 \sim 10^5 \text{m}^3/\text{day}$ 程度であり、この貫入率を超えるようなことが起これば、山頂噴火及びそれに引き続く山腹噴火に注意を払う必要がある。GPS、傾斜計及び APS が稠密に配置されている伊豆大島では、貫入深度が 2km 以浅の場合では、GPS では 10^6m^3 、傾斜計では 10^4m^3 程度のマグマの貫入は検出できるので（西村、2007：図 10）、このような貫入率の変動を 2～3 日で観測によって検出することは可能であろう。
- ・山頂噴火から岩脈貫入に移行する過程、岩脈貫入から割れ目噴火に移行する過程については未解明な点が多い。したがって、どのような前兆現象を見出せば良いかについては現時点では判らない。マグマの蓄積、噴火開始過程の科学的な解明を進めることが強く求められる。

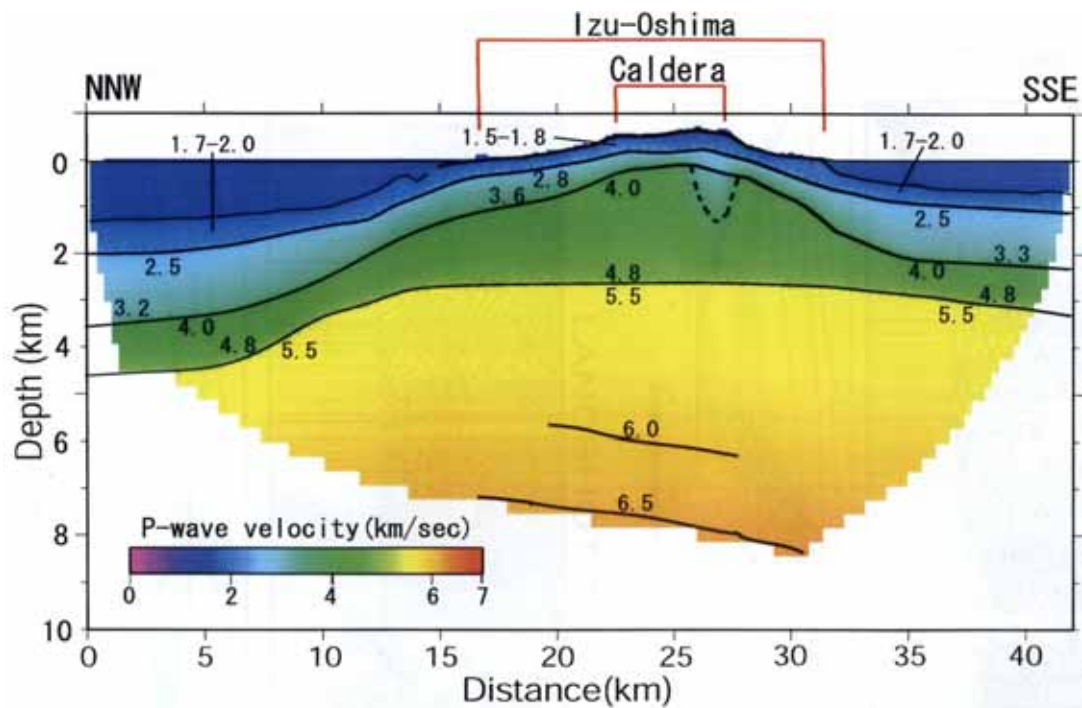


Fig5-27 本研究で求めたP波速度構造
 図中の数値はP波速度(km/s)である。第2層、第3層上面はカルデラ下へ向けて盛り上がっている。
 第4層上面は伊豆大島島内下では水平になっている。第3層上面の点線で表示している部分は低速度領域である。
 深さ6.0km付近と深さ8.0km付近に反射面がある。

図13 人工地震による伊豆大島のP波速度構造 (伊藤、2003)

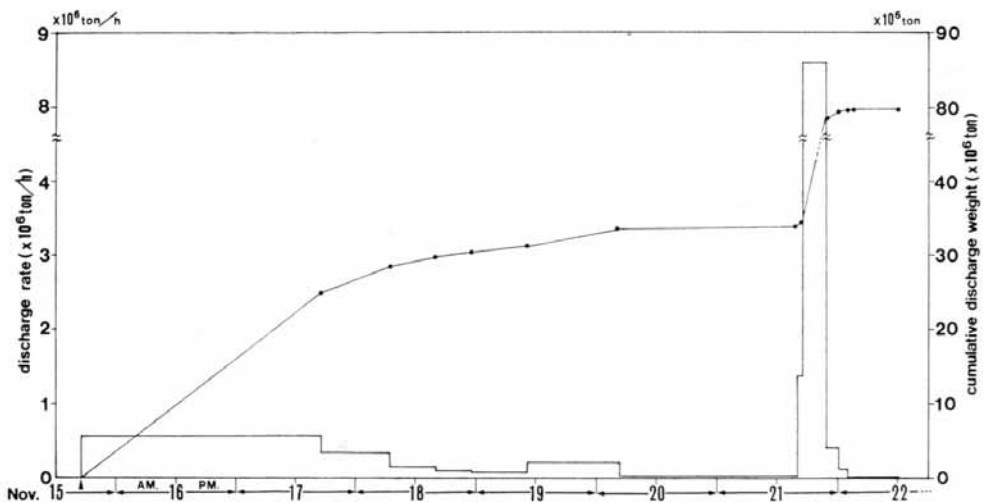


Fig. 14. Changes in magma discharge rate and cumulative discharge weight during the 1986 Izu-Oshima eruption.

図14 1986年噴火のマグマ噴出量 (遠藤・他、1988)

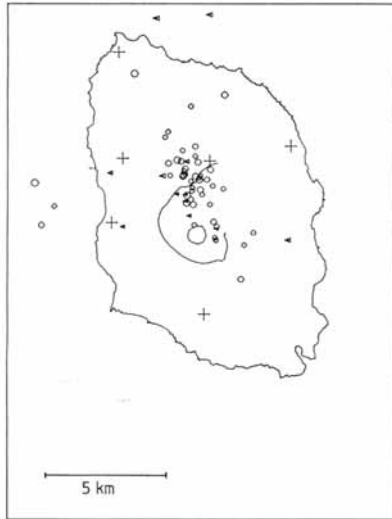


図 15 割れ目噴火直前の震央分布
(山岡・他、1988)

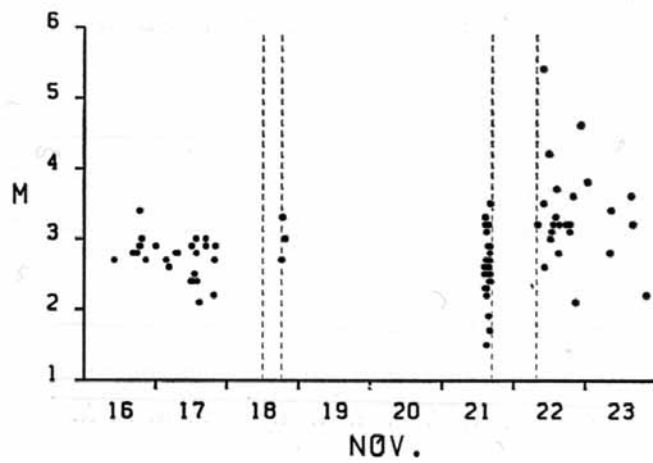


図 16 1986 年噴火時の M—T ダイアグラム
(沢田・他、1988)

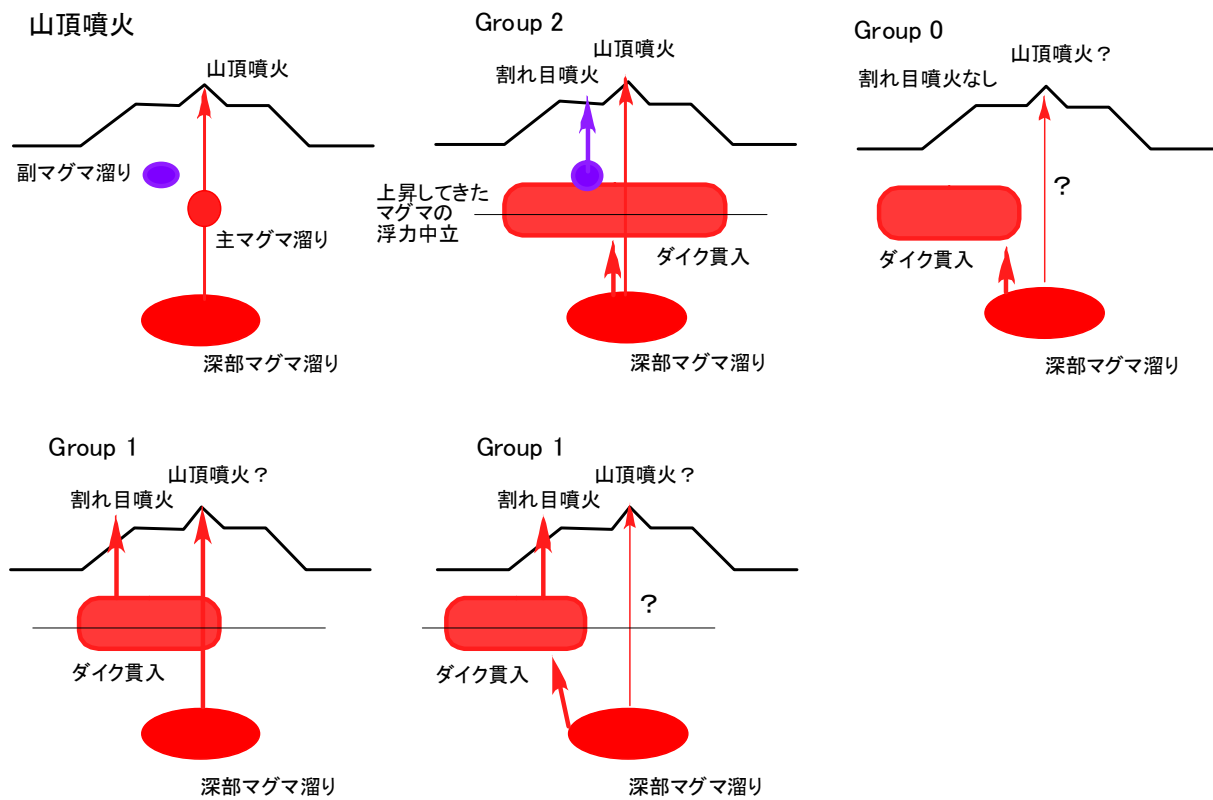


図 17 割れ目噴火様式の模式図

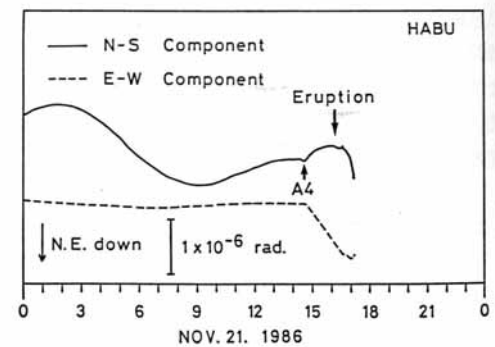
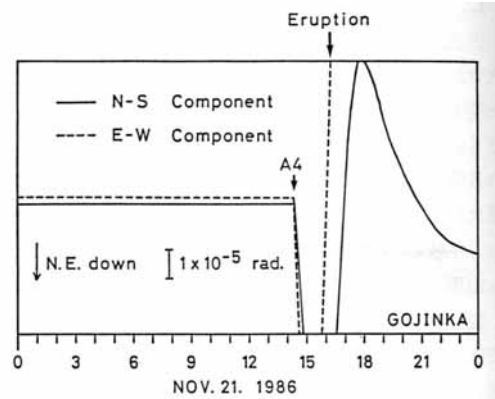
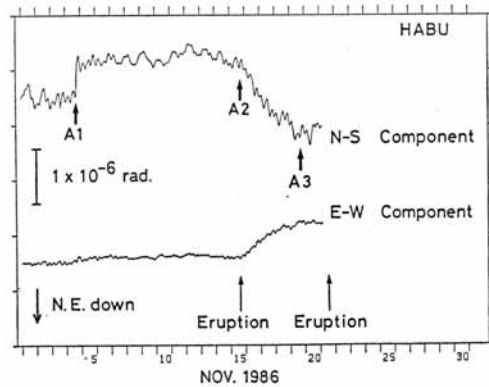
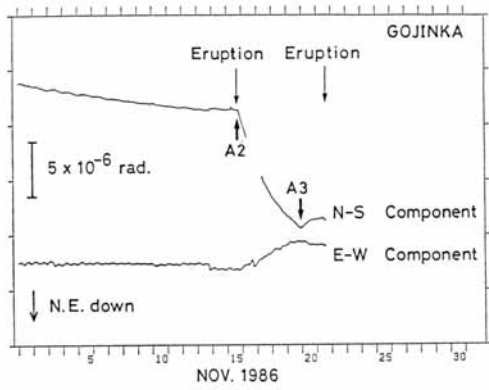


図 18 山頂噴火開始から割れ目噴火までの傾斜変動
上：御神火観測点、下：波浮観測点（山本・他、1988）

図 19 割れ目噴火直前の傾斜変動

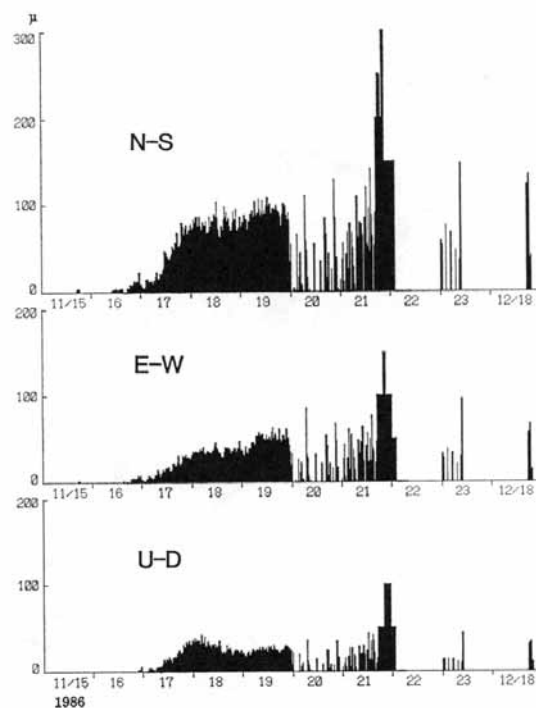


図 20 1986 年噴火時の火山性微動の振幅変化（山里・他、1988）
傾斜変動（図 6）と同期して連続微動が間欠的になった

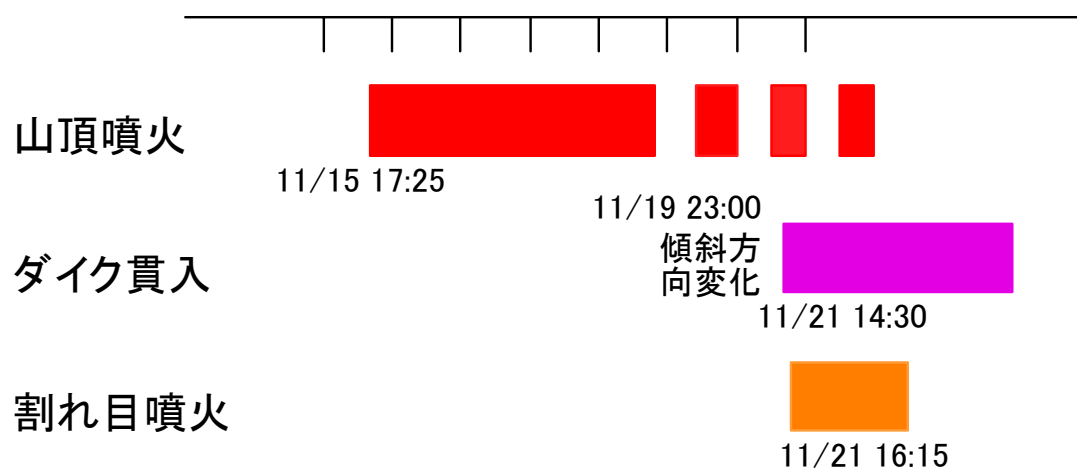


図 21 1986 年伊豆大島噴火の時系列

(1)ダイク貫入(走向140°, 傾斜90°)の場合の検知能力

(1-2)傾斜計($\sigma=1 \times 10^{-7}$ radian)の場合

(1-1)GPS($\sigma=2$ cm)の場合

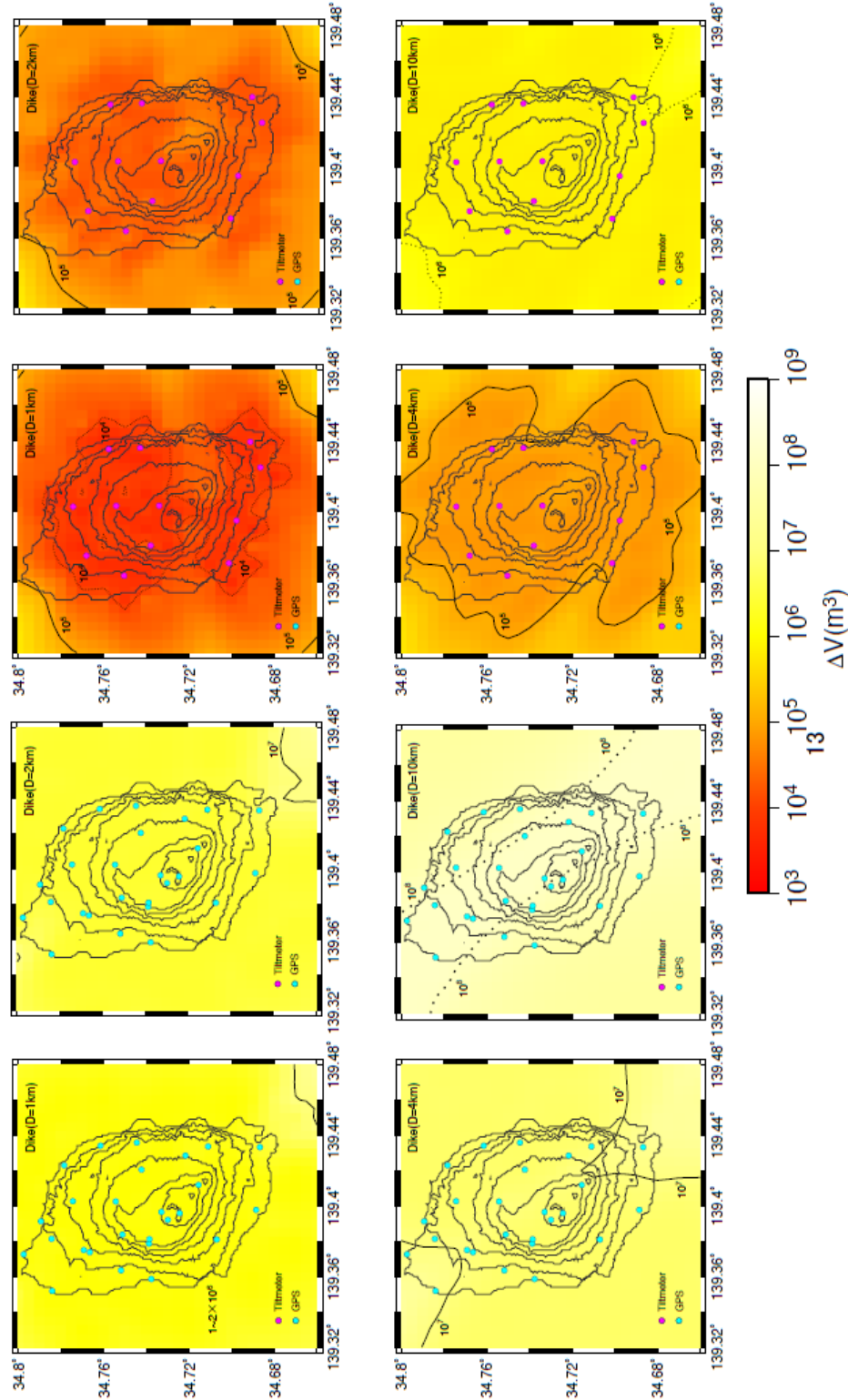


図 22 (1) 大島の地殻変動観測網によるマグマ貫入の検知能力—岩脈貫入（走行 140 度、傾斜角 90 度）を想定した場合の検知能力

(1-1) 貫入深度別に GPS 観測点での変位量が 1 点でも 2cm を超える場合を貫入場所ごとに貫入量で色分けして示した。(2-2) 傾斜計での傾斜変化量が 1 点でも 10^{-7} rad を超える場合を貫入場所ごとに貫入量で色分けを示して示した。各図：左上：深さ 1km、右上：深さ 2km、左下：深さ 4km、右下：深さ 10km。

(2) 球状圧力源(茂木モデル)の場合の検知能力

(2-1) GPS($\sigma=2\text{cm}$)の場合

(2-2) 傾斜計($\sigma=1 \times 10^{-7}\text{radian}$)の場合

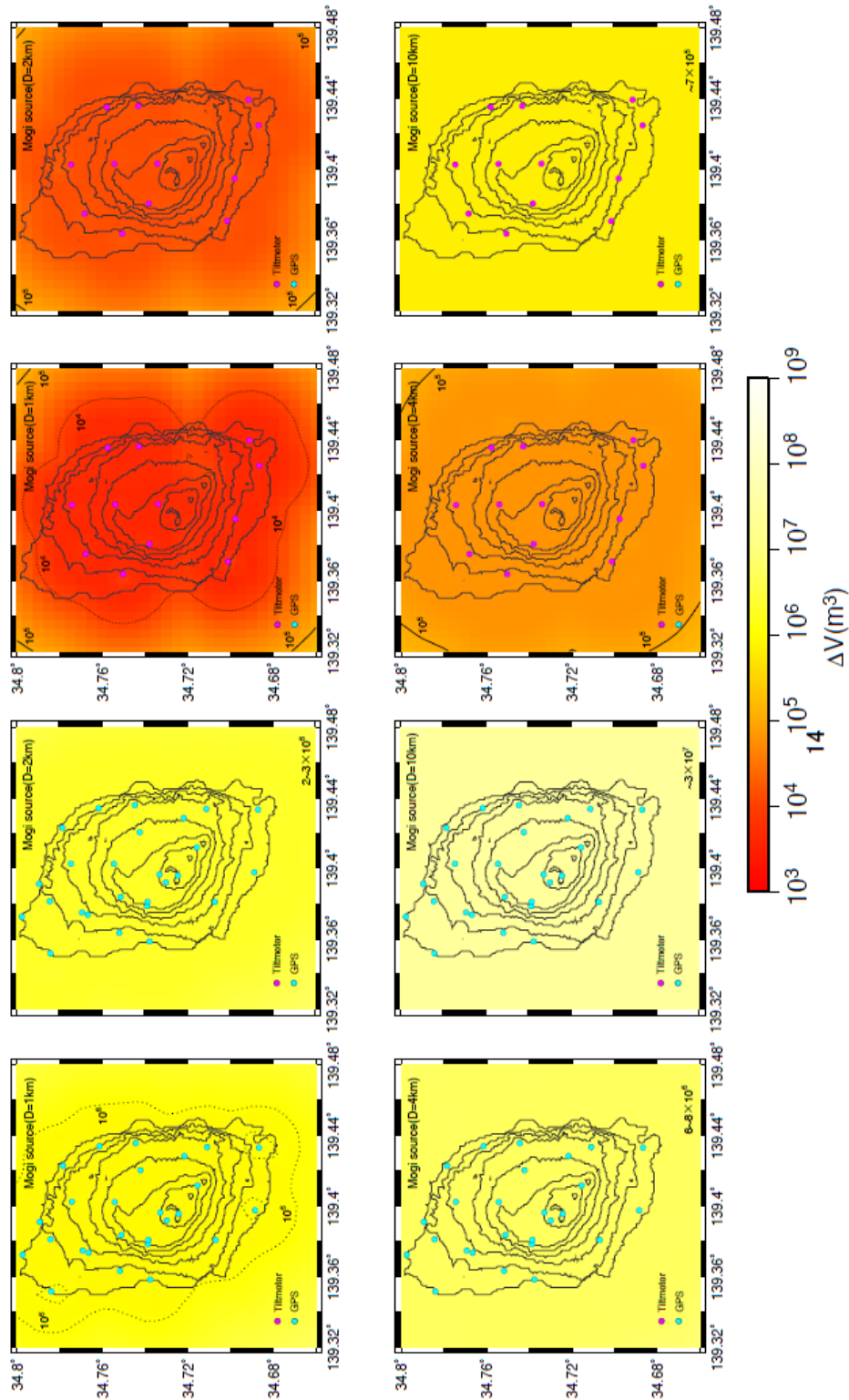


図 22 (2) 大島の地殻変動観測網によるマグマ貫入の検知能力ー球状のマグマ貫入（茂木モデル）を想定した場合の検知能力

(2-1) 貫入深度別に GPS 観測点での変位量が 1 点でも 2cm を超える場合を貫入場所ごとに貫入量で色分けして示した。(2-2) 傾斜計での傾斜変化量が 1 点でも 10^{-7}rad を超える場合を貫入場所ごとに貫入量で色分けを示して示した。各図：左上：深さ 1km、右上：深さ 2km、左下：深さ 4km、右下：深さ 10km。

（３）カルデラ噴火

伊豆大島火山の山頂部カルデラは、約 1700 年前の S₂ 期に形成されたと考えられている。噴火推移に関する情報は、文書記録がないため地質学的・岩石学的記録に限られる。そのため、他の火山における類似事例も参考にした（表 1）。

S₂ 噴火は、山頂でのスコリア放出に続いて山腹複数ヶ所での割れ目噴火が起こり（図 23）、引続いて、大規模な水蒸気爆発が山頂部で発生した。爆発に伴い人頭大の岩塊が山頂から 3・4km の範囲に放出されたほか、高速低温の火砕流がほぼ全島を覆った（図 24）。火砕流堆積物がカルデラ壁で切られている関係から、S₂ 期噴火後にカルデラが形成されたと考えられる。

①特徴

- ・ 噴火発生場所：山頂噴火およびカルデラ内外で側噴火、その後山頂部陥没
- ・ マグマ組成：S₂ 噴火マグマの組成範囲は広く、やや分化の進んだマグマからカルデラ形成前のマグマよりも有意に未分化ものまでを含む。このような未分化なマグマの存在はさらに深所のマグマの関与を示唆する。
- ・ 噴火様式：
 - 噴火初期 山頂火口、側火口からの溶岩噴泉・ストロンボリ式噴火、（サブ）プリニー式噴火 火口周辺および風下側にスコリア・火山灰の降下、溶岩流の流出。これらは発生しない可能性もある。
 - 噴火後期 マグマの貫入によるマグマ溜りからのマグマ排出、それによる山頂陥没あるいは地すべり。大規模な水蒸気爆発、弾道岩塊の投出、火砕流の発生、火山灰降下、カルデラ形成
- ・ 噴出量 マグマ溜りからのマグマ排出が本質。参考として S₂ 噴火の噴出量は約 0.15km³、約 2 億 4 千万トン（Nakamura, 1964）。

②時系列

- ・ 準備過程・前駆段階 歴史記録は残っていない。S₂ 噴火堆積物から推定される噴火の特徴、および 2000 年三宅島、1924 年ハワイ・キラウエアなどを参考にすると、マグマ貫入に伴う山腹から海域に至る地震活動、地殻変動、山腹噴火と山頂直下での地震の増加などの前駆現象が想定される。（表 1）
- ・ 噴火開始後 主マグマ溜りから貫入によるマグマの排出によって、山頂部の陥没が発生する。山頂部での噴火および山腹割れ目噴火が先行する可能性がある。陥没に伴って爆発的な噴火が発生、岩塊投出、火山灰の降下、場合によっては比較的低温の火砕流の発生も想定される。他の事例から噴火開始後カルデラ形成まで数ヶ月から 1 年程度と思われる。

③注目点及び課題

- ・ 山体中心部地下から周辺山麓・海域に及ぶ大規模なマグマ貫入の有無を把握することが肝要。
- ・ 陥没発生前には山頂直下で地震活動、噴気活動などが活発化する可能性が高い。
- ・ カルデラ形成機構については、地すべりの有無などまだ不明な点がある。長期マグマ噴出率の解明のためにもカルデラ構造の解明が必要。

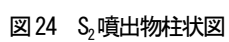


表1 玄武岩質火山におけるカルデラ陥没事例

火山名	年	岩脈貫入前の山頂噴火	岩脈貫入	山腹噴火	貫入後山頂噴火
ハワイ・キラウエア	AD1924	あり, 溶岩湖形成	地震・地殻変動	なし	あり, 爆発的噴火
三宅島	2500yBP	あり, スコリア放出	不明	あり	あり, 爆発的噴火
三宅島	AD2000	なし	地震・地殻変動	あり, 海底噴火	あり, 爆発的噴火
レユニオン・フルネーズ	AD2007	あり	地震・地殻変動	あり, 溶岩流	あり?
伊豆大島	1700yBP	あり	不明	あり, 複数割れ目	あり, 爆発的噴火

4. マグマ供給システム

(1) 地質学・岩石学的知見

①全岩化学組成による Group 分けについて

伊豆大島火山の岩石は、ほとんどが低-K ソレライト系列の玄武岩、玄武岩質安山岩からなり、わずかに安山岩やデイサイトも認められる(久野、1958 ; Kuno et al., 1962 ; 一色、1984)。

全岩化学組成(図 25) から斜長石集積トレンドと分化トレンドを識別することができる(Nakano & Yamamoto, 1991)。斜長石集積トレンドは、一定の条件下で斜長石がマグマとの密度差によりマグマ溜まり上部に浮上集積して Al_2O_3 形成に富む。分化トレンドは、かんらん石・輝石・斜長石等の鉱物がマグマから取り去られることによって SiO_2 に富む (>54 重量%) マグマが形成される。

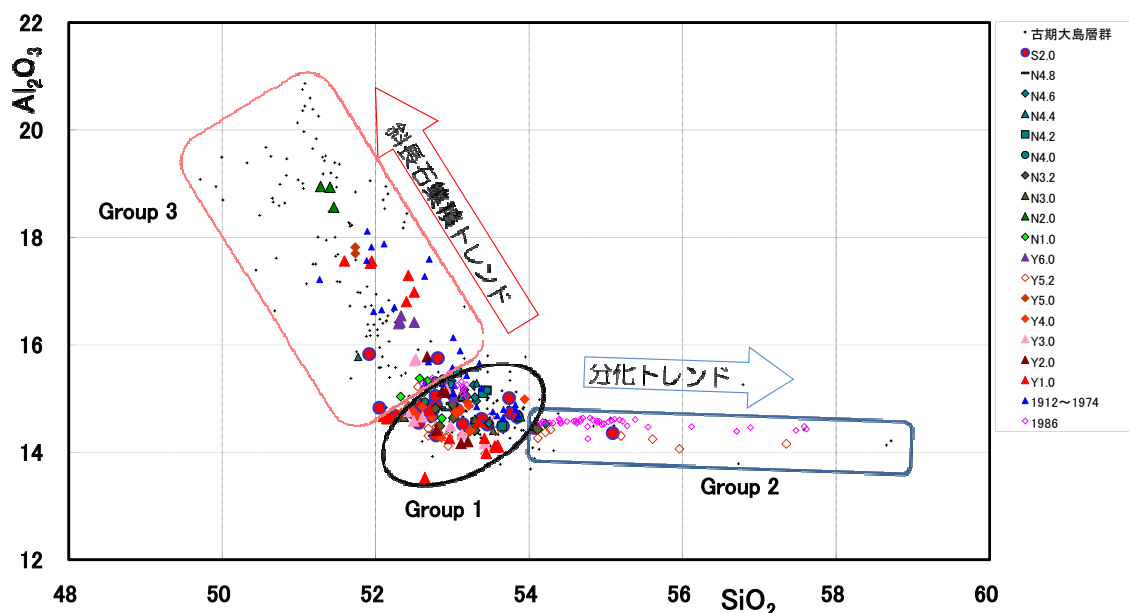


図 25 伊豆大島火山噴出物の SiO_2 wt%— Al_2O_3 wt% 図。桂・中村 (1960)、一色ほか (1963)、一色 (1984)、中野・山元 (1987)、中野ほか (1988)、藤井ほか (1988)、川辺 (1991、1998)、林 (2006MS) による測定値。林 (2006MS) の分析値のまとめに加筆

全岩化学組成によるこれらのトレンドをもとにカルデラ形成後の新期大島層群、カルデラ形成前の古期大島層群の岩石を、Group 1、Group 2、Group 3 の 3 グループに分けた (図 25、26)。その特徴は、以下のとおりである。

- : Group 1 無斑晶質で組成が比較的均質 : 大規模山頂噴火の中～後期と、側噴火のうち Y4.0、N1.0、N3.0、N4.4、N4.8、S2.0 (湯場、東山腹)、O₁₄ 垣原、蜂ノ尻
- : Group 2 無斑晶質な分化マグマ、組成幅が広い : 側噴火のうち 1986 年 B・C 火口列、Y5.2、N3.2、N4.2、N4.6 など
- ☆ : Group 3 斜長石集積マグマ、全岩組成は斜長石斑晶量を反映 : 大規模山頂噴火の初期噴出物 (初期の基底スコリア) および中規模以下の山頂噴火噴出物、側噴火のうちカルデラ形成以前に活動した愛宕山、三ッ峰、赤禿、伊東無、O₁₀ サド山など

②マグマ組成と火口の位置の対応関係について

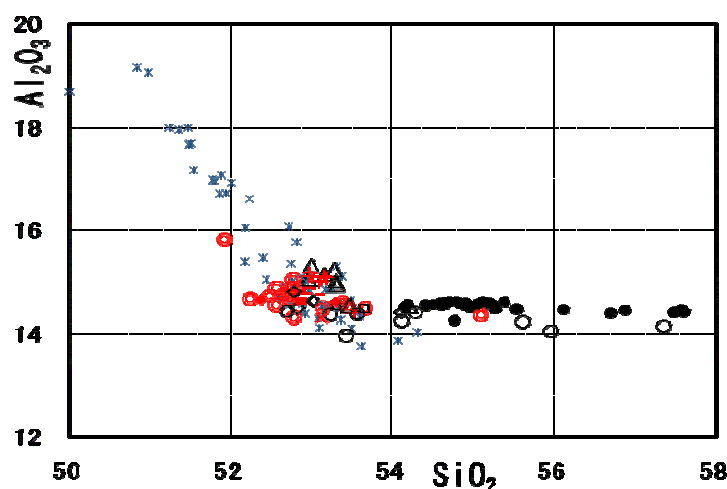
- ・ 山頂火口からは Group1、3 のマグマは噴出するが、Group2 は噴出しない。
- ・ Group1 のマグマは、大規模山頂噴火の中～後期に噴出する。大規模山頂噴火に伴い、山体中心から離れた山腹割れ目から噴出することもある (図 26、27)。
- ・ Group2 のマグマは、山体中心付近の割れ目火口からのみ噴出される。山頂火口や山麓・海岸付近からは噴出されない (図 26、27)。
- ・ Group3 のマグマは、大規模山頂噴火の初期および中規模山頂噴火の際に噴出する。先カルデラ期には山腹・山麓の割れ目火口からも噴出した (図 26、28)。
- ・ 1986 年噴火の際に、山頂からは、やや斜長石が集積したマグマ (Group 1、3 の境界付近)、山腹割れ目からは分化した Group2 のマグマが噴出した。これらは互いに独立したマグマ溜まりから供給されたと考えられた (中野・山元、1987 ; 藤井ほか、1988) (図 26、27)。

③マグマ組成の時間変化について

カルデラ形成にかかわった S₂ 噴火マグマの組成範囲は、やや広く、Mg#の高い、相対的に未分化なマグマから、分化の進んだものまでを含む。

- ・ 新期大島層群を通して大規模噴火のマグマ組成の変化に注目すると、大噴火の噴出物の最高 Mg#値は時間の経過とともに徐々に低下し、分化が進んでいくことがわかる (図 28)。

無斑晶質な Group 1、Group 2 の側噴火マグマは伊豆大島火山の活動を通して噴出した。特に新期大島層群の側噴火噴出物は全て無斑晶質であった。Group 3 のマグマは、カルデラ形成後は山腹割れ目からは噴出していない (図 29)。カルデラ形成を機にマグマ供給系の条件が変化した可能性が高い。



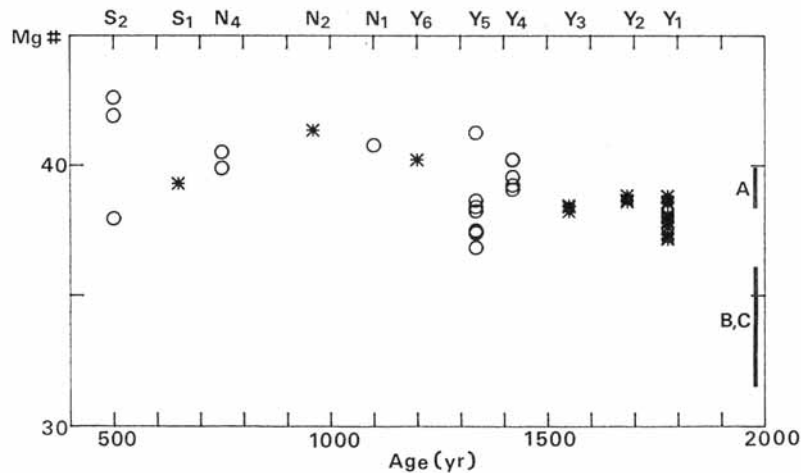


Fig. 16. Chronological variation of Mg# of lavas and ejecta. Circle: major eruption with flank eruption, Asterisk: major eruption without flank eruption. The abbreviations for the major eruptions (NAKAMURA, 1964) are shown at the top.

図 29 新期大島層群大規模噴火のマグマの組成変化 (藤井ほか、1988)

* : 山腹噴火を伴わない大噴火、○ : 山腹噴火を伴う大噴火

④地質・岩石学的データから推定したマグマ供給システム

・山頂および山腹噴火のマグマ供給系

マグマの組成と火口の位置の関連から推定すると、Group 1 のマグマは主マグマ溜まりから上昇・貫入し、山頂火口および山腹から噴出する。主マグマ溜まりは 8~10km の深さにあるので、上昇・貫入の際に水平移動距離を伸ばすことができ、山麓・海岸付近まで達したのであろう。結晶分別の進んだ Group 2 マグマは山体中心付近浅所にある副マグマ溜まりから噴火割れ目をつくって地表に達したと考えられる (図 29)。噴火未遂に終わった浅所貫入マグマがこの副マグマ溜まりの形成に関わっているのかもしれない。

・カルデラ形成噴火のマグマ供給系

S₂噴火では、山頂噴火と山腹複数ヶ所で割れ目噴火が発生した (図 23)。割れ目噴火発生直後には山頂部で大規模な水蒸気爆発が発生した。このときカルデラが形成されたと考えられている。S₂期の噴出物は基本的には Group1 に属するが、割れ目ごとに若干異なる組成を持ち、したがってマグマの組成範囲はやや広い (図 25、26、29)。S₂以前の噴出物に比べて未分化なマグマも噴出したことから、深所から未分化なマグマが上昇して、溜まりのマグマの入れ替えが起こった可能性も考えられる。三宅島 2000 年噴火など他の火山での類似カルデラ噴火事例を参考にと、いずれも中央火道または主マグマ溜りから (Group1) マグマの急速かつ大規模なマグマ排出が起こり、マグマ溜り収縮→山頂部陥没と推移したと考えられる (図 30)。

・新たに噴出したマグマの化学組成から推定できること

噴火実績と岩石学的な検討に基づけば、噴火が発生した場合に、噴出物の化学組成が Group1 であればマグマの起源が主マグマ溜まりであることが推定され、大規模噴火と判断する根拠のひとつになる。さらに、最近の大噴火で見られる組成よりも有意に未分化であれば、主マグマ溜まりよりも深所からのマグマが関与している可能性を指摘できる。また、山腹割れ目噴火のマグマが Group2 に限られてい

ば、副マグマ溜まりの活動に終わる見通しをたてられる。Group3 のマグマに限られていれば、中規模噴火、ないし大規模噴火の初期段階と位置付けられるであろう。ただし、あくまで過去の経験に基づく推定であり過信は禁物である。

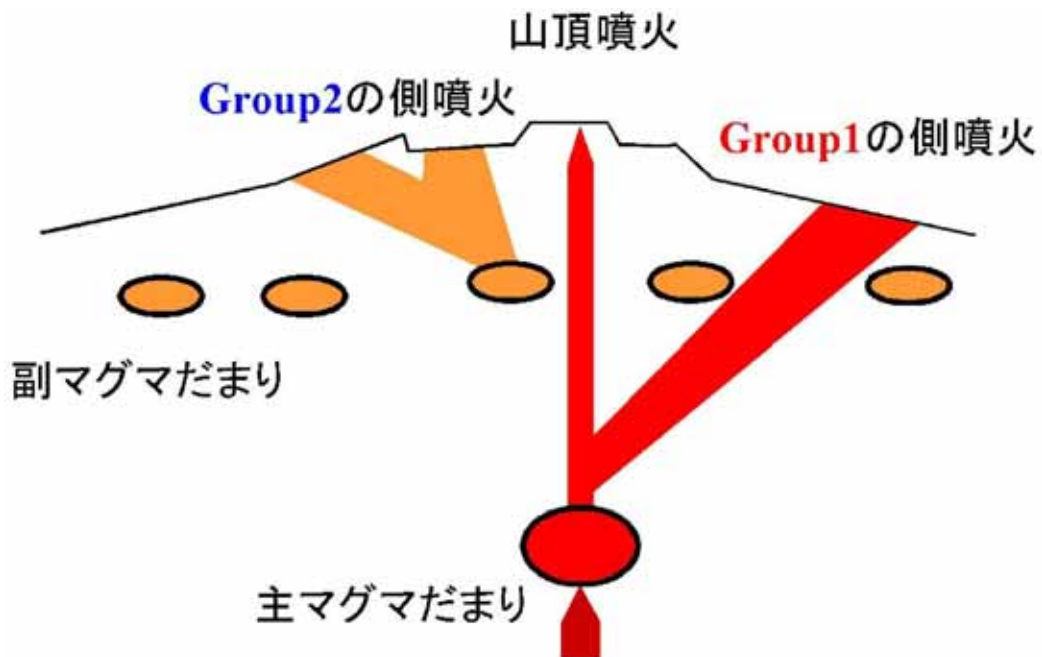


図 30 中～大規模噴火のマグマ供給モデル。赤は主マグマ溜まり起源の比較的未分化なマグマ、橙色は浅所にある副マグマ溜まりで結晶分別作用の進行した比較的分化の進んだマグマを表わす。(林、2006MS)

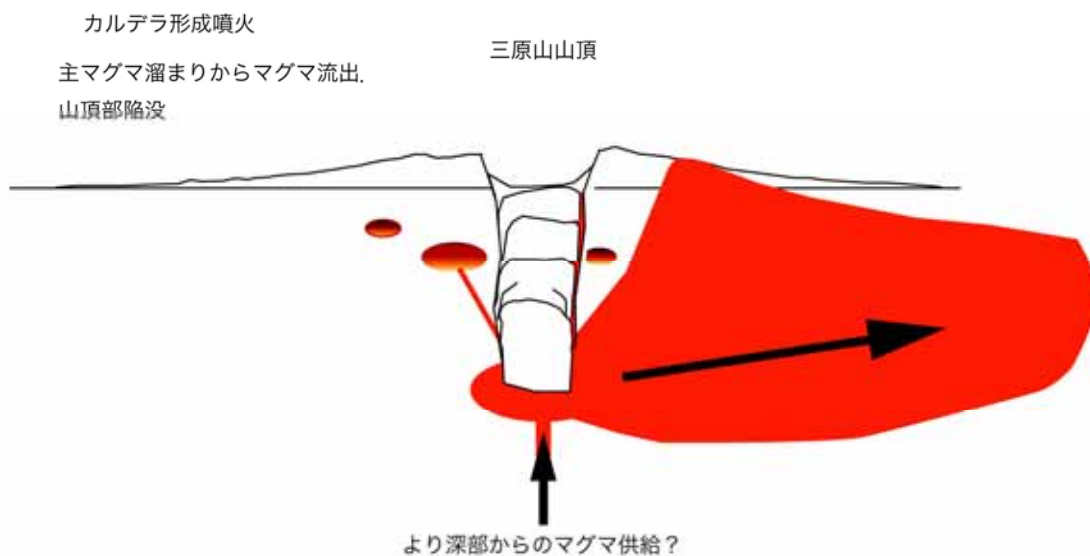


図 31 カルデラ噴火のマグマ供給・排出系モデル (川邊 原図)

(2) 観測・探査等による知見

伊豆大島火山のマグマ供給システムに関し、観測結果と構造探査による知見をまとめる。

①震源分布

- ・伊豆大島中央部直下では震源分布の下限が系統的に浅くなっており、海面下2km以深に地震空白域が存在する。この領域は温度が高いため、変形するが地震は起こりにいのである（図32）。
- ・1986年割れ目噴火の前駆地震はカルデラ北部の深さ4-5kmから始まっており、分化したマグマがこの深さに存在していたものと思われる（図33）。

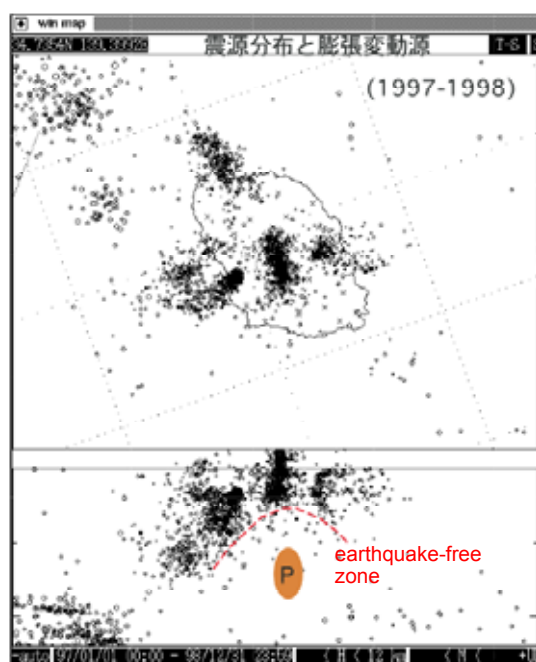


図32 伊豆大島周辺の震源分布。Pは推定された山体膨張源の深さ範囲

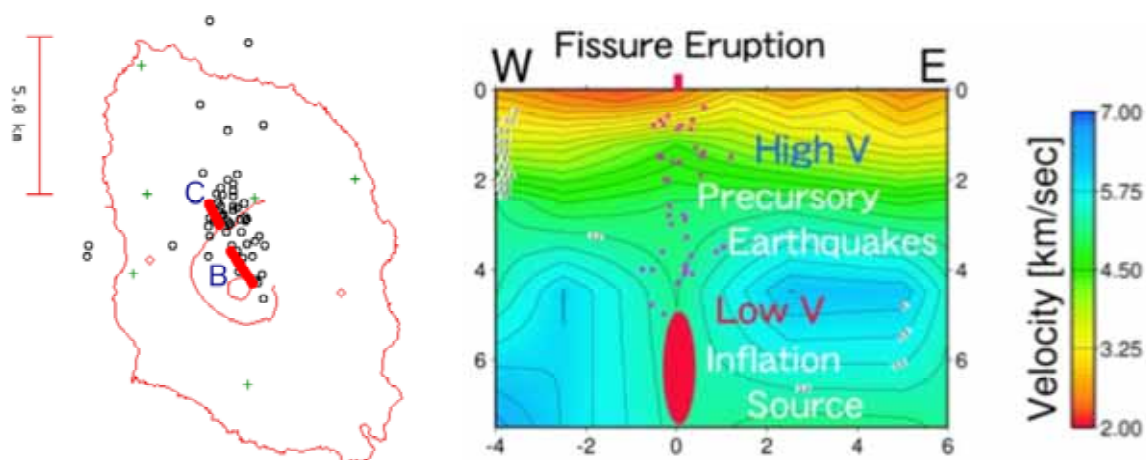
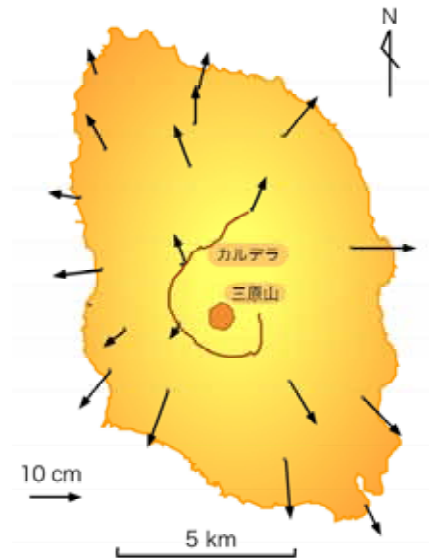


図33 1986年割れ目噴火前駆地震の震源分布と速度構造 (Onizawa、2000)

②山体膨張変動源

- 1989 年以降、カルデラ北部を中心とする山体膨張が継続している。これまでに推定された膨張変動源の深さ範囲は 4～9 km。時期により変動源の位置が異なる可能性もあるが、詳細は確定していない。

図 34 1988 年～1994 年の期間の水平変位ベクトル。
膨張変動源は、カルデラ北部の深さ 6～8 km と推定される（国土地理院、1996）



③構造探査：散乱体分布

- 自然地震を用いた散乱体イメージングにより、伊豆大島カルデラ地下の深さ 9 km 付近および 4～5 km 付近に、マグマと推定される強い散乱体が捉えられている。

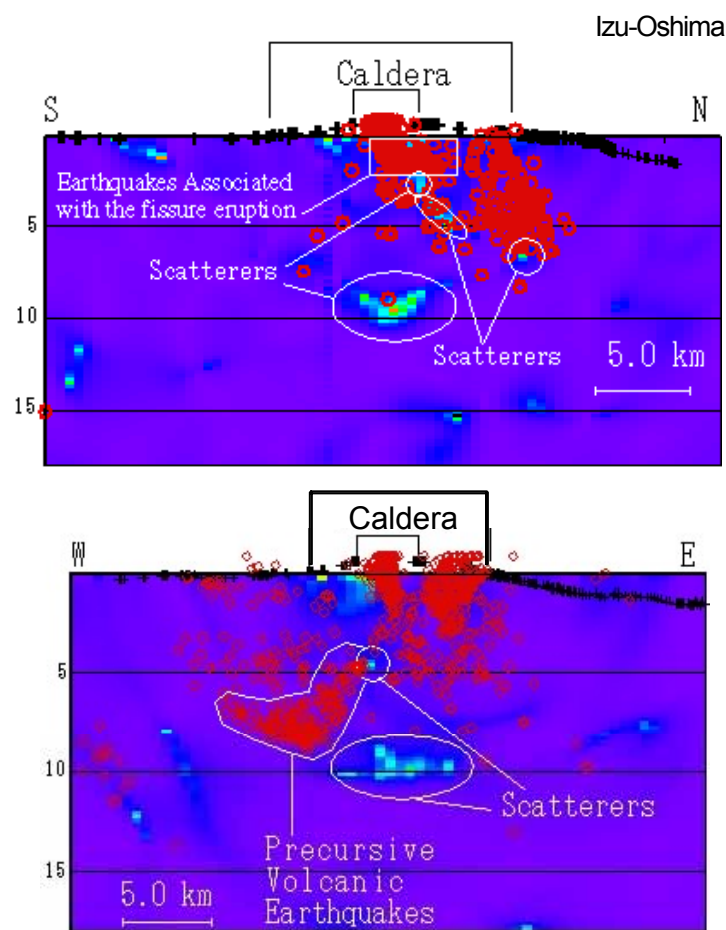


図 35 伊豆大島地下の散乱体分布（上：南北断面、下：東西断面）（Mikada et al.、1997）

(3) マグマ供給システムのイメージモデル

これまでに行われた噴出物の地質岩石学的調査分析および観測・構造探査による知見を総合すると、伊豆大島火山における噴火のマグマ供給源として、主マグマ溜り（深さ 9 km 付近）と副マグマ溜り（深さ 4– 5 km）があり、これらにさらに深部（下部地殻～モホ面付近？）からマグマが供給されているものと思われる。山頂噴火、山腹割れ目噴火、カルデラ形成噴火は、それぞれ以下のようなマグマ供給システムによって起こっていると推定される。具体的な岩脈貫入プロセスについては、「3. 噴火ケース（2）割れ目噴火」を参照。

- ・山頂噴火：主マグマ溜りから山頂火道を使って発生。
- ・割れ目噴火 Group1：主マグマ溜りあるいは山頂火道からの岩脈貫入によって発生。
- ・割れ目噴火 Group2：浅部に形成された副マグマ溜りから岩脈貫入によって発生。
- ・カルデラ形成噴火：主マグマ溜りからの大規模なマグマ排出によって引き起こされる山頂部の陥没に伴って発生する。その際、深部のより未分化なマグマが上昇し、主マグマ溜りの入れ替えが起こる可能性もある。

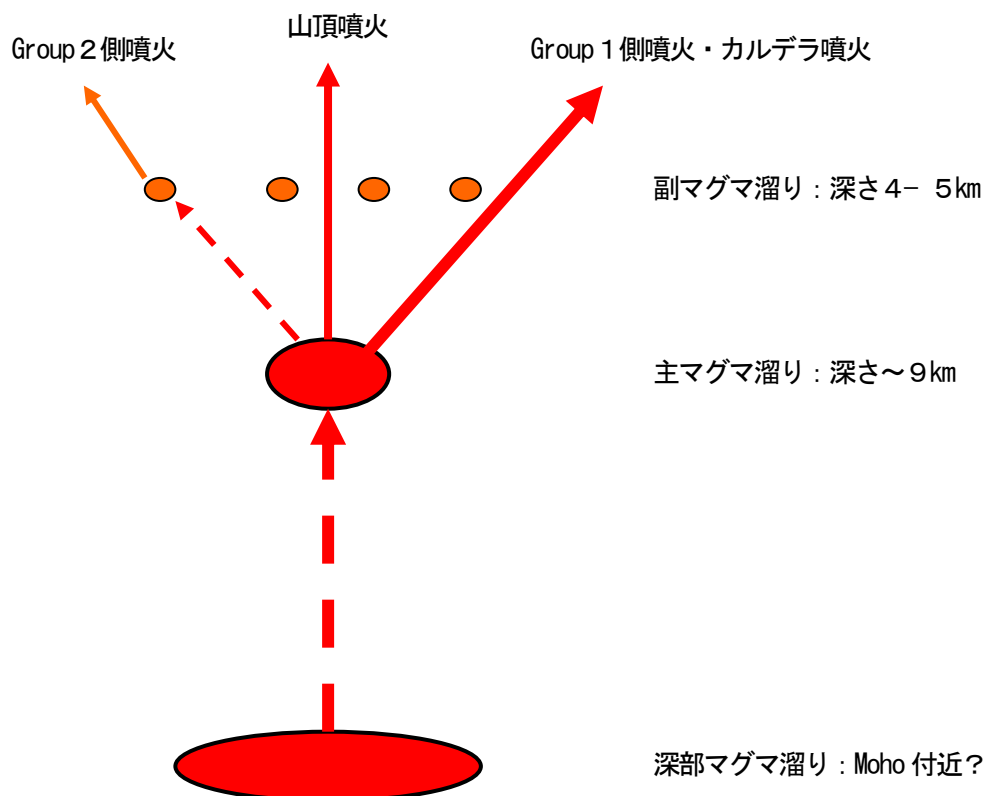


図 36 伊豆大島火山のマグマ供給システムイメージモデル

5. 観測網及び観測体制の課題

平常時における火山活動状況の把握、異常現象の早期検知、さらに山麓での割れ目噴火や大規模噴火等の非常時においても確実に火山活動を把握するための観測と、マグマ供給系の理解を深め、マグマ移動の定量的な把握により高度な噴火予測を行うための観測に分けて、伊豆大島火山における観測網および観測体制の課題を列挙する。

(1) 火山活動を把握するための観測

平常時から、伊豆大島火山の活動状況を的確に把握し、異常現象を早期に検知できる観測網を構築しておく必要がある。特に、噴火発生頻度の高い山頂火口とカルデラ域での観測網の充実が必要である。また、山麓に被害が及ぶような割れ目噴火や大規模噴火が発生した場合には、電力や電話回線網が一時的に途絶する可能性がある。2000年三宅島噴火では、最大規模の噴火が発生した後一時的に観測体制が弱体化し、火山活動の把握が困難になったことがあった。火山活動状況を把握し防災に役立てるためには、そのような状況においても確実に観測を継続し、活動評価ができる体制を事前に準備しておく必要がある。さらに、割れ目噴火の場合、ダイク貫入等の前駆現象出現から噴火までの時間的猶予は短いと予想されるので、各種観測データを迅速に解析し、評価できる体制を事前に準備しておく必要がある。

- ・大島全域をカバーする基本観測網：地震、地殻変動など少なくとも8カ所程度。
- ・カルデラ域をカバーする観測網：地震、地殻変動、電磁気、熱など3～4カ所。
- ・山頂火口をカバーする観測網：地震、地殻変動、電磁気、熱赤外、可視画像など
- ・各観測点の無停電化とデータ通信網の確保：太陽電池／燃料電池、衛星通信など。
- ・初動体制と火山活動の推移に伴う観測体制のダイナミックな修正変更。
- ・観測データの迅速な解析・評価体制の確立（特に、GPS等の地殻変動データ）。
- ・夜間における噴火状況等の把握のための目視観測体制：固定および機動観測。

(2) 高度な噴火予測のための観測

1989年以来山体膨張が継続し、マグマの蓄積／噴火準備過程が進行中であるが、噴火へつながる現象がどのような経過で発生し、噴火に至るのか十分には解明されていない。「マグマの蓄積から、物理化学的変化（ガス成分の変化など）を経て、噴火へ向けたマグマの再上昇開始に至る過程」を総合的に解明することが重要な課題である。現在、マグマの蓄積状況は地震、地殻変動観測によって把握されており、マグマが山頂火道を上昇開始した場合には、山頂周辺での熱・電磁気学的観測や高精度な地殻変動・重力観測などによって異常変化を捉えることは可能であると思われる。これらに加えて、地下に蓄積しつつあるマグマの物理化学的変化（ガス組成や濃度の変化など）を捉えるための観測が必要である。

また、これまでの山体膨張観測から、マグマ蓄積領域が複数存在する可能性も示唆されているが、詳細は確定していない。特に、火山島である伊豆大島では観測網の広がり方が不十分であるため、変動源の深さ分布の分解能が不足している。山麓でのダイク貫入／割れ目噴火過程の把握や噴火の推移予測のためには、深部から浅部に至るマグマ供給系を解明し、マグマの移動を定量的に把握する必要がある。そのためには、周辺海域における地震・地殻変動連続観測網の展開が極めて重要である。

- ・山頂火口周辺での高精度観測：電磁気、重力、地殻変動連続観測など。

- ・カルデラ／山頂火口周辺での火山ガス連続観測：CO₂、He³/He⁴、H₂ガスなど。
- ・周辺海域での地震・地殻変動連続観測：技術開発と実験観測。

6. 引用文献

- 遠藤邦彦・千葉達郎・谷口英嗣・隅田まり・太刀川茂樹・宮原智哉・宇野リベカ・宮地直道、(1988) テフログロロジーの手法に基づく 1986 年～1987 年伊豆大島噴火の経緯と噴出物の特徴、火山、33、伊豆大島噴火特集号、S32-S51.
- 藤井敏嗣・荒牧重雄・金子隆之・川辺・禎久・福岡孝昭、伊豆大島 (1988) 1986 年噴火噴出物の岩石学的特徴、火山、33、伊豆大島噴火特集号、S234-S254.
- 橋本学・多田堯 (1988) 1986 年伊豆大島噴火前後の地殻変動、火山、33、伊豆大島噴火特集号、S136-S144.
- 林幸一郎 (2006) 伊豆大島火山の側噴火活動. 千葉大学大学院自然科学研究科 修士論文. 148p.
- Hayashi, Y. and Y. Morita (2003) An image of a magma intrusion process inferred from precise hypocentral migrations of earthquake swarm east of the Izu Peninsula, *Geophys. J. Int.*, 153, 159-174.
- 平林順一・吉田 稔・小坂丈予・小沢竹二郎 (1988) 火山、第 2 集、33、S271-S284.
- 伊藤正和 (2003) 制御震源を用いた伊豆大島及び周辺海域の地震波速度構造、東京大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻修士論文
- 一色直記 (1984) 1/5 万地質図幅. 地質調査所.
- 一色直記 (1984) 大島火山の歴史時代における活動記録. 地調月報、35、477-499
- 一色直記・中村一明・早川正巳・平沢清・行武毅・荒井綏・岩崎文嗣 (1963) 試錐結果からみた伊豆大島火山のカルデラの構造. 火山、8、61-106.
- 鍵山恒臣・辻 浩 (1987) 1986 年伊豆大島噴火の熱的前兆と現況、月刊地球、9、435-440.
- 桂 敬・中村一明 (1960) 新期大島層群中の火山岩の化学組成. 火山、5、75-98.
- 川邊禎久 (1991) 伊豆大島火山の岩石学的発達史. 火山、36、297-310.
- 川邊禎久 (1998) 伊豆大島火山火山地質図. 地質調査所.
- 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.
- 国土地理院 (1996) 伊豆諸島の地殻変動、火山噴火予知連絡会報、第 65 号、38-42.
- 小山真人・早川由紀夫 (1996) 伊豆大島火山カルデラ形成以降の噴火史. 地学雑誌 105、133-162.
- 久野 久 (1958) 大島火山の地質と岩石. 火山、3、1-16.
- Kuno, H. (1962) "Catalogue of active volcanoes of the world including solfatara fields. Part XI, Japan, Taiwan and Marianas. I.A.V., Napoli, 332pp.
- Mikada, H., H. Watanabe, and S. Sakashita (1997) Evidence for subsurface magma bodies beneath Izu-Oshima volcano inferred from a seismic scattering analysis and possible interpretation of the magma plumbing system of the 1986 eruptive activity, *Phys. Earth. Planet. Inter.*, 104, 257-269.
- 宮崎 務 (1988) 伊豆大島火山 1986 年噴火に関連した山頂カルデラの地盤上下変動、火山、第 2 集、33、S145-S154.
- 村上亮 (2006) 地殻変動から推定する伊豆東部火山群のマグマ供給系、第 104 回火山噴火予知連絡会資料.

- Nakamura, K. (1960) Stratigraphic studies of the pyroclastics of Oshima volcano, Izu, deposited during the last fifteen centuries. I. Cyclic activity of "Main Craters" and the absolute chronology of the pyroclastic sediments. Sci. Pap. Coll. General Educ., Univ. Tokyo 10, 125-145.
- Nakamura, K. (1964) Volcano-stratigraphic study of Oshima Volcano, Izu. Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 42, 649-728.
- 中野・山元(1987)地調月報、38.中野俊・山元孝広(1987)伊豆大島火山 1986 年噴出物の主成分化学組成 . 地調月報、 38、 631-647.
- Nakano, S. and Yamamoto, T. (1991) Chemical variations of magmas at Izu-Oshima volcano, Japan: plagioclase-controlled and fractionated magmas. Bull. Volcanol., 53, 112-120.
- 西村卓也 (2007) 伊豆大島の地殻変動観測網によるマグマ貫入の検知能力、第 6 回伊豆大島に関する勉強会資料.
- Okada Y., E. Yamamoto, T. Okubo (2000) Coswarm and pastswarm crustal deformation in the eastern Izu Peninsula, J. Geophys. Res., 105, 681-692.
- Onizawa, S. (2000) Magma plumbing system of Izu-Oshima volcano as inferred from seismic velocity structure analysis, Doctoral thesis, University of Tokyo, pp.107.
- 沢田宗久・工藤一嘉・坂上実・渡辺秀文 (1988) 強震記録より見た伊豆大島噴火前後の地震活動、火山、33、伊豆大島噴火特集号、S102-S112.
- 山本英二・熊谷貞治・島田誠一・福山英一 (1988) 伊豆大島の火山活動 (1986-1987 年) に伴う傾斜変動、火山、33、伊豆大島噴火特集号、S170-S178.
- 山元孝広 (2006) 伊豆大島火山、カルデラ形成期の火砕物密度流堆積物：差木地層 S2 部層の層序・岩相・年代の再検討.火山、51、257-271.
- 山岡耕春・渡辺秀文・坂下至功 (1988) 1986 年伊豆大島噴火前後の地震活動、火山、第 2 集、33、S91-S101.
- 山里平・中禮正明・清野政明・安藤邦彦 (1988) 伊豆大島噴火活動期における火山性微動の挙動、火山、33、伊豆大島噴火特集号、S120-S127.
- Yukutake, T., T. Yoshino, H. Utada, H. Watanabe, Y. Hamano and T. Shimomura (1990a) Changes in the electrical resistivity of the central cone, Mihara-yama, of Oshima volcano observed by a direct current method, J. Geomag. Geoelectr., 42, 151-168.
- Yukutake, T., H. Utada, T. Yoshino, H. Watanabe, Y. Hamano, Y. Sasai, E. Kimoto, K. Otani and T. Shimomura (1990) Changes in the geomagnetic total intensity observed before the eruption of Oshima volcano in 1986, J. Geomag. Geoelectr., 42, 277-290.
- 渡辺秀文 (1987) 火山性微動からみた伊豆大島火山の噴火機構、月刊地球、9、475-480.
- 渡辺秀文 (1998) 伊豆大島火山 1986 年噴火の前兆過程とマグマ供給システム、火山、43、271-282.

