

## Reconsiderations on 1986-IzuOhshima eruption,Introduction

\*栗田 敬<sup>1</sup>、渡辺 秀文<sup>2</sup>

\*Kei Kurita<sup>1</sup>, Hidefumi Watanabe<sup>2</sup>

1. 東京大学地震研究所、2. 東京都総務局総合防災部

1. Earthquake Research Institute,University of Tokyo, 2. Disaster Prevention Division,Tokyo Metropolitan Government

1986 Izu-Ohshima eruption has revealed several significant problems, which disclosed unmatured state of volcanology at that moment. The most significant situation was that the eruption style as well as the eruption site shifted with time during the course of eruption episodes. The volcanologists were faced the social demands for immediate response towards the transient behavior. This eruption may be the first occasion where the volcanologists deeply recognized the importance of real-time monitoring of the eruption activity. Why the eruption sequence changed? How did the observations trace the shift and how was the prediction of the shift possible?, these problems are still unanswered today. In this 100 years izu-Ohshima erupted repeatedly with the interval of 30-40 years. Already 30 years have passed since last eruption so that we could consider the next eruption.

In this session we will focus the following subjects,

- 1.Reconsideration on the unanswered problems of the eruption
- 2.Reconsideration on the eruption based on the current knowledge and technique
- 3.Propositions and proposals about future expected eruption

This presentation will summarize the session and try to show the possible orientation.

キーワード：火山噴火、噴火予測、火山島

Keywords: volcanic eruption, prediction of volcanic eruption, volcanic island

# 1986年伊豆大島噴火の際の地殻変動データを包括的に説明するマグマモデル

## A Comprehensive magma source model to explain all available crustal deformation data for 1986 Izu-Oshima eruption

\*上垣内 修<sup>1</sup>

\*Osamu Kamigaichi<sup>1</sup>

1. 気象庁

1. Japan Meteorological Agency

1986年の伊豆大島山頂噴火から割れ目噴火に至る一連のイベントに関して、当時存在した、島内の体積歪計1点、傾斜計3点、噴火前後の水準測量結果並びに島外の体積歪計3点すべての地殻変動観測データを包括的に説明可能な地下力源モデルについて、Linde et.al.(2016)Journal of Volcanology and Geothermal Research vol.311, p.72-78に沿って報告する。なお、体積歪データは、長周期地震波応答を用いてキャリブレーションされている。

ここでは、噴火イベントを山頂噴火開始から割れ目噴火開始直前までのphase 1(Nov.15-20)と、割れ目噴火に至るマグマ貫入開始以降のphase 2(Nov.21-30)のふたつの期間に分けて論じる。

### Phase 1

噴火は1986年11月15日17:25、山頂火口から始まった。噴火に先立ち、明瞭な地震活動、短期的地殻変動は観測されておらず、十分に火道が形成されていたことを示唆する。噴火開始後は、島内の体積歪計1点、傾斜計3点のみならず、伊豆半島の体積歪計2点でも、同期した変化が20日日界頃に概ね停止するまで観測された。これらの変化をすべて説明する最適な力源モデルとして、カルデラ内北西部の地下約4kmを中心とし、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う最大張力軸に直交する鉛直面内に傾斜角70°の軸を持つ、アスペクト比1:0.3、長軸の長さ2.25kmの回転楕円体のマグマ溜まりの減圧が推定された。同楕円体の長軸の延長線と地表との交点は山頂火口と概ね一致している。この形状であれば、噴火前にカルデラ縁から火口付近まで繰り返し行われた水準測量で、火口付近がカルデラ縁に対して相対的に沈降していた観測事実を、同マグマ溜まりの増圧によって説明可能である。

本噴火で特記すべきは、これら地殻変動観測と並行して、火口がマグマにより埋められる過程が時系列として詳細に記録されたことである。火口内の地形は既知であるので、地表に噴出したマグマ量と、地殻変動データ解析から推定されるマグマ溜まりの体積変化との直接比較が可能な希有な事例と言える。前者は後者よりも大きく、その差は同マグマ溜まりへの、さらに深い(30km程度か)マグマ溜まりからの充填が、地表への噴出と同時進行で起きていたと解釈できる。

なお、近年の伊豆大島島内の体積歪、GNSS、光波測距等の地殻変動観測により、長期的な島の膨張と、それに重なる短期的な膨張・収縮が観測されており、それら変化を説明する球対称力源が、気象研究所により本研究の回転楕円体ソースとほぼ同じ場所に推定されている。これらの関係について、今後の気象研究所の解析が期待される。

### Phase 2

Phase 1の後約1日半の静穏期を挟んで、11月21日16:15からカルデラ内で割れ目噴火が開始し、その約1時間後には山麓からの割れ目噴火に拡大した。最初の割れ目噴火の約2時間前、島内の体積歪データが顕著な変化を示しはじめ、その直後から島を北西～南東方向に縦断するトレンドの顕著な地震活動が始まった。同体

積歪変化は最初は縮みで始まり、約10分で変化の極性が伸びに反転している（これが後述のダイク下端の深さに拘束を与える）。そこからは一気に伸びが加速し、その日の深夜までに伸び量が $100\mu\text{strain}$ を超えてピークを迎えた後、再度極性を反転させて、表面現象が概ね終息した23日を過ぎても、月末まで緩やかな縮みが続いた。この変化と同期して、島外の3点の体積歪計でも顕著な変化が記録された。これら地殻変動変化と、地表の割れ目火口列の分布（この直下のダイクの上端は地表に達したと考えられる）、地震活動の震源分布、噴火前後で実施された島内水準測量で明らかとなった隆起・沈降空間分布（これはPhase 1の影響も含む：ゼロ変化線の離れ具合が主要ダイク上端の深さを拘束）を概ね説明する力源モデルとして、2枚（細かく言うと4枚）の長さの異なる北西～南東走向の平行ダイクの開口と、カルデラ下約10kmに中心を置く最大張力軸方向に潰れた回転楕円体の減圧が推定された。これらの間には、地表への噴出量を差し引いたうえでの質量保存も考慮されている。

筆者は、1986年の伊豆大島噴火当時、気象庁入庁3年目で体積歪計の維持管理・データ解析の任にあり、同年11月21日の割れ目噴火の約2時間前から、執務室に置かれた打点記録計に島内の体積歪計が今まで見たこともないような変化を記録するのを、島からのTV中継とともにリアルタイムで見ている。このイベントで、火山噴火予測への地殻変動観測の重要性を痛感した次第である。現在伊豆大島には当時よりはるかに多数の地殻変動観測点が設けられており、迫り来る次の噴火に向けて、その時の教訓を必ずや活かしたいと考える。

キーワード：1986年伊豆大島噴火、地殻変動、マグマモデル

Keywords: 1986 Izu-Oshima eruption, Crustal Deformation, Magma source model

## 1986年伊豆大島噴火の様式遷移に伴う火山性微動の変化

### Two types of volcanic tremor changed with eruption style during 1986 Izu-Oshima eruption

\*黒川 愛香<sup>1</sup>、武尾 実<sup>2</sup>、栗田 敬<sup>2</sup>

\*Aika Kurokawa<sup>1</sup>, Minoru Takeo<sup>2</sup>, Kei Kurita<sup>2</sup>

1. 国立研究開発法人 防災科学技術研究所、2. 東京大学 地震研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

Izu-Oshima Island is one of the most active volcanoes in Japan. The most recent eruption occurred in 1986, when the most active stage consisted of three eruption episodes at different craters. The eruption initially began at the summit crater in a strombolian style with a continuous lava fountain, which gradually became intermittent explosions accompanied by infrasound and shock waves with a decreasing rate of magma discharge. The summit eruption suddenly ceased four days after the onset. In parallel with the decrease in the summit activity, two subplinian eruptions occurred producing fissures in the caldera floor and in the flank of the outer rim. So far, the only reported precursor phenomenon to the fissure eruptions was an increase in seismicity in shallow parts of the caldera just 2 h before the first fissure eruption (Yamaoka et al., 1988). The shifts in eruption style and eruption site during the course of eruption are not so peculiar phenomena but commonly observed at other volcanoes. How to monitor and predict these shifts is one of the imminent tasks assigned for volcanology. 1986 Izu-Oshima eruption should be an indispensable test case to check this even now.

In order to explore possible prospects for the eruption sequence, we have analyzed volcanic tremors occurred during 1986 Izu-Oshima eruption using recently digitized data. This study demonstrates that eruption style, waveform characteristic, and source location of volcanic tremor are consistently related in the most active stage of the 1986 Izu-Oshima eruption. During the summit eruption, the tremor is continuous and the source is located around the summit while the correlation between the magnitude of amplitude and the effusive rate disappears with change in the eruption style from strombolian to vulcanian. Then tremors become episodic occurring along the fissures during the stage of the subplinian fissure eruptions. Based on the finding about the relation, it was revealed by extracting episodic tremors superimposed on the continuous tremor during the summit eruption that precursory migration of tremor sources along fissures occurred 5 days prior to the fissure eruptions. On the other hand, Linde et al., (2016) insist that the precursory changes in seismic activity starting 2 h before the first fissure eruption is consistent with the ground deformation and explained by propagation from a deep (10 km) reservoir to a long sub-surface dike. However, the precursory activity of the tremors, which suggests injection of magma below fissures cannot be explained by the scenario because it preceded the seismic activities. The fact demonstrates the importance of tracking temporal changes in volcanic tremor on a priority basis. Since Izu-Oshima has approximately 30-year eruption cycle in recent history and 30 years have passed since the last eruption, the implications of this study should be incorporated into adaptive monitoring in anticipation of the next eruption.

キーワード：伊豆大島、火山性微動

Keywords: Izu-Oshima, volcanic tremor

# 伊豆大島1986年B噴火の「準プリニー式噴煙」 “Sub-plinian” column of Izu-Oshima 1986B Eruption

\*萬年 一剛<sup>1</sup>

\*Kazutaka Mannen<sup>1</sup>

1. 神奈川県温泉地学研究所

1. Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

伊豆大島1986年の一連の活動でクライマックスとなったB噴火は、地上からの観測、大量の報道映像に加え、衛星画像やレーダーエコーなどリモートセンシングデータの利用が可能になってからはじめて発生した比較的大きい噴火であった。このため、この噴火以前にはない、様々な角度から研究がされてきたが、その噴火像にはいまだに不明確なことが多く残されている。その1つが、噴火を記述する重要なパラメータである噴煙高度である。

この噴火の噴煙高度は、写真の記録からB噴火当日（11月21日）の17:00-17:20ごろに16.5 km（早川, 1987）、17:02に12km（平田, 1989）、16:30に7km（澤田, 1998）などに見積もられている。一方、静止気象衛星「ひまわり」の赤外画像からは、18時における噴煙の最低温度が $-33^{\circ}\text{C}$ と見積もられており、この温度が大気と平衡であると仮定すると、噴煙高度は7kmから9kmと推定される（澤田, 1998）。澤田（1998）が解釈した噴煙分布から噴煙の移流速度を求めると、時速200 km前後であるが、これは上空8km前後の風速で、最低温度からの見積りと調和的である。

一方、Mannen (2006)は風に影響されない垂直な噴煙柱モデルを仮定し、島内で測定された堆積量の減衰曲線の傾きから、噴煙柱の高度を13.8kmと計算した。この研究では、島内に降り積もった火山灰が噴煙の傘型領域から落下したものと仮定していたが、その後Mannen (2014)はTephra2を使ったシミュレーション解析により、島内に堆積した火山灰のほとんどは高度8km以下からもたらされていることを明らかにし、Mannen (2006)の見積りが成り立たないことを示した。

Woodhouse et al. (2013)は、風の影響を受けて曲がる噴煙柱モデルを構築した。八丈島の高層気象データを用いて計算すると、噴煙高度8kmで噴出率は $1 \times 10^7$  kg/s、12kmで $1 \times 10^8$  kg/sと見積もられる。この噴火の総噴出量は $1.4 \times 10^{10}$  kgと見積もられるから（Mannen and Ito, 2007）、継続時間は噴煙高度8kmの時に約20分、12kmの時に約2分程度となる。

この噴火は、16:15ごろ始まり、17:00前後にクライマックスを迎え、22時頃迄に収束したとされるので、5～6時間程度の継続時間であったと考えられる。したがって、噴煙高度12 kmは非常に考えにくく、噴煙高度8kmだとしてもその継続時間は17時前後の20分以下で、それ以外のほとんどの時間、噴出率は1～2桁低い $1 \times 10^6$  kg/s（噴煙高度5km前後）から $1 \times 10^5$  kg/s（噴煙高度4km前後）程度に留まり、噴出量全体にはわずかな貢献しなかった可能性が高い。

キーワード：準プリニー式噴火、噴煙柱、風

Keywords: sub-plinian eruption, eruption column, wind

## 1986年噴火前兆現象から見えてきた次回の噴火への足音

### Present weak precursor of the next eruption at Izu Oshima volcano based on the precursory phenomena observed in the 1986 eruption.

\*森田 裕一<sup>1</sup>

\*Yuichi Morita<sup>1</sup>

1. 東京大学 地震研究所

1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo

#### 1. はじめに

前回の1986年噴火から30年経過した伊豆大島は、1990年代後半から山体の膨張が始まり、現在も続いている。長期的なマグマ蓄積により、次の噴火の準備を行っていることが明らかである。一般に、このようにマグマの蓄積が進んでいる等の情報に基づく噴火の時期の予測が極めてあいまいな長期的な予測と、噴火直前に起こる極めて多数の地震発生、大振幅の火山性微動、大きな地盤変動の観測に基づき数時間から数分後に火山噴火が切迫していることを知る直前予測は比較的容易である場合が多い。しかし、防災対策上もっとも有用な数年から数ヶ月先の噴火活動を予測する中期的な予測は容易ではない。これまでの中期的な予測は、過去の噴火前に観測された事象が順を追って起こることを追認することで行われるが、噴火に至る過程の理解なしに行えば、過去と少し異なる噴火が発生したときには全く機能しない。つまり、次回の伊豆大島の噴火で大事なことは、過去の噴火事象を踏まえつつ、新たに視点に立って噴火に至る現象を把握することが何よりも大切であろう。

#### 2. 温故：過去から学ぶもの

前回1986年の伊豆大島噴火の明瞭な前兆としていくつかの観測事実が報告されている。このうち噴火前兆として最も信頼できるのは、全磁力と電気伝導度の変化、火口内の熱異常、火山性微動の観測であろう。全磁力の変化は、約4年前から始まり1989年初頭から加速した。また、同時期に山頂火口を挟む浅部で電気伝導度が大きく変化した。噴火の約3ヶ月前から山頂火口内の熱異常域の拡大が見られた。火山性微動は噴火の4ヶ月前から始まり、最初は間歇的であったが、噴火の1ヶ月前から連続微動となり、徐々に振幅が大きくなり、11月15日の噴火直前には急激に大きくなった。これらのことから考えられることは、マグマに先行してマグマ溜まりから大量の高温の揮発性成分・火山ガスが上昇し、浅部の岩盤や地下水を温めた結果が観測されたと考えられる。1986年11月15日の噴火は穏やかな噴火であり、脱ガスが進んだマグマが上昇してきたと考えられるので、このような前兆現象が観測されたことと整合する。マグマに先行する揮発性成分の捕捉は、火山噴火の中期的な予測に有力であるが、全磁力の変化、火山性微動の発生までわからないのであろうか。

#### 3. 知新：過去の知識から新たな視点で見えるもの

揮発性成分の上昇は、火山ガスの観測などから見つかるかもしれない。しかし、測定点の依存性が大きく、全体像をつかむには広域かつ組織的な観測が不可欠であろう。別の手法として、火山性地震活動度と地盤変動、地殻応力の関係に注目した解析がある。著者は伊豆大島のカルデラ内浅部で発生する地震活動は、揮発性成分・火山ガスの上昇を捉えられる可能性を指摘してきた。地震活動は山体膨張・収縮を作るマグマ溜まりの応力変化に極めて良い対応がある。また、2011年頃からは地盤変動に比べ相対的に地震活動度が上昇していること、2013年ころからは地震活動が潮汐との相関がみられるようになったことを明らかにしてきた（「活動的火山」のセッションで発表予定）。これらはすべて地震断層面の間隙圧が上昇している可能性を示唆している。最も考えられるのは、マグマ溜まりから揮発性成分の上昇が既に始まっていることを示している可能性である。揮発性成分が噴火前に大量にマグマから放出されていたら、噴火の爆発性が弱まることが知られている。このように、揮発性成分の放出は噴火様式を予測するうえでも極めて重要である。今後、次の噴火まで、地震活動のパターン変化と今後発現するであろう全磁力変化、電気伝導度変化、火山性微動の発生との関係が明らかになれば、噴火予測の高度化に役立つであろう。

キーワード：火山構造的地震、地震活動度、噴火前兆現象、伊豆大島火山

Keywords: volcano-tectonic earthquakes, seismicity, precursor to volcanic eruptions, Izu Oshima volcano

## 火山島活動の周辺の海からの観測の重要性について

### On the significance of the monitoring of volcanic islands activity from the neighboring sea surface

\*浜野 洋三<sup>1</sup>、杉岡 裕子<sup>3</sup>、市原 美恵<sup>2</sup>

\*Yozo Hamano<sup>1</sup>, Hiroko Sugioka<sup>3</sup>, Mie Ichihara<sup>2</sup>

1. 海洋研究開発機構地球深部ダイナミクス研究分野、2. 東京大学地震研究所、3. 神戸大学理学研究科惑星学専攻

1. Department of Deep Earth Structure and Dynamics Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and

Technology, 2. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 3. Department of Planetology, Kobe University

我々は、ウェーブグライダーを用いた離島火山モニタリングシステムの開発を進めてきた。本システムは、無人で自律的に海面を運航できる海洋プラットフォームとしてウェーブグライダーを用い、画像撮影、震動観測、空振観測、及び山体崩壊による津波の発生を検知するための波浪観測を行い、これらの観測データをリアルタイムに陸上まで通信衛星経由で伝送する機能を持っている。この離島火山監視システムの開発の過程で、西之島周辺で2回のマイクロフォンとハイドロフォンを用いた空中及び水中音波の観測を行った。1回目は西之島がまだ活発な火山活動を続けていた2015年2月に、海洋調査船「かいらい」によるKR15-03航海中に、島の中心から東方約7 km水深1318mの場所で、船上での低周波マイクロフォンによる空中音波観測と、船から海面下10mに下ろしたハイドロフォンによる水中音波観測を同時に行った。この観測記録では、船上においたマイクロフォンと近くの海底に置かれたOBSが、火山の噴火に密接に関係して火山体浅部で発生した空振と爆発地震を主に記録しているのに対して、水中のハイドロフォンの記録で顕著なのは、約20分間継続するハーモニック微動と、短周期の火山性地震であった。この結果は、海面近くに置かれたハイドロフォンが、火山体深部の地震・微動活動を選択的に捕らえていることを示している。2回目は、2016年10月に実施された新青丸によるKS-16-16航海で、西之島周辺海域で、新たに開発・製作された離島火山モニタリングシステムの短期間の運用を行ったが、このシステムに取り付けたマイクロフォンとハイドロフォンにより、西之島を半径約5 kmの円軌道で周回する間に約30時間の観測を行った。この時期には噴火活動はなくマイクロフォンによる空震は観測されなかったが、ハイドロフォンには深部の地震活動が、観測記録されていた。これらの2回の観測は、ハイドロフォンによる海面付近での水中音波の観測が、火山体深部の活動を捕らえるために極めて有効であることを示している。

以上の結果は、離島火山モニタリングシステムによる島の周辺海域での常時監視が、無人の小さな火山島だけではなく、伊豆大島のような大きな火山島においても有意義であり、島内での観測に対して相補的な役割を果たすことを示唆するものである。特に、周辺の海からのハイドロフォン観測では、海面より下の火山体内部の地震動が、減衰の小さい水中音波として伝わってくるために、島の内部の陸上の観測点に比べて、深部の微動や地震活動をより高感度で検知出来る可能性を持つ。また本システムのプラットフォームであるウェーブグライダーは、島の周辺をあらかじめプログラムされたトラックに従って自律的に航走するが、陸上からの指令によりその経路を変更することができるので、火山活動の推移に併せて、必要な場合には随時移動して観測ができることも、本システムの特徴である。

キーワード：火山、伊豆大島、火山活動監視

Keywords: Volcano, Izu-Oshima, Volcanic activity monitoring