技術研究報告(東京大学地震研究所) No. 1, 7-17 頁, 1996 年. Technical Research Report (Earthquake Research Institute, University of Tokyo), No. 1, p. 7-17, 1996.

伊豆大島火山観測所における火山観測

坂下至功*・下村高史*・三ケ田 均**・渡辺秀文***

Volcano Monitoring at Izu-Oshima Volcano Observatory, Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Shikou SAKASHITA*, Takafumi SHIMOMURA*, Hitoshi MIKADA** and Hidefumi WATANABE***

Abstract

The Izu-Oshima Volcano Observatory (OVO) was established in 1984 fiscal year, by combining and expanding the existing tsunami and magnetic observatories of Earthquake Research Institute on Izu-Oshima island, based on the third 5-year plan of the National Project for Prediction of Volcanic Eruptions.

Izu-Oshima is an active basaltic volcano repeating major eruptions in historic times, and often produced low viscosity lavas containing much magnetic minerals. In 1986, the first eruption started from the summit crater of Mihara-yama. Successively, flank fissure eruptions occurred within and outside the caldera and forced the evacuation of habitants. The Izu-Oshima volcano is located near the triple junction of the Pacific, Philippine Sea and Eurasian plates, and at the northeastern border of the subducting Philippine Sea plate. Consequently, the activity of Izu-Oshima volcano is closely related to the crustal activity at the Izu and off Boso peninsulas.

The main object of OVO is to conduct comprehensive studies on the activity of Izu-Oshima volcano and the surrounding areas. The current projects include (1) study of volcanic phenomena and its application to eruption prediction, (2) tomographic study of the subterranean structure of Izu-Oshima volcano and the surrounding areas and (3) relation between the volcanic activity and the surrounding tectonic activity.

In the 1986-1987 eruptions, a comprehensive cooperation among the related scientists was very effective in obtaining much high-quality data to promote researches on precursors and mechanisms of the eruption. After the eruption, the networks of seismometric, geodetic and electromagnetic observations have been strengthened to perform basic researches on the magma transport system of Izu-Oshima volcano. The geodetic observation has revealed an inflation of the volcano, suggesting a continuous magma supply from depths toward the next eruption in future.

Key words : Izu–Oshima volcano, seismic observations, geodetic observations, geoelectromagnetic observations.

はじめに

伊豆大島は古くより活動的な火山として知られ,今世紀 に入ってからも,1912-14年,1950-1951年,1974年,198687年と噴火を繰り返してきた火山の島である.島の中心に は繭型をしたカルデラがあり、その北西縁には1338年の 大島西麓へのいわゆる元町溶岩流の源と思われる火砕丘、 南東縁には1684年の噴火の際に形成されたと考えられて いる櫛形山がある.古山体の一部であるカルデラ壁は東方 向が欠けている.カルデラの南部には、半径約500mの中 央火口丘三原山がある.カルデラ内には、1684年、1777-1792年、1950-51年、1986年に噴出した溶岩流が累積して いる. 1986年には1777年安永以来の三原山山頂以外から の噴火(割れ目噴火)がカルデラ内外に発生し、全島民避

¹⁹⁹⁶年5月27日受付. 1996年6月24日受理.

^{*}火山噴火予知研究推進センター伊豆大島火山観測所,**火山 噴火予知研究推進センター(現在,地震火山災害部門),***火 山噴火予知研究推進センター,(東京大学地震研究所).

^{*} Izu-Oshima Volcano Observatory, Volcano Research Center, ** Volcano Research Center (now at Division of Disaster Mitigation Science), *** Volcano Research Center, (Earthquake Research Institute, University of Tokyo).

難という状況を迎えるに至ったことは記憶に新しい.

伊豆大島火山観測所は、第3次噴火予知計画により、既 設の津波、地磁気の2観測所を統合拡充して1984年度に 設立されたが、新庁舎での観測は1986年噴火開始1年半 前の1985年4月から始まった。1986年噴火直後からは全 国の研究機関による総合的な地球物理学・地球化学・地質 学的観測調査が行われ、火山活動にともなう諸現象につい ての研究が進んだ(例えば、「1986年伊豆大島火山噴火」月 刊地球 No. 97, No. 98, 1987;「伊豆大島火山 1986年噴火」 火山 33巻特集号、1988; The 1986–1987 Eruption of Izu-Oshima Volcano, ERI Spec. Publication, 1988; Oshima Volcano, Izu, *Jour. Geomag. Geoelectr.*, 42, No. 3, Spec. Issue, 1990).

1986年噴火から10年を経た現在,噴気が上がったり, 山頂火口で火口壁の崩落が生じたりする以外の表面現象は 生じていないが,時折群発する大島火山周辺部の地震や 1987年以後進行する地殻変動など,来るべき次の噴火に向 けた数10年のスケールでの変動が進行しているものと考 えられている.こうしたスケールの長い変動期には,表面 現象を伴う火山活動等の詳細な把握を目的とするだけでな く,変動の時間スケールに相当する地下深部で進行する状 態の把握という困難な課題をも対象とする観測が必要であ る.また,伊豆東部にしばしば群発する地震と伊豆大島火 山に発生する火山性微動との関連から,伊豆大島火山の活 動と周辺の地域応力場との間に何らかの関係があることが 予てより指摘されており,テクトニクスとの関係をも視野 に含めた観測も重要である.

本報文では,伊豆大島火山観測所において行われている 地球物理学的観測のうち,地震観測,地殻変動観測,地球 電磁気学的観測を取り上げ,観測目的と観測方法との対応 を中心にその技術的な状況を報告する.

地震観測

伊豆大島では現在,地震研究所による常設点,臨時点に 気象庁設置の6点も併せて45点の観測点のデータを伊豆 大島火山観測所まで有線・無線のテレメータにより伝送 し,集中トリガー方式による収録処理が行われている.図 1にこれら地震観測点の分布を示す.気象庁からは図中に 示されている6点(B,C,D,E,F,H点)のデータの分 岐を受けている(この内,D,E,Hについては3成分すべ て).地震研究所の3成分観測点は19点(新開SNK,黒潮 開拓KSK,岡田OKA,大島公園OSK,伊豆大島火山観測 所OVO,伊豆大島火山観測所ボアホールOVB,伊豆大島 火山観測所長周期OVL,北外輪NRM,奥山砂漠ボアホー ルOKB,奥山砂漠長周期OKL,野増NMS,表砂漠OS2, 奥山OKU,二子山FUT,ツワイTSW,波浮北HBN,間 伏 MBS,間伏ボアホールMBB,波浮港HBM),上下動成



図 1. 伊豆大島火山観測所でテレメータ接続している地震 観測点. 図中■, ●, ▲はそれぞれ3成分,上下動成分,気 象庁設置の観測点を示す.

Fig. 1. Telemetered seismic stations of Izu-Oshima Volcano Observatory. Solid squares, circles, triangles are stations equipped with tri-component, vertical seismometers and those installed by JMA, respectively.

分のみの観測点は 20 点(大島地磁気基準点 OSM,大丸山 DAI,蜂の尻 HCH,鎧端 YOR,元町東 MOE,三原北東 MNE,三原北 MHN,奥山北 OKN,三原東 MHE,三原 MHR,鏡端西 KGW,三原西 MHW,櫛形山東 KSE,櫛形 山 KSG,三原南 MHS,滑台 SUB,二子山ボアホール FUB,滑台西 SUW,白石山南 SHS,岳の平 TAK)となっ ている.深度 50~80 m の坑井地震観測点は OVB,OKB, MBB, FUB の全4点(FUB は上下動のみ)である.各観 表 1. 伊豆大島火山観測所地震観測システムに登録されている観測点, テレメータ チャネル番号およびその他の関連する定数. Ch, D, Obs, Comp, Bits, Sens, T, h, Gain, V/b, Lat, Lon, Alt はそれぞれテレメータ・チャネル番号, テレメー タ遅れ (ms), 観測点名, 成分, A/Dのビット数, センサー感度 (V/(m/sec)), セ ンサー固有周期 (単位 sec), 減衰定数, テレメータ・アンプ増幅度 (dB), 1ビット 当たりの V 出力, 観測点の北緯, 東経, 高度 (m) である.

Table 1. Seismic stations, channel numbers and other related constants in seismic observation system at Izu-Oshima Volcano Observatory. Ch, D, Obs, Comp, Bits, Sens, T, h, Gain, V/b, Lat, Lon, Alt are telemeter channel No., telemeter delay in msec, observation site name, directional component of positive output, number of bits in A/D converter, sensitivity of geophone in V/(m/sec), period of the sensor in sec, damping factor, amplifier gain (dB), output voltage per bit, latitude, longitude, and altitude of each station, respectively.

Ch	D	Obs	Comp	Bits	Sens	Т	h	Gain	V/b	Lat	Lon	Alt
0C00	0	OVO	UH	12	234	1	0.7	42	2.44E-03	34.75167	139.36667	80
0C01	0	OVO	UL	12	234	1	0.7	12	2.44E-03			
0C02	0	OVO	N	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C03	0	OVO	W	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C04	0	OVB	U	12	290	1	0.7	42	2.44E-03	34.75167	139.36667	3
0C05	0	OVB	N	12	218	1	0.7	36	2.44E-03			
0C06	0	OVB	E	12	216	1	0.7	36	2.44E-03			_
0C07	0	OVL	U	12	1000	40	0.7	0	2.44E-03	34.75167	139.36667	3
0C08	0	OVL	N	12	1000	40	0.7	0	2.44E-03			
0009	0	OVL	E	12	1000	40	0.7	0	2.44E-03		120 202 50	
0010	100	OKA	U	12	173	1	0.7	42	2.44E-03	34.78192	139.38372	80
0011	100	OKA	N	12	175	1	0.7	36	2.44E-03			
0C12	100	OKA	E	12	177	1	0.7	36	2.44E-03	24 (0272	120 41007	165
0015	100	TOW	0	12	171	1	0.7	42	2.44E-03	34.693/2	139.4198/	105
0017	100	TSW	U N	12	170	1	0.7	42	2.44E-03	34./1100	139.30494	142
0017	100	TOW	IN E	12	175	1	0.7	30 26	2.44E-03			
0010	100	LOW	E U	12	1/5	1	0.7	30	2.44E-03	24 70(16	120 40406	(10)
0014	100	MHE	U	12	171	1	0.7	42	2.44E-03	34./2010	139.40490	620
OC1R	100	MHS		12	171	1	0.7	42	2.44E-03	34./1009	139.40085	450
	100	SNK		12	234	1	0.7	42	2.44E-03	34.72203	139.4433	432
OCID	19	SNK	п	12	234	1	0.7	18	2.44E-03	34.76703	137.30+01	20
OCIE	10	SNK	N	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C1E	10	SNK	F	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C28	05	SUR		12	171	1	0.7	12	2.44E 03	3/ 71013	130 3885	560
0C29	95	MHW	U U	12	234	1	0.7	42	2.44E-03	34 72378	139 39001	572
0C2A	95	KGW	U	12	179	1	0.7	42	2.44E-03	34 72522	139 38014	460
0C2B	95	SUW	Ŭ	12	169	1	07	42	2.44E-03	34 71333	139 38486	353
0C2C	95	SHS	Ŭ	12	175	1	0.7	42	2.44E-03	34,70794	139,40031	415
0C2D	22	MOE	Ŭ	12	172	1	0.7	42	2.44E-03	34.73964	139.37828	325
0C34	40	MHR	Ŭ	12	170	1	0.7	42	2.44E-03	34.72584	139.39409	680
0C36	75	OS2	Ū	12	234	1	0.7	42	2.44E-03	34.73058	139.39099	560
0C38	75	OS2	Ν	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C39	75	OS2	E	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C3A	73	NMS	UH	12	234	1	0.7	42	2.44E-03	34.729	139.36197	40
0C3B	73	NMS	UL	12	234	1	0.7	18	2.44E-03			
0C3C	73	NMS	Ν	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C3D	73	NMS	E	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C3F	36	OKB	U	12	300	1	0.7	42	2.44E-03	34.741	139.43633	290
0C40	36	OKB	Ν	12	146	1	0.7	36	2.44E-03			
0C41	36	OKB	E	12	212	1	0.7	36	2.44E-03			
0C42	36	OKL	U	12	375	120	0.7	36	2.44E-03	34.741	139.43633	370
0C43	36	OKL	Ν	12	375	120	0.7	36	2.44E-03			
0C44	36	OKL	E	12	375	120	0.7	36	2.44E-03			
0C45	64	OSK	UH	12	234	1	0.7	42	2.44E-03	34.75608	139.43753	130
0C46	64	OSK	UL	12	234	1	0.7	18	2.44E-03			
0C47	64	OSK	N	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C48	64	OSK	E	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C49	73	MBB	U	12	297	1	0.7	42	2.44E-03	34.69517	139.39935	28
0C4A	73	MBB	Ν	12	225	1	0.7	36	2.44E-03			
0C4B	73	MBB	Е	12	211	1	0.7	36	2.44E-03			
0C4C	73	MBS	U	12	234	1	0.7	42	2.44E-03	34.69672	139.40089	140
0C4D	73	MBS	Ν	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C4E	73	MBS	Е	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C4F	73	OKU	UH	12	234	1	0.7	42	2.44E-03	34.71992	139.43571	350

表 1. (つづく) Table 1. (Continued)

Ch.	D.	Obs.	Comp.	Bits.	Sens.	Т	h	Gain	V/b	Latitude	Longitude	Alt.
0C50	73	OKU	UL	12	234	1	0.7	18	2.44E-03			
0C51	73	OKU	N	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C52	73	OKU	E	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C53	73	OKN	\mathbf{U}	12	175	1	0.7	42	2.44E-03	34.73083	139.42419	42 0
0C54	73	FUT	UH	12	234	1	0.7	42	2.44E-03	34.71237	139.41534	600
0C55	73	FUT	UL	12	234	1	0.7	18	2.44E-03			
0C56	73	FUT	N	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C57	73	FUT	E	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C58	73	FUB	U	12	134	1	0.7	42	2.44E-03	34.71237	139.41534	560
0C59	73	KSG	U	12	234	1	0.7	42	2.44E-03	34.72035	139.41068	645
0C5A	73	HBM	UH	12	234	1	0.7	42	2.44E-03	34.68423	139.43948	3
0C5B	73	HBM	UL	12	234	1	0.7	18	2.44E-03			
0C5C	73	HBM	N	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C5D	73	HBM	Е	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C5E	73	YOR	U	12	170	1	0.7	42	2.44E-03	34.74295	139.39049	556
0C63	36	NRM	U	12	234	1	0.7	42	2.44E-03	34.75075	139.4032	500
0C64	36	NRM	Ν	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C65	36	NRM	Е	12	234	1	0.7	36	2.44E-03			
0C66	36	HCH	U	12	172	1	0.7	42	2.44E-03	34.75369	139.41592	385
0C67	36	MHN	U	12	124	1	0.7	42	2.44E-03	34.73833	139.40433	498
0C68	36	MNE	U	12	174	1	0.7	42	2.44E-03	34.73908	139.416	460
0C69	44	J-B	U	12	206	1	0.7	42	2.44E-03	34.769	139.417	246
0C6A	72	J-C	U	12	201	1	0.7	42	2.44E-03	34.755	139.375	170
0C6B	36	J-D	U	12	42	1	0.7	42	2.44E-03	34.698	139.374	30
0C6C	36	J-D	Ν	12	152	1	0.7	36	2.44E-03			
0C6D	36	J-D	Е	12	38	1	0.7	36	2.44E-03			
0C6E	45	J-E	U	12	204	1	0.7	42	2.44E-03	34.683	139.427	30
0C6F	45	J-E	Ν	12	183	1	0.7	36	2.44E-03			
0C70	45	J-E	Е	12	187	1	0.7	36	2.44E-03			
0C71	37	J-F	U	12	229	1	0.7	42	2.44E-03	34.711	139.435	350
0C72	38	J-H	U	12	216	1	0.7	42	2.44E-03	34.77	139.361	40
0C73	38	J-H	Ν	12	168	1	0.7	36	2.44E-03			
0C74	38	J-H	Е	12	173	1	0.7	36	2.44E-03			
0C75	73	OSM	U	12	180	1	0.7	42	2.44E-03	34.76237	139.37607	170
0C78	73	DAI	Ŭ	12	169	1	0.7	42	2.44E-03	34.75958	139.38964	284
0C79	73	HBN	Ŭ	12	104	1	0.7	42	2.44E-03	34.69786	139.43536	202
0C7A	73	HBN	Ň	12	176	1	0.7	36	2.44E-03			
0C7B	73	HBN	E	12	96	1	0.7	36	2.44E-03			
0C7C	47	KSK	UH	12	234	1	0.7	42	2.44E-03	34,76902	139.40169	230
0C7D	47	KSK	UL.	12	234	î	07	18	2.44E-03	2 11/0/02		
0C7E	47	KSK	N	12	234	1	07	36	2.44E-03			
OC7E	47	KSK	F	12	234	i	0.7	36	2.44E-03			

測点の緯度経度,標高および地震計感度,テレメータ遅れ などの情報を表1に示す.島内観測点の現在の平均間隔は 1.5 km 程度である.この観測ネットは,火山活動により変 化する地震活動度の監視,火山に特徴的に発生する低周波 地震,火山性微動の観測のみならず,自然地震を積極的に 利用した地下構造の解明などをも目標としている.

1983年に行われた伊豆大島火山集中総合観測時より 1995年7月末までの震源データを図2に示す.図示された 地震の多くは、1986年から1987年にかけ発生したが、そ の後もカルデラ内の三原山から北外輪、大島北方、西方、 そして島内カルデラ近傍南東部に時折群発地震が発生す る.図3に伊豆大島火山観測所において観測された地震数 の推移を示す.1991年より毎年梅雨後に大島内外の群発地 震活動があることがわかる.これらの地震活動は伊豆東方 沖群発地震や新島・式根島近海や銭州付近の群発地震の発 生と時期を同じくしており,伊豆大島の周辺地域応力場と の関連において今後の研究課題となっている.1993年に発 生した伊豆東方沖群発地震の際には,三原火口直下で火山 性微動が発生し,その振幅の消長と三原山山頂直下に発生 する微小地震数,そして伊豆東方沖群発地震数との間に関 連も認められた(三ケ田ほか,1994).この際には,大島周 辺部ではなく三原山直下で微小地震活動が特徴的に発生 し,火山性微動の発生と微小地震の発生とが相補的に推移 したことが注目された(図4).地域応力場と火山活動の関 連を研究するうえで,こうした微動や微小地震の震源分布 や震源過程の究明は重要な手がかりとなる.

第5次火山噴火予知計画では、火山の地下構造探査が新 たな重点項目として取り入れられているが、伊豆大島火山 においては、従来から地震波の走時や減衰定数を用いた構 造探査が精力的に行われてきた(例えば、伊藤ほか、1981;



図 2. 1983 年 5 月の伊豆大島集中総合観測時より 1995 年 7 月 31 日までの伊豆大島付近の地震震央図.伊豆大島を北西 南東に横断する 1986 年 11 月の震源分布が特徴的である.ま た伊豆大島西方近海や北方,そして島内南東部,カルデラ北 方に時折群発地震が発生している.図中には海岸線,200 m おきの等高線,北東方向に開いた形状のカルデラ壁,そして 円形の中央火口が描かれている.

Fig. 2. Epicenter distribution for the period from May 1983 through the end of July 1995. Coast, 200 m contour lines of altitude, the location of the caldera wall that opens in the N-E direction, and a circle-shaped crater is indicated in the figure. Hypocenters aligned in the NW-SE direction are mainly associated with the 1986 fissure eruption of the volcano. Intermittent swarm activities were observed after the eruption in the northern caldera, west and north offshore and at the southeastern part of the island.

長谷川ほか,1987;伊藤ほか,1988;Yamamoto,1993; Mikada,1995;Onizawa,1996).反射法地震探査も1986 年噴火後に行われたが,いわゆる資源探査で用いられてい る地震波の周波数やエネルギーでは,火山体の地下2~3 kmより深部の情報を得ることは困難であることが明らか になった(Suzuki et al.,1992;青木・村岡,1995).この ことから,自然地震を震源とする地震探査の重要性が改め て認識された.これまで,自然地震を用いたトモグラ フィーの手法では,観測点数によりその解像度が規定さ れ,本来地震波から得られるはずのスケールまで情報を充 分に生かせていないのが現状である.走時や減衰トモグラ フィーによって,地殻内の地震波伝播速度や地震波の異常 な吸収体のスケールを充分に考慮できるかどうかは,地震 観測点をどれだけ多点化できるかにかかっていると言って も過言ではないだろう.先に述べたように,伊豆大島火山 観測所では綢密な地震観測を行っているが,観測点の維持 に必要な労力の保持が当面の問題である.

地殼変動観測

1985年4月の火山観測所設置以前は、数年から10年お きに光波測距儀や水準測量による観測が行われていた.こ れらの観測結果によれば、1980年頃までは大島の膨張を示 す地殻変動が続いていたが、その後変動は停止し、1986年 の噴火前まで噴火の前兆としての山頂部の隆起や膨張は認 められなかった.これに対して、三原火口周辺の比抵抗や 全磁力などの後に議論する地球電磁気学的な観測データ は、噴火の数ヵ月前から顕著な異常を示し、火口直下に浅 い火山性微動も発生した.予想に反したこのような1986 年噴火の前兆過程も、現在では統一的な解釈がなされてい る(渡辺、1990b、1995).

過去、様々な火山体において、噴火の推移とともに進行 する地殻変動の観測から、増圧や減圧の圧力源の位置や増 減圧量の見積りがなされているが、これらは噴火機構の解 明や予知の観点からは必要不可欠な情報である. 伊豆大島 火山においても、火山性微動の発生とともに観測された地 殻変動は、その発生源をカルデラ北西部マグマ溜まりとす るモデル(井田ほか, 1988; 渡辺, 1988, 1989)や帯水層で あるとするモデル(渡辺, 1990a)を導き出し,伊豆大島火 山のマグマ供給系を考える上で避けて通れない課題となっ ている (藤井ほか, 1995). 図5にその火山性微動に伴う地 殻変動(ここでは傾斜変化)の例を示す.この地殻変動は 深さ 4~5 km の球状圧力源・浅い水平面状圧力源のどち らでも説明可能である。1987年11月16日に三原火口で爆 発が起こり、18日には火口を満たしていたマグマが急激に 地下に戻った. この際に、火山性微動に伴うものと同様の 地殻変動が発生したが、低周波地震波の解析からは、地下 1-2 km に存在する水平面状の帯水層の存在が示唆され, 直接マグマ溜まりに結び付く結果は得られていない (Takeo et al., 1990).

1986年割れ目噴火以降に観測されるようになった微動 に伴う地殻変動を捉えた傾斜計は、1996年現在、図6に示 された地点に配置されている.現在の観測点は、奥山砂漠 ボアホール OKS(地震観測点 OKB と同位置)、伊豆大島 火山観測所ボアホール OVB、野増 NMS、表砂漠 OSB(地 震観測点 OS2 近傍)、三原西 MHW、二子山ボアホール FUT(FUB と同位置)、奥山 OKU、間伏 MBS、間伏ボア ホール MBB、波浮港 HBM、そして気象庁からデータ交換 により転送される J-B、J-C、J-D、J-E、J-F、J-G、J-H (これらは各々地震観測点と同位置)の17 点となる.地表 設置の傾斜計では温度変化や降雨の影響が大きく、長期的



図 3. 1987年1月以降の伊豆大島中央火口丘三原山近傍に発生する地震およびそれ以外の近地地震の日別回数. 1993年6月には伊豆東方沖群発地震と連動した地震および火山性微動が火口近傍で発生した.

Fig. 3. The dayly number of earthquakes in the vicinity of central cinder cone Mihara-yama and other near earthquakes. In June 1993, shallow earthquakes and continuous volcanic tremors were observed near the crater, apparently related to the seismic swarm activity at the east of Izu Peninsula.



図 4. 1993 年伊豆東方沖群発地震と連動して発生した, 伊豆大島火山連続微動の振幅と三原火口直下が震源と思われる微小 地震発生回数の推移(三ヶ田ほか, 1994). 微小地震と連続微動は相補的に発生している. このような活動が 30 km も離れた 群発地震活動と連動する事実は,火山活動が地域応力場の影響を受けていることを示唆する.

Fig. 4. Time variation of the amplutide of continuous volcanic tremor and the hourly number of microearthquakes supposed to be generated in the very shallow part below the Mihara-yama crater. This activity was observed in coincidence in time with the 1993 Off-Ito earthquake swarm. The distance between their epicenters and the volcano is about $30 \,\mathrm{km}$ and it might be suggested that the regional tectonic stress field would have an influence on volcanic activity.

な変動を捉えるには難があるが、ボアホール設置のOVB, OKS, MBBの3点のデータでは図7に明らかなように、 長期的変動が観測できる.図7の場合,OVBでは南南東, MBBでは北,OKSでは北西方向に隆起の中心があること が示唆され、OVBとMBBではカルデラから西側にかけ ての地点での隆起,OKS では大島南東部の群発地震の震 源域方向での沈降あるいは1986 年噴火の際に生じた大島 を横断する北西-南東方向の割れ目の影響等が考えられ興 味深いが,変動の機構を解明するためには今後他の観測結 果を含めて検討する必要がある.



図 5. 伊豆大島火山で 1989 年 1 月 19 日 16 時 51 分に発生 した火山性微動に伴う傾斜変動. 図中斜線部分を中心と考え ることができる矢印で示された向きの傾斜変動が生じた(渡 辺, 1990 a). このような変動は 1986 年 11 月 21 日の割れ目 噴火後に観測されるようになった.

Fig. 5. Tilt change pattern observed at Izu-Oshima volcano accompanied by the occurrence of volcanic tremor at 16:51 on January 19, 1989 (Watanabe, 1990 a). Downward tilt direction is indicated by an arrow at each station. These changes suggest the existence of two pressure centers indicated by hatched regions in the figure. The change in ground tilt associated with volcanic tremor started to occur after the fissure eruption on November 21, 1986.

地殻変動を捉えるための測地測量は、1986年以後1993 年までは主として光波測距儀(地震研究所の定期観測と気 象庁による連続観測)と水準測量(国土地理院と地震研究 所による)が、以後は汎地球測位システム(以下 GPS と略 す)と水準測量(国土地理院)による観測が行われている. 水準測量の結果では、三原山山頂部がほぼ年50 mm 程度 の割合で沈降していること、1986年以降続いた北西南東方 向の割れ目噴火の軸を横切る部分の沈降が鈍ってきている ことなどの結果が得られている.光波測距儀による観測お よび GPS 観測では、1987年以降伊豆大島を横断する測線



図 6. 伊豆大島火山観測所にテレメータされている傾斜計 および潮位計観測点の分布. 図中十字で傾斜計を,●で潮位 計を示す.

Fig. 6. The distribution of tiltmeters and tide-gauges in Izu-Oshima. Observed data are telemetered to Izu-Oshima volcano observatory (OVO).



図 7. ボアホール傾斜計の設置以来の長期変動.

Fig. 7. Long term variations of ground tilts at three borehole tiltmeter stations.

沿いに年間 1-4 cm の割合で距離の伸びが認められている (図 8). この距離の伸びは、地下に存在すると考えられる



図 8. 伊豆大島の光波測距および GPS 観測点の分布と噴火後の辺長変化 (渡辺・三ケ田, 1994 を若干修正). ●は GPS 基 点, ■は GPS および光波基点, □は光波のみの基点を示す. 辺長の伸び, 変化が 1990 年以後現在までほぼ一定の割合で進 行していることがわかる.

Fig. 8. The location of EDM and GPS benchmarks on Izu-Oshima island. The distance variations for some baselines are shown in the right side. Solid circles, squares and open squares indicate GPS, GPS-EDM, EDM-only benchmarks, respectively. Since 1990 until now, the distances across the island are extending with almost constant rates. This may be due to the charging process of magma reservoir beneath the volcano.

マグマ溜まりへのマグマの流入によるものと解釈できる. 圧力源の位置は, 1994 年まではカルデラ西部深さ 8-10 km (渡辺・三ケ田, 1994), 1995年にはカルデラ北部深さ5 km (渡辺ほか, 1995) と求められた. 1994 年秋からカルデ ラ北部を震源とするやや低周波の地震が時折群発してお り、この圧力源位置の変化との関連も今後の課題である。 図8にGPS観測点の分布を示す.これまでに測定が行わ れている観測点は、乳ヶ崎(町有地) CHG, 伊豆大島火山 観測所(観測所建物屋上)OVO,野増港(町有地)NMS, 間伏(運輸省航空無線標識所敷地内)MBS,奥山砂漠(テ レメータ局舎脇) OKS, 温泉ホテル(東汽観光株式会社大 島温泉ホテル敷地内水準点)ONS, 鏡端(鏡端三角点脇) KGM, 鏡端三角点 KGM-T, 滑台三角点 (カルデラ外輪滑 台付近の尾根上)SBR, 二子山 (テレメータ局舎上)FUT, 三原山(三原山水準点)MHR,筒石(筒石水準点)TTI, 白石山(白石山頂) SRIの13 観測点である。1996 年春に設 置した泉津観測点(泉津小学校屋上)SEN を加え、ピラー 設置により測定の必要のなくなった鏡端三角点を除くと, 今後観測を継続する観測点は13点となる.これらの観測 点の内, CHG, OVO, NMS, MBS, OKS, KGM, FUT, SEN についてはピラーが設置されており,アンテナを直 接取り付けることができる.さらに,今後の伊豆大島の膨 張変動の行方を精密に測定し, 微動や地震活動に対応した 地殻変動をも捉える目的で,1996 年度より OVO, MBS, OKS の3 観測点で GPS 連続観測が始められる.図8に示 された通り,この数 km の測線長に対し年間数 cm という 大きな変動が生じていることは,長期的に火山活動を把握 する上でこの観測が重要な意味を持つであろうことを示唆 している.

こうした地殻変動の観測と並行して、伊豆大島火山観測 所では大島北東岸に位置する泉津 SEN、西岸の野増 NMS,南岸の波浮港 HBM の3 観測点で潮位の連続測定 を行っている(観測点位置については図6参照).図9にこ れまでに得られた潮位の観測結果を示す.これまでの測定



Fig. 9. Variations of sea levels at three tide stations.

では、NMS および SEN における潮位の低下が観測されて いる. この結果は、GPS 観測などにより見い出されている 大島の膨張変動と同一の傾向を持っている. 大島という海 に囲まれた環境で、大島火山と海水面の位置関係を長期的 に把握するために重要な観測であり、今後の潮位変化に注 目している.

電磁気観測

伊豆大島における電磁気観測は、1950-51 年噴火後の観 測をふまえて、大島西麓の野増に設置された地磁気観測所 を基地として行われてきたが、1985 年以後は伊豆大島火山 観測所に引き継がれている。1986 年噴火の前には、三原山 のみかけ比抵抗や三原火口周辺での地磁気全力の異常減少 などが観測された。先に述べたように、1986 年噴火前の数 年間、山頂カルデラ域では隆起や膨張が観測されず地震活 動も低調であったが、山頂火口周辺の電磁気観測データは 明瞭な前兆変化を示し、噴火活動の予測にとって大変重要 な情報を提供した(例えば、Yukutake et al., 1987, 他に電 磁気学的な観測結果をまとめたものとして: The 1986-1987 Eruption of Izu-Oshima Volcano, ERI, 1988; J. Geomag. Geoelectr. Vol. 42, No. 3, 1990).

図 10 に現在の地磁気観測点分布を示す.大島地磁気基 準点 OSM,野増 NOM,二子山 FUT,鎧端 YOR,波浮 HAB,表砂漠 OMT,三原山頂 MIA,三原山南麓の MI0 MI1,MI2,三原東 MIE,三原西の MW1,MW2 の計13 点で,プロトン磁力計を用いた全磁力の毎分測定が行われ ている.二子山 FUT では全磁力のほかにフラックスゲー ト磁力計による3 成分観測が,大島地磁気基準点 OSM で



図 10. 伊豆大島における地磁気観測点分布. Fig. 10. Distribution of magnetic observation sites on Izu-Oshima.

は全磁力,地磁気3成分および地電位2成分の観測が行われている.OSMには非磁性の地磁気絶対観測室と検定室 もあり,大島における電磁気観測の基準点となっている.



図 11. 三原山の南麓(MI0, MI1)および東麓(MIE)における地磁気全力変化.

Fig. 11. Variations of the geomagnetic total intensity at the southern (MI0, MI1) and eastern (MIE) foot of Miharayama referred to the station NOM.

1986 年噴火後の NOM を基準とした MI0, MI1, MIE に おける全磁力変化を図 11 に示す.噴火後も三原火口地下 の熱消磁傾向が続いていたが,1990 年初めに反転し,現在 は火口地下浅部の温度低下が進行していることを示してい る.

三原火口地下の見かけ比抵抗測定は、三原山の東山腹に 埋設してある電極から人工的に電流を地下に流し込み、西 山腹の電極で地電位差を測定する方法で行われている。 1986年噴火前までは、毎度発電機を現地に持ち込み測定が 行われていたが、噴火後は、送信受信とも太陽電池を電源 としタイマーを用いて自動的に1日1回の測定が行われ、 結果はデータロガーに収録されている。火口周辺での地磁 気と比抵抗変化の測定は、マグマや高温の火山ガスによる 火口地下の温度上昇や熱水活動の活発化をモニターするの に有効であり、1986年噴火前にみられたように、噴火活動 の短期的な前兆を捉えるのに大きな役割を果たしている。

まとめと課題

1986年噴火の場合にみられたように、伊豆大島火山山頂 噴火の前兆過程が一般的にマグマの蓄積期と上昇期とに明 確に分けられるとすると、噴火の中期予測が可能であるこ とになる.その場合の前兆過程と観測方法とのシナリオは 次のようになるであろう.まず、地殻変動観測によって山 体膨張を監視し、マグマの蓄積状況を把握する.その際、 大島周辺の地震活動度の経年的な推移も参考になる.次 に、マグマが地表へ向けて上昇を開始すると、山体の膨張 が停滞するかあるいはやや収縮するであろう.引き続い て、山頂火口周辺で地下の温度上昇を示す地磁気や比抵抗 の変化が観測されれば、マグマの上昇開始はより確実とな る.マグマがさらに上昇し海水準付近にまで達すれば、帯 水層との熱的な相互作用によって地磁気や比抵抗の変化は 加速し、火口直下で浅い火山性微動も発生するであろう. また、火口近傍で精密重力測量を繰返せば、マグマの上昇 に伴う重力の異常な増加を検出することも可能である.

将来,噴火へ向けて再びマグマが上昇を開始する場合 に,上記のような観測を行えば,前兆過程についての現在 の仮説を検証し中期予測の基礎をさらに固めることができ るであろう.人的な体制を確保し,いかに効果的に観測を 行うかが重要課題である.

謝 辞:1983年集中総合観測期間中に発生した群発地 震の検測データは、京都大学防災研究所桜島火山観測所の 西潔氏より提供していただいた.また気象庁大島測候所安 藤邦彦氏には、観測点の設置や地震観測への助言をいただ いた.カルデラ横断測線の辺長変化のうち、1993年まで は、火山噴火予知研究推進センターの竹田豊太郎、小山悦 郎の両氏を中心に実施された光波測距観測によるものであ る.電磁気観測に関しては、地震研究所の関連分野の方々 との共同によるところが多い.ここに記して感謝いたしま す.

文 献

- 青木 豊・村岡洋文, 1995, 反射法地震探査の実際と限界, 地球 惑星科学関連学会 1995 年合同大会予稿集, 51.
- 藤井敏嗣・安田 敦, 1995, 伊豆大島火山 1986-1987 年噴火のマ グマ供給システム―ガラス包有物からのアプローチ―, 日本火

山学会 1995 年秋季大会講演予稿集, 76.

- 長谷川功・伊藤公介・小野晃司・相原輝雄・楠瀬勤一郎・佐藤隆 司,1987、爆破地震による伊豆大島の地下構造-横断測線,地質 調査所月報,38,741-753.
- 井田喜明・山岡耕春・渡辺秀文, 1988, 伊豆大島 1986 年噴火と地 下のマグマ動,火山, 33, S 307-S 318.
- 伊藤公介・長谷川功・小野晃司, 1981, 地震探査による伊豆大島 の地下構造, 物理探鉱, 34, 435-444.
- 伊藤公介・長谷川功・楠瀬勤一郎・佐藤隆司・小野晃司, 1988, 伊豆大島火山におけるファンシューティングによる振幅測定, 火山, 33, S113-S119.
- 三ケ田 均・渡辺秀文・坂下至功・下村高史, 1994, 1993 年 5 月 から 6 月の伊豆東方沖地震に連動して発生した伊豆大島の火山 性微動,地球惑星科学関連学会 1994 年合同大会予稿集, 375.
- Mikada, H., 1995, A new approach to elastic scattering theory and its relation to seismic tomography, Proc. 3rd SEGJ/ SEG International Symposium on Geotomography, November 8–10, 116–123.
- Onizawa, S., 1996, A method for simultaneous velocity and density inversion and its application to exploration of subsurface structure beneath Izu-Oshima Volcano., M.S. Thesis, University of Tokyo, pp. 76.
- Suzuki, H., Kasahara, K., Ohtake, M., Takahashi, A., Ikawa, Abe, T. and Kawabe, Y., 1992, Underground structure and magmatic activity of Izu–Oshima volcano, Japan as inferred from seismic reflection survey, J. Volcanol. Geotherm. Res., 49, 105–117.

Takeo, M., Yamasato, Y., Furuya, I. and Seino, M., 1990, Anal-

ysis of long-period seismic waves excited by the November 1987 eruption of Izu-Oshima volcano., *J. Geophys. Res.*, **95**, 19377–19393.

- 渡辺秀文, 1988, 伊豆大島火山の山頂火道におけるマグマの挙動 とマグマ供給システム,日本火山学会1988年秋季大会講演予 稿集,40.
- 渡辺秀文,1989,伊豆大島火山における火山性微動の発生機構, 日本火山学会1989年春季大会講演予稿集,20.
- 渡辺秀文, 1990 a, 伊豆大島火山における火山性微動の発生機構 (2),地球惑星科学関連学会 1990 年合同大会予稿集, 164.
- 渡辺秀文, 1990 b, 噴火の前兆現象と予知, 火山, 34, S 215-S 226.
- 渡辺秀文・三ケ田 均, 1994, 伊豆大島火山のマグマ供給システム(2), 日本火山学会1994年秋季大会講演予稿集, 149.
- 渡辺秀文, 1995, マグマ再蓄積の進む伊豆大島火山, 科学, **65**, 631-633.
- 渡辺秀文・三ケ田 均・坂下至功・竹田豊太郎・小山悦郎, 1995, 伊豆大島火山の 1986 年噴火後の膨張変形,日本火山学会 1995 年秋季大会講演予稿集,77.
- Yamamoto, K., 1993, Three-dimensional P-wave velocity structure of Izu-Oshima volcano, Japan by using teleseismic data: for detection of magma reservoir, M.S. Thesis, University of Tokyo.
- Yukutake, T., Yoshino, T., Utada, H., Watanabe, H., Hamano, Y., Sasai, Y. and Shimomura, T., 1987, Changes in the electrical resistivity of the central cone, Miharayama, of Izu-Oshima Volcano, associated with its eruption in November, 1986, Proc. Japan Acad., 63–B, 55–58.