

薩摩硫黄島におけるカルデラ形成期以降の噴火史

前野 深*・谷口宏充**

(2003年5月12日受付, 2005年3月4日受理)

Eruptive History of Satsuma Iwo-jima Island, Kikai Caldera,
after a 6.5 ka Caldera-forming Eruption

Fukashi MAENO* and Hiromitsu TANIGUCHI**

Kikai Caldera, 17 km wide and 20 km long, is a Quaternary volcano located, nearly submerged, in the East China Sea, southern Kyushu. Two volcanoes, Iwo-dake (a rhyolitic volcano) and Inamura-dake (a basaltic volcano) on Satsuma Iwo-jima Island at the marginal part of this caldera, were formed after the great caldera-forming eruption of 6.5 ka known as the Akahoya Eruption. We made a geological study to understand the eruptive history of Satsuma Iwo-jima Island after the caldera formation.

The volcanic activity in the island after the Akahoya Eruption is divided into three main stages and ten sub-stages based on volcanic edifice development and tephra deposits; the old Iwo-dake stage (stage OIo- I - II), the Inamura-dake stage (stage In- I -IV), and the young Iwo-dake stage (stage YIo- I -IV). The old Iwo-dake stage was initiated by phreatomagmatic eruptions and pumice fallout (stage OIo- I), followed by the effusion of rhyolitic lava with continuous ejection of ash and lithic fragments, resulting in building up an old volcanic edifice (stage OIo- II). In the stage OIo- II, intermittent explosive eruptions also occurred. The Inamura-dake stage is characterized by the effusion of basaltic lava flows and scoria-cone building (stage In- I -II). After that, at the western foot of the cone, phreatomagmatic explosions occurred (stage In-III) and andesitic lava flow effused (stage In-IV). In the young Iwo-dake stage, the explosive eruption occurred at the beginning (stage YIo- I), followed by the effusion of multiple rhyolitic lava flows from the summit crater and the formation of hyaloclastite in shallow sea that made up the marine terrace (stage YIo- II). During the past 1000 years, the volcanic activity changed to intermittent ones with pumice and bomb fallout (stage YIo-III-IV). Total phenocryst contents of the Iwo-dake lavas increased up to 8 vol.% through the young stages. The magma of the young Iwo-dake stage is different from that of the Akahoya Eruption and the old Iwo-dake stage, bordered by the Inamura-dake stage.

Key words: Kikai Caldera, Iwo-dake volcano, rhyolite lava, eruptive history, bimodal volcanism

1. はじめに

鬼界カルデラは、九州最南端の佐多岬から約40 km 西に位置し、北から加久藤・小林、始良、阿多などの大型カルデラが並ぶ鹿児島地溝の南方延長上に位置する。現在、鬼界カルデラの大部分は水没しており、薩摩硫黄島、竹島などがカルデラ壁として海上に現れている程度であるが、東西20 km、南北17 km におよぶ大型カルデラである (Matumoto, 1943; Figs. 1a, b)。このカルデラは

過去数10万年間にわたる複数回の大規模噴火により形成され、6.5 kaには“アカホヤ火山灰”で知られる最新のカルデラ噴火が発生した (町田・新井, 1978; 小野・他, 1982; Kitagawa *et al.*, 1995; 奥野, 2002)。薩摩硫黄島硫黄岳 (流紋岩質)、稲村岳 (玄武岩質)、昭和硫黄島 (流紋岩質)、そして海面下に存在する中央火口丘群が、アカホヤ噴火以降に成長した新しい火山体である。小野・他 (1982)、奥野・他 (2000)、Kawanabe and Saito (2002)

* 〒980-8578 仙台市青葉区荒巻青葉
東北大学大学院理学研究科地学専攻
Institute of Mineralogy, Petrology, and Economic
Geology, Graduate School of Science, Tohoku Uni-
versity, Aramaki-Aza-Aoba, Aoba-ku, Sendai 980-8578,
Japan.

** 〒980-8576 仙台市青葉区川内
東北大学東北アジア研究センター
Center for Northeast Asian Studies, Tohoku Uni-
versity, Kawauchi, Aoba-ku, Sendai 980-8576, Japan.

Corrsponding author: Fukashi Maeno
E-mail: fmaeno@cneas.tohoku.ac.jp

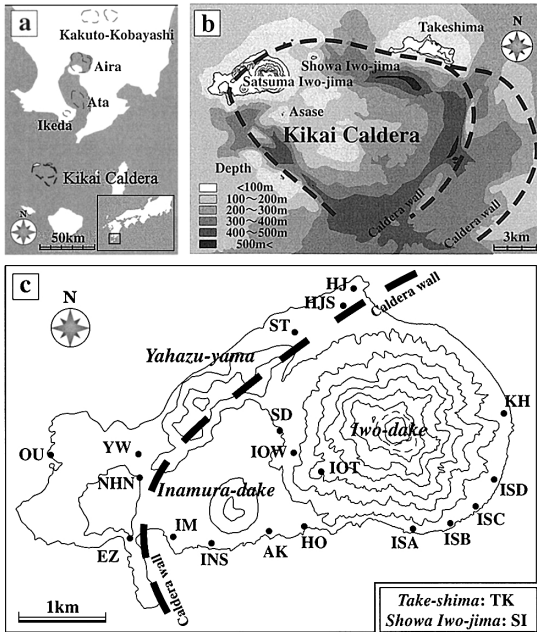


Fig. 1. Maps showing the location (a) and topography (b) of the Kikai Caldera. Figure (c) shows the topography with outcrop distribution in Satsuma Iwo-jima. For the abbreviations in (c), see the text.

は、硫黄岳および稲村岳起源のテフラについて¹⁴C年代を報告し、アカホヤ噴火以降、流紋岩質の硫黄岳が5.2 kaに活動を開始し、その後、3.9 kaから始まる玄武岩質の稲村岳の活動を挟み、2.2 kaに再び流紋岩質の硫黄岳が活動を開始したことを明らかにしている。

硫黄岳は現在も活発に噴煙を上げており、近年では、主に火山ガスの組成や放出量の観測結果にもとづき、脱ガスプロセスに関する議論が行われている (Kazahaya *et al.*, 2002; Shinohara *et al.*, 2002)。また、流体包有物中の揮発性成分量の変化 (Saito *et al.*, 2001) や苦鉄質包有物の存在 (Saito *et al.*, 2002) などから、現在の鬼界カルデラのマグマ溜りは、上部に珪長質マグマ、下部に苦鉄質マグマをもつ層構造をなしていると考えられている (Saito *et al.*, 2002; Kazahaya *et al.*, 2002)。

アカホヤ噴火以降の噴火年代やマグマ溜りの状態、進化は徐々に明らかにされつつあるが、硫黄岳や稲村岳の噴火史の詳細については不明な点が多く、また、流紋岩質マグマの活動に玄武岩質マグマの活動を伴う特徴的な活動の原因についての議論は十分に行われていない。

硫黄岳の継続的な噴気活動や、1934-35年昭和硫黄岳噴火は、鬼界カルデラ地域が現在もなお活動的であることを示している。本地域の詳細な噴火史の解明は、将来

の噴火活動の予測、火山災害の軽減という点で重要である。そこで本論では、テフラ層序、山体地形などの地質学的調査をもとに、鬼界カルデラのアカホヤ噴火以降に成長した硫黄岳と稲村岳の噴火史について考察する。

2. 薩摩硫黄島の地質概要

2-1 カルデラ形成以前の噴出物

薩摩硫黄島は鬼界カルデラの北西カルデラ縁上に位置し、島北東の平家城 (HJ) から南西の永良部崎 (EZ) にかけてカルデラ壁が明瞭な地形として残されている (Figs. 1b, c)。地質図を Fig. 2 に、各露頭における柱状図を Fig. 3 に示す。また、鬼界カルデラの主な活動と、アカホヤ噴火以降の層序を Table 1 にまとめた。

島北部の矢筈山および西部に台地状に分布する長浜溶岩はカルデラ形成以前の山体で、カルデラ壁を構成している。カルデラ外側は、少なくとも3回の大規模噴火堆積物によって覆われている。その堆積物は、竹島と薩摩硫黄島に分布する小アピ火砕流堆積物 (K-ab; 小野・他, 1982)、竹島にのみ分布する長瀬火砕流堆積物 (K-Ns; 小野・他, 1982)、そして、アカホヤ噴火時の一連の堆積物 (K-Kyp, K-Ky; 宇井, 1973; 小野・他, 1982) である。これらの火砕流堆積物に対しては、それぞれ、約140 ka (町田・他, 2001)、約95 ka (Machida, 1999)、6.5 ka (Kitagawa *et al.*, 1995; 奥野, 2002) の年代値が与えられている。なお、鬼界カルデラ周辺の種子島、屋久島に存在し、約580 ka (森脇・他, 2000) に噴出したとされている小瀬田火砕流堆積物 (K-Sd; 町田・新井, 1992) も鬼界カルデラ起源の大規模噴火堆積物と考えられているが、薩摩硫黄島、竹島には分布していない。また、両島には、約13~8 ka にわたる¹⁴C年代を示す龍港テフラ群 (K-Km) が分布する (小野・他, 1982; 奥野, 1996)。龍港テフラ群は13~8 kaの約6000年間にわたって、断続的に堆積したものと考えられ、その中には始良カルデラ起源の桜島薩摩テフラ (Sz-S) が挟在する (Kobayashi and Hayakawa, 1984; 奥野・他, 1994)。カルデラ内には、流紋岩質の硫黄岳と玄武岩質の稲村岳が存在し、両火山を起源とするテフラ群が、カルデラ壁外側でアカホヤ噴火堆積物を覆っている (Figs. 3, 4)。

2-2 カルデラ形成後の活動期の区分

小野・他 (1982) は、カルデラ壁外側に存在する硫黄岳および稲村岳起源のテフラ群を、下部層 (硫黄岳起源)、中部層 (稲村岳起源)、上部層 (硫黄岳起源) に、奥野・他 (2000)、奥野 (2002) は K-IoL, K-In, K-IoU に区分し記載している。Kawanabe and Saito (2002) は、硫黄岳起源のテフラを、硫黄岳斜面に分布する硫黄岳テフラ群 (K-Iw) と山麓周辺の坂本テフラ群 (K-Sk) とに区

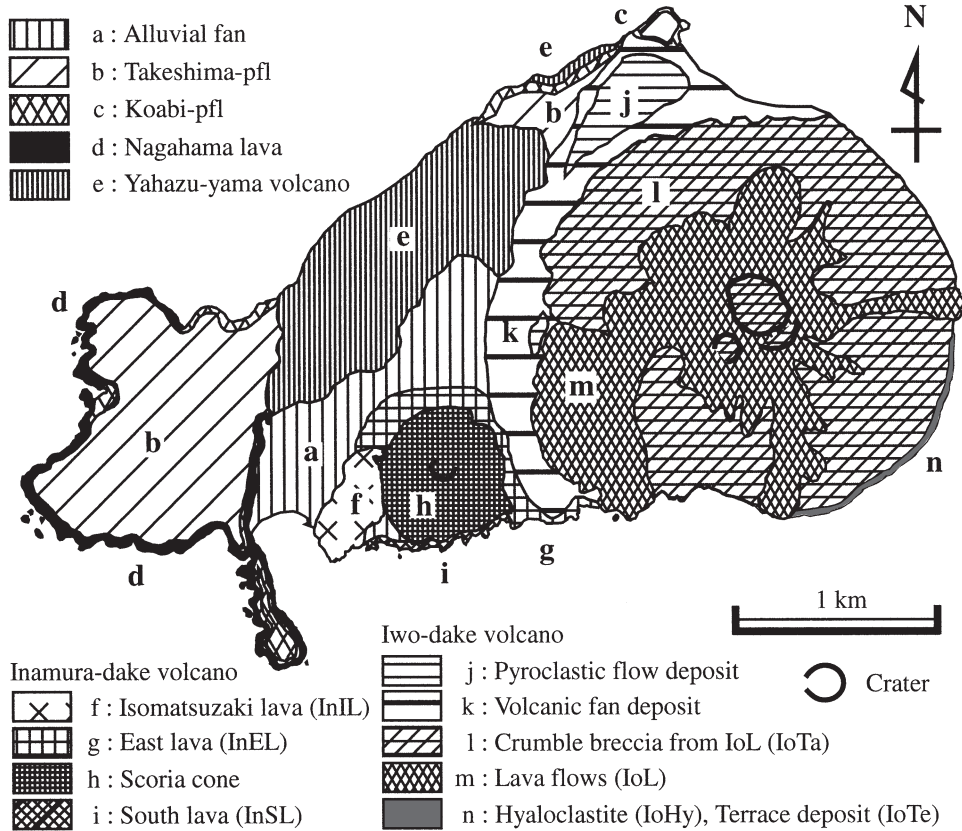


Fig. 2. Geological map of Satsuma Iwo-jima (modified from Ono *et al.*, 1982).

分し、とくに山麓周辺の坂本テフラ群については、K-Sk-l, K-In, K-Sk-u と記載し、それぞれは、2枚、2枚、4枚の計8枚のテフラからなるとしている。また、稲村岳起源のテフラについては、K-In-1 および 2 の 2枚に細分している。従来の研究により、これらのテフラの年代は明らかにされているものの、とくに、硫黄岳山体を構成する溶岩流との関係は十分に明らかでない。本論では、硫黄島内のほぼ全てのテフラ層と溶岩流の層序関係を明らかにし、これをもとにしてアカホヤ噴火以降の活動期を区分した (Table 1)。

テフラ層の区分は、基本的に風化火山灰を境にして行い、とくに明瞭な黒色腐植土が挟まる場合には、これを境にして活動期毎のテフラ層またはテフラ群として大きく区分した。腐植土は、炭質物を多く含むことから、植生が繁茂したこと、すなわち比較的長い噴火活動の休止または静穏期があったことを示す。

テフラ層と溶岩流の層序をもとにすると、活動期は、まず大きく、アカホヤ噴火 (Akahoya Eruption)、古期硫黄岳の活動期 (Old Iwo-dake stage)、稲村岳の活動期

(Inamura-dake stage)、新期硫黄岳の活動期 (Young Iwo-dake stage) に区分できる。これらをさらに、古期硫黄岳については古い方から stage OIo- I, II の 2 ステージ、稲村岳については古い方から stage In- I ~IV の 4 ステージ、新期硫黄岳については古い方から stage YIo- I ~IV の 4 ステージに区分した (Table 1, Figs. 3, 4)。

各活動期のテフラ層は、古期硫黄岳については、stage OIo- I, II に対応する古期硫黄岳 1a~1b, 2a~2b (OIo1a~1b, OIo2a~2b) の 4 枚、稲村岳については stage In- I ~III に対応する稲村岳 1, 2, 3 (In1, In2, In3) の 3 枚、新期硫黄岳については stage YIo I ~IV に対応する新期硫黄岳 1, 2a~2e, 3a~3c, 4a~4b (YIo1, YIo2a~2e, YIo3a~3c, YIo4a~4b) の 11 枚が識別される。いくつかのステージでは、複数枚のテフラ層が堆積しているため、2a, 2b, … のように区分した。また、In2 と In3 については、場所によっては、間に明瞭な土壌が認められないことがある。

2-3 硫黄岳

硫黄岳は、鬼界カルデラ中央火口丘群の西側に連なる高まりの最高地点に位置し、標高約 700m の急峻な山体

Table 1. Geological units in Kikai Caldera area

eruptive stage	This study			Kawanabe and Saito (2002)				Other studies
	Name			Name	Age (yBP)	Name		Age (yBP for no unit)
	Tephra	Lava	Volcaniclastic rock			Name	Age (yBP)	
<i>Showa Iwojima Eruption</i>								1934-35 A.D.
<i>stage YIo- IV</i>	YIo4a-b			K-Sk-u-4	920±40	K-Iw-P2	610±30	520±80 (2)
<i>stage YIo- III</i>	YIo3a-c			K-Sk-u-3	940±40	K-Iw-S1	1130±40	1000±80 (2), 1560±110 (1)
<i>Young Iwo-dake</i>	<i>stage YIo- II</i>	YIo2a-e	IoLF	↑ Io Ta ↓ (IoSP)	K-Sk-u-2			
			IoLD, E					
			IoLB, C			IoTe		
			IoLA	IoHy-l,u				
<i>stage YIo- I</i>	YIo1			K-Sk-u-1	2210±40			2250±60 (2) 3040±120 (1)
<i>stage In- IV</i>		InIL						
<i>Inamura-dake</i>	<i>stage In- III</i>	In3		K-In-2				
	<i>stage In- II</i>	In2	InEL					
	<i>stage In- I</i>	In1	InSL	K-In-1	3890±40			3660±70 (2)
<i>Old Iwo-dake</i>	<i>stage OIo- II</i>	OIo2a-b		K-Sk-l-2				
	<i>stage OIo- I</i>	OIo1a-b		K-Sk-l-1				5200±70 (2)
<i>Akahoya Eruption</i>								
		Takeshima-Koya pfl (K-Tk, K-Ky, K-Ah)						
		Funakura pfl		<i>Caldera forming eruption</i>				6.5 ka (3)
		Funakura pfa (K-Kyp)						
<i>Caldera forming stage</i>								
		Komoriko tephra group (K-Km)						13-8 ka (2)
		Nagase pfl (K-Ns, K-Tz)			<i>Caldera forming eruption</i>			95 ka (4)
		Koabi pfl (K-ab)			<i>Caldera forming eruption</i>			140 ka (5)
		Koseda pfl (K-sd)			<i>Caldera forming eruption</i>			580 ka (6)
<i>pre-Caldera forming stage</i>								
		<i>Felsic lava goup</i> Yahazuyama, Magomeyama, Takahirayama						
		<i>Mafic lava goup</i> Nagahama-lava, Sannoehana-lava, Akasaki-lava						700 ka~ (1)

(1) Ono *et al.* (1982), (2) Okuno *et al.* (2002), (3) Kitagawa *et al.* (1995), (4) Machida (1999), (5) Machida *et al.* (2001),

(6) Moriwaki *et al.* (2000).

pfl: pyroclastic flow, pfa: pumice fall.

を形成している。複数枚の溶岩流と崖錐堆積物からなる溶岩ドームで、表層部にはガリーが発達し、侵食が進んでいる (Fig. 5)。

現在主な活動を行っているのは中央火口であるが、この他に、南西側にキンツバ火口、南側にはこれらとは別の火口地形が認められる。南側の火口地形は、大部分が現在の中央火口に切られており、火口壁の南側だけが残っている (Figs. 2, 5)。この一帯は古岳 (または小岳) と呼ばれ、硫黄岳では最も古い火口に相当するが、活動年代など詳しいことはわかっていない。

現在の硫黄岳は侵食が進んでおり、新鮮な溶岩流の外形的特徴は十分に保持されていない。しかし、地形判読および一部に露出した内部構造から、複数枚の溶岩流を明瞭に区分できる。本論では、これらの硫黄岳溶岩流を IoLA~F に分類した (Fig. 5)。東~南側に分布する溶岩 (IoLA, B, C) は海岸線付近まで達し、その給源は溶岩流の分布から古岳付近と推定される。一方、北~北西側に分布する溶岩 (IoLF) は主火口を給源としているが、先端は海にまでは達していない。侵食を受けてはいるが、

厚い舌状の形態を保持し、東~南側の溶岩よりも明らかに新しい時期の溶岩と判断される。北西側は、とくにドーム状に盛り上がり、山体全体を西側から見ると南北で非対称となっている。地質図 (Fig. 2) には、IoLA~F を区別せず、硫黄岳溶岩流をまとめて m (IoL) と表記した。また、硫黄岳山体を覆う崖錐 (後述; 6-11) は、IoL の流出に伴った転動角礫岩からなり、地質図ではこれを l と表記した。

これまで、硫黄岳は溶岩ドームとそれを覆う溶岩流と崖錐堆積物からなる (小野・他, 1982) とされてきたが、本研究により、南から東麓にかけての海岸の崖錐堆積物下部には、ハイアロクラスタイト (Pichler, 1965) (硫黄岳ハイアロクラスタイト層; IoHy) と、それを覆う段丘堆積物 (硫黄岳海成段丘礫層; IoTe) が存在することが明らかになった (Figs. 5, 6)。ハイアロクラスタイト層は侵食面を境に大きく下部層 (IoHy-l) と上部層 (IoHy-u) に区分できる。硫黄岳の活動時期は古期と新期に分けられるが、現在地表で確認できる硫黄岳山体の溶岩類・火砕岩類 (ハイアロクラスタイトを含む) は、岩石学的特

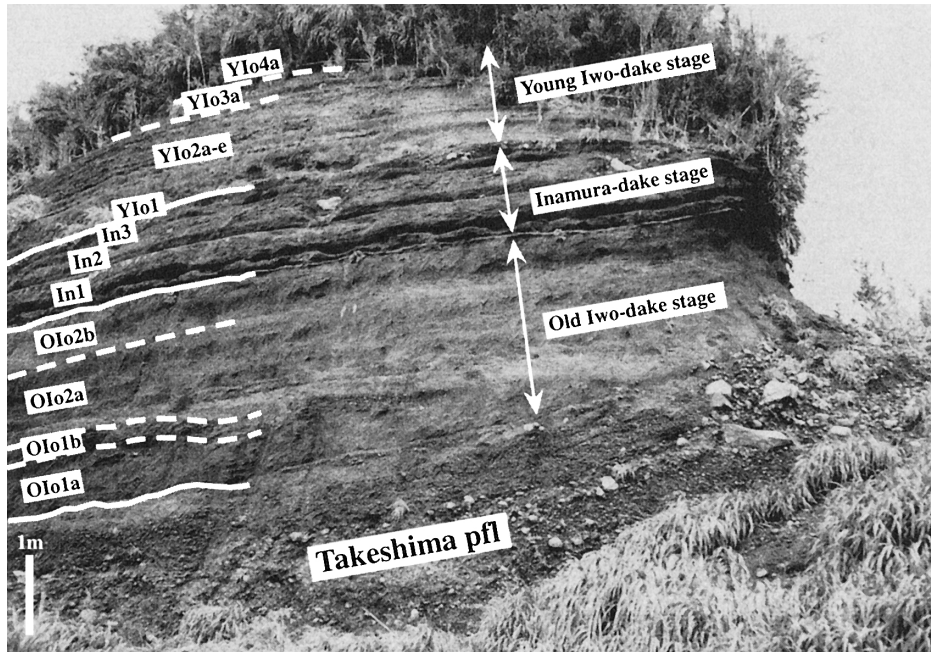


Fig. 4. Photograph of the outcrop at Sakamoto (ST). OIo1a~2b, In1~3, and YIo1~4a are derived from the Old Iwo-dake volcano, the Inamura-dake volcano, and the Young Iwo-dake volcano, respectively.

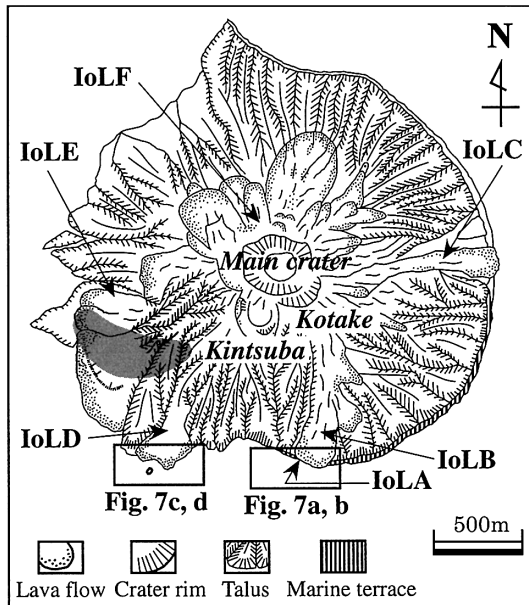


Fig. 5. Geomorphological map of Iwo-dake volcano. Shaded area at the western foot of Iwo-dake shows the distribution of volcanic bombs (YIo4 a, b) ejected from the Kintsuba crater in stage Io-IV.

徴(後述; 7-3, 8-1)にもとづくと、全て新期硫黄岳活動期の噴出物に分類される。

2-4 稲村岳

稲村岳は、標高約 230m の円錐形の山体で、北東側に開いた山頂火口と北西麓の小火口を有する。活動期は、稲村岳テフラ群 In1~3 に対応する stage In-I ~ III と、磯崎溶岩 (InIL) に対応する stage In-IV である。南溶岩 (InSL), 東溶岩 (InEL) は、それぞれ stage In-I ~ II の噴出物である (Table 1)。

次節からは、カルデラ噴火以降の各活動期における噴火様式と推移について考察するために、活動期の区分にもとづき、硫黄岳と稲村岳の噴出物の記載を順に示す。

3. 古期硫黄岳の噴出物

3-1 古期硫黄岳 1a, 1b (OIo1a, 1b)

硫黄岳に近いカルデラ壁外側の平家城 (HJ) および坂本 (ST) に認められるほか、西部の大浦 (OU) でもわずかに確認できる。この堆積物は最下部の灰~黄色砂質火山灰層 (OIo1a) と、その上位の降下軽石層 (OIo1b) からなる。2層合わせた層厚は平均 50cm 程度である。OIo1a は、竹島火砕流堆積物上の凹所を埋めるようにして、ロームを挟んでレンズ状に認められ、厚さ数 cm の薄層が累積し、固く凝集していることがある。また、部分的

に斜交層理が認められることから、火砕サージ堆積物と判断した。OIo1bは硫黄岳に近い平家城や坂本にのみ認められる。構成軽石粒子は径5cm以下である。

3-2 古期硫黄岳 2a, 2b (OIo2a, 2b)

全島のカルデラ壁外側に認められ、2層合わせた全体の層厚は、平家城では約2m、大浦でも1m以上である。OIo2a, 2bともに灰色砂質火山灰を主体とし、結晶片や数cmの角礫を含む。平家城(HJ)では直径30cm程度の火山弾が複数認められる。火山弾は、OIo2a上位の礫質層(層厚30cm程度)中に認められ、sag structureは、竹島火砕流堆積物直上まで達している。上部の凹所は礫や土壌で埋められている。火山弾表面の一部はパン皮状になっており、本質物であると判断できる。sag structureの変形構造が示す方位から、火山弾は硫黄岳起源と判断される。また、全層にわたり、数mmから数cmの軽石が混在する。

4. 稲村岳の噴出物

4-1 稲村岳 1 (In1)

Kawanabe and Saito (2002)のK-In-1に対比される。灰色火山灰層とそれに挟まれる厚さ数cm程度の降下スコリア層からなり、古期硫黄岳テフラ群を覆う厚い黒色腐植土上に堆積している。ほぼ全島にわたり分布しており、層厚は矢筈山西(YW)で80cm、平家城(HJ)で50cm程度である。スコリア層は、矢筈山西では灰色火山灰を挟み3枚認められるが、平家城、坂本(ST)では2枚になる。スコリアの最大直径は3cm程度でよく発泡し、黒色と赤色のものが混在する。In1は厚さ数10cmの風化火山灰と土壌に覆われる。

4-2 稲村岳南溶岩 (InSL)

小野・他(1982)の南溶岩に相当する。稲村岳南海岸で、東西約700mにわたり分布する玄武岩質溶岩で、厚さ1~数mである。稲村岳の南東、南西麓では、後述する東溶岩(InEL)、磯松崎溶岩(InIL)に覆われる。InSLは稲村岳の最下位に存在し、場所によって溶岩の間に降下スコリアを挟むことから、本論ではInSLをIn1と同じstage In-Iの噴出物とした。

4-3 稲村岳 2 (In2)

Kawanabe and Saito (2002)のK-In-2の下部1層(降下スコリア層)に対比される。カルデラ壁外側では2枚の降下スコリア層とそれに挟まれる灰色火山灰層で、全島に分布する。層厚は、矢筈山西で2m、平家城で30cm程度である。とくに、矢筈山西では、上位のスコリア層は1mを越え、稲村岳テフラ群中、最も厚い。スコリア径は、下部では1cm以下であるが、上部では最大3cmに達する。平家城、坂本では約2~3cmの厚さである。In2

は稲村岳の主たる活動によるもので、スコリア丘に対比される。スコリア丘はInSLの侵食面上を覆う。本論では、In2およびスコリア丘の活動をstage In-IIとした。

4-4 稲村岳東溶岩 (InEL)

小野・他(1982)の東溶岩に相当する。硫黄岳と稲村岳の中間に分布する玄武岩質溶岩で、最大層厚は10mに達する。稲村岳北東から、硫黄岳との間の谷沿いを南東方向に流出し、南東麓ではスコリア丘の一部を覆う。山体地形から、InELはスコリア丘の形成とほぼ同時期に流出しており(小野・他, 1982)、In2と同じstage In-IIの噴出物である。

4-5 稲村岳 3 (In3)

Kawanabe and Saito (2002)のK-In-2の上部2層(サージ堆積物と降下スコリア層)に対比される。永良部崎から矢筈山西側での層厚は最大1.5mに達する。本層は最下部の厚さ2~3cmの降下スコリア層、中部の厚さ数10cmから1m以上の火砕サージ堆積物、および最上部の厚さ約10cmの降下スコリア層からなる。上部と下部の降下スコリアは未固結で発泡度が良い。上部の降下スコリア層は、火砕サージ堆積物上の凹所をレンズ状に埋める場合がある。火砕サージ堆積物は数mm~数cmの薄層の集まりで、主に2cm以下のスコリア、火山灰、岩片からなる。まれに径10cm程度の弾道放出物が、sag structureを形成する。火砕サージ堆積物中のスコリアは発泡度が悪く凝集している。平家城や坂本では、火砕サージ堆積物を欠き、下部の橙色の硬い火山灰のみから成る。上部の降下スコリアは黒色腐植土中に散在する。

In3は、場所によってIn2との間に土壌を挟むことからIn2と区別し、In3の活動期をstage In-IIIとした。

4-6 稲村岳磯松崎溶岩 (InIL)

厚さ10数mの安山岩質溶岩で、InSLおよびInELとは岩質が異なる。北西火口から流出し、稲村岳南西麓で海に流入している。海岸付近では部分的にブロック状で、また、波長3~5mの溶岩じわを有する。本溶岩は、稲村岳スコリア丘の裾野を覆い、上部は硫黄岳起源の風化火山灰に直接覆われ、稲村岳テフラを欠く。流出時期はスコリア丘形成後だが、年代は不明である。本論ではこの活動をstage In-IVとした。

5. 新期硫黄岳の噴出物

5-1 新期硫黄岳 1 (YIo1)

稲村岳テフラ群を覆う厚い黒色腐植土の上に堆積し、硫黄岳山体近傍でのみ確認できる。坂本(ST)付近では、長径2mに達する灰~紫色の弾道放出物と、sag structureを埋める火山灰、礫および岩塊からなる堆積物で、全体として固結している場合が多い。平均層厚は10~30

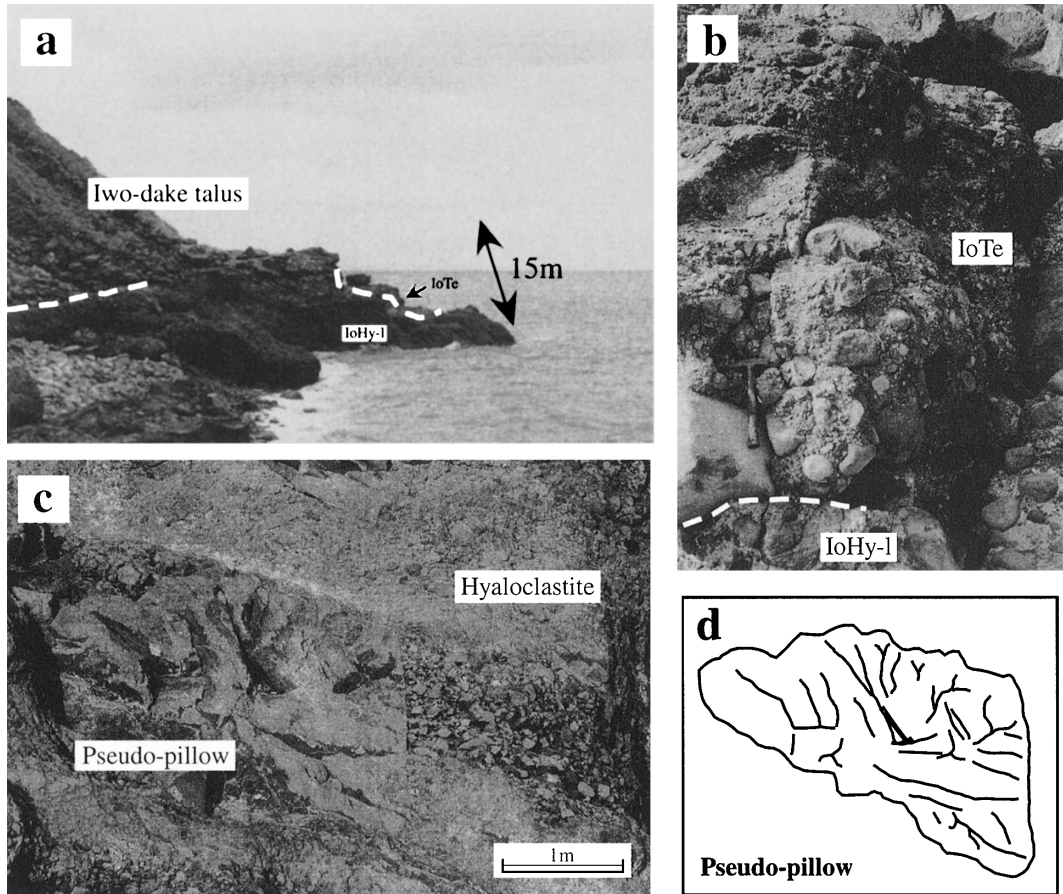


Fig. 6. A marine terrace (a) consists of volcanic conglomerate (IoTe) and hyaloclastite (IoHy-I) at south-coast of Iwo-dake. A volcanic conglomerate (b) covers a hyaloclastite layer including a block of pseudo-pillow lava (c) with radial cracks due to rapid cooling. Figure d shows a sketch of the pseudo-pillow lava.

cm 程度で、火山灰や礫の濃集部分には斜交層理が認められる。一方、東温泉 (HO) にも、sag structure を形成して堆積する弾道放出岩塊 (長径 70 cm) が認められる。

5-2 新期硫黄岳 2a~2e (YIo2a~2e)

Kawanabe and Saito (2002) の K-Sk-u-2 に対比され、カルデラ壁の外側では、5 枚の灰~ピンク色砂質火山灰層 (YIo2a, 2b, 2c, 2d, 2e) からなる。平家城 (HJ), 坂本 (ST) では、全体の層厚は 3 m 程度で、stage YIo-I 以降の新期硫黄岳の活動中最も厚いテフラ群である。テフラ層ごとに下部から上部へ、徐々に茶色みを帯びた風化火山灰へと漸移する。火山灰中には径数 mm の岩片が含まれ、軽石が散在することもある。最上部は厚さ数 10 cm の明瞭な火山灰層 (YIo2e) で、数 mm の薄い灰・黄・ピンク色の細粒火山灰の互層からなる。

東温泉 (HO) では、稲村岳起源の降下スコリアおよび YIo1 の弾道放出物を覆う灰色火山灰とその上位の火砕

サージ堆積物からなる。灰色火山灰の平均層厚は 30 cm 程度で、数 cm の軽石が散在する。火砕サージ堆積物は厚さ数 mm~1 cm の薄層からなり斜交層理が発達している。固く凝集しており、硫黄岳近傍では厚さ数 m に達する。おもに黄~灰色火山灰および細粒の岩片からなり、まれに軽石を含む。これらの堆積物は、硫黄岳溶岩流 D (IoLD) および扇状地堆積物に直接覆われており、層序からは YIo2a に対比される。

5-3 硫黄岳ハイアロクラスタイト下部層 (IoHy-I)

硫黄岳南~南東海岸に分布するハイアロクラスタイト層で、岩石学的特徴 (6-3) をもとにすると、stage YIo-I または II 以降の活動期の噴出物である。下部層 (IoHy-I) の最大層厚は 15 m に達する。この層は、外縁に急冷ガラスが発達し、平滑な破断面をもつ緻密な角礫化溶岩片 (数 cm~数 10 cm 程度) と、同源の火山灰~角礫 (数 mm~数 cm 程度) の基質で構成され、これらが一体と

なって固く凝集している。また、外形が放射状節理で特徴付けられる溶岩塊や、内部まで不規則にクラックが発達した溶岩塊 (1 m 以上) が含まれる。クラックに基質が充填していること、クラック周囲がガラス化していることは、これら溶岩塊が pseudo-pillow (Figs. 6c, d; Watanabe and Katsui, 1976) であることを示している。このガラス質角礫溶岩片や pseudo-pillow を含む碎屑物は、伊豆神津島や式根島においてハイアロクラスタイトと認識されている碎屑岩類 (谷口, 1982; 伊藤・谷口, 1996) と酷似している。また、海成段丘礫層 (IoTe) に覆われることから、水中環境下に定置したと考えるのが自然である。以上の事実にもとづき、この碎屑物をハイアロクラスタイトと判断した。

その他に、黒曜石質溶岩片、発泡した白色の溶岩片、白黒の縞状構造をもつ溶岩片、黒曜石質部分と赤色酸化部分からなる縞状構造をもつ溶岩片を含み、これらも基質を介して固く凝集し、ハイアロクラスタイトの一部をなしている。南東海岸の一部 (ISD 地点) には、ハイアロクラスタイトと同源の溶岩片 (数 mm~数 cm 程度) からなる二次堆積物が存在する。

5-4 硫黄岳ハイアロクラスタイト上部層 (IoHy-u)

硫黄岳ハイアロクラスタイト下部層 (IoHy-l) の侵食面上を覆い、一部は段丘面を形成している。構成物質は、緻密な灰色溶岩片、発泡した白色溶岩片、黒曜石質の溶岩片が主体で、それにレンズ状や縞状に黒曜石質部分を挟み赤色酸化した溶岩片が含まれる。給源 (硫黄岳溶岩流 A) 付近では本質溶岩片のみからなり固く凝集し、ハイアロクラスタイトの一部をなす。給源から離れると変質溶岩片が含まれ、未固結部分が卓越するようになる。

5-5 硫黄岳溶岩流 A (IoLA)

硫黄岳溶岩流 A (IoLA) は、現在確認できる硫黄岳溶岩類の中で最も古い溶岩である (Figs. 7a, b)。硫黄岳ハイアロクラスタイト上部層 (IoHy-u) を覆い、かつ、一部漸移関係にあること、先端および基底部に水冷クラックやガラス化が認められることから、本溶岩は IoHy-u の給源であったと判断される。溶岩流本体には流理構造がよく発達している。周辺には、最大 2 m に達する岩塊と、それを取り巻くようにして数 cm~数 10 cm の溶岩片が分布し、これが pseudo-pillow を含むハイアロクラスタイトに漸移している。

5-6 硫黄岳南海岸降下軽石層 (IoSP)

この降下軽石層は ISC 地点でのみ認められる (Fig. 3)。層厚 30 cm 程度で、直径 10 cm 以下の白色および縞状の軽石からなる。下部ハイアロクラスタイト層 (IoHy-l) の直上に堆積し、火山円礫岩からなる海成段丘礫層 (IoTe) にもこの層と同じ縞状軽石が含まれること

から、IoTe 形成の直前か、またはほぼ同時期の硫黄岳噴出物と判断できる。このテフラはカルデラ壁外側の硫黄岳テフラ群とは対比できていない。

5-7 硫黄岳海成段丘礫層 (IoTe)

層厚は数 10 cm~1 m 程度で、下部ハイアロクラスタイト層を非整合に覆う段丘堆積物である (Figs. 6a, b)。円礫化した硫黄岳起源の溶岩が主な構成物で、緻密、もしくは部分的に発泡した灰色溶岩片、白色軽石、縞状軽石、珪化変質した溶岩片からなる。サイズは直径数 cm~数 m で、これらは互いに細粒粒子を介して硬く凝集している。

5-8 硫黄岳溶岩流 B, C (IoLB, C)

硫黄岳溶岩流 B, C (IoLB, C) は、古岳付近から流出している流紋岩溶岩で、硫黄岳南から東側の斜面をなす。両溶岩とも、現海面下まで達している。IoLB は、ISA 地点付近の海岸で硫黄岳ハイアロクラスタイト下部層、硫黄岳溶岩流 A (IoLA) を非整合に覆っている (Figs. 7a, 7b)。厚さ 30 m 以上の緻密な溶岩流で、柱状節理が発達している。外見的特徴は IoLA とは異なり、顕著な流理は認められない。基底部または先端部に不規則に無数のクラックが発達し、一部は角礫化している。

5-9 硫黄岳溶岩流 D, E (IoLD, E)

硫黄岳南西麓に認められる溶岩である。山麓では明瞭な溶岩流地形を保持しているものの、山体上部では侵食が進み、給源は特定できない。硫黄岳溶岩流 D (IoLD) は、東温泉 (HO) 付近で稲村岳噴出物、YIo1, YIo2a を覆って海に達している (Figs. 7c, d)。層序から、カルデラ壁上の YIo2 テフラ群と同時期の噴出物と考えられる。硫黄岳溶岩流 E (IoLE) は、IoLD よりも斑晶量が 4 vol. % 以上増加し、IoLD とは異なる溶岩流である。

5-10 硫黄岳溶岩流 F (IoLF)

主火山口周辺および西~北側の山腹に分布する流紋岩溶岩で、IoLA~E および崖堆積物を覆う最も新しい溶岩である。山体上部では侵食や珪化変質が進んでいるが、複数枚の flow lobe は、どれも層厚 50 m を越え、塊状緻密で均質である。

5-11 硫黄岳崖堆積物 (IoTa)

硫黄岳山腹から山麓に分布する崖堆積物 (Fig. 2 中の l) で、場所によっては層厚 30 m 以上に達する。直径数 cm から数 10 cm の緻密な灰色溶岩片、発泡した灰色溶岩片を含む。基質は火山灰や礫からなる。硫黄岳南海岸では、最下位に発泡度のよい軽石 (径数 cm 程度) が含まれる。本質物質を含み、硫黄岳溶岩流と連続的な関係にあることから、溶岩流出時の転動角礫岩と判断できる。矢筈山から稲村岳にいたる山麓には、IoTa を起源とする扇状地堆積物 (Fig. 2 中の k) が認められる。

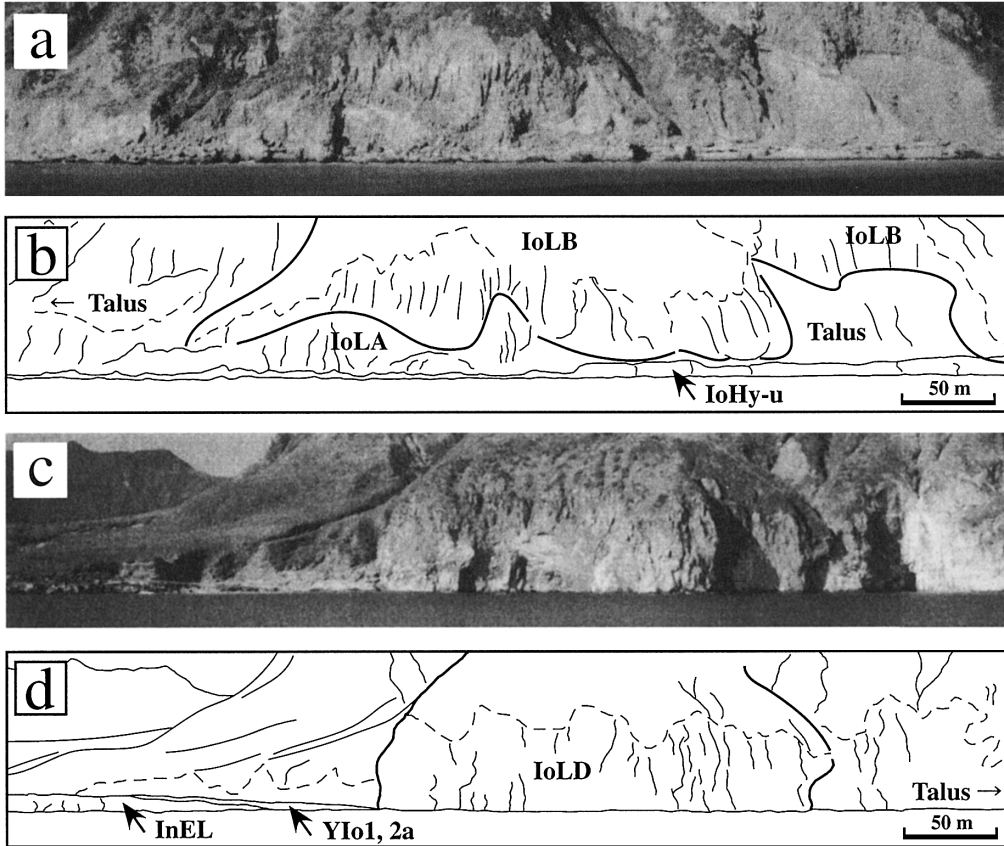


Fig. 7. Figures a and b show a photograph and a sketch of the outcrop at south-coast of Iwo-dake (ISA), respectively. Iwo-dake hyaloclastite (IoHy-l) and Iwo-dake lava A (IoLA), which is a feeder of IoHy-l, are covered by Iwo-dake lava C (IoLC). Figures c and d show a photograph and a sketch of the outcrop at Higashi Onsen (HO), respectively. Inamura-dake East lava (InEL), YIo1 and YIo2a are covered by Iwo-dake lava D (IoLD), talus and fan deposits. Locations of outcrops are shown in Fig. 5.

5-12 新期硫黄岳 3a~3c (YIo3a~3c)

YIo3a~3cは、硫黄岳溶岩流流出後の噴出物である。厚い黒色腐植土の直上に堆積し、カルデラ壁外側の K-Sk-u-3 (Kawanabe and Saito, 2002) に対比できる。YIo3aは、1 cm 以下の岩片を含む数 mm~数 cm の薄い灰~ピンク色火山灰層を挟み、層厚は全体で 60 cm 程度である。下部では明瞭な層理をもつが、上部は風化しており土壌へ漸移する。硫黄岳北麓の平家城南 (HJS) では、火砕流堆積物となっている。この火砕流堆積物は、厚さ 1 m 程度で、最大直径 30 cm に達する縞状軽石を多量に含み、基質は灰色火山灰である。硫黄岳西麓 (IOW) では、数 cm の縞状軽石からなる火砕流堆積物が認められる。この火砕流は、硫黄岳山頂に存在する縞状軽石からなる K-Iw-P1 (Kawanabe and Saito, 2002) に対比される。一方、硫黄岳展望台付近 (IOT) では、層厚 30 cm 程度の降

下火山灰層として認められる。この数 10 cm 上位には、2枚の明瞭な灰色~ピンク色砂質火山灰層 (YIo3b, 3c) が堆積する。それぞれ上位へ茶色みを帯びた風化火山灰に漸移するものの、明瞭な腐植土の挟在は認められないため、これらは全て stage YIo-III の噴出物と判断した。

5-13 新期硫黄岳 4a, 4b (YIo4a, 4b)

硫黄岳の西山腹から山麓にかけて堆積しており、軽石および火山礫、岩塊を主体とした 2 枚以上の単層からなるが、下位の 2 枚 (YIo4a, 4b) のみが明瞭な層として認識できる。硫黄岳近傍では、YIo4a, 4b それぞれに、sag structure を形成し最大径 80 cm に達するパン皮状火山弾が認められる。火山弾の表面は黒色ガラス質、内部は白~灰色軽石質で、平滑な面で囲まれた多面体状である。Sag structure は、白~灰色の軽石、黒色岩片、変質した礫・岩塊で充填されており、上面は平坦である。火山弾の分

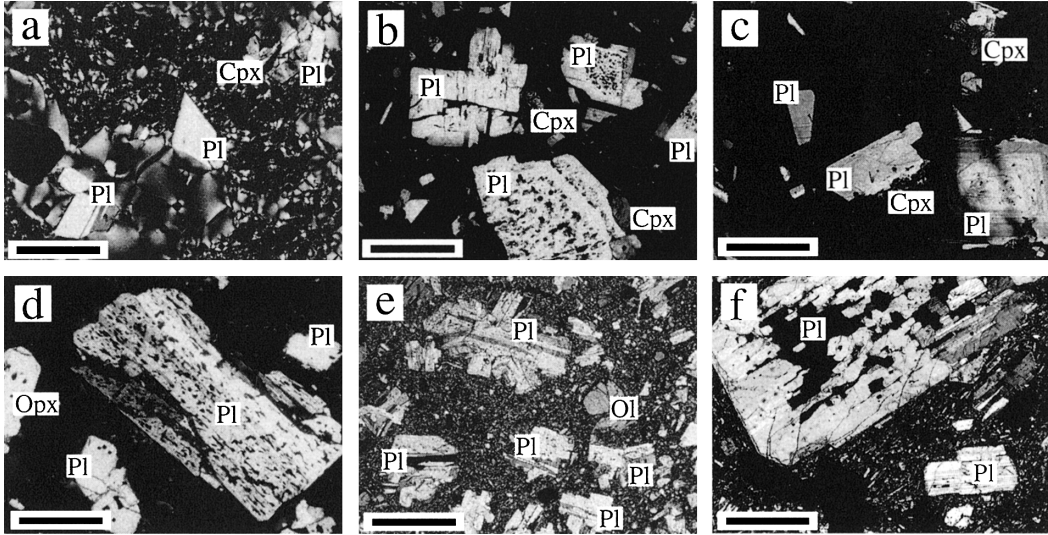


Fig. 8. Microphotographs (cross nicol) of volcanic rocks. Scale bar indicates 1 mm. Pl: plagioclase, Cpx: augite, Opx: hypersthene, Ol: olivine. (a) Two pyroxene rhyolite with clear plagioclase (pumice in K-Tk at HJ), (b) two pyroxene dacite with dusty plagioclase (ballistic bomb in OIo2a at HJ), (c) two pyroxene rhyolite with clear plagioclase (lava flow in IoLE at IOW), (d) two pyroxene andesite with large dusty plagioclase (banded pumice in K-Tk at TK), (e) olivine two pyroxene basalt with plagioclase aggregates (lava flow in InSL at INS), (f) two pyroxene andesite with dusty and clear plagioclase (lava flow in InIL at IM). For the abbreviations of sampling locations, see Fig. 1c.

布は硫黄岳中腹の展望台付近に限られ (Fig. 5), その上位には軽石層または数枚の灰色火山灰層が認められることがある。YIo4a, 4b は, ともに山麓では数 cm 以下の軽石および岩片を含む黄色の風化火山灰層に変化し, カルデラ壁の外側では, 軽石は散在する程度で明瞭な層を示さない。キンツバ火口には, パン皮状火山弾や, 径数 10 cm に達する軽石が堆積している (K-Iw-P2; Kawanabe and Saito, 2002).

6. 記載岩石学的特徴

古期硫黄岳, 稲村岳, 新期硫黄岳のマグマの特徴とその変化について調べるために, 主な活動期の噴出物の岩石記載を行った。以下に, 代表的試料の記載岩石学的特徴を記す (Fig. 8, Table 2).

6-1 古期硫黄岳噴出物

OIo1b の降下軽石 (stage OIo- I) は, 紫蘇輝石普通輝石流紋岩で, アカホヤ噴出物と同じ特徴を示す。長径 1 mm 程度の清澄な斜長石が主体で, Fe-Ti 酸化物が含まれる。一方, OIo2a の火山弾 (stage OIo- II) は, stage OIo- I と同じ鉱物組み合わせであるが, 反復累帯構造と複数の汚濁帯を有する斜長石 (最大 3 mm) を主体とした紫蘇輝石普通輝石サイトである (Figs. 8a, 8b, Table 2)。斜長石斑晶量は, アカホヤ噴出物, stage OIo- I で 5-7

vol. % であるのに対し, stage OIo- II では約 20 vol. % に達する (Fig. 9)。紫蘇輝石及び普通輝石斑晶についても, アカホヤ噴出物では細粒であるのに対し, stage OIo- II 噴出物では粗粒となる。

6-2 稲村岳噴出物

稲村岳の主な噴出物は, 稲村岳南溶岩 (InSL) および稲村岳東溶岩 (InEL) で代表される普通輝石かんらん石玄武岩 (Fig. 8e, Table 2) で, 長径 1-3 mm の斜長石集斑晶を多量に含む。降下スコリア中には, 細粒の斜長石結晶が集合したゼノリスや, 石英斑晶を含む高発泡度の白色軽石が認められる場合がある。磯松崎溶岩は, 長径 4 mm に達する斜長石斑晶を有する, かんらん石紫蘇輝石普通輝石安山岩である (Fig. 8f, Table 2)。清澄な斜長石が比較的多く, InSL や InEL に特徴的な斜長石集斑晶は認められない。

稲村岳噴出物には, アカホヤ噴火時の苦鉄質噴出物 (紫蘇輝石普通輝石安山岩; Fig. 8d) に含まれる, 蜂の巣状構造をもつ斜長石遊離斑晶は認められない。

6-3 新期硫黄岳噴出物

新期硫黄岳初期の硫黄岳ハイアロクラスタイトは, 細粒の斜長石斑晶 (1 mm 程度) を有する低斑晶量 (7-9 vol. %) の紫蘇輝石普通輝石流紋岩である。新しい噴出物ほど斑晶サイズおよび存在比は徐々に増加し, 最も新

Table 2. Model Compositions of Representative Samples from Satsuma Iwo-Jima

Sample				Phenocryst (Vol.%)					Groundmass (Vol.%)		
Name	Stage	Location	pl	cpx	opx	ol	opq	Total	minerals	Total	
Akahoya Eruption											
02Tpflob1		K-Tk obsidian	HJ	6.3	0.9	0.4	-	0.5	8.1	gl	91.9
75TK32P1*		K-Kyp pumice	TK	5	1	1	-	1	8	gl	92
75IO9P1*		K-Tk pumice	OU	7	1	1	-	1	10	gl	90
Old Iwo-dake											
00FIH1	<i>Olo II</i>	Olo2a volcanic bomb1	HJ	17.2	1.8	1.0	-	0.9	20.8	pl+cpx+opq+gl	79.2
02FIH2	<i>Olo II</i>	Olo2a volcanic bomb2	HJ	19.5	2.3	0.4	-	1.4	23.6	pl+cpx+opq+gl	76.4
Inamura-dake											
00InM1	<i>In I ~ II</i>	In South Lava	INS	34.5	1.6	-	2.9	-	39.0	pl+cpx+opq+gl	61.0
00InH1	<i>In I ~ II</i>	In East Lava	HO	30.1	3.5	-	2.6	-	36.2	pl+cpx+opq+gl	63.8
00InI1	<i>In IV</i>	In Isomatsuzaki Lava	IM	29.3	0.7	0.3	0.3	-	30.6	pl+cpx+opq	69.4
Young Iwo-dake											
02ISHy	<i>Ylo I, II</i>	Iwodake Hyaloclastite-1	ISB	7.0	1.1	0.3	-	0.4	8.8	pl+opq+gl±cpx	91.2
02ISL01	<i>Ylo II</i>	Iwo-dake Lava-A	ISA	8.5	0.7	0.3	-	0.3	9.8	pl+opq+gl±cpx	90.2
00LIKHL01	<i>Ylo II</i>	Iwo-dake Lava-C	KH	8.7	0.9	0.2	-	0.3	10.1	pl+opq+gl±cpx	89.9
01LIHOL01	<i>Ylo II</i>	Iwo-dake Lava-D	HO	9.3	0.9	0.4	-	0.5	11.1	pl+opq+gl±cpx	88.9
00LIL02	<i>Ylo II</i>	Iwo-dake Lava-E	SD	11.9	0.6	0.3	-	0.7	13.5	pl+cpx+opq+gl	89.8
00LIVb01	<i>Ylo IV</i>	Ylo4a volcanic bomb1	IOW	11.5	2.0	0.5	-	0.6	14.6	pl+cpx+opq+gl	89.8
00LIVb02	<i>Ylo IV</i>	Ylo4a volcanic bomb2	HO	12.7	1.7	0.2	-	0.9	15.4	pl+cpx+opq+gl	84.6
02SIW1r	<i>Slo</i>	Showa Iwo-jima Lava1	SI	14.4	1.0	0.9	-	1.3	17.6	pl+cpx+opq+gl	82.4

*: data from Ono *et al.* (1982)

Locations are shown in Fig. 1c.

Pl: plagioclase, Cpx: augite, Opx: hypersthene, Ol: olivine, Opq: magnetite and ilmenite, gl: glass

しい YIo4a (stage YIo-IV) では、斜長石斑晶は最大 3.5 mm 程度、斑晶量は 12–13 vol. % に達する (Figs. 8, 9, Table 2)。さらに 1934–35 年の昭和硫黄島噴火では 17 vol. % 以上となる。また、新期硫黄岳噴出物の流紋岩には清澄な斜長石が多く、古期硫黄岳噴出物の複数の汚濁帯で特徴づけられる斜長石とは特徴が異なる。紫蘇輝石、普通輝石斑晶については、サイズは増大するものの、斑晶量に明瞭な違いは認められない。

7. 噴火史

カルデラ形成期以降の主な活動について、これまで硫黄岳と稲村岳の ¹⁴C 年代の報告例はあるが (小野・他, 1982; 奥野・他, 2000; Kawanabe and Saito, 2002)、古期硫黄岳や新期硫黄岳の山体形成期の活動など、噴火史の詳細については十分に検討されていない。本節では、テフラや溶岩流の層序、山体地形、噴出物について得られた新知見をもとにして、硫黄岳と稲村岳の各活動ステージにおける噴火様式と推移について順に考察していく。

7-1 古期硫黄岳の活動

古期硫黄岳の活動は、5.2 ka (奥野・他, 2000) に開始した。stage OIo- I 初期の活動では火砕サージが発生し、硫黄島島内全域に堆積した (OIo1a)。この堆積物は、マグマ水蒸気爆発に伴うベースサージ堆積物と考えられる。その後の軽石噴火で OIo1b が堆積した後、活動はし

ばらく休止する。

stage OIo- II は古期硫黄岳の主たる活動で、連続的に堆積した火山灰層 (OIo2a, 2b) と弾道放出物 (OIo2a 上部) で特徴づけられる。一方、ボーリング調査の結果 (吉田・他, 1976) から、硫黄岳山体は山頂付近から流出した溶岩流が複数枚累積した構造をもつ (小野・他, 1982)。このことは、活動開始以来、山体の大部分は溶岩の流出を主とした活動で形成され、それに伴い、間欠的に爆発的噴火が発生したことを示唆している。噴出した火山灰はカルデラ壁外側に OIo2a, 2b として堆積したと考えられる。

前野・他 (2001) は、アカホヤ噴火以降の噴出物が、全岩化学組成 (TiO₂, K₂O, Zr, Rb など) に認められる明瞭な差異から、アカホヤ噴火-古期硫黄岳グループ、稲村岳グループ、新期硫黄岳グループに区分できることを示した。古期硫黄岳噴出物は、アカホヤ噴出物よりも斑晶量が 10 vol. % 以上増加するが、組成的にはアカホヤ噴火と同じグループに含まれ、アカホヤ噴火の残存マグマに由来する活動であったと考えられる。

現在の硫黄岳火口の南側に存在する古岳付近から流出した溶岩流 (IoLA~IoLC) は、確認できる硫黄岳溶岩群の中では最も古い。しかし、これらの溶岩流と IoLD との間に稲村岳活動期を挟んだ痕跡、すなわち玄武岩質噴出物や長い時間間隙を示す痕跡はなくほぼ連続し、

IoLD および崖錐、扇状地堆積物は、稲村岳噴出物、YIo1, YIo2a を覆っている (Figs. 7c, d). また、硫黄岳ハイアロクラスタイトから IoLC までの全岩化学組成は、IoSP の縞状軽石を含め、SiO₂ 含有量 61–71 wt % で直線的トレンドを示し、全て新期硫黄岳噴出物のグループに含まれる (前野・谷口, 未公表データ). 以上のことから、IoLA~IoLC は、新期硫黄岳山体の一部と考えるのが自然であろう.

OIo2a, 2b の層厚変化や火山弾の sag structure の変形構造から、古期硫黄岳は現在の新期硫黄岳とほぼ同じ位置に存在したと推定されるが、標高など山体の詳細は明らかでない.

7-2 稲村岳の活動

稲村岳は、3.9ka 頃から活動が始まり、YIo-I の活動が始まる 2.2ka (奥野・他, 2000; Kawanabe and Saito, 2002) までに、大きく 4 回の活動期を経て形成された. stage In-I から II は、火山灰およびスコリアの噴出と山麓からの溶岩流出という活動様式で特徴づけられる.

stage In-III では、降下スコリアとともに、弾道放出物を伴う火砕サージ堆積物 (In3) が認められることから、マグマ水蒸気爆発が発生したものと判断される. また、火砕サージ堆積物の厚さ、分布から、この時の火口は稲村岳山体の西側に存在した可能性が高い. stage In-IV では、山体西側の側火口から磯松崎溶岩が流出している. stage In-III の火口と stage In-IV の火口が同一のものであったかどうかは不明であるが、少なくとも、stage In-III 以降、稲村岳の活動中心は、西側に移行したと考えられる.

稲村岳噴出物の全岩化学組成は、アカホヤ噴火の苦鉄質マグマとは異なり (氏家・他, 1986; 前野・他, 2001), Sr 同位体比は高い値を示す (Notsu *et al.*, 1987). これらのことから、稲村岳の活動をもたらしたマグマは、アカホヤ噴火以降に鬼界カルデラ下に供給された新しいマグマの可能性がある.

7-3 新期硫黄岳の活動

新期硫黄岳の活動は、稲村岳の活動を挟み、2.2ka 頃 (奥野・他, 2000; Kawanabe and Saito, 2002) に開始した. stage YIo-I は、坂本 (ST) の YIo1 に見られるように、岩塊を放出する爆発的噴火で特徴づけられる. YIo1 はいずれの地点でも薄く、上下には厚い腐植土が発達していることから、stage YIo-I は硫黄岳の長い休止期間に挟まる突発的な活動と判断される. その後の stage YIo-II は、新期硫黄岳の主たる活動期で、硫黄岳溶岩 (IoLA~IoLF) の流出により、現在の山体の大部分が形成された.

stage YIo-II では、現在よりも南に位置する火口 (古岳

付近) から溶岩が流出した. 山体の裾野では溶岩流が海中に流れ込み、ハイアロクラスタイト (IoHy-I) を形成した. 最近 7000 年間の海水準変動 (大木, 2002) から考えると、海成段丘の存在は、その後の硫黄岳南海岸一帯の隆起を示唆している. 溶岩流 IoLA~IoLC を流出した古岳の活動後、主火口は現位置へ移動し、硫黄岳西~北側を構成する IoLD~IoLF が流出した. これら硫黄岳溶岩の総斑晶量は、最も古いハイアロクラスタイト (IoHy-I) で 9 vol. %, 古岳付近から流出した溶岩 (IoLA~IoLC) で 9–10 vol. %, その後の活動で流出した溶岩で 11–16 vol. % であり、活動順序と共に、IoLA から順に増加している (Table 2, Fig. 9). これら硫黄岳溶岩群とカルデラ壁外側の YIo2a~2e との山体近傍での詳細な対比はできていないが、YIo2a~2e は、新期硫黄岳のテフラ群としては最も厚く、短期間に複数回にわたって流出した硫黄岳溶岩に伴うテフラ群と考えられる.

stage YIo-III は、YIo3a (縞状軽石を含む硫黄岳山麓の火砕流と、カルデラ壁外側に見られる降下火山灰) の噴出で始まる. 下位には厚い腐植土が存在することから、溶岩流出を主体とした stage YIo-II 以降、長い休止期を経た後の活動と考えられる. また、硫黄岳山頂に存在する縞状軽石 (K-Iw-P1; Kawanabe and Saito, 2002) は、stage YIo-II の硫黄岳溶岩流 IoLF を覆っており、YIo3a に対比される. カルデラ壁外側のテフラが 940 ± 40 yBP (Kawanabe and Saito, 2002), 山頂のテフラが 1130 ± 40 yBP (Kawanabe and Saito, 2002), 山麓の火砕流堆積物が 1000 ± 80 yBP (奥野・他, 2000) であることから、YIo3a の噴出年代はおよそ 1000 年前と考えられる. この火砕流噴火以降は、数回の火山灰や礫を放出する噴火があったものの、規模の大きな爆発的噴火は起こしていない.

stage YIo-IV は、パン皮状火山弾や軽石など、降下テフラの噴出で特徴付けられる活動期である. 主なテフラ層は 2 枚 (YIo4a, 4b) 存在するが、どちらも分布はほぼ硫黄岳西麓に限られ (Fig. 5), カルデラ壁の外側にはほとんど分布せず、比較的小規模な噴火であった. この活動は約 500–600 年前 (奥野・他, 2000; Kawanabe and Saito, 2002) とされている. YIo4a 中の噴出物の総斑晶量は 15–17 vol. % で、stage YIo-II の溶岩流の総斑晶量の変化と調和的に増加している. また、1934–35 年の昭和硫黄島噴火で流出した流紋岩質溶岩の総斑晶量は 17 vol. % を越え、この斑晶量の系統的変化は近年まで継続している.

新期硫黄岳流紋岩の全岩化学組成は、アカホヤ噴火と異なるグループをつくり (前野・他, 2001), また、Sr 同位体比はアカホヤ噴火の流紋岩質マグマよりも高くなる

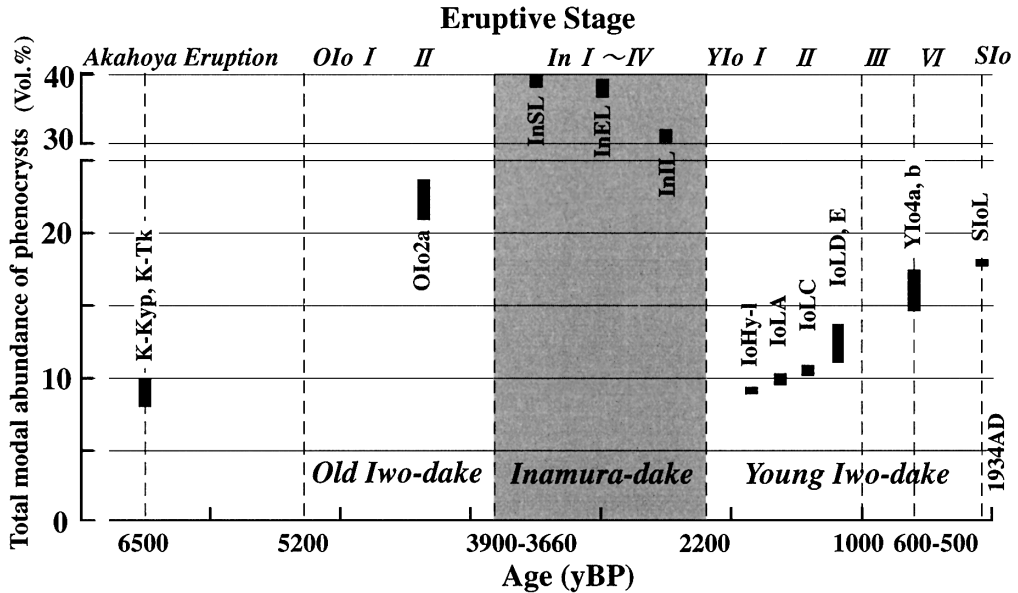


Fig. 9. Variations of modal abundance of phenocryst in volcanic rocks for the past 6500 years. The rock of the stage OIo-II is more crystal-rich (>20 vol.%) than that of other stages (<20 vol.%). In the Young Iwo-dake stage, the modal abundance increased gradually with decreasing age.

(Notsu *et al.*, 1987). したがって、新たな苦鉄質マグマによる稲村岳の活動を境にして、新期硫黄岳活動期では、アカホヤ噴火および古期硫黄岳とは異なる流紋岩質マグマが噴出したと考えられる。

8. まとめ

鬼界カルデラのアカホヤ噴火以降の活動は古期硫黄岳 (stage OIo-I ~ II), 稲村岳 (stage In-I ~ IV), 新期硫黄岳 (stage YIo-I ~ IV) の活動期に分けられる。

古期硫黄岳は、マグマ水蒸気爆発と軽石噴火 (stage OIo-I) の後、間欠的な爆発的噴火を伴い、長期に渡り頻繁に火山灰を噴出して山体を成長させた (stage OIo-II)。

稲村岳は、玄武岩質溶岩の流出とスコリア丘の形成 (stage In-I ~ II), 西山麓でのマグマ水蒸気爆発と安山岩質溶岩の流出 (stage In-III ~ IV) という活動を行った。

新期硫黄岳は、はじめの約 1000 年間は爆発的噴火と溶岩の流出により山体を成長させたが (stage YIo-I ~ II), 最近 1000 年間は溶岩を流出しておらず、間欠的で小規模な軽石噴火を伴う活動に変化した (stage YIo-III ~ IV)。新期硫黄岳活動期では、アカホヤ噴火および古期硫黄岳とは異なる流紋岩質マグマが噴出し、活動期を通じて、総斑晶量が徐々に増加している。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、東北大学東北アジア研究センターの宮本 毅氏には多くの議論をして頂き、御意見を頂きました。同大理学研究所の吉田武義教授、中村美千彦助教授、大場 司氏、東北アジア研究センターの後藤章夫氏、産業技術総合研究所の斎藤元治氏には建設的な御助言を頂きました。査読者の川辺禎久氏、井村隆介氏、編集担当の伊藤順一氏の御意見は、本稿の改善に大変有益でした。鹿児島県三島村の方々には、野外調査の際に大変お世話になりました。以上の方々に心から感謝の意を表します。

引用文献

- 伊藤順一・谷口宏充 (1996) 式根島流紋岩質溶岩流に見られる二次火口と放出物. *火山*, **41**, 171-179.
- Kawanabe, Y. and Saito, G. (2002) Volcanic activity of the Satsuma-Iwojima area during the past 6500 years. *Earth Planets Space*, **54**, 295-301.
- Kazahaya, K., Shinohara, H. and Saito, G. (2002) Degassing process of Satsuma-Iwojima volcano, Japan: supply of volatile components from a deep magma chamber. *Earth Planets Space*, **54**, 327-335.
- Kitagawa, H., Fukusawa, H., Nakamura, T., Okamura, M., Takemura, K., Hayashida, A. and Yasuda, Y. (1995) AMS ^{14}C dating of the varved sediments from Lake Suigetsu, central Japan and atmospheric ^{14}C change

- during the late Pleistocene. *Radiocarbon*, **37**, 371-378.
- Kobayashi, T. and Hayakawa, Y. (1984) Geology of Kikai caldera (source of the Koya Ignimbrite), Japan. In *Volcanology of the Koya ash flow, A progress report of the U. S.-Japan cooperative science program* (Ui, T. and Walker, G. P. L. eds), 13-14.
- Machida, H. (1999) Quaternary widespread tephra catalog in and around Japan: recent progress. *Quatern. Res.*, **38**, 194-201.
- 町田 洋・新井房夫 (1978) 南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラ—アカホヤ火山灰. 第四紀研究, **17**, 143-163.
- 町田 洋・新井房夫 (1992) 火山灰アトラス. 東京大学出版会, 276 p.
- 町田 洋・太田陽子・河名俊男・森脇 広・長岡信治 (2001) 日本の地形 7「九州・南西諸島」. 東京大学出版会, 355 p.
- 前野 深・宮本 毅・谷口宏充 (2001) 鬼界カルデラにおけるアカホヤ噴火以降の火山活動史. 東北アジア研究, **6**, 253-277.
- Matumoto, T. (1943) The four gigantic caldera volcanoes of Kyusyu. *Jap. Jour. Geol. Geor.*, **19**, sp., 57 p.
- 森脇 広・Westgate, J.・Sandhu, A.・新井房夫 (2000) 南九州の中期更新世テフラの Isothermal plateau fission-track 年代とその第四紀学的意義. 日本第四紀学会講演要旨集, **30**, 204-205.
- Notsu, K., Ono, K. and Soya, T. (1987) Strontium isotopic relations of bimodal volcanic rocks at Kikai volcano in Ryukyu arc, Japan. *Geology*, **15**, 345-348.
- 奥野 充・新井房夫・森脇 広・中村俊夫・小林哲夫 (1994) 鬼界カルデラ, 籠港テフラ群に挟在する腐植土の加速器¹⁴C年代. 鹿児島大学理学部紀要 (地学・生物学), **27**, 189-197.
- 奥野 充 (1996) 南九州の第四紀末テフラの加速器¹⁴C年代 (予報). 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (VII), 89-109.
- 奥野 充・福島大輔・小林哲夫 (2000) 南九州のテフロクロノロジー—最近 10 万年間のテフラ—. 人類史研究, **12**, 9-23.
- 奥野 充 (2002) 南九州に分布する最近約 3 万年間のテフラの年代学的研究. 第四紀研究, **41**, 225-236.
- 小野晃司・曾屋龍典・細野武男 (1982) 薩摩硫黄島地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 80 p.
- 大木公彦 (2002) 鹿児島湾と琉球列島北部海域における後氷期の環境変遷. 第四紀研究, **41**, 237-251.
- Pichler, H. (1965) Acid hyaloclastites. *Bull. Volcanol.*, **28**, 293-310.
- Saito, G., Kazahaya, K., Shinohara, H., Stimac, J. and Kawanabe, Y. (2001) Variation of volatile concentration in a magma system of Satsuma-Iwojima volcano deduced from melt inclusion analyses. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **108**, 11-31.
- Saito, G., Stimac, J., Kawanabe, Y. and Goff, F. (2002) Mafic inclusions in rhyolites of Satsuma-Iwojima volcano: evidence for mafic-silicic magma interaction. *Earth Planets and Space*, **54**, 303-325.
- Shinohara, H., Kazahaya, K., Saito, G., Matsushima, N. and Kawanabe, Y. (2002) Degassing activity from Iwodake rhyolitic cone, Satsuma-Iwojima volcano, Japan: formation of a new degassing vent, 1990-1999. *Earth Planets Space*, **54**, 175-185.
- 谷口宏充 (1982) 神津島面房溶岩内の珪長質スパイラルの形成過程. 火山, **27**, 249-260.
- 宇井忠英 (1973) 幸屋火砕流—極めて薄く拡がり堆積した火砕流の発見. 火山, **18**, 153-168.
- 氏家 治・曾屋龍典・小野晃司 (1986) 九州南方, 鬼界カルデラ産火山岩類の主成分および Rb・Sr・Y・Zr 組成と起源. 岩鉱, **81**, 105-115.
- Watanabe, K. and Katsui, Y. (1976) Pseudo-pillow lavas in the Aso Caldera, Kyusyu, Japan. *Petr. Econo. Geol.*, **71**, 44-49.
- 吉田哲雄・樋口勝彦・湯原浩三 (1976) 薩摩硫黄島の地熱活動における岩石の変質作用について. 地熱, **13**, 131-141.

(編集担当 伊藤順一)