

10万～3万年前の始良カルデラ火山のテフラ層序と噴火史

Tephrostratigraphy and eruptive history of the Aira caldera volcano during 100–30 ka, Kyushu, Japan

Abstract

長岡信治* 奥野 充**
新井房夫***

Shinji Nagaoka, Mitsuru Okuno**
and Fusao Arai****

2000年10月30日受付.

2001年5月2日受理.

* 長崎大学教育学部地理学教室
Department of Geography, Faculty of Education,
Nagasaki University, Nagasaki 852-8521,
Japan

** 福岡大学理学部地球圏科学教室 (地学分野)
Department of Earth System Science, Faculty
of Science, Fukuoka University, Fukuoka
814-0180, Japan

*** 前橋市日吉町
4-23-6 Hiyoshi-machi, Maebashi 371-0017,
Japan

The eruptive history of Aira caldera in southern Kyushu during 100–30 ka is revealed by tephrostratigraphical studies. In this period, seven explosive eruptions of the caldera are identified. These tephra formations are as follows: 1) Hikiyama scoria fall at 103–95 ka, 2) Kongoji pyroclastic surge at 95–86 ka, 3) Fukuyama pumice fall at 95–86 ka, 4) Iwato tephra formation at ca. 60 ka consisting of three pumice falls, five pyroclastic flows and one pyroclastic surge, 5) Otsuka pumice fall at 32.5 ka, 6) Fukaminato tephra formation at 31 ka consisting of a pumice fall and a pyroclastic flow, and 7) Kenashino tephra formation at 30 ka consisting of ash falls and pyroclastic surges. These eruptive ages are estimated by stratigraphic relation with widespread tephtras, as well as ^{14}C dating. Three lava flows also effused during this period. Among them, the Shikine andesites between the Fukuyama pumice fall and Iwato tephra formation dammed up a river and formed a local small lake. The eruptive centers during 100–30 ka are located on the eastern half of the caldera.

After 0.1 Ma (=100 ka) is an active period of many explosive and effusive eruptions. The Aira pyroclastic eruption at 27 ka (more than 411 km^3 in bulk volume) separates this active period. Total mass of erupted magma during 100–30 ka is $63.3 \times 10^{12}\text{ kg}$. And the average rate is $0.9 \times 10^{12}\text{ kg/ky}$. The Aira caldera had repeated its magmatic eruptions at intervals of ca. 7500 years. However, the interval during 32.5–30 ka just before the Aira pyroclastic eruption is 1000 years.

Key words: Aira caldera, eruptive history, tephra, plinian pumice fall, pyroclastic flow

はじめに

南九州の始良カルデラ (Matumoto, 1943) は、鹿児島湾北部を占める直径 20 km の大型カルデラ火山である (Fig. 1). このカルデラでは、約 24.5 kyr BP (池田ほか, 1995) に大隅降下軽石、妻屋火砕流、入戸火砕流が噴出した始良火砕噴火が起きている (荒牧, 1969; Yokoyama, 1974; Kobayashi et al., 1983; Aramaki, 1984; Nagaoka, 1988; 津久井・荒牧, 1990). この一連の火砕堆積物は、総体積が 450 km^3 を越える大規模なもので、始良 Tn テフラと総称される (町田・新井, 1992). 現在の始良カルデラの地形の大部分はこの噴火によって形成されたと考えられる. しかし、始良カルデラの原型は、始良火砕噴火のときには既に存在していたとされている (荒牧, 1983). 本論文では、始良火砕噴火で形成された始良カルデラを中心に、始良火砕噴火以前に存在していたカルデラや始良火砕噴火後の成層火山体である桜島火山などをも含めて、鹿児島湾北部付近に位置している複成火山を、始良カルデラ火山と呼ぶことにする.

始良火砕噴火後の桜島火山や周辺の噴火活動や噴火史については、Omori (1914, 1916a, b), Koto (1916), 本間 (1935), 森本 (1946), 桑代 (1964), 山口 (1975), 福山 (1978), 福山・小野 (1981), 小林 (1982, 1986), 森脇 (1990, 1994, 1997), 森脇ほか (1986), Moriwaki (1992), Kano et al. (1996), 小林・江崎 (1997), 奥野 (1997), Okuno et al. (1997) らによる数多くの研究があり、始良火砕噴火やその後の桜島火山の噴火史はかなり明らかになってきたと言える. 一方、始良火砕噴火以前の噴火史については、荒牧 (1969) が概略的な火砕流層序を示しており、長岡 (1984), Nagaoka (1988), 長岡ほか (1991, 1997) が、阿多火砕流堆積物 (Matumoto, 1943) より上位の中規模のプリニー式噴火によるテフラを記載している. 大木・早坂 (1970), 大塚・西井上 (1980), 長谷ほか (1987), 香川・大塚 (2000) などは、始良カルデラ周辺に分布する第四系に挟在する火砕流堆積物を記載している. また、Kaneoka et al. (1984), Miyachi (1983), 宮地 (1987) は、始良 Tn テフラより下位の溶岩や火砕流堆積物について、K-Ar 年代やフィッシュ・トラック年代を報

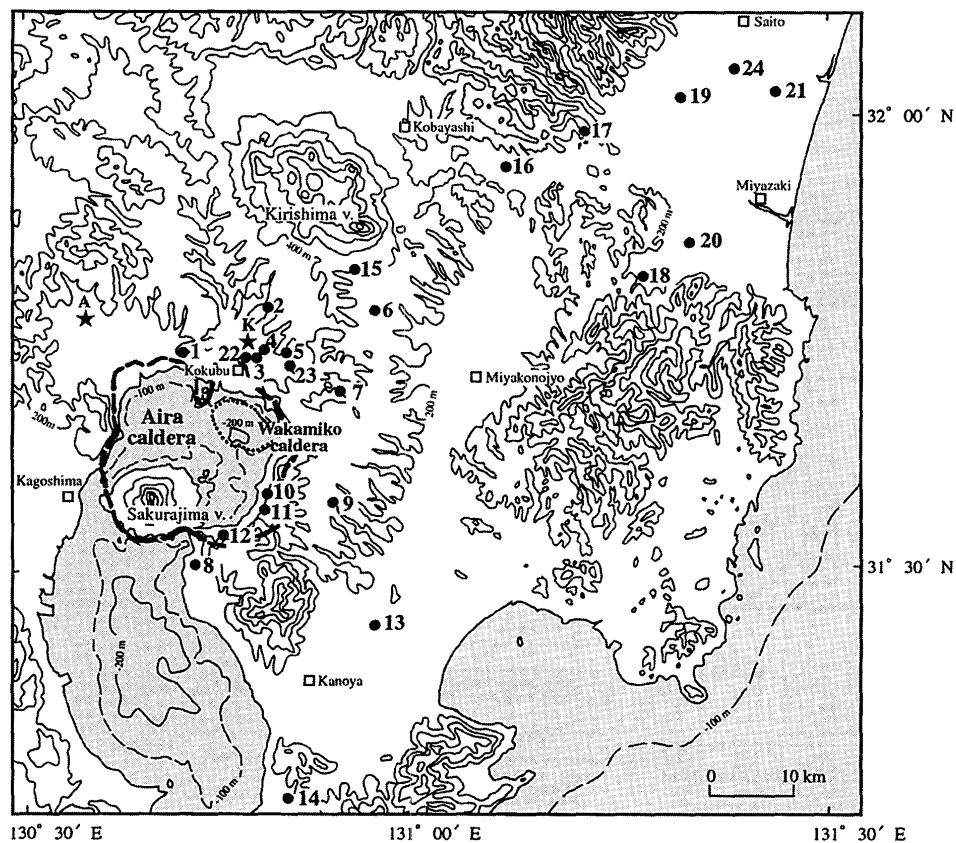


Fig. 1. Geomorphologic map of the Aira caldera. Numbers indicate localities of columnar sections in Figs. 3 and 4. A : Aojiki cinder cone, K : Kenashino maar

告している。最近、感度法 (Matsumoto et al., 1989) による高精度 K-Ar 年代測定によって、始良 Tn テフラより下位にある溶岩の年代も明らかになってきた (周藤ほか, 2000)。しかしながら、始良火砕噴火以前の噴出物の研究は、層序学的研究や年代測定が先行し、火山学的で総合的な噴火史は解明されていない。

こうした研究史をふまえて、本研究では、従来あまり研究対象とならなかった始良火砕噴火に至るまでの始良カルデラ火山の噴火史を、できるだけ詳細かつ火山学的に構築し、さらにそれらと始良噴火やその後の噴火史との関連性を考察することを目的とする。研究対象は、阿多火砕流堆積物と始良 Tn テフラとの間にある約 100～30 ka の始良カルデラ火山のテフラとする。その理由は、1) 比較的保存がよく連続的な層序が得られること、2) 年代が知られている広域テフラとの層序関係が明確であること、3) 後で述べるように 100 ka から現在までは、始良カルデラ火山が活動的な時期にあたり、100～30 ka の噴出物は、これまであまり知られていなかったこの活動期の初期から始良火砕噴火までの時期を示していることである。方法は、まず、その層序を確立し、テフラの層相から、各噴火の経緯や特徴を明らかにする。さらに、 ^{14}C 年代や広域テフラとの層位関係にもとづいて、これらのテフラの噴出年代を推定する。また、テフラのみでなく溶岩や陸成層・海成層との層位関係などもあわせて、総合的に噴火史を完成させる。なお、本論文でのテフラの名称は、運搬・堆積様式が単一である場合には名称にその様式を含めるが、複数の様式からなる場合には固有名詞とテフラの組み合わせで表記する。

テフラの記載

1. 層序の概略

始良カルデラ起源のテフラは、カルデラ周辺から東方の宮崎平野、大隅半島南部まで広く分布している。始良カルデラ周辺は、入戸火砕流堆積物をはじめとした始良 Tn テフラが厚く堆積しており、それより下位のテフラの露出は断片的である。これに対して遠方の宮崎平野や大隅半島南部では、始良 Tn テフラ以降のテフラが薄いので、始良 Tn テフラより下位のテフラ層序の組み立てに適している。本研究では、これらの地域で模式層序を確立して給源地域と対比する方法を採った。テフラの対比にあたっては、他のテフラとの層位関係や野外における層相のほか、斑晶鉱物の組成、屈折率を用いた (Table 1)。これらのテフラ層序を確立する上で、鍵層となった広域テフラは、下位より阿多火砕流堆積物 (Ata)、鬼界-葛原降下火山灰層 (K-Tz)、阿蘇 4 火砕流堆積物 (Aso-4) および始良 Tn テフラ (大隅降下軽石 Os・入戸火砕流 Ito・始良 Tn 降下火山灰層 AT) である (長岡, 1984, 1986; Nagaoka, 1988; 町田・新井, 1992)。降下テフラの体積 V は、テフラの層厚 T とその等層厚線が囲む面積 S の積 TS がほぼ一定であることを利用した経験式 $V = 12.2 TS$ (Hayakawa, 1985) を用い、陸域で閉じた等層厚線から得られた複数の体積の平均を示した。火砕流・火砕サージ堆積物の体積は、分布面積に平均の厚さを乗じている。噴出量は、Aramaki (1984) に従い、降下軽石・スコリア堆積物の密度を 700 kg/m^3 、火砕流・火砕サージ堆積物を $1,100 \text{ kg/m}^3$ とし、重量で示した。

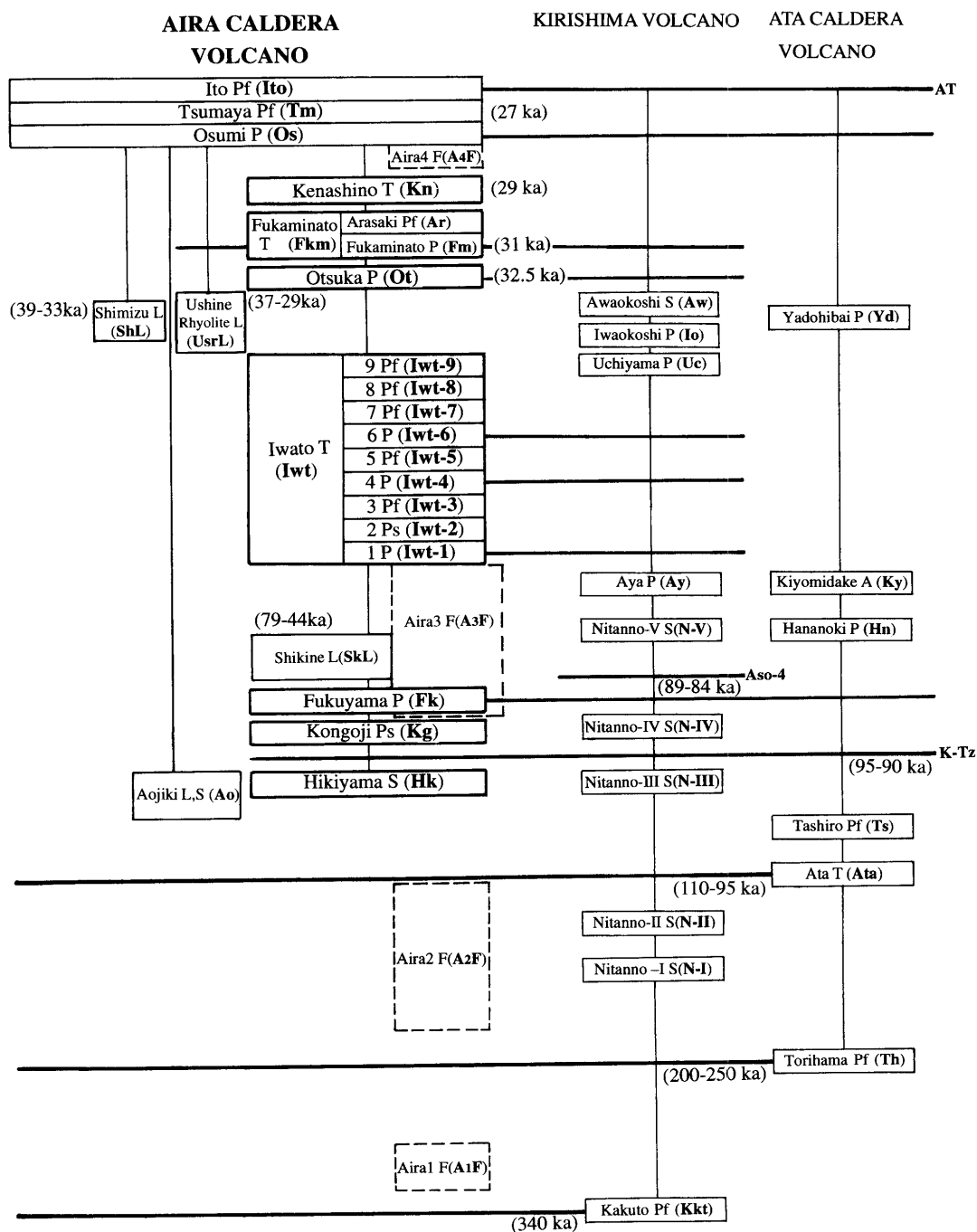


Fig. 2. Block diagrams showing the eruptive history of the Aira caldera and surrounding volcanoes. Lava names are from Sudo et al. (2000), and tephra names of the Kirishima volcano and the Ata caldera are from Nagaoka (1984, 1988), Imura (1994) and Okuno et al. (1995). P : pumice fall, S : scoria fall, Pf : pyroclastic flow, Ps : pyroclastic surge, T : tephra, L : lava, F : formation of marine and non-marine sediments.

阿多火砕流堆積物から始良 Tn テフラまでの間には、土壌が発達するような時間間隙を挟んで、少なくとも7層のテフラが認められる。それらは下位より1) 日本山降下スコリア堆積物、2) 金剛寺火砕サージ堆積物、3) 福山降下軽石堆積物、4) 岩戸テフラ、5) 大塚降下軽石堆積物、6) 深港テフラ、7) 毛梨野テフラである (Figs. 2~4)。なお、主なテフラの野外での産状は、奥野ほか (2000) に写真で示されている。

2. テフラの特徴

1) 日本山降下スコリア堆積物 (Hk)

日本山降下スコリア堆積物 (長岡ほか, 1997) は、加治木

町日本山付近の地点1 (Fig. 3) を模式地とし、阿多火砕流堆積物と鬼界-葛原降下火山灰の間にみられる降下スコリア層である。阿多火砕流堆積物と鬼界-葛原降下火山灰との間にはそれぞれ10~20 cmの土壌層が認められる。模式地では厚さ65 cmで正級化構造を呈する。スコリアの粒径は、平均1~2 mmで最大1 cmである。これまでのところ、分布が確認できるのは、この模式地のみである (Fig. 14)。スコリアの斑晶鉱物として、斜方輝石、単斜輝石、カンラン石が認められる (Table 1)。

2) 金剛寺火砕サージ堆積物 (Kg)

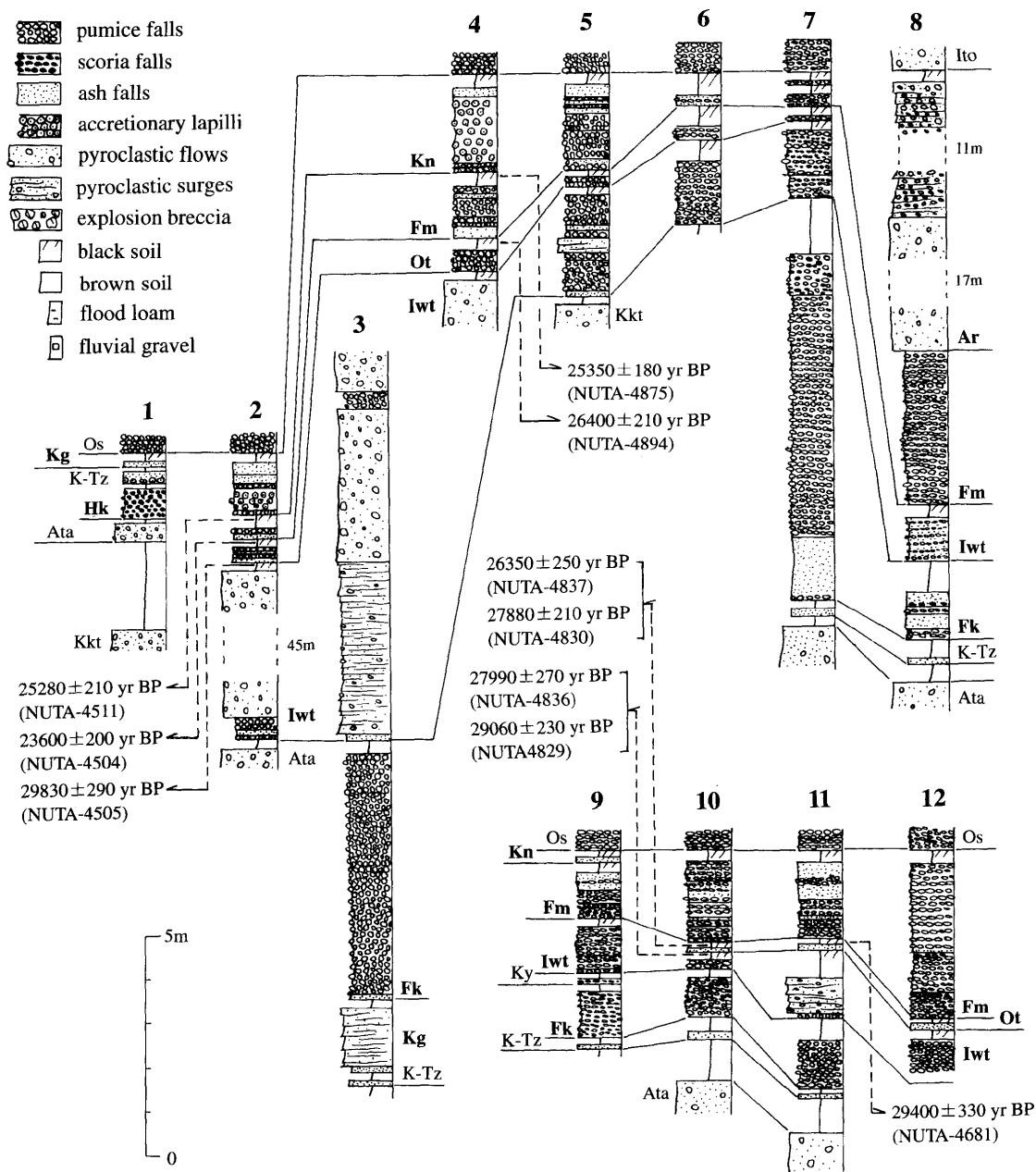


Fig. 3. Columnar sections of tephra layers around the Aira caldera. Localities are shown in Fig. 1. 1: Hikiyama, Kajiki Town (加治木町日木山), 2: Shigehisa, Kokubu City (国分市重久), 3: Shiroyama, Kokubu City (国分市城山), 4: Kenashino, Kokubu City (国分市毛梨野), 5: Susuki, Kokubu City (国分市薄木), 6: Otsuka, Miyakonojo City (都城市大塚), 7: Iwato, Fukuyama Town (福山町岩戸), 8: Kaigata Spa, Tarumizu City (垂水市海湯温泉), 9: Kashiwagi, Kihoku Town (輝北町柏木), 10: Ukitsu, Tarumizu City (垂水市浮津), 11: Fukaminato, Tarumizu City (垂水市深港), 12: Kosegami, Tarumizu City (垂水市居世神).

金剛寺火砕サージ堆積物は、長岡ほか (1997) による命名で、旧国鉄大隅線金剛寺駅東方、国分市城山公園登山道の地点 3 (Fig. 3) を模式地とする。この火砕サージ堆積物は、鬼界-葛原降下火山灰を厚さ 5～10 cm の土壌層を介して覆う。角礫混じりの不淘汰な石質火山灰からなり、灰色のデイサイト質岩片を多く含む。分布は、国分市周辺 10～15 km の範囲である (Fig. 5)。模式地では厚さが 140 cm 以上あり、直径 10 cm 以下のデイサイト質角礫を混じえ、弱い斜交層理が発達している。厚さ 100 cm 以下のところでは、層理は見られず淘汰が良いことから、降下火山灰として堆積したと考えられる。主な重鉱物として角閃石、斜方輝石を含んでいる

(Table 1)。体積は約 0.08 km^3 で、噴出量は $0.088 \times 10^{12} \text{ kg}$ である。

3) 福山降下軽石堆積物 (Fk)

福山降下軽石堆積物は、初め荒牧 (1969) により後で述べる岩戸火砕流の先駆的な降下堆積物と考えられ、岩戸降下軽石と呼ばれた。その後、荒牧・宇井 (1976) によって岩戸火砕流とは独立した噴出物とされ、福山降下堆積物と改称された。さらに、長岡 (1984)、Nagaoka (1988) により詳しい記載がなされ、宮崎平野にまで分布が及んでいることが明らかとなった。福山降下軽石堆積物は、荒牧・宇井 (1976) の模式地である福山町南園の亀割坂の地点 28 (Fig. 15) では、厚

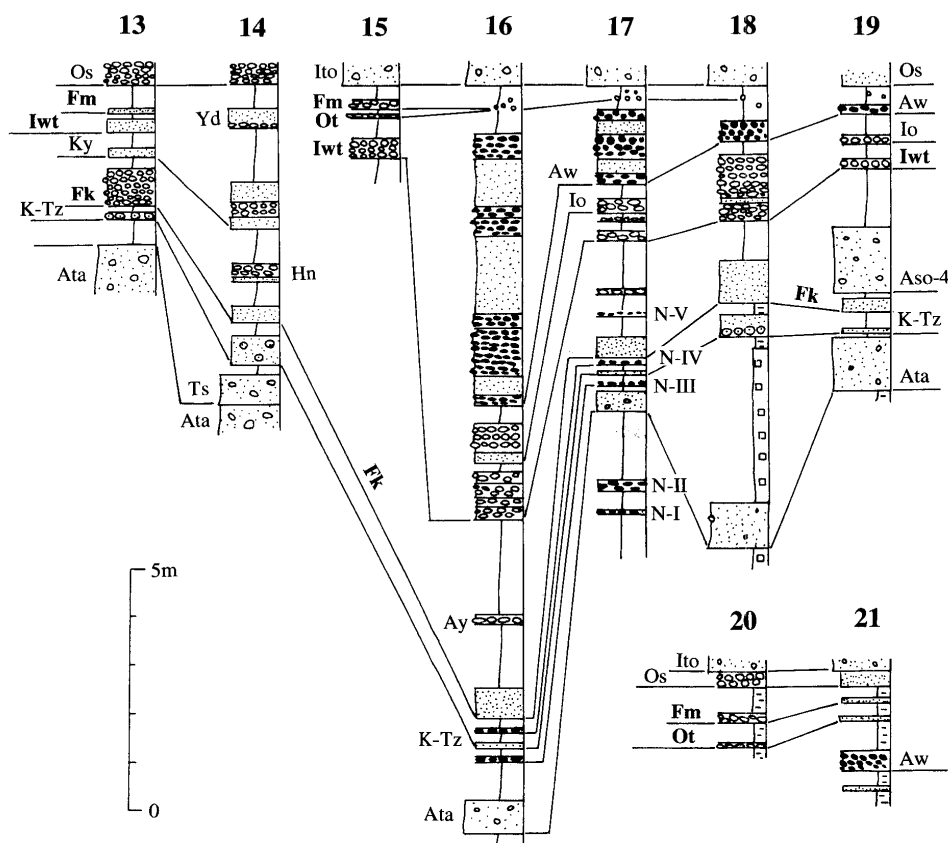


Fig. 4. Columnar sections of tephra in the Osumi Peninsula and the Miyazaki Plain. Localities are shown in Fig. 1. 13: Hosoyamada, Kushira Town (串良町細山田), 14: Yadohibai, Onejime Town (大根占町宿利原), 15: Takano, Miyakonojo City (都城市高野), 16: Nakamachi, Nojiri Town (野尻町仲町), 17: Kamamuta, Aya Town (綾町釜牟田), 18: Moton-no, Tano Town (田野町元野), 19: Kawakami, Kunitomi Town (国富町川上), 20: Anya, Kiyotake Town (清武町庵屋), 21: Iwamido, Sadowara Town (佐土原町岩見堂).

さ 10 m 以上の極めて淘汰の良い軽石からなる。最下部に厚さ数 cm の粗粒火山灰のユニットが識別される以外に、降下ユニットは単一で、粒径変化に乏しく無層理の単調な層相からなる。軽石粒は灰白～黄白色、発泡はやや悪く、最大粒径は 8 cm である。軽石の主な斑晶鉱物は、斜方輝石、単斜輝石のほかに特徴的に多量の角閃石が含まれている (Table 1)。給源の始良カルデラ北東部から北東方向への分布軸を持ち、大隅半島南部から宮崎平野までの広範囲に分布している (Fig. 6; 奥野ほか, 1995; 成尾, 1997)。宮崎平野では、厚さ 50 cm 以下の風化した黄色のごま塩状粗粒火山灰からなり、阿蘇 4 火砕流堆積物に厚さ 5～10 cm の土壌を介して覆われている (Fig. 4)。体積は 40 km³ 以上、噴出量は 28×10¹² kg 以上である。

4) 岩戸テフラ (Iwt)

岩戸テフラは、国分市周辺を模式地とする沢村 (1956)、太田 (1967) の岩戸軽石流、荒牧 (1969) の岩戸火砕流に相当する。今回の調査により、このテフラは、層位および堆積様式の違いから 9 メンバーに細分できる。これらは、下位より岩戸 1 降下軽石堆積物 (Iwt-1)、岩戸 2 火砕サージ堆積物 (Iwt-2)、岩戸 3 火砕流堆積物 (Iwt-3)、岩戸 4 降下軽石堆積物 (Iwt-4)、岩戸 5 火砕流堆積物 (Iwt-5)、岩戸 6 降下軽石堆積物 (Iwt-6)、岩戸 7 火砕流堆積物 (Iwt-7)、岩戸 8 火砕流堆

積物 (Iwt-8)、岩戸 9 火砕流堆積物 (Iwt-9) である (Figs. 7, 8)。これらのメンバー間には土壌など時間間隙を示すような証拠が見られないことから、一連の噴出物と考えられる。本論文では、これらの噴出物をまとめて岩戸テフラと再定義する。

岩戸 3・5・7・8・9 火砕流堆積物、岩戸 2 火砕サージ堆積物は、始良カルデラ北東縁の国分市および福山町周辺を中心に分布している (Fig. 9)。岩戸 3・5・7・8・9 火砕流堆積物と岩戸 2 火砕サージ堆積物をあわせた体積は、5～10 km³、噴出量は 5.5～11×10¹² kg である。降下軽石堆積物のうち、岩戸 4 降下軽石堆積物は、国分市周辺の狭い範囲に分布する。一方、岩戸 1・6 降下軽石堆積物は、始良カルデラ北東部から北東方向の分布軸で、大隅半島北部から宮崎平野中部にまで達している (Fig. 10)。岩戸 3・5・7・8・9 火砕流堆積物の分布域を越える大隅半島北部から宮崎平野では、岩戸 1・6 降下軽石堆積物が直接重なっており (Fig. 8)、岩戸降下軽石堆積物として一括されている (長岡, 1984; 1986; 町田・新井, 1992)。宮崎平野では、岩戸 1・6 降下軽石堆積物が風化し鮮やかなミカン色を呈すために「第三オレンジ」と称され、さらに風化が進み残留した石英が目立つようになると「キンキラローム」と呼ばれていた (遠藤ほか, 1962)。岩戸 1・4・6 降下軽石堆積物をあわせた体積は 13 km³、噴出量は 9.1×

Table 1. Mineral composition and refractive index of tephtras.

Locality	Mineral composition							Refractive index (Range)
	Amp	Opx	Cpx	Bt	Qtz	Gl		
KENASHINO tephra								
Ash fall deposits Shigehisa Loc.2	-	++	+		++	++ (Pm)	Ob: +	Gl:1.499-1.501 Opx(γ):1.723-1.732
Ash fall deposits Kenashino Loc.3		++	+		++	++ (Pm)	Ob: +	Gl:1.499-1.501 Opx(γ):1.720-1.729
Ash fall deposits Kashiwagi Loc.9		++	+		++	++ (Pm)	Ob: +	Gl:1.499-1.501 Opx(γ):1.720-1.729
ARASAKI pyroclastic flow deposits								
Arasaki, Tarumizu City Type locality in Aramaki & Ui(1976)		++			++	++ (Pm)		Gl:1.500-1.502 Opx(γ):1.720-1.726
Kaigata spa. Loc.8		++			++	++ (Pm)	Ob: +	Gl:1.499-1.501 Opx(γ):1.716-1.729
FUKAMINATO pumice fall deposits								
Fukaminato Loc.11		++			++	++ (Pm)		Gl:1.500-1.502 Opx(γ):1.718-1.725
Shigehisa Loc.2		++	+		++	++ (Pm)	Ob: +	Gl:1.499-1.502 Opx(γ):1.720-1.725
Kashiwagi Loc.9		++			++	++ (Pm)	Ob: +	Gl:1.500-1.503 Opx(γ):1.718-1.725
Iwamido Loc.21		++	+		++	++ (Pm)		Gl:1.499-1.501 Opx(γ):1.720-1.729
OTSUKA pumice fall deposits								
Shigehisa Loc.2	-	++	+		++	++ (Pm)		Gl:1.499-1.501 Opx(γ):1.720-1.725
Fukaminato Loc.11	-	++	+		++	++ (Pm)	Ob: +	Gl:1.499-1.501 Opx(γ):1.720-1.729
Iwamido Loc.21		++	+		++	++ (Pm)		Gl:1.498-1.500 Opx(γ):1.719-1.725
IWATO tephra								
Pumice in Iwt-7 Shigehisa Loc.2		++			++	++ (Pm)		Gl:1.500-1.501 Opx(γ):1.719-1.725
Scoria in Iwt-7 Shigehisa Loc.2		++	+				Ol: +	Gl:1.524-1.528 Opx(γ):1.715-1.720
Iwt-1 Kosegami Loc.12		++			++	++ (Pm)		Gl:1.499-1.501 Opx(γ):1.719-1.724
Iwt-1,-4,-6 in Machida & Arai(1992)		++	+		++	++ (Pm)		Gl:1.497-1.499 Opx(γ):1.718-1.724
FUKUYAMA pumice fall deposits								
Kamamuta Loc.17	++	+				++ (Pm)		Opx(γ):1.712-1.716 Amp(n_z):1.670-1.675
Machida & Arai (1992)	++	+	+			++ (Pm)		Opx(γ):1.715-1.718 Amp(n_z):1.672-1.676
KONGOJI pyroclastic surge deposits								
Shiroyama Loc.3	++	+			+			Opx(γ):1.709-1.717 Amp(n_z):1.669-1.680
HIKIYAMA scoria fall deposits								
Hikiyama Loc.1		++	+			++ (Sc)	Ol: +	Opx(γ):1.705-1.712

Amp : amphibole, Opx : orthopyroxene, Cpx : clinopyroxene, Bt : biotite, Ol : olivine Qtz : quartz, Gl : volcanic glass, Pm : pumice, Sc : scoria, Ob : obsidian, ++ : abundant, + : poor, - : rare.

10¹² kg である。岩戸テフラの軽石には、いずれも斑晶鉱物として石英や斜方輝石、単斜輝石が含まれている (Table 1)。石英は、高温石英で大量に含まれている。給源周辺では、軽石のほかスコリアや縞状軽石が含まれることがあり、スコリアの斑晶鉱物としては、斜方輝石、単斜輝石、カンラン石な

どが含まれている。

岩戸 1 降下軽石堆積物 (Iwt-1) : 岩戸 1 降下軽石堆積物は、岩戸テフラ中で最大の降下堆積物で、始良カルデラ北東の国分市から、大隅半島北部の都城市を経て、宮崎平野中部の川南町に達する。国分市周辺で最大層厚 3 m、宮崎平野では 30

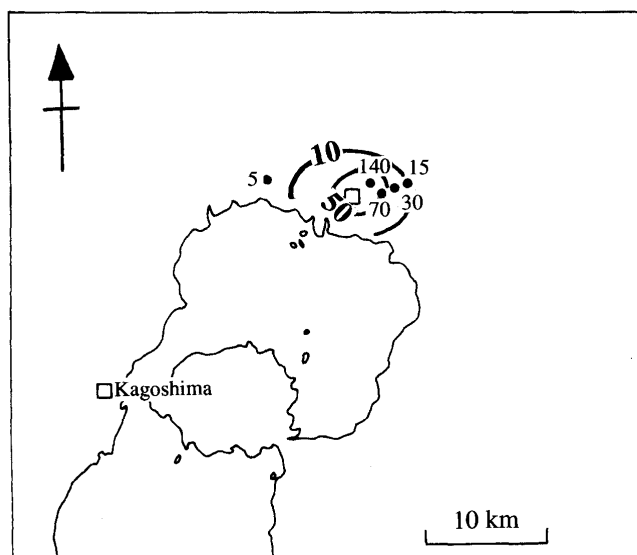


Fig. 5. Isopach map of Kongoji Pyroclastic surge deposits. Values are in centimeters.

cm 以下である。模式地の国分市^{しげひさ}重久の地点 2 (Figs. 3, 8) では少なくとも 3 降下ユニットが識別できる。軽石は灰白色で、その最大粒径は 9 cm である。また発泡度は良好である。
岩戸 2 火砕サージ堆積物 (Iwt-2): 岩戸 2 火砕サージ堆積物は、国分市城山公園周辺に分布している。層厚は 6 m 以下である。模式地の国分市城山公園南の地点 3 (Figs. 3, 8) では、厚さ 4 m 以下で、主に粒径 30 cm 以下の灰白色の軽石と火山灰からなり、僅かに暗褐色スコリアを含む。全体に斜交層理が発達している。上位の岩戸 3 火砕流堆積物との境界は漸移的なところがあり、岩戸 3 火砕流堆積物の基底に形成されたグラウンド・サージの可能性もある。

岩戸 3 火砕流堆積物 (Iwt-3): 岩戸 3 火砕流堆積物は、国分市城山公園南の地点 3 (Figs. 3, 8) を模式地とし、その周辺の狭い地域に分布する。模式地では、厚さ 4 m 以下の無層理の非溶結軽石流堆積物である。直径 50 cm 以下の灰白色軽石と火山灰が主体であるが、暗褐色スコリアや縞状軽石が少量混じる。

岩戸 4 降下軽石堆積物 (Iwt-4): 岩戸 4 降下軽石堆積物は、国分市周辺の半径数 km の狭い範囲に分布している。模式地

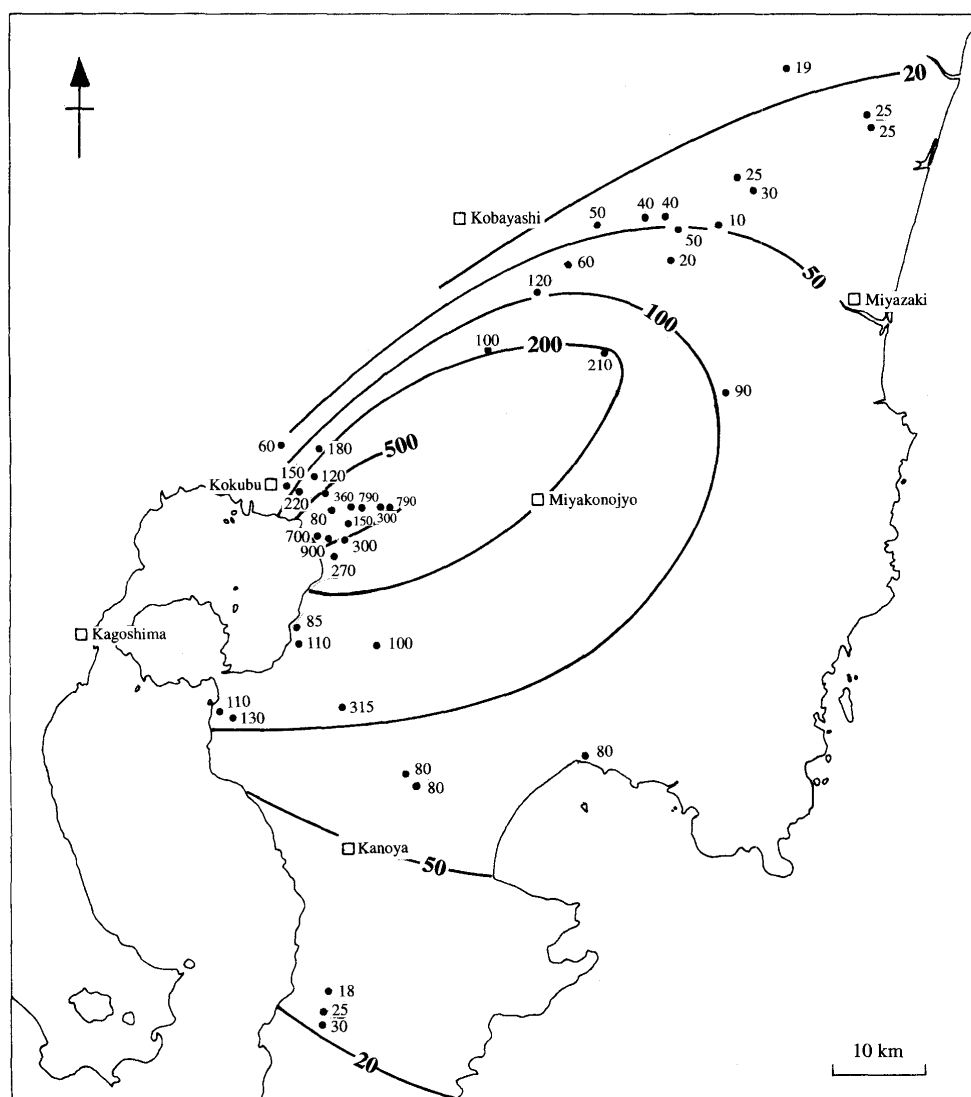


Fig. 6. Isopach map of Fukuyama pumice fall deposits. Values are in centimeters.

の国分市城山公園南の地点 3 (Figs. 3, 8) では、層厚 20 cm 以下で、単一降下ユニットからなる。軽石の色は灰白色で、その最大粒径は 3 cm、発泡は良好である。暗褐色スコリアを

混じる。

岩戸 5 火砕流堆積物 (Iwt-5) : 岩戸 5 火砕流堆積物は、国分市城山公園南の地点 3 (Figs. 3, 8) を模式地とし、その周辺に分布している。模式地では、厚さ 2 m 以下の非溶結軽石流堆積物で、直径 50 cm 以下の灰白色軽石と火山灰を主体とする。

岩戸 6 降下軽石堆積物 (Iwt-6) : 岩戸 6 降下軽石堆積物は、国分市城山公園南の地点 3 または毛梨野の地点 4 (Figs. 3, 8) を模式地とし、宮崎平野にまで達するメンバーである。模式地では、層厚 100 cm 以下の単一の降下ユニットからなる。軽石は灰白色を呈し、その最大粒径は 5 cm、発泡程度は良好である。宮崎平野では、厚さ 10 cm 以下で正級化構造が明瞭である。

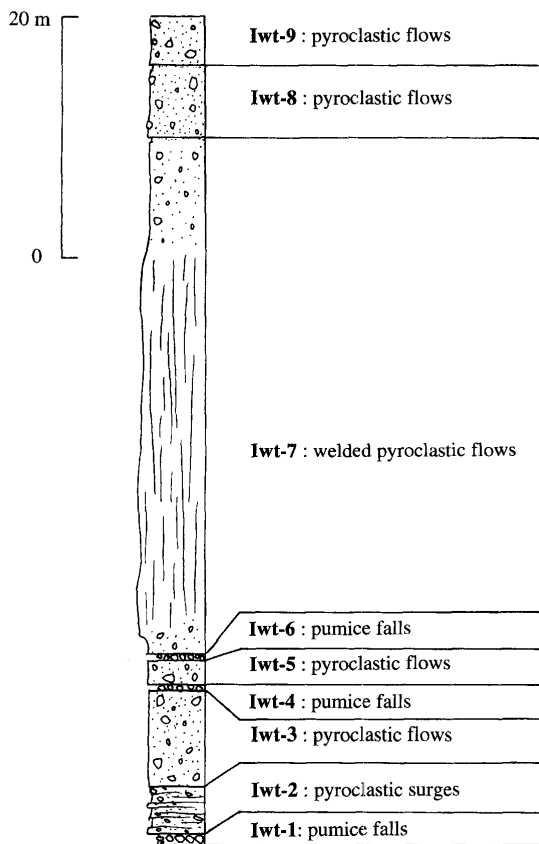


Fig. 7. Schematic section of Iwato tephra. Symbols are the same as Fig. 3.

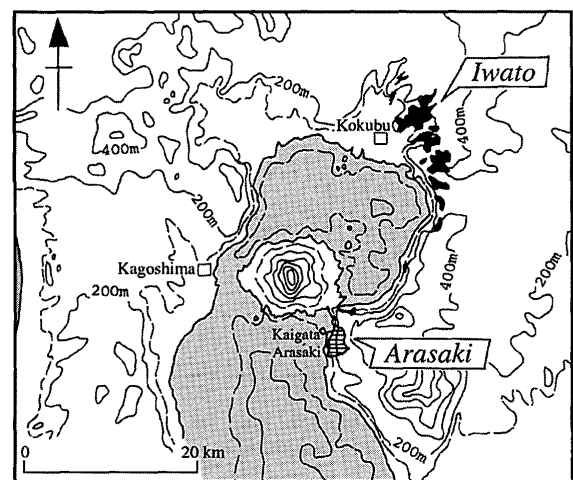


Fig. 9. Distributions of the Iwato-3, -5, -7, -8, -9 and Arasaki pyroclastic flow deposits.

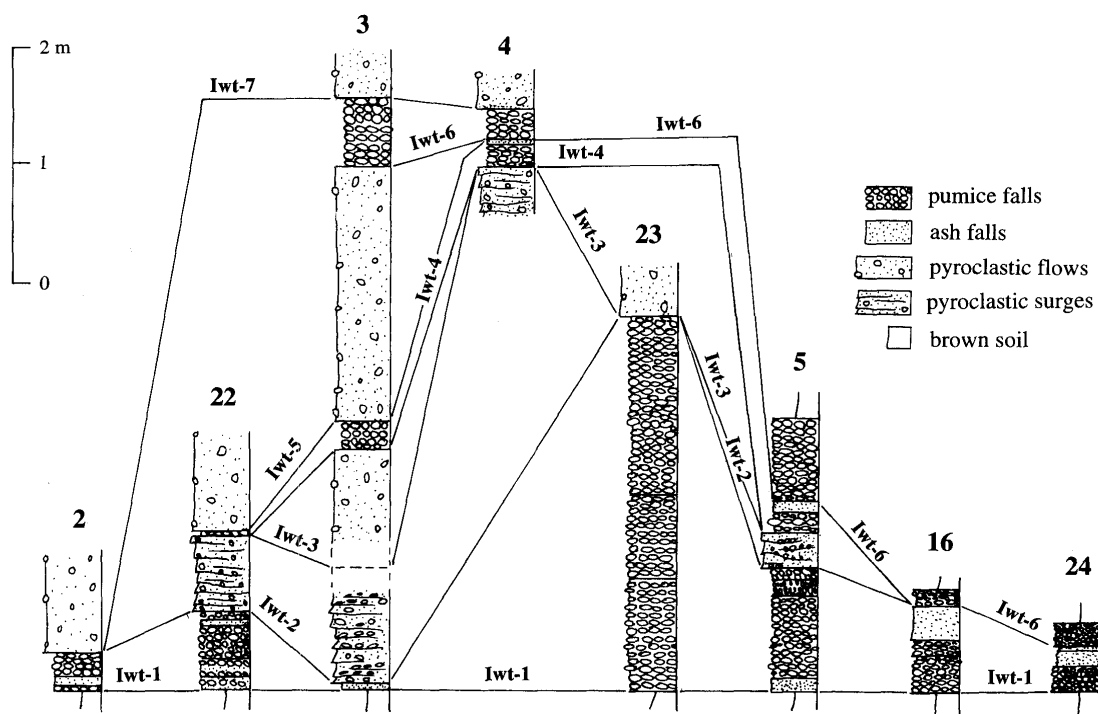


Fig. 8. Columnar sections of the Iwato tephra. Localities are shown in Fig. 1.

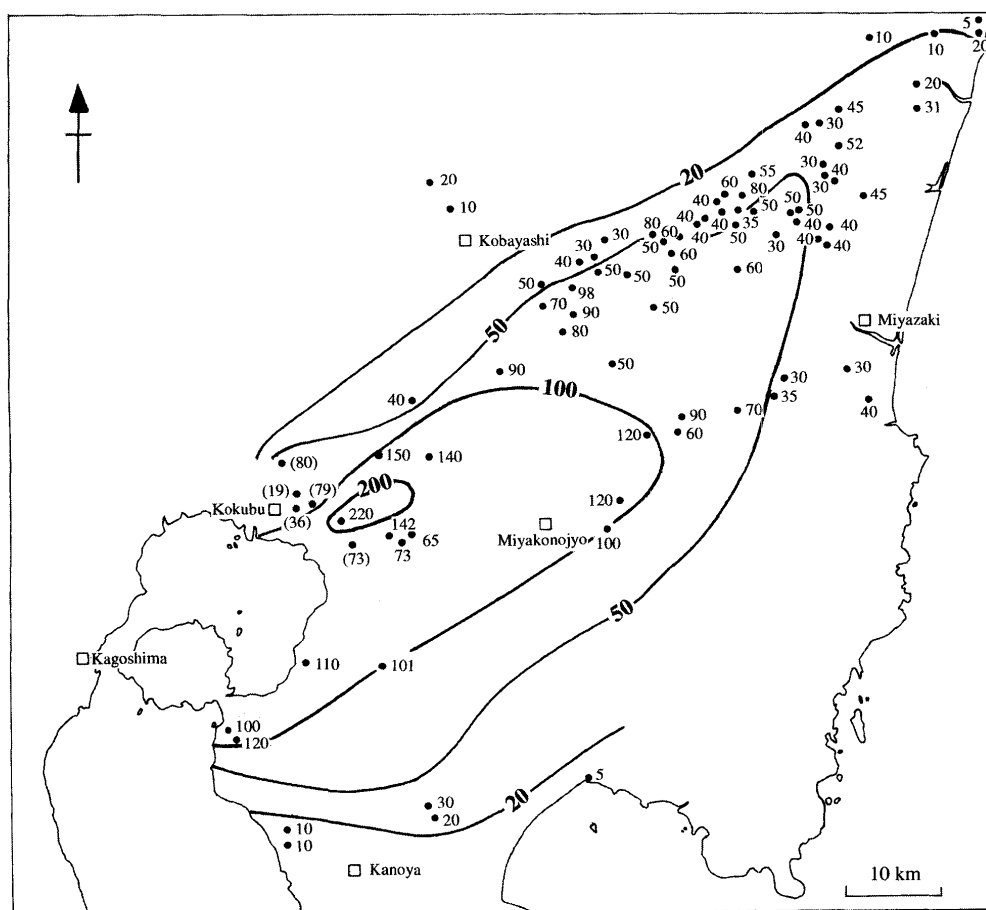


Fig. 10. Isopach map of total thickness of Iwato-1, -6 pumice fall deposits. Values are in centimeters. Values in parentheses indicate thickness eroded by pyroclastic flows.

岩戸 7 火砕流堆積物 (Iwt-7), 岩戸 8 火砕流堆積物 (Iwt-8), 岩戸 9 火砕流堆積物 (Iwt-9): 岩戸 6 降下軽石堆積物の上位には, 厚さ数 cm の薄い降下火山灰層により区分される 3 層の火砕流堆積物があり, 下位から岩戸 7 火砕流堆積物, 岩戸 8 火砕流堆積物, 岩戸 9 火砕流堆積物とする。これらの模式地は, 国分市重久 (地点 2, Figs. 3, 8) 付近である。岩戸 7 火砕流堆積物は, 岩戸テフラのなかで最大規模の火砕流堆積物であり, 国分市周辺から始良カルデラ東縁に分布し (Fig. 10), 模式地では, 厚さ 40 m 以下の弱溶結～非溶結の軽石流堆積物からなっている。岩戸 8 火砕流堆積物と岩戸 9 火砕流堆積物は, 国分市北部の重久付近に分布が限られ, 厚さ 5 m 以下の非溶結の軽石流堆積物からなっている。この 2 つは岩戸 7 火砕流堆積物中のフローユニットの可能性もある。

5) 大塚降下軽石堆積物 (Ot)

大塚降下軽石堆積物 (長岡, 1984) は, 都城市大塚の地点 6 (Fig. 3) を模式地とする。始良カルデラ北東部から北東方向の分布軸を持ち, 宮崎平野まで達している (Fig. 11)。カルデラ北東部国分市付近での最大層厚は 70 cm を越え, 軽石の最大直径は 15 cm である。国分市重久の地点 2 (Fig. 3) では, 4 つの降下ユニットが認められる。宮崎平野では, 地点 20 と 21 (Fig. 4) で水成のシルトや砂層の中に厚さ 5～10 cm の粗粒火山灰として確認できるが, それ以外では黒土の中に直径 1 mm 程度の軽石が点在するところが多い。軽石は白色

から黄白色で, 中程度に発泡している。斑晶鉱物として, 石英, 斜方輝石, 単斜輝石などを含む (Table 1)。このテフラの体積は 0.9 km^3 , 噴出量は $0.63 \times 10^{12} \text{ kg}$ である。

6) 深港テフラ (Fkm)

Nagaoka (1988) は, 荒崎火砕流堆積物 (荒牧・宇井, 1976) 直前のプリニー式噴火による堆積物として荒崎降下軽石堆積物を記載したが, 深港降下軽石堆積物 (荒牧・宇井, 1976) とは別のテフラであると考えた。しかし, 今回の調査により, 深港降下軽石堆積物と荒崎降下軽石堆積物は連続し, 同一の層準にあることが判明した。また, 重鉱物組成および火山ガラスや斜方輝石の屈折率からも両者は同一である (Table 1)。そこで本論文では, Nagaoka (1988) の深港降下軽石堆積物と荒崎降下軽石堆積物をあわせたものを深港降下軽石堆積物と再定義し, この深港降下軽石堆積物とそれを直接覆う荒崎火砕流堆積物 (Fig. 3) を深港テフラと総称する。**深港降下軽石堆積物 (Fm):** 深港降下軽石堆積物 (荒牧, 1977) は, 垂水市浮津の地点 10 (Fig. 3) を模式地とする。模式地では, 大塚降下軽石堆積物の上位に厚さ 5～10 cm の土壌を介して, 厚さ 187 cm, 10 降下ユニットが識別される。ここでの軽石の最大直径は 7～8 cm であるが, カルデラ北東部や南東部では 10 cm を越えることがある。始良カルデラ中央部もしくは南東部付近から, 東北東方向の分布軸を持って, 大隅半島北部から宮崎平野に達している (Fig. 12)。最大層

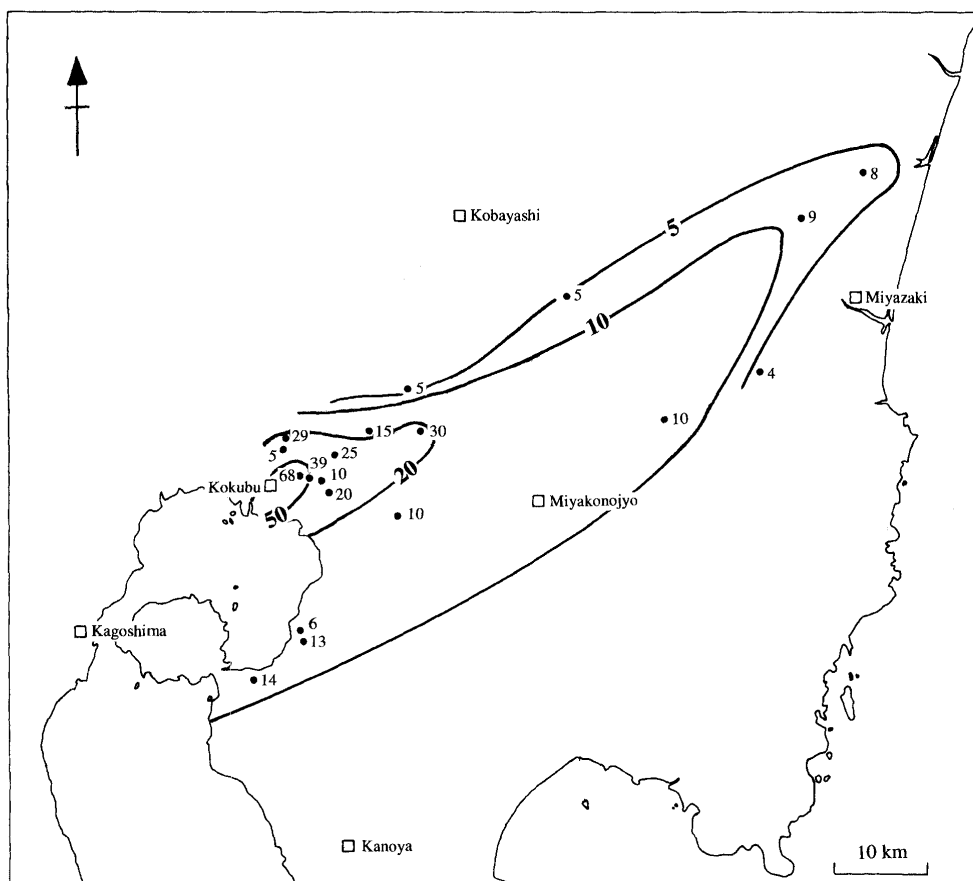


Fig. 11. Isopach map of Otsuka pumice fall deposits. Values are in centimeters.

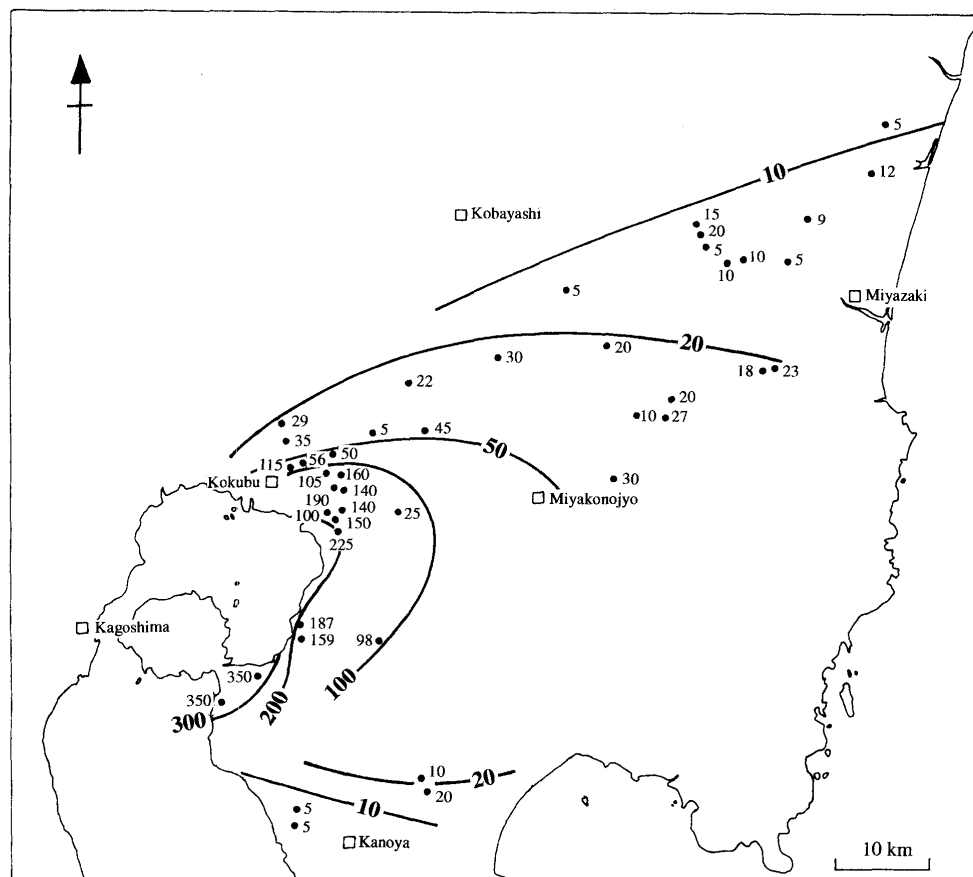


Fig. 12. Isopach map of Fukaminato pumice fall deposits. Values are in centimeters.

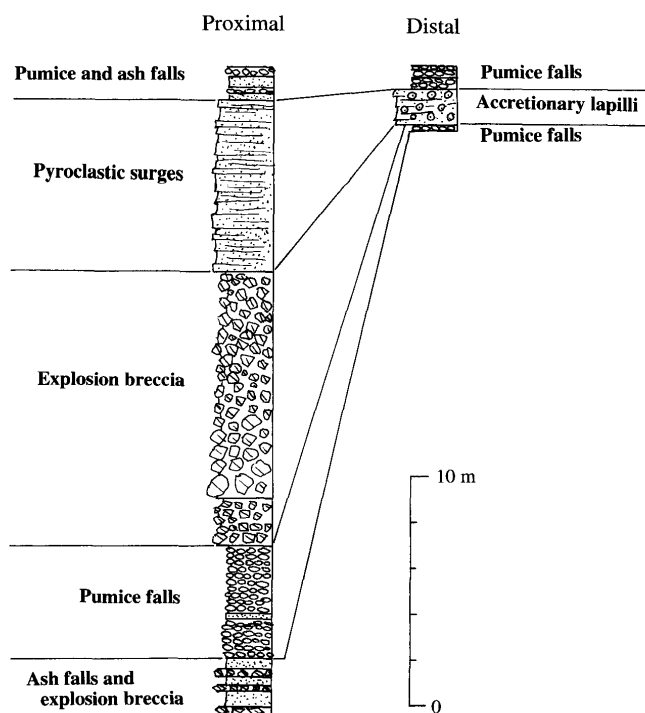


Fig. 13. Schematic section of Kenashino tephra. Symbols are the same as Fig. 3.

厚はカルデラ南東部の垂水市海潟温泉付近の地点8 (Fig. 3) で350 cmである。降下ユニットが多く、ユニット間対比は難しいが、始良カルデラ周辺では7降下ユニット以上認められる。宮崎平野では20 cm以下の粗粒火山灰層となるが、下位の大塚降下軽石堆積物とともに、はっきりした地層として確認できるのは地点20および21 (Fig. 4) などでの水成のシルトや砂の中であり、多くの場所では黒色土壌層中に下位の大塚降下軽石堆積物と混合して1~2 mm程度の白い軽石粒が点在する程度である。軽石粒は灰白色で、発泡は中程度である。主な斑晶鉱物は、石英、斜方輝石、単斜輝石である (Table 1)。しばしば長径1 mm以下の黒曜石の破片を含む。この降下軽石堆積物の体積は7 km³、噴出量は 4.9×10^{12} kgである。

荒崎火砕流堆積物 (Ar): 荒崎火砕流堆積物 (荒牧・宇井, 1976) は、垂水市脇田の荒崎海岸脇の国道220号東側の切り割りを模式地とする。模式地では、大隅降下軽石堆積物に伴う垂水火砕流堆積物 (福島・小林, 2000) の下位に土壌を介して分布し、厚さ5 m以上で、粒径50 cm以下の灰白色の軽石と火山灰からなる無層理の非溶結軽石流堆積物である。陸上の分布は模式地周辺の2 km四方に限られている (Fig. 9)。海潟温泉の地点8 (Fig. 3) では、厚さ28 mの内、最上部11 mに著しい斜交層理を伴う火砕サージ堆積物が認められる。しかし、現時点ではこの地点で確認されるのみであるため、荒崎火砕流堆積物の一部に含めておく。斑晶鉱物としては、石英、斜方輝石、少量の単斜輝石を含む (Table 1)。この火砕流堆積物の体積は約0.5 km³、噴出量は 5.5×10^{12} kgである。

7) 毛梨野テフラ (Kn)

毛梨野テフラは、国分市毛梨野の地点4 (Fig. 3) を模式地

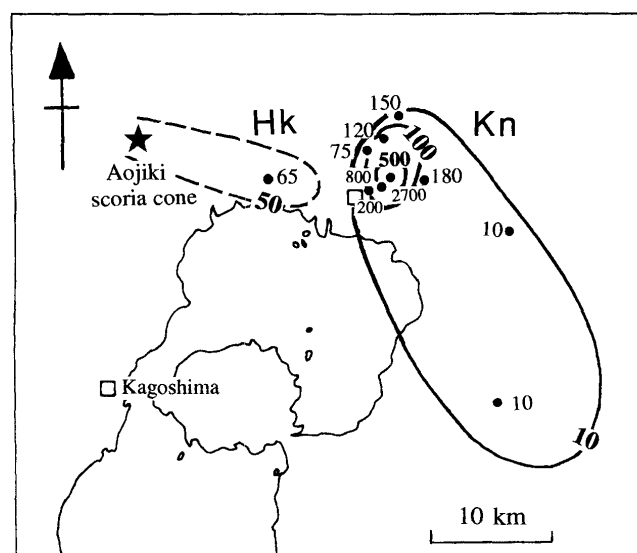


Fig. 14. Isopach map of the Hikiyama scoria fall deposits Hk and Kenashino tephra Kn. Values are in centimeters.

とする。このテフラは、給源付近では火砕サージ堆積物、遠方では降下軽石と灰白色火山豆石を含むガラス質降下火山灰層であり (Fig. 13)、毛梨野から南南東方向に輝北町まで達している (Fig. 14)。国分市重久の地点2 (Fig. 3) では、深港降下軽石を25 cmの土壌を介して、厚さ150 cmの毛梨野テフラが見られる。ここでは、5降下ユニットが識別され、3ユニットの白色降下火山灰層と2ユニットの薄い白色降下軽石からなる。主体をなす降下火山灰層のユニットには、軽石型火山ガラスからなる直径1 cm以下の火山豆石が多量に含まれ、径数mmの黒曜石片も散在している。主な斑晶鉱物として、石英、斜方輝石、単斜輝石が認められる。また、斜方輝石の屈折率は1.720~1.732と高いのが特徴であり、入戸火砕流堆積物や大隅降下軽石堆積物の1.728~1.734 (町田・新井, 1992) に近い (Table 1)。層厚から推定される給源の国分市の玄亀庵^{げんきやあん}付近には直径300~400 mの火口跡と考えられる凹地があり (Nagaoka, 1988)、その内壁には下位より爆発角礫と降下火山灰の互層、降下軽石堆積物、爆発角礫層、火砕サージ堆積物、降下軽石と降下火山灰の互層といった複雑な層相変化が見られる (Fig. 13)。このテフラの体積は約0.4 km³であり、噴出量は 0.44×10^{12} kgである。

テフラの年代

1. 大塚降下軽石堆積物以上のテフラの¹⁴C年代

大塚降下軽石堆積物・深港テフラ・毛梨野テフラについて、加速器質量分析 (AMS) 法による埋没土壌の¹⁴C年代 (Figs. 3, 15) から、大塚降下軽石堆積物が30 kyr BP、深港テフラが26.5 kyr BP、毛梨野テフラが25.3 kyr BPと推定されている (長岡ほか, 1997)。

¹⁴C年代は、¹⁴C濃度の初期値が厳密には一定ではないため、暦年代とは一致していない。Kitagawa and van der Plicht (1998 a, b) は、水月湖の年縞堆積物中の植物片や昆虫などを用いて、45 cal kyr BPまでの¹⁴C年代-暦年代校正

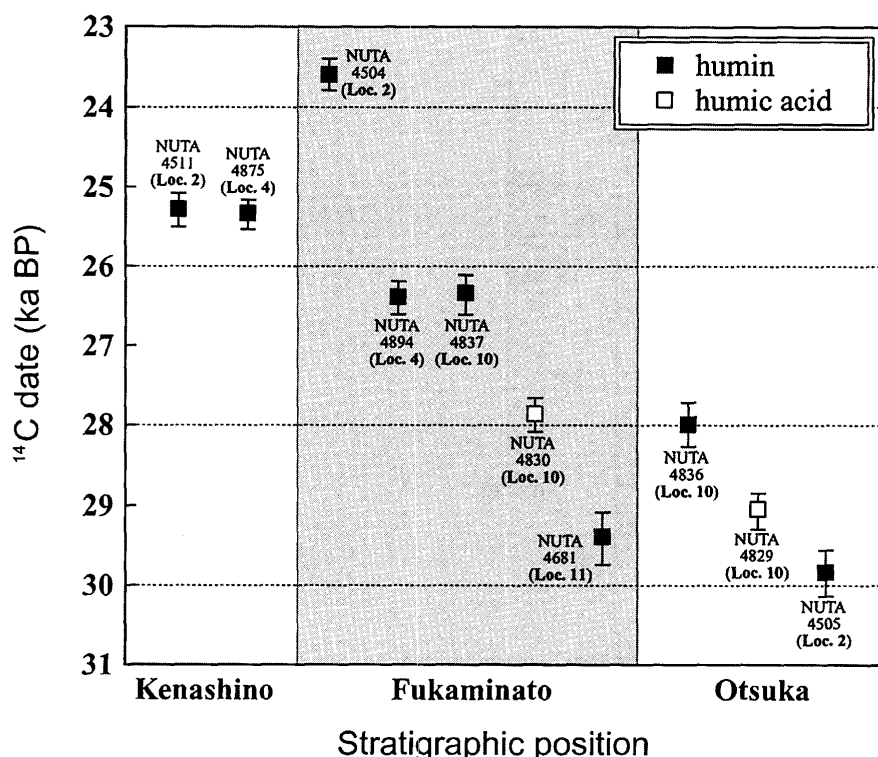


Fig. 15. AMS Radiocarbon dates of soil underlying Otsuka pumice fall deposit, Fukaminato and Kenashino tephras (data from Nagaoka et al., 1997). The Libby's ^{14}C half-life of 5568 years is used. The error bars represent 1σ uncertainties. Localities of samples are shown in Fig. 3.

曲線を得ている。これにより、これらの ^{14}C 年代を暦年代に較正することが可能になった。すなわち、大塚降下軽石堆積物が 32.5 cal kyr BP、深港テフラが 31 cal kyr BP、毛梨野テフラが 30 cal kyr BP の暦年代に較正される。なお、始良 Tn テフラの ^{14}C 年代である 24.5 kyr BP は、27 cal kyr BP に相当する。本論文では ^{14}C 年代を BP または kyr BP の単位を用いて区別している。以下の議論では、 ^{14}C 年代を直接用いることはせず、較正した暦年代 (cal kyr BP) を用いる。ただし、これらの年代については、他の方法で得られた年代と同様に ka の単位で表記する。

2. 阿多火砕流堆積物から岩戸テフラまでのテフラの年代

阿多火砕流堆積物は、感度法により 0.108 ± 0.003 Ma の K-Ar 年代が得られている (松本・宇井, 1997)。広域テフラについては、酸素同位体ステージ (MIS) から噴出年代が議論されている。阿多火砕流堆積物の噴出年代は、その co-ignimbrite ash が MIS 5.3 と 5.4 の間に位置することから、107～103 ka と推定され (大場, 1991)、上記の K-Ar 年代とはほぼ一致している。鬼界-葛原降下火山灰層は、MIS 5.2 と 5.3 の中間にあり、95～90 ka に噴出し (Machida, 1999)、阿蘇 4 火砕流堆積物は、co-ignimbrite ash が MIS 5.1 に近い 5.2 に位置しており、90～86 ka に噴出した (大場, 1991) とされている。ここでは、上記の年代の得られている広域テフラとの層位関係にもとづいて、テフラの噴出年代を推定する。日木山降下スコリア堆積物は、Ata と K-Tz の間にあることから、103～95 ka の間に噴出したと考えられる。金剛寺火砕サージ堆積物と福山降下軽石堆積物の噴出年代は、鬼界-葛原降下火山灰層と阿蘇 4 火砕流堆積物の間にあることから、95～86 ka の間である。岩戸テフラは、阿蘇 4 火砕流堆積物と大塚降下軽石堆積物の間にあることから、年代は 86～40 ka の間、60 ka 前後であろう。岩戸テフラの推定年代

は、後で述べる下位の敷根安山岩の K-Ar 年代 (0.061 ± 0.017 Ma; 周藤ほか, 2000) とも矛盾しない。ただし、霧島火山の東麓では、岩戸テフラと大塚降下軽石堆積物の間に、イワオコシ降下軽石堆積物やアワオコシ降下スコリア堆積物など、霧島火山起源のテフラ (長岡, 1984; 井村, 1994) が挟まっており、岩戸テフラの年代は 60 ka を遡る可能性もある。

溶岩と陸成層との層位関係

始良カルデラでは、テフラの噴出のみでなく溶岩も流出しており、それらを含めた噴火史を明らかにする必要がある。また、カルデラ周辺に分布する陸成層も火山噴火による地形変化を記録しており、噴火史を復元するうえで重要である。そこで、ここではカルデラ周辺に分布する溶岩および陸成層について、テフラとの層位関係や年代について述べる。

K-Ar 年代から Ata と始良 Tn テフラの間に位置すると考えられる溶岩は、カルデラ北東部の敷根安山岩 (SkL: 荒牧, 1969)、南東部の牛根流紋岩 (UsL: 小林ほか, 1977)、北部の清水流紋岩 (SmL: 大塚・西井上, 1980) である (Fig. 2)。敷根安山岩が 0.061 ± 0.017 Ma、牛根流紋岩が 0.033 ± 0.004 Ma、清水流紋岩が 0.036 ± 0.003 Ma の K-Ar 年代が得られている (周藤ほか, 2000)。

このうち敷根安山岩は、国分市敷根周辺に分布する厚さ 150 m 以下の紫蘇輝石普通輝石安山岩の溶岩流である (荒牧, 1969)。今回の調査により、福山降下軽石堆積物を覆い、岩戸テフラによって覆われているのが確認された (Figs. 16, 17)。福山降下軽石堆積物と敷根安山岩が直接接する露頭が確認できなかったために両者の時間間隔は不明であるが、敷根安山岩と岩戸テフラの間には始良層 3 の一部が存在する (Fig. 16)。また、この安山岩の体積は 1.3 km^3 であり、一般的な安山岩の平均密度 2800 kg/m^3 (荒牧, 1995) から噴出量は

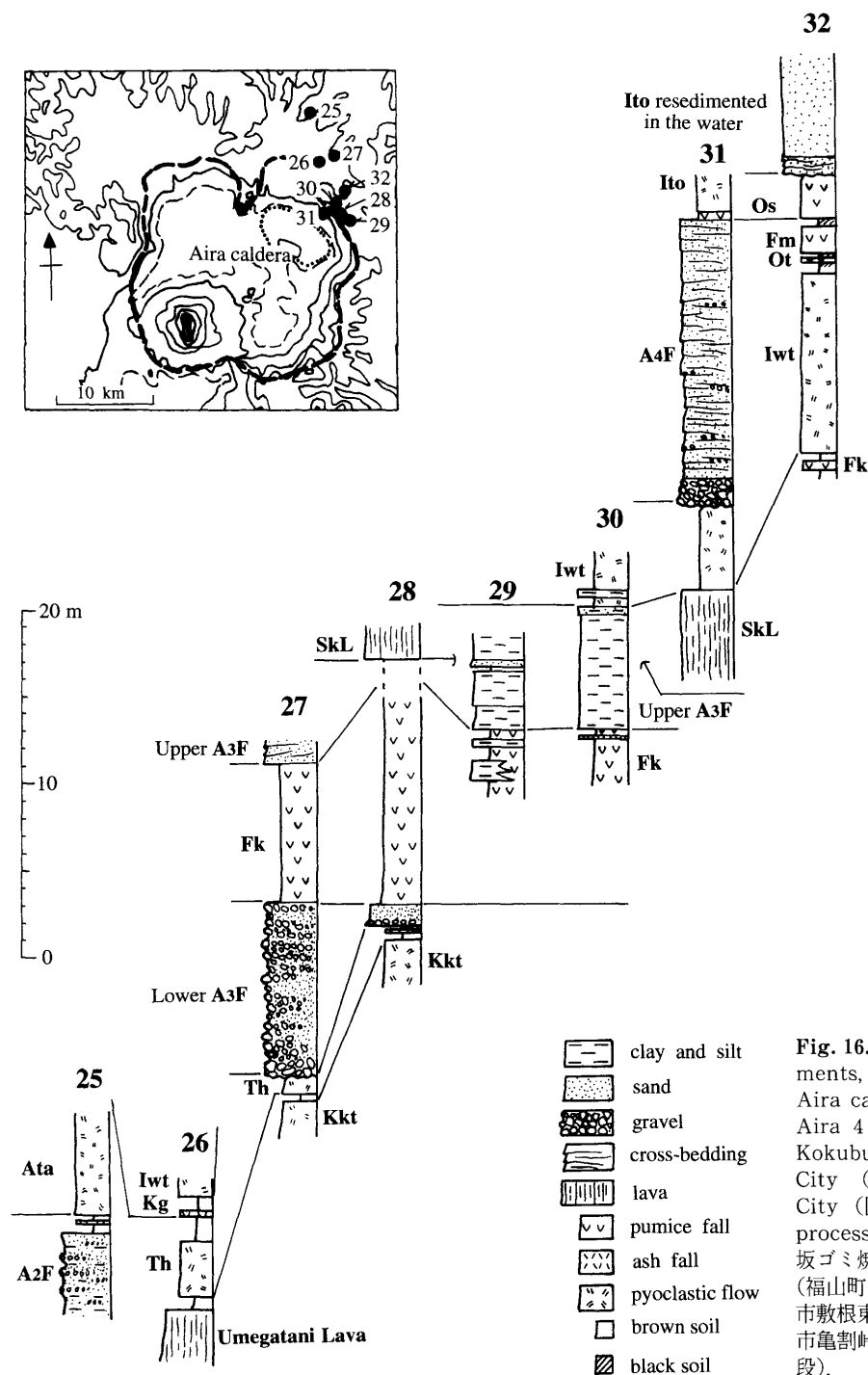


Fig. 16. Columnar section of non-marine sediments, lava, and tephra in the northeast of the Aira caldera. A₂F: Aira 2 F, A₃F: Aira 3 F, A₄F: Aira 4 F, SkL: Shikine lava flow 25: Shigehisa, Kokubu City (国分市重久), 26: Umegatani, Kokubu City (国分市梅ヶ谷), 27: Haginomoto, Kokubu City (国分市萩之元), 28: Kamewarizaka garbage processing center, Fukuyama Town (福山町亀割坂ゴミ焼却場), 29: Kamewarizaka, Fukuyama Town (福山町亀割坂), 30: East Shikine, Kokubu City (国分市敷根東方), 31: Kamewarizaka, Kokubu City (国分市亀割峠), 32: Uenodan, Kokubu City (国分市上之段).

3.6×10^{12} kg と計算される。大隅石を含む牛根流紋岩は、垂水市早崎付近に分布する厚さ 100 m 以下の普通輝石紫蘇輝石流紋岩であり (小林ほか, 1977), 加久藤火砕流堆積物と深港降下軽石堆積物の間にあるとされている (周藤ほか, 2000)。清水流紋岩は、加治木町黒川山付近および隼人町清水付近に分布する厚さ数 10 m 以下の紫蘇輝石普通輝石流紋岩である (大塚・西井上, 1980)。0.87~0.50 Ma (周藤ほか, 2000) の湯湾岳安山岩と入戸火砕流堆積物の間にあるとされている (大塚・西井上, 1980)。しかしながら、牛根流紋岩と清水流紋岩については、今回記載した 100~30 ka のテフラ群との層位関係が確かめられなかった。

次に始良カルデラ北東部の国分市周辺の陸成層である始良層 (荒牧, 1969) との層位関係について述べる。始良層は 4 つの層準に細分され (Fig. 2), 始良層 1 および 2 が阿多火砕流堆積物より下位に、始良層 3 および 4 が阿多火砕流堆積物と始良 Tn テフラとの間に位置する (Fig. 16)。

始良層 3 は、中部に福山降下軽石堆積物を含み、岩戸テフラに覆われる。福山降下軽石堆積物より下位の始良層 3 下部は、地点 27・28 (Fig. 16) などに分布し、厚さ 10 m 以下で、中~細礫大、垂円~垂角礫の河成砂礫層からなる。始良層 3 上部は、主に亀割坂周辺の地点 29・30 (Fig. 16) に分布し、厚さ 10 m 前後の細かく成層した粘土・シルトの互層からな

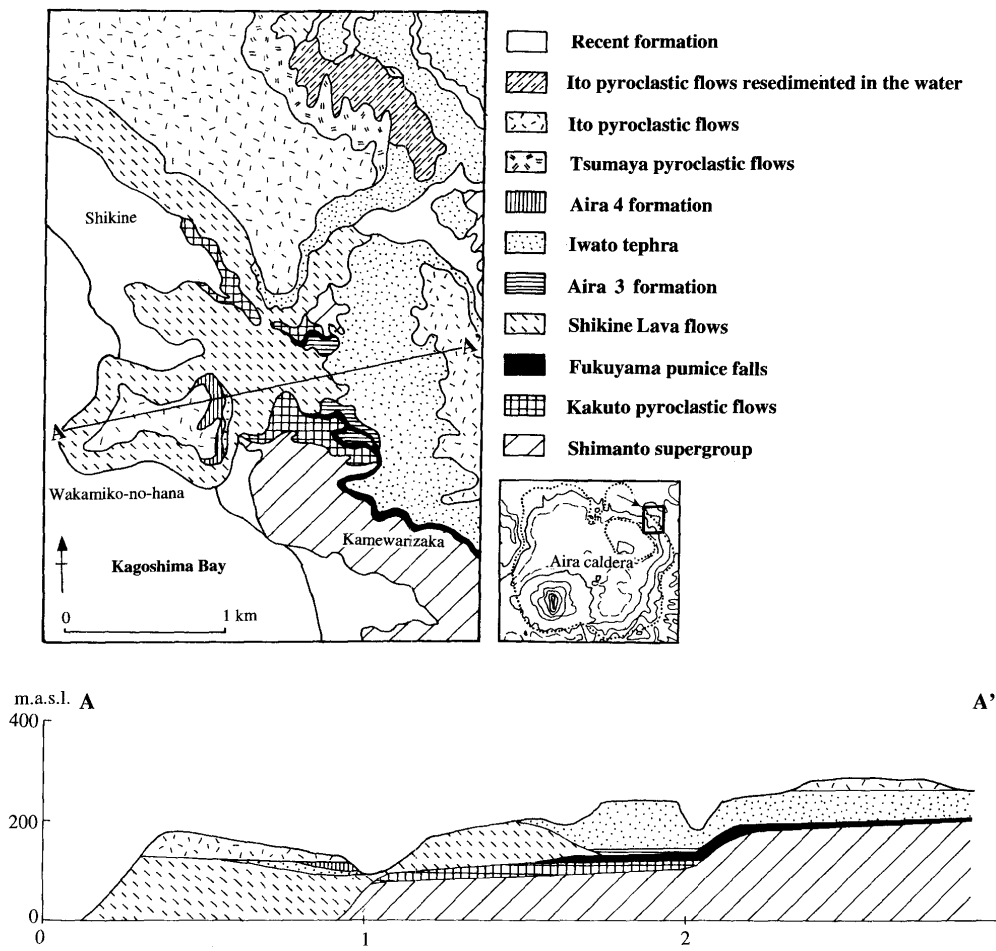


Fig. 17. Geological map of northeastern rim of the Aira caldera, modified from Aramaki (1969).

る。始良層3上部はカルデラ側で敷根安山岩にアバットすることから (Fig. 17), 始良カルデラに流れ込む河川がこの溶岩にせき止められてできた局所的な湖の堆積物と考えられる (Fig. 18)。また、地点29・30 (Fig. 16) では、福山降下軽石堆積物の上部が水中再堆積し、粘土・シルト層と互層し、始良層3上部の最下部を構成している。さらに、岩戸テフラが始良層3上部を直接覆っていることから、始良層3上部が堆積した湖は敷根安山岩の流出直後から岩戸テフラ噴出までの間の数万年間存在していたと考えられる。

始良層4は、岩戸テフラの上位にあって大隅降下軽石堆積物に直接覆われる砂礫層である。地点31 (Fig. 16) では、チャンネルの基底に厚さ150 cmの大～中礫の亜円礫が堆積している。その上位の約10 mは、細礫の亜円～亜角礫を含む粗～中粒砂層である。平行ラミナが発達し、白色軽石を多量に含む。このような層相から、始良層4は河成層と判断される。その分布高度は、海拔150 m付近と高く、カルデラ壁に切られていることから、始良火砕噴火またはその後の噴火などでカルデラ壁が後退し、始良層4の河谷が切断されたと推定される。

考 察

1. 100～30 ka のテフラの噴火様式と噴火口の位置

ここでは、記載されたテフラの層相や分布にもとづいて、噴火様式と噴火口の位置を考察する。

日木山降下スコリア堆積物については、その露頭が地点1だけと限られているため、噴火様式や噴火口の位置の詳細についてはよくわからない。分布がカルデラ北部に限られているようであり、その周辺やカルデラ内部の海底が噴火位置と推定される。給源の候補のひとつとして地点1から西北西に12 km離れた蒲生町米丸東方に標高275 mの青敷火砕丘があげられる (Fig. 14)。この火砕丘は、青敷火山岩類と呼ばれ、下位の普通輝石カンラン石安山岩質溶岩と上位の降下スコリア堆積物からなる (太田, 1967; 大塚・西井上, 1980; 長谷ほか, 1987)。日木山降下スコリア堆積物もカンラン石を含んでおり、青敷火砕丘が日木山降下スコリア堆積物の給源である可能性がある。青敷火山岩類の層位に関しては、阿多火砕流堆積物よりも上位とする見解があり (長谷ほか, 1987)、給源としても矛盾しない。しかし、今回の調査では、国分層群と入戸火砕流堆積物の間に位置することしか確認できなかった。また、加久藤火砕流堆積物よりも下位であるとする意見 (大塚・西井上, 1980) もあることから、その層位と日木山降下スコリアとの対比については、今後さらに検討する余地がある。

金剛寺サージ堆積物は、その層相から小規模なマグマ水蒸気噴火によるもので、分布は狭く、比較的小規模な噴火であったと考えられる。Fig. 5の層厚分布から噴火口の位置は、カルデラ北東部の国分市街地の載る天降川左岸の沖積平野下と考えられる (Fig. 18)。

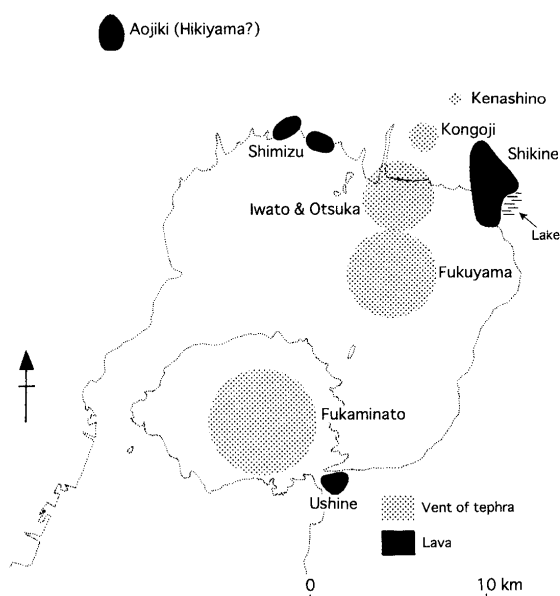


Fig. 18. Distribution of the vents of tephras and lavas during 100-30 ka. Dotted area is not the size of vent, but the extent of estimated vent position.

福山降下軽石堆積物は、岩戸テフラと並ぶ大規模な火砕噴火によるものである。Fig. 6の層厚分布を見ると、カルデラ北東の陸域に500 cm以上の最大層厚域が形成されていることから、その南西側、若尊カルデラから始良カルデラ中心部にかけての地域が給源と推定される (Fig. 18)。これまでのところ、プリニー式噴火による降下軽石堆積物のみで火砕流堆積物は認められない。分布が広く、かつ降下ユニットが少ないこと、軽石の淘汰が極めて良いことから、高く安定した連続的な噴煙柱が形成されたと考えられる。

岩戸テフラは、複雑な噴火によって形成されている。岩戸1・4・6降下軽石堆積物は、岩戸3・5・7・8・9火砕流堆積物と互層していることから、火砕流噴出初期と同時のプリニー式噴火の降下堆積物と推定される。プリニー式噴火の噴煙柱形成と崩壊を繰り返し、噴煙柱の部分的な崩壊が生じたことを示している。このように岩戸テフラの噴火では、噴煙柱が不安定で断続的であったと推定される。給源近くでは、火砕流堆積物により浸食されて岩戸1・4・6降下軽石堆積物の欠層や層厚の減少が生じているので、その層厚分布図 (Fig. 9) のみから岩戸テフラの噴火口の位置を特定することは難しい。しかしながら、軽石の最大粒径値の分布 (Nagaoka, 1988) や火砕流堆積物の厚さの分布などから、220 cmの最大層厚地点の南西側にあるカルデラ壁北東部に近い天降川河口周辺と推定される (Fig. 18)。

大塚降下軽石堆積物は、プリニー式噴火によるものであり、層厚分布 (Fig. 11) から、68 cmの最大層厚地点の南西側で、岩戸テフラと同じカルデラ北東部の天降川河口付近が給源と推定される (Fig. 18)。分布が北東へ細長く伸び、他のプリニー式噴火のテフラに比べて噴出物の体積が小さいにもかかわらず、70 km以上離れた宮崎平野まで達している。これは、テフラの拡散において南西の卓越風の影響が強かったことや噴煙柱がかなり高かったためと考えられる。

深港テフラは、プリニー式噴火とそれに引き続いて火砕流噴火が起きたことを示している。深港降下軽石堆積物は、降下ユニットが多いことなどもあり、分布軸が不明瞭であるが (Fig. 12), 300 cmを越える最大層厚がカルデラ南にあることから、カルデラ南部、桜島付近が噴火口であろう (Fig. 18)。それに引き続く荒崎火砕流堆積物は、カルデラ南東縁にしか分布しないことから、やはり噴火口はカルデラ南部、桜島南部と推定され、深港降下軽石堆積物とほぼ一致している。

毛梨野テフラの噴火では、火口の開口を示す爆発角礫と降下火山灰の噴出に始まり、さらに降下軽石、火口拡大による爆発角礫、火砕サージ、降下軽石・火山灰の噴出で終了した。降下火山灰層・火砕サージ堆積物は、火山豆石などを伴っており、マグマ水蒸気噴火によると推定される。詳細な分布図や爆発角礫の分布から推定される噴火口の位置は、始良カルデラ北東部国分市玄亀庵付近の岩戸火砕流の台地上である (Nagaoka, 1988 : Fig. 18)。噴火口が台地にあることから、マグマが地下水と接触したものと考えられる。

2. 始良カルデラ火山の噴火史

ここでは、本論文の結果とこれまでの研究成果も加えて、始良カルデラ火山の噴火活動史の全体像を復元し100~30 kaの噴火活動の意義を考察する。

1) 始良カルデラ火山の起源

火山岩のK-Ar年代測定から、始良カルデラ火山を含む鹿児島地溝 (露木, 1969) の噴火活動が活発化したのは0.8 Ma前後とされている (宇都ほか, 1997 a, b, c)。また、水中堆積の火砕流堆積物を伴う海成層の国分層群や花倉層の存在から知られる鹿児島湾北部への海の浸入開始は約1 Maのこととされており (大木・岡田, 1997)、これが最初の陥没が生じた時期と考えられる。このように、始良カルデラ火山の噴火活動開始期やカルデラ形成開始期は、少なくとも約1 Maまでは遡ることは確実であろう。また、さらに給源未詳の3~1 Maの伊作 (照国)・大野原・脇登・百引・麓・居世神火砕流 (荒牧・宇井, 1976; 小林・岩松, 1980; 鈴木ほか, 1985; 宮地, 1987) などが、カルデラ南西の鹿児島市や南東の垂水市に露出していることから、もしこれらの噴出源が鹿児島湾北部に求められるならば、始良カルデラ火山の起源はさらに古くなるであろう。

2) 1~0.1 Ma

始良カルデラ周辺には、加久藤火砕流堆積物以前、1~0.5 Ma頃の火砕流堆積物として鹿児島市周辺の久木田・伊敷・花野・蒲ヶ原・磯・吉野、カルデラ北縁における国分層群の鍋倉・小浜・小田・吉田寺などが知られている (大木・早坂, 1970; 早坂・大木, 1971; 大木, 1974; 荒牧・宇井, 1976; 大塚・西井上, 1980; 鈴木ほか, 1985; 長谷ほか, 1987; 宮地, 1987; 香川・大塚, 2000)。必ずしもこれら全てが始良カルデラ火山起源であるとは言い切れないが、1~0.5 Maには始良カルデラ火山の噴火活動が比較的活発であった可能性を示している。また、国分層群中に挟在している水中火砕流の噴出に伴い、大規模な陥没が起きたとされており (香川・大塚, 2000)、火砕流の噴出の度にカルデラも形成されたであろう。一方、寺山玄武岩 (大木・早坂, 1970) や湯湾岳安山岩 (大

塚・西井上, 1980) などの溶岩も流出している。

0.5～0.1 Ma には、始良カルデラ火山起源ではないと考えられる樋脇(下門)・小林・加久藤・鳥浜・阿多火砕流堆積物(町田・新井, 1992; Machida, 1999)が噴出しているが、始良カルデラ付近からの火砕流の噴出はほとんどなく(荒牧・宇井, 1976; 鈴木ほか, 1985; 宮地, 1987; 香川・大塚, 2000), 溶岩についても牛根玄武岩(小林・岩松, 1977)などが知られているにすぎないこと(周藤ほか, 2000)から、0.5～0.1 Ma は大規模な爆発的噴火はなかった時期と考えられる。また、加久藤・阿多火砕流堆積物は、始良カルデラ東壁より内側に分布しており、現在のカルデラ東壁は 0.3 Ma の頃にはすでに存在していた(荒牧, 1983)。しかし、前章で述べたように、若尊カルデラのある北東壁には始良層 4 が露出しているので、この部分は、27 ka の始良火砕噴火かそれ以後に後退したと推定される。

一方、始良カルデラ周辺には花倉層や国分層群と阿多火砕流堆積物との間にある 0.5～0.1 Ma の海成層や河成層・湖成層が分布する。これらは、MIS 5.5 より古いものと MIS 5.5～5.3 に大別される。前者に属するものとして、鹿児島市の河頭層・小山田層(大木・早坂, 1970)、蒲生町の社野層(長谷ほか, 1987)、垂水市早崎の早崎層(小林ほか, 1977; 小林・岩松, 1980)がある。後者としては、鹿児島市の城山層・竜尾層(大木・早坂, 1970)、カルデラ北西縁の吉田町の西中層(Yabe and Hatai, 1941 の吉田貝層)・五反田層(大塚・西井上, 1980; 長谷ほか, 1987)、北東縁の国分市の始良層 1・2(荒牧, 1969)、桜島西岸の桜島町袴腰の海成段丘礫層(森脇, 1996)などがある。これらのうち、河頭層、小山田層、城山層、袴腰の海成段丘礫層、西中層は、海成層である。竜尾層は、水中堆積の阿多火砕流堆積物と解釈されている(森脇ほか, 1999)。その他は河成層や湖成層、または成因未詳である。MIS 5.5 より古い堆積物の時代については、加久藤・小林・下門(樋脇)火砕流堆積物の推定年代(町田・新井, 1992; Machida, 1999)や溶岩の K-Ar 年代(周藤ほか, 2000)によって以下のように推定される。河頭層は、下門火砕流の下位にあることから、0.58 Ma より古い。社野層は、小林火砕流堆積物を含むので、およそ 0.5 Ma と推定される(香川・大塚, 2000)。小山田層は、下門火砕流堆積物と加久藤火砕流堆積物の間に位置するので(鈴木ほか, 1985), 0.5～0.34 Ma の間にある。加久藤火砕流堆積物の下位にある早崎層は、0.4～0.34 Ma の牛根玄武岩(周藤ほか, 2000)を境として、下位の早崎層-1 と上位の早崎層-2 に分けられる(小林・岩松, 1980)。すなわち、早崎層-1 は 0.4 Ma より古く、早崎層-2 は 0.4～0.34 Ma の間にある。MIS 5.5～5.3 に対比される地層の時代は、およそ 0.13～0.1 Ma である。しかし、袴腰層や牛根境層以外は、阿多火砕流堆積物の下位にあるが鳥浜火砕流堆積物や加久藤火砕流堆積物との関係は不明なものが多い。例えば、吉田貝層(西中層)は MIS 5.5 より古いとする意見もある(大木・岡田, 1997)。いずれにせよ、これらの堆積物は、0.5～0.1 Ma にカルデラや地溝などの陥没地が存在していたことを間接的に示し、また、堆積物中に水中火砕流などの火山噴出物が少ないことは、前述した陸上の層序と同様に、こ

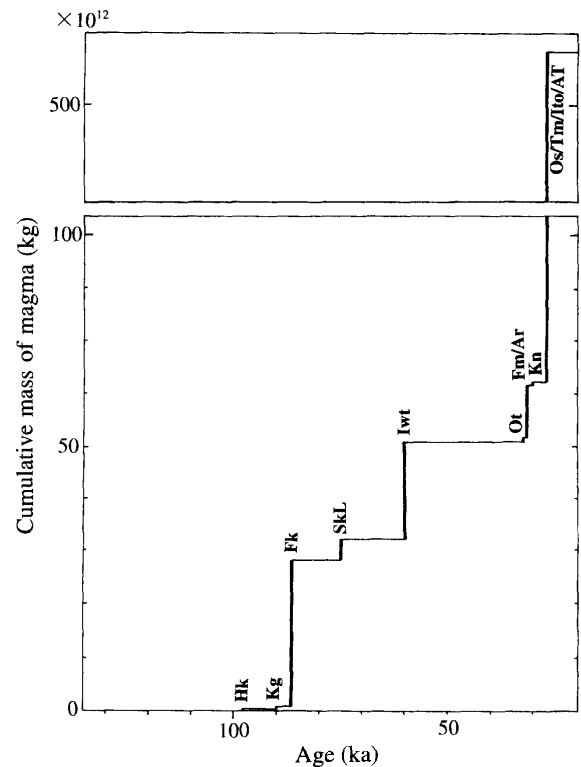


Fig. 19. Cumulative discharge mass of magma from Aira caldera volcano during 100–27 ka.

の時期の噴火活動が静穏であったことを支持している。

3) 100～27 ka

100 ka (=0.1 Ma) 以降になると、爆発的な噴火が頻発して活動期に入る (Fig. 19)。日本山降下スコリアの噴出以降、27 ka の始良火砕噴火までの約 7 万年間に少なくとも 7 回の爆発的噴火が起きている。これらの噴火口の位置は、日本山降下スコリア堆積物がカルデラ北部、深港テフラがカルデラ南部であるほかは、金剛寺火砕サーズ堆積物がカルデラ北東部、福山降下軽石堆積物が北東部、敷根安山岩が北東縁、岩戸テフラが北東部、大塚降下軽石堆積物が北東部、毛梨野テフラが北東台地上と、始良カルデラの北東部に集中している (Fig. 18)。このように 100～30 ka では、始良カルデラ火山は東半部、特に北東部が活動的であったと考えられる。また、この期間の溶岩の流出として、福山降下軽石堆積物と岩戸テフラの間に起きた敷根安山岩、層位ははっきりしないが 0.04～0.03 Ma の K-Ar 年代が得られている清水流紋岩および牛根流紋岩などの溶岩の流出を含めると、100～30 ka に少なくとも 10 回の噴火が平均 7500 年間隔で起きたことになる。特に 32.5～30 ka には、大塚・深港・毛梨野の 3 回の爆発的噴火が集中し、1000 年間隔で起きている。このように始良火砕噴火に近づくにつれ噴火頻度が高まる傾向がみられる (Fig. 19)。そして、毛梨野噴火からわずか 3000 年後に起きた 27 ka の破局的な始良火砕噴火では、大隅降下軽石・妻屋火砕流・入戸火砕流が次々に噴出して、始良 Tn 降下火山灰を含め少なくとも 450 km³ のテフラが放出された (町田・新井, 1976; 荒牧, 1983; Kobayashi et al., 1983; Aramaki, 1984; 1992; 福島・小林, 2000; Fig. 19)。

100~27 ka の噴火活動をみる限り、始良カルデラ火山では、マグマ噴出量が 414×10^{12} kg (Aramaki, 1984) を越える巨大な始良火砕噴火の前に長い噴火活動の休止期間があるのではなく、マグマの噴出量が 30×10^{12} kg 以下の中・小規模の火砕噴火が、7 万年間にわたって先駆的におきるという特徴が認められる (Fig. 19). これは大規模噴火に関わるマグマの上昇やマグマ溜まりの形成が少なくともその 7 万年前から始まっていたことを示している. 一方、100~30 ka の総噴出量は約 63.3×10^{12} kg であり、平均噴出率はおよそ 0.9×10^{12} kg/ky であるが、27 ka の始良火砕噴火に近づくにつれ小さくなる傾向がある (Fig. 19). すなわち、巨大噴火に向かって噴火頻度は高まりながらも、噴出率そのものは逆に減少している. 噴火頻度の上昇は、巨大噴火の先駆的なマグマの上昇を、噴出率の減少は、噴火の度に補われるマグマ量が減少傾向にあることを示している. これは、深部から供給されるマグマの量が一定とすると、マグマ溜まりなどに上昇してきたマグマが停滞し蓄積されていることを示していると推定される. または、巨大なマグマ溜まりがほぼ満たされつつあることなどが原因で、深部からのマグマ供給量が減少したとも解釈される. 一方、これらテフラの本質物質である軽石粒の SiO_2 量はあまり知られていないが、福山降下軽石堆積物が約 67 wt%, 岩戸テフラが約 73 wt% (スコリアは約 57 wt%) であり (井上・横瀬, 1996), 大隅降下軽石・妻屋火砕流・入戸火砕流堆積物が 74~76.5 wt% (津久井・荒牧, 1990) と時代とともに増える傾向にある. これと同時に斜方輝石の屈折率 γ も日木山降下スコリア堆積物の 1.705~1.712 から入戸火砕流堆積物の 1.728~1.734 へと徐々に高くなる傾向が認められ (Nagaoka, 1988: Table 1), hypersthene から ferro-hypersthene へと連続的に変化していることを示している (町田・新井, 1992). これらのことから、100 ka 以降、噴火を繰り返しながら、地下のマグマが徐々にその化学組成を変化させていったと考えられる.

また、100~30 ka の噴火活動では、福山・岩戸・大塚・深港・毛梨野の各噴火などのデイサイト~流紋岩質マグマと日木山降下スコリア堆積物や敷根安山岩といった安山岩質マグマの異なる 2 つのタイプの活動が存在する. 22.5 ka 以降の桜島火山のマグマ溜まりと始良カルデラ中心のマグマ溜まりの共存 (Aramaki, 1984) と同様に、複数のマグマ溜まりが存在していたと推定される. また、岩戸テフラには、初期のメンバーにスコリアや縞状軽石が含まれており、苦鉄質マグマと珪長質マグマの混合が起きたことを示している. また、これが岩戸噴火のトリガーとなったとも考えられる.

4) 27 ka~現在

カルデラ南縁の桜島火山は、始良火砕噴火から 2000 年も経ない 25.5 cal kyr BP (以下、ka と表記) から噴火活動を開始しており (奥野, 1997; Okuno et al., 1997), 100~30 ka の噴火活動と連続的なものと捉えることができる. 桜島火山は、古期北岳・中岳・南岳の 3 つの成層火山からなり、溶岩流とともに P1~P17 とよばれる主としてプリニー式噴火による 17 ユニットの安山岩質降下軽石主体のテフラを約 1300 年間隔で間欠的に噴出させてきている (小林・江崎, 1997).

また、カルデラ北縁では、7.5 ka の安山岩質のマグマ水蒸気噴火により、米丸・住吉池マールが形成されている (森脇ほか, 1986). 一方、これらに並行して流紋岩質マグマによる噴火活動もおきている. 高野ベースサージ堆積物 (小林, 1986) が 19 ka に噴出し (奥野, 1997), 13~7.5 ka の間にはカルデラ底での海底噴火により新島軽石が堆積している (Kano et al., 1996; 奥野ほか, 1998). 100~27 ka にかけての斜方輝石の屈折率の増加傾向は、これらの流紋岩質噴出物でも継続しており、高野ベースサージ堆積物は 1.735~1.750 (小林, 1986), 新島軽石は 1.740~1.760 (町田・新井, 1992) となり、eulite の屈折率 (町田・新井, 1992) へ近づいている. このことから、この 2 つの流紋岩質の噴火は、100~27 ka の噴火活動を引き起こしたマグマと関連しているものと推定される. また、新島軽石の噴火に対応して、始良カルデラ北東部の若尊カルデラ (Fig. 1) が形成されたと考えられているが (荒牧, 1983; Aramaki, 1984), 降下タイプの亀割坂角礫層の分布から若尊カルデラは入戸火砕流堆積物の噴出口跡とする意見もある (Nagaoka, 1988). このように 27 ka の始良火砕噴火以後から現在まで、カルデラ周辺では安山岩質マグマによる噴火活動が、カルデラ内では流紋岩質マグマによる噴火活動がおきており、100 ka 以降の活動期は現在まで継続していると考えられる. 桜島火山の最近の小規模なブルカノ噴火によるものを除いて、テフラの噴火間隔は 2000~1000 年に 1 回と高く、32.5 ka 以降、始良火砕噴火をはさんで、こうした傾向が継続している. そこで、桜島火山や住吉池・米丸火山のテフラの分布図 (小林, 1986; 森脇, 1994; Moriwaki, 1992) や桜島成層火山体の地形図から、25.5 ka から現在までの陸上噴出物の体積を概算すると約 58 km^3 となる. これに小規模噴火のテフラや始良カルデラ内の海底に分布する噴出物を考慮すると 70 km^3 程度と推定される. 桜島成層火山体の半分の約 25 km^3 を溶岩とし、他を全て降下テフラと仮定すると、総マグマ噴出量は約 100×10^{12} kg と計算される. 噴出率は 4×10^{12} kg/ky となり、100~30 ka より高い.

以上のように、始良カルデラ火山は少なくとも約 1 Ma に噴火活動を開始し、その後 0.5~0.1 Ma の長い比較的静穏な時期を経て、0.1 Ma から現在に至るきわめて活動的な時期を迎えていると言える. 本論文で報告した 100~30 ka のテフラは、100 ka から現在に至る最新活動期の前半を表し、27 ka の大規模な始良火砕噴火はそれに引き続くものである. また、噴火間隔は、1 Ma~32.5 ka が約 1 万年に 1 回にあるのに対して、32.5 ka から現在までが 2000~1000 年に 1 回と 32.5 ka 以降に高くなっている.

しかしながら、始良カルデラにおける噴火活動と地下のマグマ供給系の関係は複雑であり、今後、各テフラや溶岩の化学組成や Sr 同位体比などによる岩石学的研究を層序や年代にしたがい系統的におこなう必要がある. また、0.1 Ma 以前の噴火活動にも同様の傾向があるかどうかを明らかにし、巨大噴火に前後する噴火活動の関係の法則性を議論していくべきであろう.

ま と め

本論文では、始良火砕噴火以前の 100～30 ka に噴出した始良カルデラ起源のテフラの層序・分布・年代を再検討して、その噴火史を議論した。

この期間の始良カルデラ火山起源のテフラは、下位より日木山降下スコリア堆積物 (103～95 ka)、金剛寺火砕サージ堆積物 (95～86 ka)、福山降下軽石堆積物 (95～86 ka)、岩戸テフラ (60 ka)、大塚降下軽石堆積物 (32.5 ka)、深港テフラ (31 ka)、毛梨野テフラ (30 ka) の 7 層が認められる。敷根安山岩は、福山降下軽石堆積物と岩戸テフラの間の位置する。これらのテフラの噴火口は、カルデラの東半部に集中している。

始良カルデラ火山の 100～27 ka の平均噴火間隔は、およそ 7500 年に 1 回である。しかし、3.25～30 ka は、ほぼ 1000 年間隔になり、そのまま 27 ka の破局的な始良火砕噴火へ至っている。一方で、噴出量は始良火砕噴火に近づくにしたがい減少傾向にある。今回明らかになった 100～30 ka の噴火活動は、最新の活動期の前半にあたっている。また 100 ka から現在までの活動期において 3.25 ka 以降の噴火頻度が特に高い。

謝 辞

東京都立大学大学院名誉教授の町田 洋先生には終始ご指導いただいた。名古屋大学年代測定総合研究センターの中村俊夫教授、鹿児島大学法文学部の石村満宏教授、森脇 広教授、同大学理学部的小林哲夫助教授、宮崎大学大学農学部の長友由隆教授には、貴重なご意見を賜った。新富町役場の有田辰美さんと滝口紘二さん、鹿児島大学理学部の福島大輔博士、京都大学防災研究所の西山賢一博士、宮崎大学大学院の井上 弦と赤木 功さんには、野外調査の際にお世話になった。査読者である日本大学文理学部の荒牧重雄教授、鹿児島大学理学部の井村隆介助教授、編集委員の北海道大学大学院理学研究科の中川光弘博士には貴重なご意見をいただき、論文が改善された。これらの方々に心から御礼申し上げます。なお、この研究には、日本学術振興会科学研究費補助金 (基盤研究 (B) (1)、課題番号: 10480015、代表者: 山崎晴雄、および奨励研究 (A)、課題番号: 11780077、代表者: 奥野 充) の一部を使用した。

文 献

- 荒牧重雄, 1969, 鹿児島県国分地域の地質と火砕流堆積物. 地質雑, **75**, 425-442.
 荒牧重雄, 1977, 始良カルデラの基盤と桜島の噴出物. 第 2 回桜島火山の集中総合観測, 京都大学防災研究所, 105-119.
 荒牧重雄, 1983, 始良カルデラと入戸火砕流. 月刊地球, **5**, 83-92.
 Aramaki, S., 1984, Formation of Aira caldera, southern Kyushu. *Jour. Geophys. Res.*, **89**, 8485-8501.
 荒牧重雄, 1995, 溶岩. 下鶴大輔・荒牧重雄・井田喜明 (編)「火山の辞典」, 朝倉書店, 136-148.
 荒牧重雄・宇井忠英, 1976, 南九州の火砕堆積物一斑珣鉱物の Ca-Mg-Fe 比による対比一. 東京大学地震研究所彙報, **51**, 151-182.
 遠藤 尚・杉田 剛・法元紘一・児玉三郎, 1962, 日向平野を構成する段丘について. 宮崎大学学芸学部紀要, no. 14, 9-27.
 福島大輔・小林哲夫, 2000, 大隅降下軽石に伴う垂水火砕流の発生・堆積様式. 火山, **45**, 225-240.

- 福山博之, 1978, 桜島火山の地質. 地質雑, **84**, 309-316.
 福山博之・小野晃司, 1981, 桜島火山地質図, 1: 25000, 地質調査所.
 Hayakawa, Y., 1985, Pyroclastic geology of Towada volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, **60**, 507-592.
 長谷義隆・山脇真二・早坂康隆, 1987, 鹿児島湾北西岸地域の第四系層序の再検討. 地団研専報, no. 33, 207-224.
 早坂祥三・大木公彦, 1971, 鹿児島市地域のボーリング資料にもとづく地質学的考察. 鹿児島大学理学部紀要 (地学・生物学), no. 4, 15-29.
 本間不二夫, 1935, 日本火山誌「桜島」. 火山, 第一集, **2**, 226-296.
 池田晃子・奥野 充・中村俊夫・筒井正明・小林哲夫, 1995, 南九州, 始良カルデラ起源の大隅降下軽石と入戸火砕流中の炭化樹木の加速器質量分析法による ^{14}C 年代. 第四紀研究, **34**, 377-379.
 井村隆介, 1994, 霧島火山の地質. 東京大学地震研究所彙報, **69**, 189-209.
 井上享郁・横瀬久芳, 1996, 岩戸火砕流堆積物中に含まれる本質岩片の地球科学的特徴. 日本火山学会講演要旨集, 1996 年度秋季大会, 135.
 香川 淳・大塚裕之, 2000, 鹿児島湾北岸地域, 中期更新世国分層群と火山構造性イベント. 地質雑, **106**, 762-782.
 Kaneoka, I., Aramaki, S., Kobayashi, T. and Oki, K., 1984, Pliocene and Pleistocene volcanism in southern Kyushu: K-Ar ages of Fumoto and Isaku pyroclastic flows and related rocks. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, **29**, 59-62.
 Kano, K., Yamamoto, T. and Ono, K., 1996, Subaqueous eruption and emplacement of the Shinjima Pumice. Shinjima (Moesima) Island, Kagoshima Bay, SW Japan. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **71**, 187-206.
 Kitagawa, H. and van der Plicht, J., 1998 a, A 40,000-year varve chronology from Lake Suigetsu, Japan: Extension of the ^{14}C calibration curve. *Radiocarbon*, **40**, 505-516.
 Kitagawa, H. and van der Plicht, J., 1998 b, Atmospheric radiocarbon calibration to 45,000 yr B.P.: Late glacial fluctuations and cosmogenic isotope production. *Science*, **278**, 1187-1190.
 小林哲夫, 1982, 桜島火山の地質: これまでの研究の成果と今後の課題. 火山, **27**, 277-292.
 小林哲夫, 1986, 桜島火山の形成史と火砕流. 文部省科研費報告書「火山噴火に伴う乾燥粉体流 (火砕流等) の特質と災害」, 137-163.
 小林哲夫・岩松 暉, 1980, 始良カルデラ壁南東部垂水市牛根地区の火山地質と山くずれ災害. 桜島地域学術調査協議会調査研究報告, 89-97.
 小林哲夫・江崎真美子, 1997, 桜島火山, 噴火史の再検討. 月刊地球, **19**, 227-230.
 小林哲夫・岩松 暉・露木利貞, 1977, 始良カルデラ壁の火山地質と山くずれ災害. 鹿児島大学理学部紀要 (地学・生物学), no. 10, 53-73.
 Kobayashi, T., Hayakawa, Y. and Aramaki, S., 1983, Thickness and grain-size distribution of the Osumi pumice fall deposit from the Aira caldera. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, **28**, 129-139.
 Koto, B., 1916, The great eruption of Sakurajima in 1914. *Jour. Coll. Sci., Imp. Univ. Tokyo*, **38**, 237 p.
 桑代 勲, 1964, Proto-Caldera について. 地学雑, **73**, 114-120.
 Machida, H., 1999, Quaternary widespread tephra catalog in and around Japan: Recent Progress. *The Quat. Res. (Daiyonki-Kenkyu)*, **38**, 194-201.
 町田 洋・新井房夫, 1976, 広域に分布する火山灰一始良 Tn 火山灰の発見とその意義. 科学, **46**, 339-347.
 町田 洋・新井房夫, 1992, 火山灰アトラスー日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 276 p.
 Matumoto, T., 1943, The four gigantic caldera volcanoes of Kyushu. *Jpn. Jour. Geol. Geogr.*, **19**, 1-57.
 松本哲一・宇井忠英, 1997, 阿多火砕流堆積物の K-Ar 年代. 火山, **42**, 223-225.
 Matsumoto, A., Uto, K. and Shibata, K., 1989, K-Ar dating by peak comparison method—new technique applicable to younger than 0.5 Ma—. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **40**, 565-579.
 Miyachi, M., 1983, Zircon fission-track ages of some pyroclastic flow deposits in the Kagoshima City area, Japan. *Jour. Japan.*

- Assoc. Min. Petr. Econ. Geol., **78**, 70-76.
- 宮地六美, 1987, 南九州の火砕流堆積物対比. 地団研専報, no. 33, 279-293.
- 森本良平, 1946, 地質学的, 岩石学的に見た, 昭和 21 年の桜島の活動—その一—地質学的観察. 東京大学地震研究所彙報, **24**, 229-238.
- 森脇 広, 1990, 更新世末の桜島の大噴火にかんする研究—薩摩軽石層の噴火の経緯と様式—. 鹿児島大学南科研試料センター報告書特別号, no. 3, 40-47.
- Moriwaki, H., 1992, Late Quaternary phreatomagmatic tephra layers and their relation to paleo-sea levels in the area of Aira caldera, southern Kyushu, Japan. *Quatern Inter*, **13/14**, 195-200.
- 森脇 広, 1994, 桜島テフラ層序・分布と細粒火山灰層の層位一. 文部省科学研究費報告書「鹿児島湾周辺における第四紀後期の細粒火山灰層に関する古環境学的研究」, 1-20.
- 森脇 広, 1996, 桜島西岸裾腰台地を構成する更新世テフラ. 日本第四紀学会編「第四紀露頭集—日本のテフラ」, 309.
- 森脇 広, 1997, 始良カルデラ周辺における最終氷期最盛期以降の海水準変化に伴う古環境変化と火山噴火. 月刊地球, **19**, 236-241.
- 森脇 広・町田 洋・初見祐一・松島義章, 1986, 鹿児島湾北岸におけるマグマ水蒸気噴火とこれに影響を与えた縄文海進. 地学雑誌, **95**, 94-113.
- 森脇 広・新井房夫・Westgate, J., 1999, 鹿児島湾北西岸における阿多火砕流の堆積環境と海成段丘の編年. 日本第四紀学会講演要旨集, no. 22, 16-17.
- 長岡信治, 1984, 大隅半島北部から宮崎平野に分布する後期更新世テフラ. 地学雑誌, **93**, 347-370.
- 長岡信治, 1986, 後期更新世における宮崎平野の地形発達. 第四紀研究, **25**, 139-163.
- Nagaoka, S., 1988, Late Quaternary tephra layers from the caldera volcanoes in and around Kagoshima Bay, southern Kyushu, Japan. *Geogr. Rep. Tokyo Metropolitan Univ.*, no. 23, 49-122.
- 長岡信治・穀田昇一・大久保秀一・深江邦一・谷田 仁, 1991, 鹿児島湾における第四紀末の爆発的火山活動と海底地形. 月刊地球, **13**, 209-217.
- 長岡信治・奥野 充・鳥井真之, 1997, 2 万 5 千年前以前の始良カルデラの噴火史. 月刊地球, **19**, 257-262.
- 成尾英仁, 1997, 鹿児島県輝北町における阿多以降のテフラ. 鹿児島県立博物館研究報告, no. 16, 57-64.
- 大場忠道, 1991, 酸素同位体比層序からみた阿蘇 4 テフラおよび阿多テフラ. 月刊地球, **13**, 224-227.
- 大木公彦, 1974, 鹿児島市西部地域における第四系の層序. 鹿児島大学理学部紀要 (地学・生物学), no. 7, 15-22.
- 大木公彦・早坂祥三, 1970, 鹿児島市北部地域における第四系の層序. 鹿児島大学理学部紀要 (地学・生物学), no. 3, 67-92.
- 大木公彦・岡田博有, 1997, 第四紀における始良カルデラ周辺地域の構造発達史. 月刊地球, **19**, 247-251.
- 奥野 充, 1997, 桜島テフラ群の放射性炭素 (^{14}C) 年代学. 月刊地球, **19**, 231-235.
- 奥野 充・成尾英仁・新井房夫・小林哲夫, 1995, 大隅半島南部に分布する後期更新世テフラ. 鹿児島大学理学部紀要 (地学・生物学), no. 28, 101-110.
- Okuno, M., Nakamura, T., Moriwaki, H. and Kobayashi, T., 1997, AMS radiocarbon dating of the Sakurajima tephra group, southern Kyushu, Japan. *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res.*, **B123**, 470-474.
- 奥野 充・松島義章・長岡信治・森脇 広・新井房夫・中村俊夫, 1998, 南九州, 鹿児島湾の燃島貝層中のベッコウガキの加速器 ^{14}C 年代. 福岡大学理学集報, **28**, 93-98.
- 奥野 充・長岡信治・福島大輔・成尾英仁・森脇 広・小林哲夫, 2000, 始良カルデラ東壁にみられる最近 10 万年間のテフラ. 火山, **45**, 41-46.
- Omori, F., 1914, The Sakurajima eruptions and earthquakes. I. *Bull. Imp. Earthq. Invest. Committee*, **8**, 1-34.
- Omori, F., 1916a, The Sakurajima eruptions and earthquakes. II. *Bull. Imp. Earthq. Invest. Committee*, **8**, 35-179.
- Omori, F., 1916b, The Sakurajima eruptions and earthquakes. III. *Bull. Imp. Earthq. Invest. Committee*, **8**, 181-321.
- 太田良平, 1967, 5 万分の 1 地質図幅説明書「加治木」. 地質調査所, 13 p.
- 大塚裕之・西井上剛資, 1980, 鹿児島湾北岸地域の第四系. 鹿児島大学理学部紀要 (地学・生物学), no. 13, 35-76.
- 沢村孝之助, 1956, 5 万分の 1 地質図幅説明書「国分」. 地質調査所, 19 p.
- 周藤正史・石原和弘・巽 好幸, 2000, 始良カルデラ地域の先カルデラ火山活動史—カルデラ北縁部加治木, 国分地域及び南縁部牛根地域の溶岩流試料の K-Ar 年代測定—. 火山, **45**, 1-12.
- 鈴木達郎・山本温彦・小林哲夫・根建心具, 1985, 鹿児島県火砕流分布図, 1:200,000, 鹿児島大学特定研究報告「南九州における火砕流堆積物の時空分布に関する研究」.
- 津久井雅志・荒牧重雄, 1990, 始良火砕噴火のマグマ溜り. 火山, **35**, 231-248.
- 露木利貞, 1969, 九州地方における温泉の地質学的研究 (第 5 報) 鹿児島地溝内の温泉—特に温泉貯留体について. 鹿児島大学理学部紀要 (地学・生物学), no. 2, 85-101.
- 宇都浩三・阪口圭一・内海 茂, 1997a, 鹿児島県北薩地域の新第三紀火山活動史と火山構造成地溝の形成. 京都大学防災研究所研究所集会 (9S-4)「古地磁気学的手法を用いた火山活動の復元」, 85-95.
- 宇都浩三・阪口圭一・内海 茂, 1997b, 鹿児島県北薩火山地域の新第三紀火山活動史: 北薩屈曲に伴う火山構造成地溝の形成. CA 研究会 1997 年論文集, 東京大学地震研究所, 282-288.
- 宇都浩三・阪口圭一・寺岡易司・奥村公男・駒澤正夫, 1997c, 20 万分の 1 地質図幅「鹿児島」. 地質調査所.
- Yabe, H. and Hatai, K., 1941, On the fossil mollusca from Kagoshima-ken, Kyushu. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **48**, 107-112.
- 山口鎌次, 1975, 桜島火山の研究, 128 p., 日本地学教育学会.
- Yokoyama, S., 1974, Mode of movement and emplacement of Ito pyroclastic flow from Aira caldera, Japan. *Sci. Rept. Tokyo Kyoku Daigaku*, c, **12**, 17-62.

(要 旨)

長岡信治・奥野 充・新井房夫, 2001, 10 万～3 万年前の始良カルデラ火山のテフラ層序と噴火史. 地質雑誌, **107**, 432-450 (Nagaoka, S., Okuno, M. and Arai, F., 2001, Tephrostratigraphy and eruptive history of the Aira caldera volcano during 100-30 ka, Kyushu, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **107**, 432-450.)

100～30 ka において始良カルデラでは, 日木山降下スコリア堆積物 (103～95 ka), 金剛寺火砕サージ堆積物, 福山降下軽石堆積物 (95～86 ka), 岩戸テフラ (60 ka), 大塚降下軽石堆積物 (32.5 ka), 深港テフラ (31 ka), 毛梨野テフラ (26.5 ka) の 7 層のテフラが認められる. これらの噴火口は, カルデラの東半部に集中している. これらのテフラの噴出と並行して数根安山岩などの溶岩も流出しており, 平均噴火間隔は 7500 年に 1 回となる. 27 ka の始良火砕噴火直前の 32.5～30 ka では噴火間隔は約 1000 年と短くなるが, 噴出量は逆に減少する傾向にある. 始良カルデラ火山は 100 ka 以降は活動期にあたる. この 100～30 ka の噴火活動は, 最新の活動期の前半にあたっている.