

指宿市池田堀切園に分布する堀切園層と阿多火砕流堆積物の腑存状況

著者	山下 大輔, 大木 公彦
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要=Reports of the Faculty of Science, Kagoshima University
巻	45
ページ	1-18
別言語のタイトル	Peculiar mode of occurrence of the Horekizon Formation and the Ata Pyroclastic Flow Deposit distributed in Ikeda-Horekizon, Ibusuki City, South Kyushu, Japan
URL	http://hdl.handle.net/10232/00011296

指宿市池田堀切園に分布する堀切園層と阿多火砕流堆積物の腑存状況

Peculiar mode of occurrence of the Horekizon Formation and the Ata Pyroclastic Flow Deposit distributed in Ikeda-Horekizon, Ibusuki City, South Kyushu, Japan

山下大輔¹⁾・大木公彦²⁾

YAMASHITA Daisuke and ÔKI Kimihiko

Abstract: Lacustrine sediment, unconformably overlies the late Pleistocene Kariya Lava and overlain by the Ata Pyroclastic Flow Deposit is exposed in the wall area of Ata Caldera so called, Ibusuki City. It was named the Horekizon Formation by authors. This formation characteristically contains a pyroclastic material and divided into three horizons based on their lithofacies. The presence of lacustrine sediment in the caldera wall area suggests that caldera area was mountain before collapse of Ata caldera. Thirteen ground layers are observed in the Ata Pyroclastic Flow Deposit in Horekizon area. Based on the vertical change of lithofacies of the Ata pyroclastic flow deposit, a plinian eruption, twelve small and medium pyroclastic flow eruptions, three gigantic pyroclastic flow eruptions and two small pyroclastic flow eruptions are recognized in ascending order. A ground layer in the lower Ata Pyroclastic Flow Deposit contains boulder reach a maximum diameter of 1.3 meters and a ground layer in the middle Ata Pyroclastic Flow Deposit contains lithic clasts of granite, mudstone and silicified rocks. The lithic clasts in the ground layers are presumed to have been derived from the late Pleistocene andesite. The occurrence of the Horekizon Formation and the Ata Pyroclastic Flow Deposit support the idea that source of the Ata Pyroclastic Flow Deposit is situated at southward near Horekizon area.

Keywords: Ata Pyroclastic Flow Deposit, Horekizon Formation, Ata caldera, ground layer

1. はじめに

阿多火砕流は南九州一円に分布する大規模火砕流である（荒牧・宇井，1966）。その噴出源として考えられた阿多カルデラ（Matumoto, 1943）は鹿児島湾の湾口部に位置し，薩摩半島南部，大隅半島南西部には阿多火砕流からなる火砕流台地が広がっている。阿多カルデラ近くの阿多火砕流堆積物や同時期の地層の産状から阿多火砕流の噴火過程を明らかにすることは，阿多火砕流の流下拡散と当時の古地形との関係を知る上で重要である。

鹿児島県指宿市池田堀切園には第四紀後期更新世と考えられる中期指宿火山群の仮屋溶岩（川辺・阪口，2005）を覆い，阿多火砕流に不整合で覆われる湖成層が分布している。この地域周辺は，阿多火砕流やそれ以降の火山噴出物によって広く厚く覆われているため，阿多火砕流噴火以前の地形や環境を知る手がかりに乏しい。この湖成層はその手がかりとなる可能性があるが，分布が局所的であるため，これまでに詳細な研究が行われなかった。

今回，阿多カルデラの北西部のカルデラ壁にあたる鹿児島県指宿市池田堀切園において，阿多火砕流噴火前の古地理とその噴火過程に関する新たな知見が得られたので報告する。

謝辞：研究を進めるにあたり，鹿児島大学理学部地球環境科学科に在学した中野真帆氏，田尻留美氏には野外調査を含め終始有意義な議論，ご助言をいただいた。また，珪藻の観察方法に関して鹿児島大学総

1) 鹿児島大学理工学研究科 〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-35
Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University 1-21-35, Korimoto, Kagoshima City 890-0065
2) 鹿児島大学名誉教授（鹿児島大学総合研究博物館学外協力研究者） 〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-30
The Kagoshima University Museum 1-21-30, Korimoto, Kagoshima City 890-0065

合研究博物館技術補佐員の内村公大氏にご助言をいただいた。以上の方々には心より感謝を申し上げる。

2. 指宿市池田堀切園の地形と地質の概要

本地域は鹿児島県薩摩半島の南東部に位置し、Matumoto (1943) の示した阿多カルデラの北西側のカルデラ壁をなす鬼門平断層崖上にあたる (Fig. 1)。そのため北東から南西に延びる鬼門平断層を境にして北側と南側では地形が大きく異なる。調査地周辺の北側は標高200~300 mほどの台地と山地からなり、南側は標高60~100 mほどの平地からなる。北側の山地は新第三紀後期中新世から前期鮮新世の古期南薩火山岩類および第四紀後期更新世と考えられる中期指宿火山群の仮屋溶岩 (川辺・阪口, 2005) からなり、その間の谷部を阿多火砕流堆積物が埋めている。南側に広がる平地は、池田火砕流堆積物や池田降下軽石層がつくる標高100 m前後の面と沖積層の標高100~60 mの面からなる (岡田ほか, 1989)。調査地の南方には水深225 mの池田湖がある。本地域には目立った河川はないが、北側の台地から鬼門平断層崖を流れ下り、平地を東方へ流れる小さな河川が数本ある。これらの河川は鬼門平断層崖において阿多火砕流堆積物にかかる10~20 mほどの滝を作っている。

3. 地質各論

調査地域の地質層序を Table 1に示す。

1) 古期南薩火山岩類 (Older Stage Nansatsu Volcanic Rocks)

太田 (1966) は阿多カルデラの周囲に壁をなして分布する安山岩溶岩及び火山砕屑岩を鬼門平輝石安山岩と呼んだ。宇井 (1967) は、太田 (1966) の入野流紋岩, 入野層, 鬼門平輝石安山岩を、岩相変化が複雑で完全な層序区分が困難であること、またいずれも弱いし中程度に熱水変質を受けていることから笠口層と名付けて一括した。金属鉱物採鉱促進事業団 (1969) は、南薩地域 (枕崎市から穎娃町に至る範囲) に分布し、緑色凝灰岩を主体とし、その上層に泥岩を挟有する堆積岩を南薩層群と呼んだ。また緑色凝灰岩の主部を下部層とし、泥岩を伴う部分を上部層とし、太田 (1966) の鬼門平輝石安山岩は南薩層群下部層に相当するとした。通商産業省資源エネルギー庁 (1985) は南薩層群下部層および上部層を再定義し、金属鉱物採鉱促進事業団 (1969) の上・下部とも南薩層群上部におおむね包括されるが、必ずしも厳密には対応しないとした。宇都ほか (1997), 川辺ほか (2004), 川辺・阪口 (2005) は薩摩半島南部の新第三紀火山岩類を南薩火山岩類とし、さらに後期中新世に噴出した火山岩類を、宇都ほか (1997) は南薩火山岩類 (古期), 川辺ほか (2004) と川辺・阪口 (2005) は古期南薩火山岩類とした。またこれらの火山岩類は、宇井 (1967) の笠口層, 通商産業省資源エネルギー庁 (1985) の南薩層群下部層及び上部層にほぼ一致するとした。さらに川辺・阪口 (2005) は指宿市仮屋西方に分布し、これまで古期南薩火山岩類とされてきた斜方輝石単斜輝石安山岩溶岩流を仮屋溶岩として独立させた。筆者らは川辺・阪口 (2005) の層序が妥当と考え、彼らの層序に従う。

[本地域の模式的分布地] 指宿市下門北方鬼門平断層崖沿い

[分布] 指宿市下門北方から大迫西方までの鬼門平断層崖沿いと小田北方の山体

[層厚] 230 m

[岩相] 川辺・阪口 (2005) が指摘したように、本火山岩類は岩相変化が激しく、また熱水変質を受けている部分が多いため完全な層序区分は困難である。本稿では川辺・阪口 (2005) の岩相区分に従い、安山岩・デイサイト溶岩流を主体とする岩相 (No1) と凝灰角礫岩などの火砕岩・堆積岩を主体とする岩相 (No2) に分ける。安山岩・デイサイト溶岩流を主体とする岩相 (No1) は鬼門平の山体や小田北方の山体を作っている。ほとんどが熱水変質を受けて褐色になっているが、鬼門平ではプロピライト化し、全体的に灰色で変質した部分が緑色のパッチ状になっている岩体が見られる。凝灰角礫岩などの火砕岩・堆積岩を主体とする岩相 (No2) は大迫西方の山体を作っている。褐色~淡紫色で塊状の凝灰角礫岩が主体であるが、大部分が熱水変質を受けて固くなっている。仮屋西方の断層崖の中

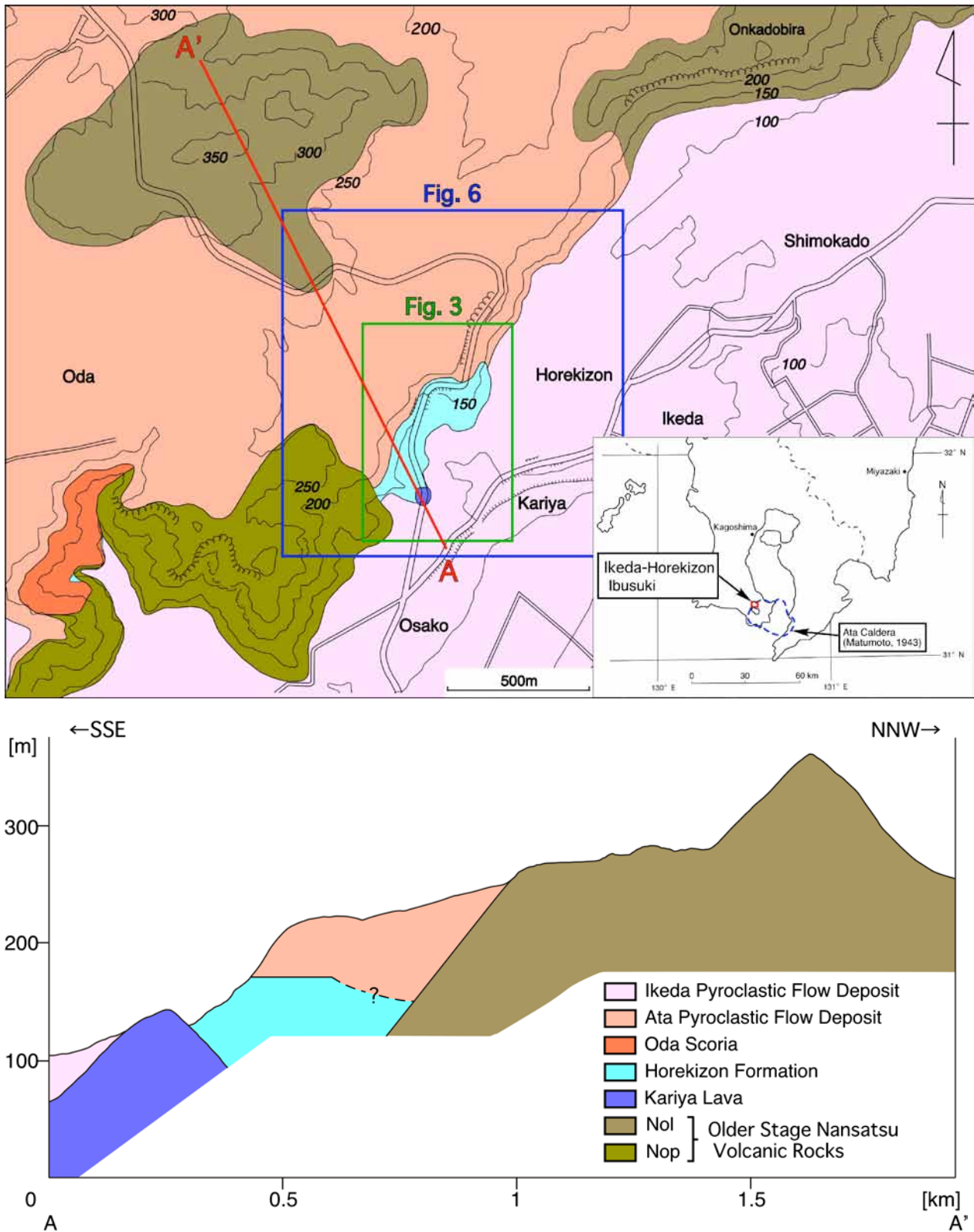
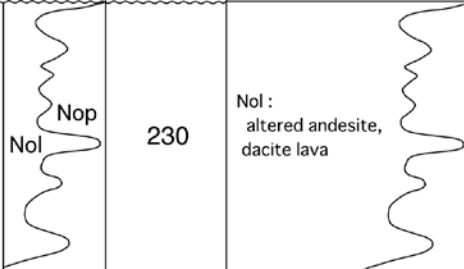


Fig. 1. Index map, geological map and section of the area studied.

図1. 調査地域の位置および地質と推定地質断面。

Table 1. Generalized stratigraphic sequence in Horekizon area, Ibusuki City.
表1. 指宿市堀切園の地質層序.

Age		Formation Name	Thick-ness (m)	Lithology	
Quaternary	Holocene	Ikeda Pyroclastic Flow Deposit	1.6	6 brown volcanic ash beds light brown non-welded tuff 3 light pink-brown volcanic ash beds clast-supported mineral clast beds	
		Koya Pyroclastic Flow Deposit	0.63	white non-welded tuff white pumice fall bed	
	Pleistocene	Ata Pyroclastic Flow Deposit	Upper	5.6	2 brown non-welded tuff
			Middle	16	3 grey-reddish grey welded tuff
			Lower	11	12 grey-reddish grey welded tuff
			Ata Pumice Fall	0.45	alternating beds of 2 white pumice falls and 2 dark volcanic ash beds
		Oda Scoria	12	massive black scoria and brown pumice bed with gravel beds and volcanic ash beds	
		Horekizon Formation	Upper	7.6	massive reddish brown tuffaceous sand alternating beds of brown pumice falls and grey volcanic ash beds massive reddish brown tuffaceous sand massive lapilli and pumice bed massive brown tuffaceous sand laminated brown tuffaceous sand
	Middle		35	sand-rich alternating beds of dark tuffaceous sand and mud with cross lamination	
	Lower		7.8	laminated brown tuffaceous sand massive brown tuffaceous sand with many andesite gravel laminated brown tuffaceous sand	
Kariya Lava	13	gray two-pyroxene andesite			
Neogene	Late Miocene~ Early Pliocene	Older Stage Nansatsu Volcanic Rocks	230	 Nol : altered andesite, dacite lava Nop : altered tuff breccia, lapilli tuff and tuffaceous siltstone	

腹から山頂、小田北方の山体の中腹では淡褐色の凝灰質泥岩が見られる。仮屋西方の断層崖の中腹では淘汰のよい均質な凝灰質塊状泥岩からなるが、山頂に向かうにつれてより固結した凝灰質層状泥岩にかわる。一方で、小田北方の山体の中腹ではこの凝灰質泥岩が凝灰質砂岩や凝灰質角礫岩と互層している。

[層位関係] 通商産業省資源エネルギー庁（1985）が穎娃町飯山で行った構造ボーリング56MANU-1（飯山）によると、川辺層群及び薩摩半島酸性岩体を不整合に覆っている。また本火山岩類と上位の熱水変質を受けていない仮屋溶岩以降の堆積物が直接接する露頭は確認されていない。

[年代] 太田（1966）は、本火山岩類に相当する鬼門平輝石安山岩のうち荷辛峠への登り道付近の成層した火山礫凝灰岩から新第三紀鮮新世から第四紀更新世を示す貝化石を報告した。また、通商産業省資源エネルギー庁（1985）は、本火山岩類に相当する南薩層群上部層から、 6.4 ± 0.3 Ma, 5.9 ± 0.8

Ma の K-Ar 年代値, 及び 6.16 ± 0.45 Ma のフィッシュン・トラック年代値を報告した。川辺・阪口 (2005) は, これらの報告から古期南薩火山岩類の年代を後期中新世から前期鮮新世としている。

2) 仮屋溶岩 (Kariya Lava)

太田 (1966) の鬼門平輝石安山岩の一部, 宇井 (1967) の笠口層の一部, 金属鉱物採鉱促進事業団 (1969) の南薩層群下部層の一部, 通商産業省資源エネルギー庁 (1985) の南薩層群上部層中の輝石 (角閃石) 安山岩溶岩 (Nupl3) の一部, 宇都ほか (1997) の南薩火山岩類 (古期) の一部, 川辺ほか (2004) の古期南薩火山岩類の一部, 川辺・阪口 (2005) の仮屋溶岩に相当する。川辺・阪口 (2005) は, 本岩が熱水変質を受けておらず, 新鮮であることから噴出年代を更新世とした。本稿では川辺・阪口 (2005) の報告が妥当と考え, 古期南薩火山岩類に含めず, 仮屋溶岩として報告する。

[模式地] 指宿市池田仮屋の大迫インターチェンジ上り口

[分布] 指宿市池田仮屋の大迫インターチェンジ上り口に限られる

[層厚] 13 m

[岩相] 斜長石の斑晶が大きい両輝石安山岩。熱水変質を受けておらず, 新鮮な岩体 (Fig. 2)。柱状節理が発達し, 岩体の縁辺部は一般に多孔質である。鏡下において斑状組織を示し, 斜長石と単斜輝石, 斜方輝石の斑晶の間を微細な短冊状の斜長石が埋める。

[層位関係] 模式地において上位の堀切園層に不整合で覆われる。本溶岩に似た巨礫が堀切園層下部に大量に含まれる。下位の層との関係は不明である。

[年代] 年代を示すデータはないが, 川辺・阪口 (2005) も指摘しているように, 周辺の古期南薩火山岩類と異なって熱水変質を全く受けておらず, 非常に新鮮で, 阿多火砕流堆積物との間に大きな時間間隙がないことから第四紀後期更新世の火山岩と考えられる。

3) 堀切園層 (Horekizon Formation)

指宿市池田堀切園の指宿スカイライン沿いに, 仮屋溶岩を不整合に覆い, 阿多火砕流堆積物に覆われる湖成層が分布する。川辺・阪口 (2005) も, 仮屋溶岩の上位の地層で阿多火砕流堆積物に覆われる湖成層を認識したが詳細な記載は行わなかった。本論では湖成層を「堀切園層」と命名し, 層相の違いから下部・中部・上部に分ける (Fig. 3)。分布は断片的で指宿スカイライン沿いの他にも, 小田の南方の鬼門平断層崖にも局所的に分布する。しかし小田の南方では層相が異なるため, 指宿スカイライン沿いに見られる下部・中部・上部のいずれにあたるかはわからない。層位関係から, この湖成層の年代は第四紀後期更新世と考えられる。

3-1) 堀切園層下部

[模式地] 鹿児島県指宿市池田仮屋

[分布] 指宿市池田仮屋の大迫インターチェンジ上り口

[層厚] 7.8 m

[層相] 安山岩の礫を大量に含む塊状の褐色砂礫層と, 層理の発達した褐色凝灰質砂層からなる。最下部の褐色凝灰質砂層には $N29^{\circ}W$ で西へ傾斜したスランプ構造が認められる。安山岩礫の円磨度は0.5, 淘汰度は中程度, 含有率は場所によって異なるが, 多いところで50%である。長径の平均は約15 cm, 最大は70 cmである。その他にシルト岩 (最大22 cm) や軽石 (最大15 cm, 白, 灰色, 橙色), 珪化岩 (橙色) も少量含まれる (Fig. 3の①)。

[層位関係] 仮屋溶岩を不整合に覆う。層位学的に堀切園層中部に覆われると考えられるが, 両者が連



Fig. 2. Exposure of the Kariya Lava.

図2. 仮屋溶岩の露頭。

続いて累重する露頭はない。

3-2) 堀切園層中部

[模式地] 鹿児島県指宿市池田堀切園西方の鬼門平断層崖

[分布] 指宿市池田堀切園西方の鬼門平断層崖中部

[層厚] 35 m

[層相] 砂優勢の層状黑色凝灰質砂泥互層からなる。砂層部は中粒砂～極粗粒砂からなり、斜交葉理が発達する (Fig. 4・Fig. 5)。斜交葉理から判断される古流向は層準によって異なる。1つの砂層の層厚は平均25 cmほどで、その間に約2 cmの泥層が挟まれる。側方に連続しないレンズ状に堆積した礫層 (極粗粒砂～中礫) や軽石層 (赤褐色～白色) も見られる。そのほか赤褐色～白色の発泡の良い軽石 (1～12 cm) や泥岩 (4 cm)、火山岩片 (10 cm)、発泡の悪い黑色スコリア (9～6 cm) をランダムに少量含む。標高145 mほどの露頭では、層厚15 cmの角礫層と層厚10 cmの淡褐色凝灰質シルト層を挟む。角礫層は安山岩の礫からなり、礫の長径は平均15 cm、最大20 cmである (Fig. 3の②・③・⑤)。

[層位関係] 下位の堀切園層下部を覆うと考えられるが、両者が直接接している露頭はない。上位の堀切園層上部に整合関係で覆われる (Fig. 3の③)。

3-3) 堀切園層上部

[模式地] 鹿児島県指宿市池田堀切園西方の鬼門平断層崖

[分布] 指宿市池田堀切園西方の鬼門平断層崖中部

[層厚] 7.6 m

[層相] 下位から、複数の薄い軽石層を挟在する層状褐色凝灰質砂層、塊状褐色凝灰質砂層、塊状火山礫・軽石層、塊状赤褐色凝灰質砂層、層状軽石火山灰互層、塊状赤褐色凝灰質砂層からなる (Fig. 3の③・④)。

最下位の層状褐色凝灰質砂層は、極細粒～細粒砂の基質中に軽石層が10枚挟在する。軽石層は下位から軽石 (1～3 cm、白・赤褐色) と黑色スコリアからなるものが4枚、細粒な白色軽石 (1 cm以下) からなるものが6枚である。最上部には2～5 mmの礫の集積する層も挟む。塊状褐色凝灰質砂層は、細粒砂の基質中に1 cm以下の軽石 (白色・赤褐色) や黑色火山岩片がランダムに少量含まれる。塊状火山礫・軽石層は黑色火山岩片と褐色の軽石が混在し、全体として無層理であ

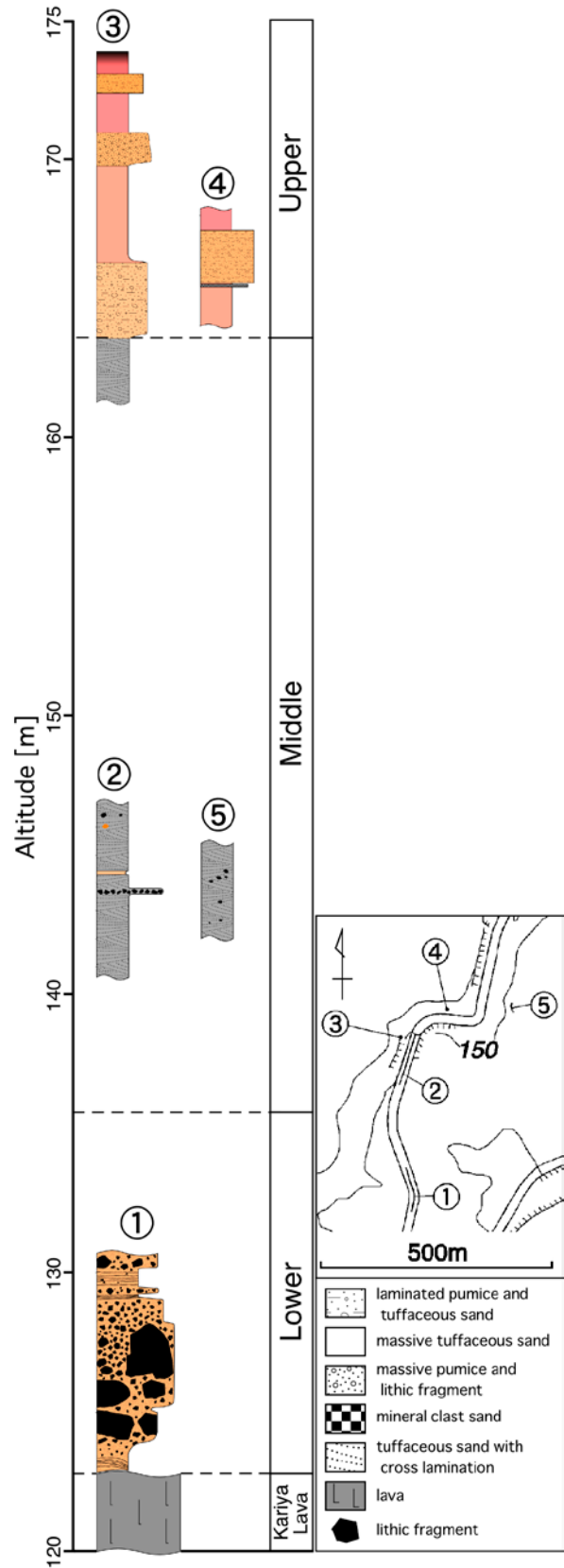


Fig. 3. Columnar section of the Horekizon Formation.
図3. 堀切園層の柱状図。

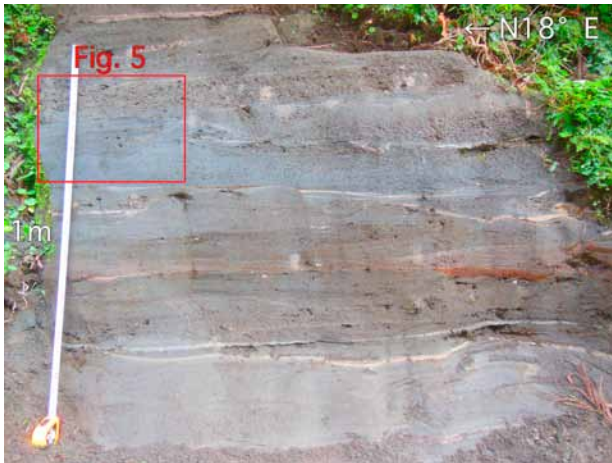


Fig. 4. Exposure of the middle Horekizon Formation.
図4. 堀切園層中部の露頭写真 (Fig. 3の②).



Fig. 5. Scour-and-fill structure in the middle Horekizon Formation.

図5. 堀切園層中部に見られるスコアーアンドフィル構造 (Fig. 3の②).

るが、最下部約10 cmのみ火山岩片 (2 cm以下) と軽石が互層をなしている。含まれる軽石は潰されており、周りの火山岩片や軽石と固着している。露頭によってはこの層の下位に鈹物粒に富む砂層がある (Fig. 3の④)。塊状赤褐色凝灰質砂層は細粒砂の基質中に2 mmほどの白色軽石が点在している。1 cmの火山岩片もわずかに含まれる。最上部のみ成層しており、1 cm以下の岩片が集積した層やフレイム構造の発達する灰色凝灰砂層も見られる。層状軽石火山灰互層は褐色軽石層と灰色火山灰層が互層をなしている。各層とも淘汰は良い。軽石は1 cm以下で白～褐色である。塊状赤褐色凝灰質砂層は、細粒砂の基質中に1 cm以下の白色軽石が点在している。上位へ向かって古土壌化し、黒色を呈している。古土壌化した部分には炭質物が含まれる。

[化石] 塊状赤褐色凝灰質砂層から淡水性の珪藻化石が産出したが、保存状態が悪かったため同定することはできなかった。

[層位関係] 下位の堀切園層中部を整合関係で覆い、最上部は古土壌化して上位の阿多火砕流堆積物に覆われる (Fig. 3の③, Fig. 6の④)。

3-4) 小田南方の鬼門平断層崖に分布する堀切園層

[模式地] 鹿児島県指宿市池田小田南方の鬼門平断層崖

[分布] 指宿市池田小田南方の鬼門平断層崖下部の沢沿い

[層厚] 13.3 m

[層相] 模式地の標高150 mほどにある滝周辺において、層相の違いにより下部と上部に分けられる。

下部は成層した黒色凝灰質砂礫互層で、極細粒砂～細礫からなる基質中に南薩火山岩類 (Nop) の褐色角礫 (中礫～大礫) が含まれる。全体的に淘汰は悪く、層厚は3.9 mに及ぶ。上部は無層理の黄褐色凝灰質砂礫層からなり、極細粒砂の基質中に大小さまざまな礫がランダムに含まれる。大礫～巨礫からなり、長径20～30 cmの大礫が多く、最大長径は110 cmである。礫の含有率は50%以上で、淘汰は悪い。礫の岩種は南薩火山岩類 (Nop) や安山岩である。層厚は9.4 mで、下部との境界に浸食面は見られない。

[層位関係] 前述した滝の西側の露頭において、古期南薩火山岩類 (Nop) を不整合に覆っている。この滝の上部には、後述する小田スコリアが露出しているため、本層は小田スコリアに覆われていると考えられるが、境界付近は急崖になっているため確認できない。

4) 小田スコリア

指宿市小田南方の鬼門平断層崖において、堀切園層を覆い、阿多火砕流堆積物に覆われると考えられるスコリア層が分布している。これに対比されるスコリア層の報告はないが、川辺・阪口 (2005) の大野岳

火山の記載の中に、小林哲夫氏の私信に基づいて「鬼門平断層崖に露出する阿多火砕流堆積物の下に玄武岩降下スコリアがある」との記述がある。今回見つかったスコリア層がこのスコリア層に対比されるかはわからないため、本稿では仮に「小田スコリア」として報告する。

[模式地] 鹿児島県指宿市小田南方の鬼門平断層崖

[分布] 指宿市小田南方の鬼門平断層崖下部から中部

[層厚] 12 m

[岩相] 最大長径14 cm, 平均長径約5 cm の黒色スコリアを主体とする塊状降下スコリア層。粒子支持で、軽石を伴うことが多く、スコリアよりも軽石の方が多くなることもある。層厚10~40 cm の礫層や火山灰層が数枚挟在する。礫層には10~20 cm ほどの黒色火山岩や風化した褐色火山岩、古期南薩火山岩類 (Nop) の角礫が含まれる。

[層位関係] 下位の堀切園層を覆うと考えられるが、その境界付近は急崖になっているため観察できない。層位的に阿多火砕流堆積物に覆われると考えられるが、両者が直接重なっている露頭はない。

[年代] 年代を示すデータはないが、層位的に第四紀後期更新世と考えられる。

5) 阿多火砕流堆積物 (Ata Pyroclastic Flow Deposit)

本地域における阿多火砕流堆積物は1つの降下軽石層と3つの火砕流堆積物からなる。下位から、阿多降下軽石堆積物、阿多火砕流堆積物下部、阿多火砕流堆積物中部、阿多火砕流堆積物上部の4つである。阿多火砕流堆積物の下部と中部は溶結しているが、上部は非溶結である。下部と中部の間は約12 m にわたって露頭がないため、両者の関係は不明である。

阿多火砕流堆積物の各個柱状図とその位置を Fig. 6 に示す。阿多火砕流堆積物下部の分布高度は全体的に南西から北東へ向かって緩く下がっている。堀切園のルートにおいて、南側の地点 (Fig. 6 の④) では阿多降下軽石堆積物を直接覆う阿多火砕流堆積物下部の非溶結部の層厚が1 cm 未満であるに対し、北側の非溶結部 (Fig. 6 の⑩・⑫) の分布高度は南側の地点に比べて約8 m 低く、下部の非溶結部の層厚も5 m 以上に達する。

溶結部は鏡下において、火山ガラスからなる基質中に、双晶や累帯構造の見られる自形~半自形の斜長石の斑晶 (0.1 mm 以下~1 mm) が多く見られ、単斜輝石や斜方輝石の小さな斑晶 (0.1 mm 以下~0.5 mm) も見られる。

阿多火砕流堆積物下部・中部・上部には、礫が集積する層が複数挟在する。この層に含まれる礫は角礫が多く、礫同士の間を非溶結の火砕流堆積物が埋めている。また礫自体が火砕流の中に取り込まれていたり、下位の溶結部を削り込んでいたりするため、層厚が側方に変化する。これらの特徴から、礫集積層は火砕流の1つのフローユニットの最下部にあたる岩相であると考えられる。Suzuki-Kamata (1988) は阿多火砕流堆積物の基底部分に見られるグラウンドレイヤー (Walker *et al.* 1981) を詳細に記載した。今回見つかった礫集積層もこのグラウンドレイヤーと考えられるため、以下この礫集積層をグラウンドレイヤーとして記載する。グラウンドレイヤーは一つのフローユニットの最下部の岩相と考えられ、複数のグラウンドレイヤーが挟在する露頭ではフローユニットの数とそれぞれの層厚をはかることができる。

年代は、阿多テフラの介在する海底コアに含まれる浮遊性有孔虫の殻の酸素・炭素同位体比カーブからもとめた約103~107 ka (大場, 1991), 大根占町神之川大滝の阿多火砕流から得られた FT 年代100±27 ka (壇原, 1995), 穎娃町の2露頭から採取した本質岩片から得られた K-Ar 年代108±3 ka (松本・宇井, 1997) などが報告されている。町田・新井 (2003) はこれらの年代から、阿多火砕流の噴火は105~110 ka に起こったと考えている。

鈴木ほか (1985) によると、荒牧 (1964) の重久火砕流堆積物、太田 (1967) の蒲生軽石流、大木・早坂 (1973) の夏井火砕流などに対比される。

5-1) 阿多降下軽石堆積物

荒牧・宇井 (1966) の「降下軽石堆積物」、Ui (1971) の「阿多 I 降下軽石」、Nagaoka (1988) の「阿多降下軽石堆積物」に対比されると考えられる。本論では阿多降下軽石堆積物として報告する。

[分布] 指宿市池田堀切園北西の鬼門平断層崖中部

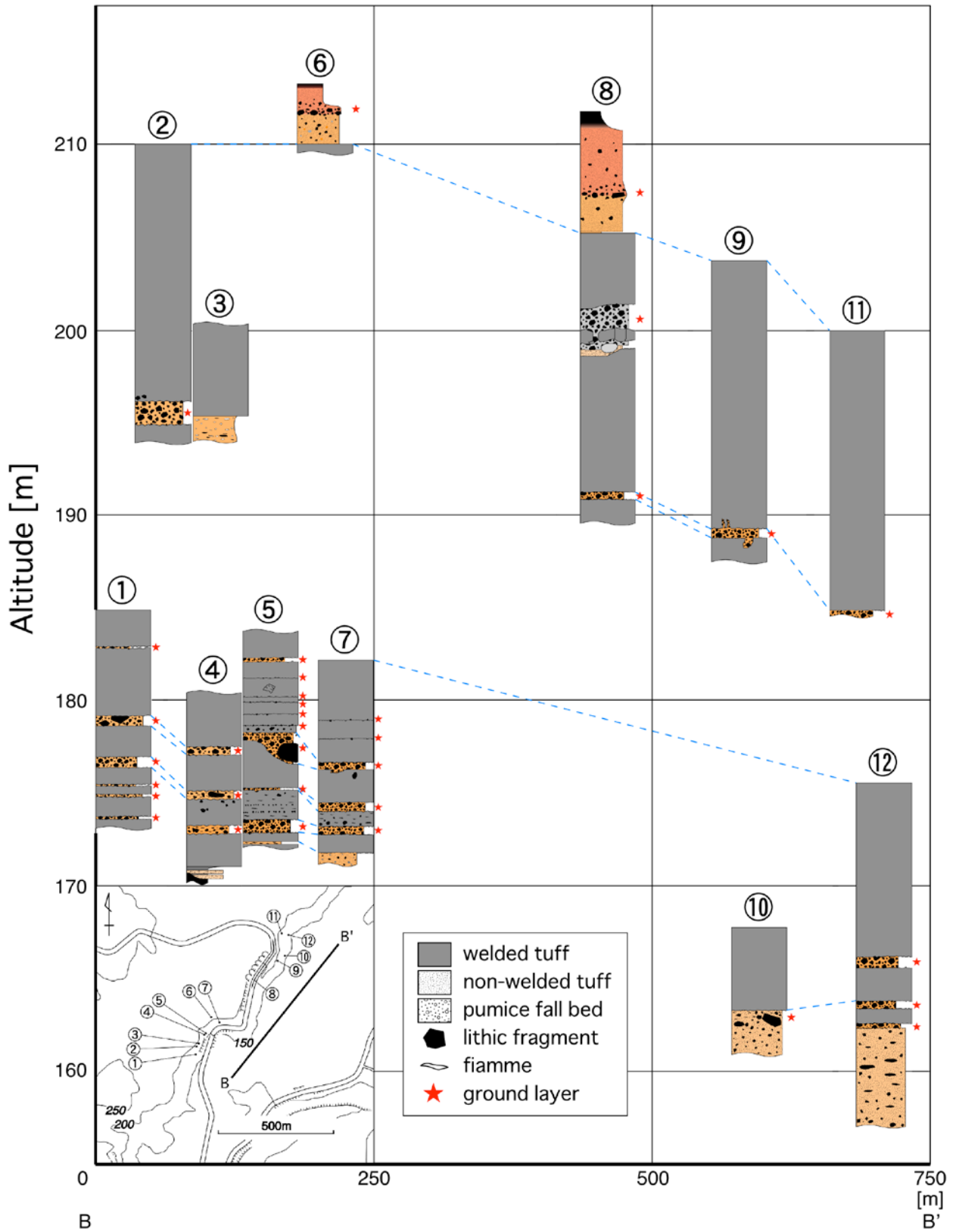


Fig. 6. Columnar section of the Ata pyroclastic flow deposit and locality map.
 図6. 阿多火砕流堆積物の柱状図と位置図.

[層厚] 45 cm

[岩相] 2枚の降下軽石と2枚の黒色火山灰の互層からなる (Fig. 7)。降下軽石層 (Ata Pfa) は5 cm以下の白色軽石からなり、塊状。層厚は20 cm。軽石は発泡が悪く、少量の鉱物を含み、中程度に淘汰されている。5 cm以下の火山岩片 (円磨度0.4程度) も含まれ、下位の軽石層ほど多く、大きいものが含まれる。黒色火山灰層は層厚が下位のもので1~5 cm, 上位のもので15 cmである。粗粒な岩片と鉱物を主体とするが、3 mmほどの軽石片や6 cm以下の黒色火山岩片 (円磨度0.2~0.3) も含み、下位ほど多い。

[層位関係] 古土壌化した堀切園層を不整合関係で覆い、阿多火砕流堆積物下部 (Ata Pfl Lower) に覆われる (Fig. 6の④, Fig. 7)。

5-2) 阿多火砕流堆積物下部

[分布] 指宿市池田堀切園北西の鬼門平断層崖上部

[層厚] 11 m

[岩相] 強溶結で節理が発達する灰色~赤灰色溶結凝灰岩。ユータキシティック構造が顕著で、大きなフィアメや異質岩片を多く含む。挟在するグラウンドレイヤーは側方変化が激しく、露頭によって数が異なるが (Fig. 8) もっとも多い露頭 (Fig. 6の⑤) では9枚挟まれる。そこでは最下位のフローユニットの下部は露出しておらず、また下部に非溶結部も挟むため、フローユニットは12枚が識別される。1つのフローユニットの層厚の最大値は9.4 m, 最小値は30 cmで平均値は1.6 mである。9枚のグラウンドレイヤーのうち層厚が30 cmを超えるものが3枚認められる。層厚が薄いものは層厚1~2 cmほどで、礫が少量しか含まれないため、側方へ消滅することがある。グラウンドレイヤーは仮屋溶岩に似た安山岩の礫からなり、その間を非~弱溶結の火山灰が埋め、ユータキシティック構造が発達している場合もある。礫の大きさはグラウンドレイヤーごとに様々であるが、平均は20 cmほどで、最大は130 cmに及ぶ (Fig. 9)。礫の淘汰は悪く、円磨度は約0.3~0.5, 含有率は約30~50%である。最下部の非溶結部の層厚は、前述のように堀切園ルート南側の露頭では1 cm未満であるが北側の露頭では5 m以上である。

[層位関係] 阿多降下軽石堆積物を整合で覆う。上位の阿多火砕流堆積物中部に層位的に覆われると考えられるが、漸移部は欠如して見ることができない。

5-3) 阿多火砕流堆積物中部

[分布] 指宿市池田堀切園北西の鬼門平断層崖上部

[層厚] 16 m

[岩相] 強溶結で節理が発達する灰色~赤灰色溶結凝灰岩。ユータキシティック構造が顕著で、大きなフィアメや異質岩片を多く含む。挟在するグラウンドレイヤーは2枚認められる (Fig. 6の⑧)。側方変化が著しく、露頭によっては1枚しか認められない。1つのフローユニットの層厚の最大値は14.5 m, 最小値は3.9 cmで平均値は10.9 mである。2枚のグラウンドレイヤーはともに層厚30 cmを超える。下位のグラウンドレイヤーは仮屋溶岩に似た安山岩の礫からなり、その間を弱溶結の凝灰岩が埋めている。礫の大きさは露頭によって異なるが、平均は20 cmほどで、淘汰は悪く、円磨度は0.4, 含有率は40%である。またグラウンドレイヤーの礫が上位の溶結部に約3 m貫入している部分も2ヶ所見られる (Fig. 10)。上位のグラウンドレイヤーは標高200 m付近の指宿スカイラインの道路両脇

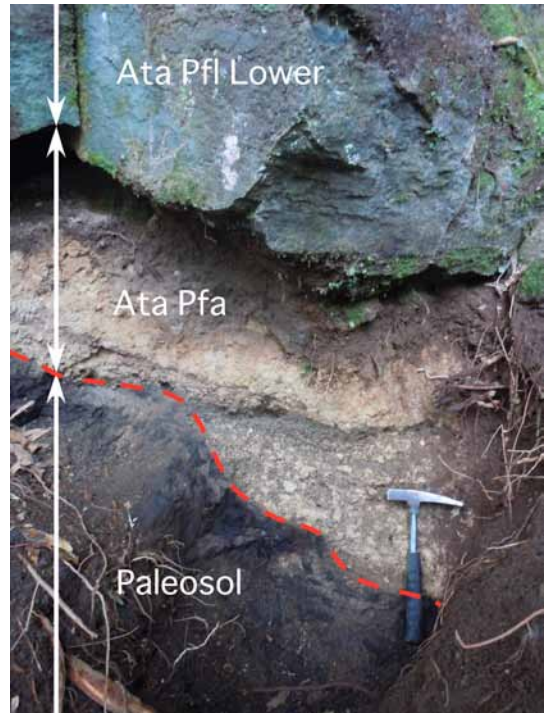


Fig. 7. Exposure showing relationship between the Horekizon Formation and the Ata Pyroclastic Flow Deposit.

図7. 堀切園層と阿多火砕流堆積物との関係を示す露頭 (Fig. 6の④)。



Fig. 8. Exposure showing relationships between the welded tuff and its ground layer (Locality 7).

図8. 阿多火砕流下部の溶結凝灰岩とグラウンドレイヤーの関係を示す露頭 (Fig. 7の⑦).



Fig. 9. Boulder, 110 cm in diameter in the non-welded part of the lower Ata Pyroclastic Flow Deposit (Locality 10).

図9. 阿多火砕流堆積物非溶結部に含まれる巨礫 (直径110 cm ; Fig. 7の⑩).

で見られる (Fig. 6の⑧)。火山岩、花崗岩、泥岩、溶結凝灰岩の角礫～円礫を含み、軽石層も挟在している。このグラウンドレイヤーを挟む阿多火砕流はいくつもの一次的な断層で切られているように見え、グラウンドレイヤーを含む火砕流堆積物全体の構造がはっきりしない。

[層位関係] 下位の阿多火砕流堆積物下部との間には約12 m にわたって露頭がないため、両者の関係は不明である。5 cm ほどの薄い粘土層を挟んで、阿多火砕流堆積物上部に整合関係で覆われる。

5-4) 阿多火砕流堆積物上部

[分布] 指宿市池田堀切園北西の鬼門平断層崖上部

[層厚] 5.6 m

[岩相] 非溶結で2枚のフローユニットからなり、層厚は下位が2 m、上位が3.6 mである。上位のフローユニットの基底部にグラウンドレイヤーが見られる。フローユニットで鉱物組成が異なり、どちらも斜長石と斜方輝石が主体であるが、下位には黒雲母が、上位には単斜輝石と角閃石が少量含まれる。グラウンドレイヤー本体に含まれる礫の種類は安山岩が多く、稀に溶結凝灰岩、花崗岩を含む。岩片の長径の長さの平均は約30 cm、最大は70 cmで、円磨度は0.5、淘汰度は中程度である。

[層位関係] 薄い粘土層を挟んで阿多火砕流堆積物中部を覆い、古土壌化した最上部を幸屋火砕流堆積物に覆われる (Fig. 6の⑥・⑧)。

6) 幸屋火砕流堆積物 (Koya Pyroclastic Flow Deposit)

幸屋火砕流堆積物は、縄文中期 (約7,300暦年代) に、薩摩半島の南方に位置する鬼界カルデラの噴火に伴って噴出した火砕流堆積物と報告され、この時の火山灰層は鬼界アカホヤ火山灰と呼ばれて東北地域でも分布が確認されている (町田・新井, 2003)。

[模式地] 指宿市幸屋 (宇井, 1967)

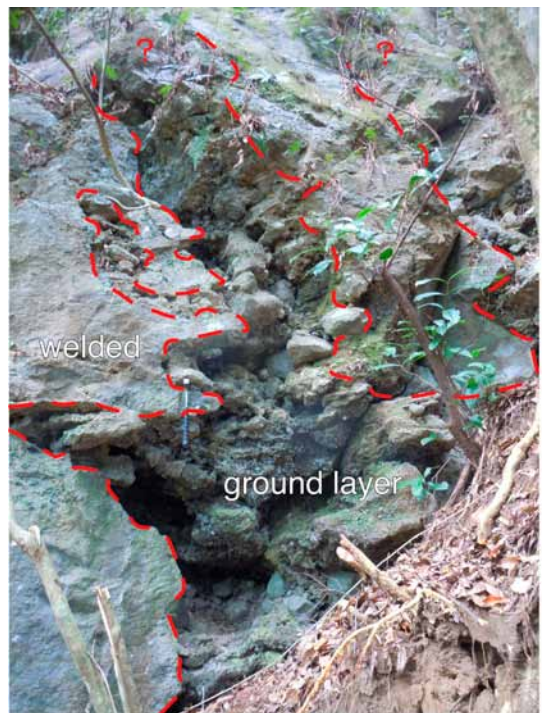


Fig. 10. Exposure showing relationships between welded tuff and ground layer.

図10. 溶結部に貫入したグラウンドレイヤー。

[分布] 調査地域のほぼ全域に分布

[層厚] 0.6 m

[岩相] 幸屋火砕流堆積物は、下位より降下軽石、火砕流堆積物からなる。いずれも斜方輝石に富み、単斜輝石と石英も含む。火山ガラスはバブルウォール型と軽石型の両方を含み、層全体として白色を呈する。幸屋降下軽石は主に粗粒砂サイズの発泡の良い白色軽石からなる。1~3 cmほどの軽石や鉱物粒も含まれており、粒子支持のため崩れやすい。火砕流堆積物は極細粒な火山ガラスを主体とし、1~9 cmほどの発泡のよい軽石を全体の20%ほど含む。淘汰は中程度である。

[層位関係] 古土壌化した阿多火砕流堆積物上部を不整合に覆い、池田火砕流堆積物に不整合で覆われる。

[年代] 奥野(2002)はこれまでの炭素14年代値の報告に加え、福井県水月湖の年縞堆積物からもとめられた炭素14年代値7.3 cal ka BP (Kitagawa *et al.*, 1995)と年縞の計数によってもとめた年代値7,280 cal. yBP (福沢, 1995)をもとに、噴出年代は7.3 cal ka BPであると報告している。

7) 池田火砕流堆積物 (Ikeda Pyroclastic Flow Deposit)

[模式地] 指宿市山川町(町田・新井, 2003)

[分布] 調査地域のほぼ全域に分布

[層厚] 1.6 m

[岩相] 池田火砕流堆積物は下部に1枚の火砕流堆積物を挟む複数の火山灰層からなる。火砕流堆積物より下位の火山灰層は粒子支持の鉱物粒を主体とする極粗粒砂サイズの薄い火山灰層と、それに重なる薄成層した3枚の火山灰層からなる。火砕流堆積物は細粒な火山灰と1 cmほどの発泡のよい軽石を少量含む淡褐色火砕流堆積物である。火砕流堆積物より上位には6枚の火山灰層が重なり、粗粒化と細粒化を繰り返す。火砕流堆積物から2つ目の火山灰層には3 mmほどの黒色岩片が含まれる。全層準を通じて鉱物組み合わせは似ており、石英と斜長石を主体とし、角閃石、斜方輝石、磁鉄鉱を普通に含み、まれに黒雲母も含む。

[層位関係] 古土壌化した幸屋火砕流堆積物を覆う。本火砕流堆積物の最上部は土壌化している。

[年代] 奥野ほか(1996)は池田火砕流堆積物中の炭化木片2試料、池田湖テフラ直下の腐食土壌4試料から放射性炭素年代値を報告し、平均値として 5640 ± 30 yBPを報告している。

4. 阿多火砕流堆積物中部のグラウンドレイヤーの礫種組成分析

阿多火砕流堆積物中部に挟在する上位のグラウンドレイヤーから200個の礫を採取し、その礫種組成分析を行った。結果は、安山岩(42%)と阿多溶結凝灰岩(35%)が全体の4分の3を占め、残りを花崗岩(8%)や軽石(3%)、礫岩(2%)、黒曜石(2%)、シルト岩(1%)、その他(7%)が占めた(Fig. 11)。最大長径はシルト岩90 cmであったが、ほかの礫の長径と比べて突出した値であったため、このシルト岩を除いて礫の最大長径と平均長径を求めると、それぞれ20 cm, 6.76 cmであった。礫の平均円磨度は0.38であり、円磨度0.1~0.4の礫が全体の75%を占めた。このことから、このグラウンドレイヤーに含まれている礫は角礫~亜角礫が多いことがわかる。比較として、このグラウンドレイヤーの一つ下位のグラウンドレイヤーからも礫を100個採取し、同様に礫種組成分析を行ったが、含まれていた礫は全て安山岩であった。

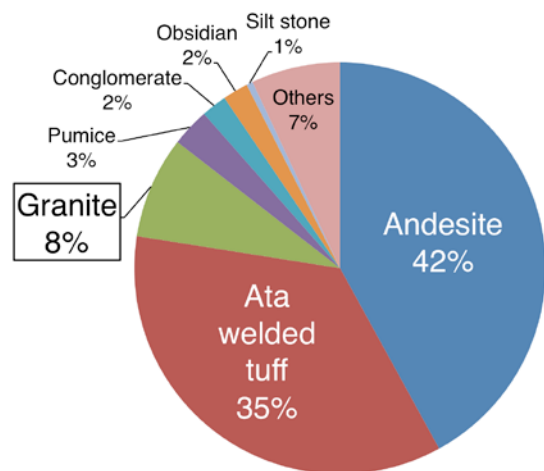


Fig. 11. Composition of lithic clasts in ground layers of the Ata pyroclastic flow deposit.

図11. 阿多火砕流堆積物中のグラウンドレイヤーの礫種組成。

5. 考察

1) 堀切園層の堆積環境

堀切園層の存在から、阿多火砕流の噴火以前にカルデラの陥没地形は存在せず、現在のカルデラ壁にあたる堀切園付近に湖沼が広がっていたことは間違いない。しかし調査地域の北西部さらにその北方には古期南薩火山岩類が山体を形成しており (Fig. 1)、堀切園層を堆積させた湖沼が北西方へ広がっていたとは考えられない。また現在の地形では、北東—南西方向に延びるカルデラ壁より南東側はカルデラ内に相当し、堀切園層の分布の南限は知る由もないが、この地域に湖沼が出現するためには、湖水域の南東側に山体のような地形的高まりの存在が必要である。阿多火砕流の噴出以前には、この地域の南東側にも山体が存在し、その北麓に湖が広がっていたと考えられる。

堀切園層は全体的に凝灰質砂層で軽石や火山岩片を豊富に含むことから、当時この湖沼の近くでは活発な火山活動があったと考えられる。また、堀切園層下部は、凝灰質砂層中に仮屋溶岩と考えられる安山岩の巨礫を多く含んでおり、仮屋溶岩と同時期の火山岩が、堀切園層を堆積させた当時の湖沼面より高い、南側の山体の北斜面に露出していたことが推定される。本層には細粒堆積物がほとんど見られず、中部には斜交層理が発達すること、上部では保存の悪い珪藻化石がわずかに認められるものの、下部・中部からは珪藻化石が産出しなかったことなどを考え合わせると、当時の湖沼周辺地域から火山性碎屑物が河川より流れ込み、急速に湖沼が埋積されたと考えられる。

堀切園層上部は斜交層理を伴わない塊状凝灰質砂層からなるが、特徴的に軽石層や火山岩片が混じる軽石層を頻繁に挟在する。珪藻化石はこの軽石層から産出したが、当時の水の流れは下部や中部よりも弱かったと考えられる。

堀切園層の最上部は古土壌化して阿多火砕流堆積物に覆われることから、阿多火砕流の堆積前に湖沼は陸化していたことを示している。堀切園層を堆積させた湖沼が存在した年代と阿多火砕流噴出年代の差はわからないが、古土壌の存在、両者の腑存状態から時間間隙は大きくないと考える。

しかし堀切園のルート^⑩の北側の地点 (Fig. 6の⑩・⑫) では、南側の地点 (Fig. 3) の堀切園層が分布する標高より低い位置で阿多火砕流下部の非溶結部が厚く分布している。このことは堀切園層が陸化後に浸食された、あるいは北側が断層で落ちたことを示している。

2) 阿多火砕流堆積物の層相

2-1. 阿多火砕流堆積物のグラウンドレイヤー

本調査地では、阿多火砕流堆積物下部・中部・上部に合計12枚のグラウンドレイヤーが挟在する。Suzuki-Kamata (1988) は阿多火砕流の基底部分に見られるグラウンドレイヤーを、鹿児島県本土の72ヶ所の露頭において記載したが、本調査地で見られるような阿多火砕流に挟在するグラウンドレイヤーはこれまで報告されていない。Suzuki-Kamata (1988) によれば、阿多火砕流の基底部分のグラウンドレイヤーはおもにカルデラの西側と北側に分布し、東側にはほとんど分布しない。その理由として、火道の東側に湖もしくは海湾が存在したことを推論した。またグラウンドレイヤーに含まれる、最も大きい3つの石質岩片の平均最大直径 (ML) は最大25 cmで、一般に噴出源から離れるにつれて小さくなるが、北西の末端地域では局所的な増加も見られると報告した (Fig. 12)。今回見つかったグラウンドレイヤーを伴う阿多火砕流堆積物の露頭も Suzuki-Kamata (1988) が示した噴出源の西側に位置するが、本調査地において最も大きい3つの石質岩片の平均最大直径 (ML) は108 cmである。Suzuki-Kamata (1988) の報告したグラウンドレイヤーが今回見つかった12枚のグラウンドレイヤーの内のどれに相当するのか、また Suzuki-Kamata (1988) が72ヶ所の露頭において同一のグラウンドレイヤーを観察しているのかわからないため、比較することは適当でないかもしれないが、本調査地の石質岩片の平均最大直径 (ML) は、Suzuki-Kamata (1988) が示した他地域のそれに比べて極めて大きく、阿多火砕流噴出源により近いことが示唆される。

阿多火砕流中部の下位のグラウンドレイヤーには、上位の溶結部に貫入した部分も見られた。露頭の観察から、これは上位の火砕流本体の荷重によってグラウンドレイヤー中の礫が貫入したと考えられるが、

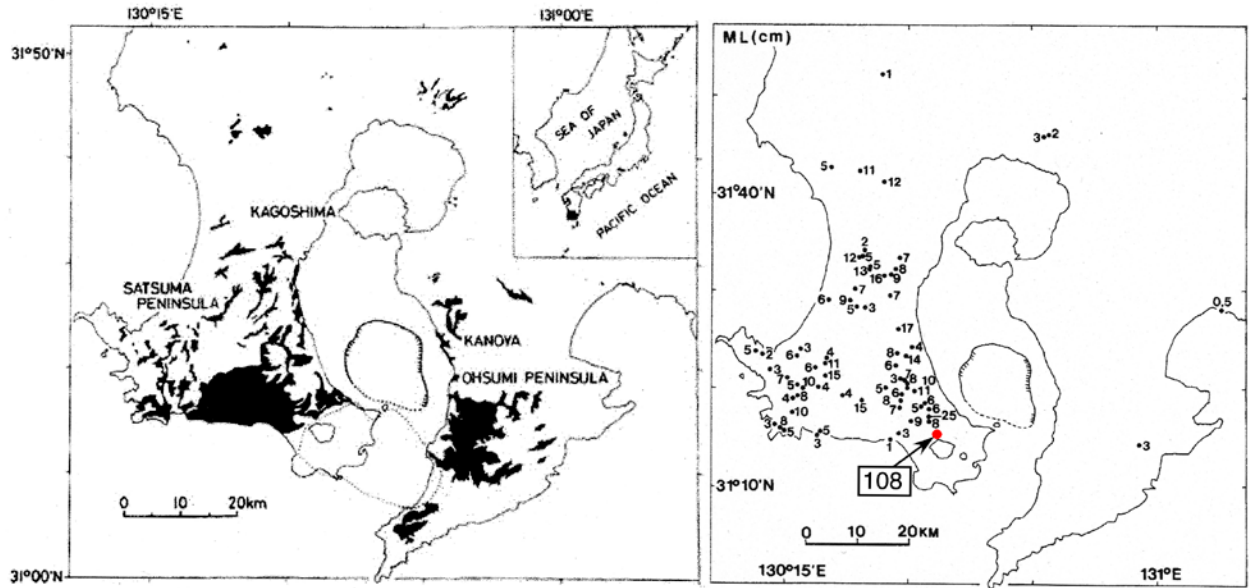


Fig. 12. Distribution of the Ata Pyroclastic Flow Deposit in the southern part of Kyushu (left; Suzuki and Ui, 1981) and maximum size (cm) of lithic clasts in the ground layer (right; Suzuki-Kamata, 1988; red circle is maximum size in this study).

図12. 南九州における阿多火砕流堆積物の分布（左：鈴木・宇井，1981）とグラウンドレイヤー中の礫の平均最大値 ML（右：Suzuki-Kamata, 1988；赤円は本研究の最大値）。

確かなことは今後の研究を待ちたい。この構造はグラウンドレイヤーの形成メカニズムを考える上で重要である。

阿多火砕流中部の上位のグラウンドレイヤーには、阿多火砕流堆積物の溶結凝灰岩の礫が多く含まれる。この事実は、これらのグラウンドレイヤーが形成された噴火の際には、これより下位の阿多火砕流堆積物がすでに溶結していたことを示しており、下位の阿多火砕流の噴火とは時間的な間隙があったと考えられる。

2.2. 阿多火砕流堆積物の噴火プロセス

阿多火砕流堆積物下部・中部・上部に挟在するグラウンドレイヤーによって全17枚のフローユニットを識別することができた。今回の調査結果から明らかになった阿多火砕流堆積物の層序は、降下軽石（45 cm）→12枚のフローユニットからなる溶結した火砕流（>11 m）→3枚のフローユニットからなる溶結した火砕流（>16 m）→2枚のフローユニットからなる非溶結の火砕流（5.6 m）である。これにより阿多火砕流の噴火は、プリニー式噴火→12回の小・中規模火砕流噴火→3回の大規模火砕流噴火→2回の小規模火砕流噴火と推移していったと考えられる。ただし、グラウンドレイヤーを伴わないフローユニットも存在する可能性があり、火砕流噴火の回数は増える可能性がある。

荒牧・宇井（1966）は薩摩・大隅両半島を調査し、阿多カルデラの生成に直接関係した火山活動の層序が最も完全に近い状態で観察されるとした大隅半島根占地域の層序を報告した。層序の概要は、降下軽石堆積物（3～10 m）→数枚以上の非溶結の火砕流と軽石層の互層（30 m）→間に弱溶結を挟む2枚の溶結した火砕流（20 m, 複数のフローユニットからなる）→弱～非溶結の火砕流（30 m 以上?）である。

Ui（1971）は大隅半島大根占地域を調査し、阿多火砕流の層位学的ユニットを報告した。層序の概要は、降下軽石（5 m）→多くのフローユニットからなる非溶結の火砕流（60 m）→降下軽石→降下火山灰（1～10 m）→多くのフローユニットからなる非溶結の火砕流（層厚は上位の強溶結部と合わせて30～120 m, 一つのフローユニットの層厚は5～10 m）→多くのフローユニットからなる強溶結の火砕流（20 m）→多くのフローユニットからなる非溶結の火砕流（<3 m）である。

Nagaoka (1988) は薩摩・大隅両半島を調査し、阿多噴火サイクル以前のテフラ層から阿多噴火サイクル中のテフラ層までを詳細に記載した。阿多噴火サイクル中の層序の概要は、降下火山灰 (7.5 m) → 降下軽石 (>8 m) → 降下火山灰 (4 m) → 降下軽石 (3.4 m) → 単一のフローユニットからなる非溶結の火砕流 (50~60 m) → 部分的に溶結した12枚のフローユニットからなる火砕流 (15 m, 単一のフローユニットは0.5~2 m) → 2, 3枚のクーリングユニットからなる強溶結の火砕流 (15~50 m, 最上部は層厚15 m以下の非溶結) → 降下火山灰 (2 m, おそらく下位の火砕流に伴う co-ignimbrite ash fall deposit) である。しかしこの層序はおもに大隅半島の大根占地域の層序であり、本調査地と同じ薩摩半島の矢越地域での模式的層序は、降下軽石→非溶結の火砕流→溶結した火砕流と報告している。

上に示した3つの先行研究と本調査地域における阿多火砕流堆積物の層序を Table. 2に示す。この表における各研究者間の層序の区分は必ずしも一致しているわけではない。調査地域や噴出源からの距離、方角、当時の地形が異なるために層序や層厚が一致しないのは当然である。しかし阿多火砕流の噴火がプリニー式噴火から始まり、複数回の小規模火砕流噴火→数回の大規模火砕流噴火→小規模火砕流噴火と推移したという噴火過程はおおよそ共通している。今後、各地域間における詳細な層序の対比が行われ、阿多火砕流の噴火過程と噴出物の広がりが見事に明らかになることが望まれる。

3) 阿多火砕流の噴出源

Matumoto (1943) は西を薩摩半島南部の鬼門平断層崖、東を大隅半島南部の辻岳に囲まれる地域を「阿多カルデラ」と名付け、阿多火砕流の噴出源とした。その後、九州南部の重力異常 (横山・青田, 1964)、阿多火砕流中の異質岩片の種類 (荒牧・宇井, 1966)、鹿児島湾の音波探査により推定した海底下地質 (早坂, 1987)、阿多火砕流の堆積構造 (Suzuki-Kamata and Ui, 1988) から、阿多火砕流の噴出源は指宿北東の鹿児島湾中にあると推論された (荒牧・宇井, 1966; 鈴木・宇井, 1981; Suzuki-Kamata and Ui, 1988)。一方で、Nagaoka (1988) は火砕流本体の噴出源については言及しなかったが、阿多火砕流に先立つ2つの降下軽石と1つの火山灰層の層厚の等値線図を示し、2つの降下軽石の火口がそれぞれ Matumoto (1943) の阿多カルデラの北端と北半分にあったと推測した。

今回の調査では、阿多火砕流堆積物のグラウンドレイヤーに直径1 mを超える、仮屋溶岩と考えられる新鮮な安山岩礫が含まれること、阿多火砕流堆積物中部の上位のグラウンドレイヤーにシルト岩、珪岩、さらに周辺の地表に分布しない花崗岩が含まれることが明らかになった。前述したように、Suzuki-Kamata (1988) の報告したグラウンドレイヤーには1 mを超える安山岩は含まれない。荒牧・宇井 (1966) は、Matumoto (1943) の示した阿多カルデラの内部に分布する火山の噴出物中に、花崗岩質岩石の岩塊が含まれることから、その地下の比較的浅所に花崗岩質岩体が存在し、海峡をはさんで東岸の南大隅花崗岩の岩体まで連続している可能性も大きいとした。また、宮地 (1969) は、鹿児島市五位野地域に分布する阿多火砕流堆積物の一部に長径6~7 cmの花崗岩質岩片が含まれることを報告した。さらに花崗岩質岩片ジルコンの晶癖を調べ、その花崗岩質岩片の原岩が大隅花崗閃緑岩の一部であるとした。今回、阿多火砕流中部の上位のグラウンドレイヤーから見つかった花崗岩も阿多カルデラの地下からもたらされた可能性がある。今回明らかになった2つの事実は阿多火砕流の噴出源が Matumoto (1943) の阿多カルデラ内にあったことを示唆する。

5. まとめ

今回の調査研究で以下のことが明らかになった。

- 1) 指宿市堀切園地域の阿多カルデラ壁に相当する崖に、第四紀後期更新世の火山岩と考えられる仮屋安山岩を不整合に覆い、阿多火砕流堆積物から不整合関係で覆われる湖沼堆積物が分布し、新たに「堀切園層」と命名した。
- 2) 堀切園層を堆積させた湖沼が存在するためには、その湖沼の南に山体のような地形的高まりの存在が不可欠である。堀切園層下部の凝灰質砂層中に仮屋溶岩と考えられる安山岩の巨礫が多く含まれ、仮屋溶岩と同時期の火山岩が堀切園層を堆積させた当時の湖沼面より高い位置、前述の南側の山体の北斜面

Table 2. Comparison between the stratigraphic sequences in the Ata pyroclastic flow deposit of the present writer and of the previous authors.

表2. 阿多火砕流堆積物の層序の比較.

Editor	Aramaki and Ui (1966)	Ui (1971)	Nagaoka (1988)		This Study
Study Area	Satsuma Peninsula Osumi Peninsula	Osumi Peninsula	Osumi Peninsula / Satsuma Peninsula		Satsuma Peninsula Ibusuki
Area of Idealized Columnar Section	Ohnejime Area	Ohnejime Area	Ohnejime Area	Yagoshi Area	Ikedo-Horekizon Area
	Formation Name / Lithology	Formation Name / Lithology	Formation Name / Lithology	Formation Name / Lithology	Formation Name / Lithology
Stratigraphy	non-welded	Ata Pfl III non-welded many flow units	Tashiro Pfl	Imaizumi Pfl	Upper non-welded 2 flow units
	welded 2 cooling unit (with many flow units)	Ata Pfl II heavily welded multiple flow units many thin layer non-welded many flow units Afa Ata II Pfa	Upper welded 2 or 3 cooling units (upper-most part is non-welded) Middle partially welded 12 thin flow units	Upper welded	Middle welded 3 flow units
	non-welded some flow units and pumice layers	Ata Pfl I non-welded many flow units	Lower non-welded or welded a single flow unit	Lower non-welded	Lower welded 12 flow units
	Pfa	Ata I Pfa	Sata Pfa Izashiki Afa Ata Pfa Kori Afa	Ata Pfa	Ata Pfa

T : Thickness (m) Pfa : Pumice fall deposit Afa : Ash fall deposit Pfl : Pyroclastic flow deposit

- に露出していたことが推定される。
- 堀切園層の最上部は古土壌化して阿多火砕流堆積物に覆われることから、阿多火砕流の堆積前に湖沼は陸化していたと考えられる。
 - 堀切園地域に分布する阿多火砕流堆積物下部・中部・上部に合計12枚のグラウンドレイヤーが挟在し、石質岩片の平均最大直径（ML）は108 cmであった。Suzuki-Kamata (1988) が報告した、鹿児島県下の阿多火砕流の基底部分に見られるグラウンドレイヤーの石質岩片の平均最大直径（ML）は最大25 cmであったことを考え合わせると、堀切園地域は阿多火砕流の噴出源に近いことが示唆される。グラウンドレイヤーの側方変化と阿多カルデラの東側にグラウンドレイヤーがほとんど見られない理由、本調査地にこれほど多くのグラウンドレイヤーが見られる理由を明らかにすることは、阿多火砕流の流下拡散と当時の古地形との関係を知る上で重要である。
 - 阿多火砕流堆積物下部・中部・上部に挟在するグラウンドレイヤーによって、全17枚のフローユニットを識別することができた。阿多火砕流堆積物の層序は、降下軽石（45 cm）→12枚のフローユニットからなる溶結した火砕流（>11 m）→3枚のフローユニットからなる溶結した火砕流（>16 m）→2枚のフローユニットからなる非溶結の火砕流（5.6 m）で、阿多火砕流の噴火は、プリニー式噴火→12回の小・中規模火砕流噴火→3回の大規模火砕流噴火→2回の小規模火砕流噴火と推移していったと考えられる。
 - 堀切園に分布する阿多火砕流堆積物のグラウンドレイヤーに直径1 mを超える、仮屋溶岩と考えられる新鮮な安山岩礫が含まれること、阿多火砕流堆積物中部の上位のグラウンドレイヤーにシルト岩、珪

岩、および周辺の地表に分布しない花崗岩が含まれることが明らかになった。これらの事実は、阿多火砕流の噴出源が Matumoto (1943) の示した阿多カルデラ内にあったことを示唆している。

鹿児島県下に広く分布する阿多火砕流堆積物の岩相は、垂直的、水平的に変化が著しく、阿多火砕流の全体像が把握されたとは言いがたい。今後、堆積前の古地形等も含めて鹿児島県全域におよぶ詳細な調査研究が待たれる

参考文献

- 荒牧重雄, 1964, 鹿児島県国分付近の地質. 火山, 9, 101-102.
- 荒牧重雄・宇井忠英, 1966, 阿多火砕流と阿多カルデラ. 地質学雑誌, 72, 337-349.
- 壇原 徹, 1995, 第四紀テフラの高精度フィッシュン・トラック (FT) 年代測定 —ジルコンとガラスを用いた測定法の確立に向けて—. 第四紀研究, 34, 221-237.
- 福沢仁之, 1995, 天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年縞堆積物. 第四紀研究, 34, 135-149.
- 早坂祥三, 1987, 鹿児島湾の地質構造. 地団研専報, 33, 225-233.
- 川辺禎久・坂口圭一・斎藤 眞・駒澤正夫・山崎俊嗣, 2004, 20万分の1地質図幅「開聞岳及び黒島の一部」. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 川辺禎久・坂口圭一, 2005, 開聞岳地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 82 pp.
- 金属鉱物採掘促進事業団, 1969, 昭和43年度金鉱山の基礎的地質鉱床調査報告書. 通商産業省, 18 pp.
- 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.
- 町田 洋・新井房夫, 2003, 新編 火山灰アトラス—日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 336pp.
- Matumoto, T., 1943, The four gigantic caldera volcanoes of Kyushu. *Jap. Jor. Geol. Geogr.*, 19, Special number, 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.
- 宮地六美, 1969, 阿多火砕流中の花崗岩質岩片に関する考察. 地質学雑誌, 75, 391-393.
- Nagaoka, S., 1988, Late Quaternary tephra layers from the caldera volcanoes in and around Kagoshima Bay, southern Kyushu, Japan. *Geogr. Rep. Tokyo Metropolitan Univ.*, 23, 49-122.
- 岡田篤正・中田 高・千田 昇・池田安隆・今泉俊文・渡辺満久・長岡信治・前杵英明, 1989, 九州の活構造. 東京大学出版会, 553 pp.
- 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.
- 奥野 充・成尾英仁・中村俊夫・小林哲夫, 1996, 南九州, 池田湖テフラ層に関連する試料の加速器 ^{14}C 年代. 名古屋大学古川総合研究資料館報告, 12, 49-55.
- 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・早坂祥三, 1973, 鹿児島県下における火砕流堆積物の堆積様式の一考察. 鹿児島大学理学部紀要 (地学・生物学), 5, 7-17.
- 太田良平, 1966, 鹿児島県指宿地方地質調査報告. 地調月報, 17, 129-139.
- 太田良平, 1967, 加治木地域の地質. 地質調査所, 13 pp.
- 鈴木桂子・宇井忠英, 1981, 阿多火砕流の流動方向. 火山, 26, 57-68.
- Suzuki-Kamata, K., 1988, The ground layer of Ata pyroclastic flow deposit, southwestern Japan - evidence for the capture of lithic fragments. *Bull. Volcanol.*, 50, 119-129.
- Suzuki-Kamata, K. and Ui, T., 1988, Depositional ramp: asymmetric distribution structure in the Ata

- pyroclastic flow deposit, Japan. *Bull. Volcanol.*, **50**, 26-34.
- 鈴木達郎・山本温彦・大木公彦・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「南九州における火砕流堆積物の時空分布に関する研究」, 鹿児島地図センター, 8 pp.
- 通商産業省資源エネルギー庁, 1985, 昭和59年度広域調査報告書「南薩地域」. 180 pp.
- 宇井忠英, 1967, 鹿児島県指宿地方の地質. *地質学雑誌*, **73**, 477-490.
- Ui, T., 1971, Genesis of magma and structure of magma chamber of several pyroclastic flows in Japan. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Ser II*, **18**, 53-127.
- 宇都浩三・坂口圭一・寺岡易司・奥村公男・駒澤正夫, 1997, 20万分の1地質図幅「鹿児島」. 地質調査所.
- Walker, G.P.L., Self, F. and Froggatt, P.C., 1981, The ground layer of the Taupo Ignimbrite: a striking example of sedimentation from a pyroclastic flow. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **10**, 1-11
- 横山 泉・青田昌秋, 1964, 九州南部のカルデラについて. *火山*, **9**, 102.