

噴火によって生じたクラスティックダイク

著者	成尾 英仁, 小林 哲夫
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	28
ページ	111-122
別言語のタイトル	Clastic Dykes formed during the Eruption
URL	http://hdl.handle.net/10232/00001731

噴火によって生じたクラスティックダイク

成尾英仁¹⁾・小林哲夫²⁾

(1995年9月29日受理)

Clastic Dykes formed during the Eruption

Hideto NARUO¹⁾ and Tetsuo KOBAYASHI²⁾

Abstract

Many clastic dykes were found in the Ikedako ash which was formed by a post-caldera eruption from Ikeda caldera about 5700 years ago. This tephra was of phreatomagmatic origin, and settled as wet ash, mud, and accretionary lapilli. The thickness of the deposit attains more than 10 meters around the caldera rim.

Clastic dykes occur in the area where the thickness of the deposit is more than 1 meter. They were all generated from the middle or lower part of the same tephra. The thicker of the deposit, the larger and more frequent of the clastic dykes in the tephra. Clastic dykes have varied morphologies; the longest one attains more than 100 meters.

Although one example was generated in the middle stage of the eruption, many clastic dykes were generated in the waning stage of eruption, or shortly after the eruption. The generation of clastic dykes in the study area were probably triggered by big earthquakes which occurred during the subsidence of the surrounding area of the caldera.

Key words: Clastic dyke, Phreatomagmatic eruption, Accretionary lapilli, Ikedako ash, Ikeda caldera

1. はじめに

大規模な地震によっておこる噴砂現象は、1964年の新潟地震において注目され始めた。噴砂現

¹⁾ 鹿児島県立串木野高等学校 〒896 鹿児島県串木野市美住町65
Kushikino Senior High School, 65 Misumi-cho, Kushikino 896, Japan

²⁾ 鹿児島大学理学部地学教室 〒890 鹿児島市郡元1丁目21-35
Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, 1-21-35 Korimoto,
Kagoshima 890, Japan

象とは地下水で飽和した未固結の地層（主に沖積砂礫層）が地震の震動により液状化を起こし、地層の割れ目にそって上昇し、地表に噴出する現象である。噴砂の通路は地層断面ではシルトないし砂のダイク状に見られる場合が多く、一般にはクラスティックダイクと呼ばれている。

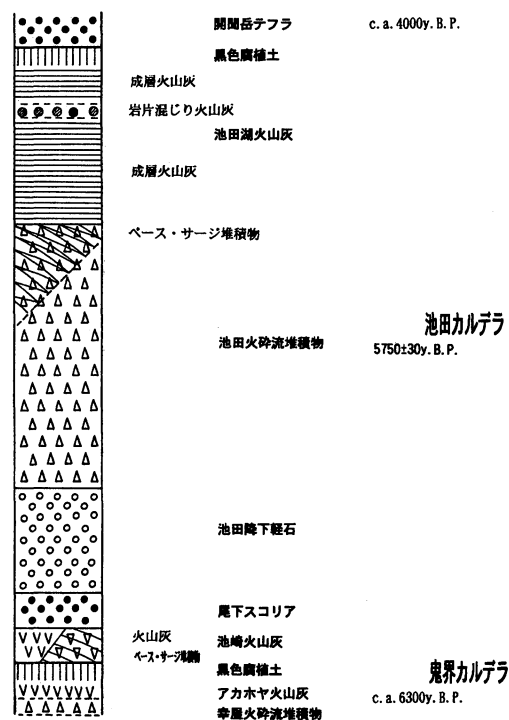
その後1980年代の半ば頃から、遺跡の発掘現場において同様な現象が相次いで発見されるようになった（堀口ほか，1985；加藤，1987；寒川・岩松，1988など）。歴史時代の遺跡においては、噴砂の発生時期が古文書による大規模地震の発生年代と対応することが議論された。この種のダイクは地震の「化石」とみなすことができ、寒川（1992）の「地震考古学」なる名称も一般化するようになった。鹿児島県内の遺跡でも噴砂現象が記載された（成尾，1990）。

ところで大地の震動は、断層の運動に伴う地震以外にも、噴火、山崩れ、地滑りなど突発的な変動によっても生じる。それゆえ条件さえ整えば、それらの震動による噴砂現象も認められるはずである。南九州に分布する池田湖火山灰層（成尾・小林，1980）には、多くのクラスティックダイクが発達しているが、それらは噴火に伴って発生したものであることが明らかとなった。このような現象はこれまでにほとんど記載例がない。今回はその産状の記載と成因的な意義について報告する。

2. テフラとクラスティックダイクの記載

2-1. 池田テフラ

池田テフラは約5,700年前（成尾・小林，1984）の池田カルデラ形成時に噴出したテフラの総称である。噴出源は単一ではなく、現在の池田カルデラ、鰻池マール、山川マールが主要な噴火地点であった。このうちカルデラ地点での噴火は時間の経過とともに噴火様式が変化し、そこか

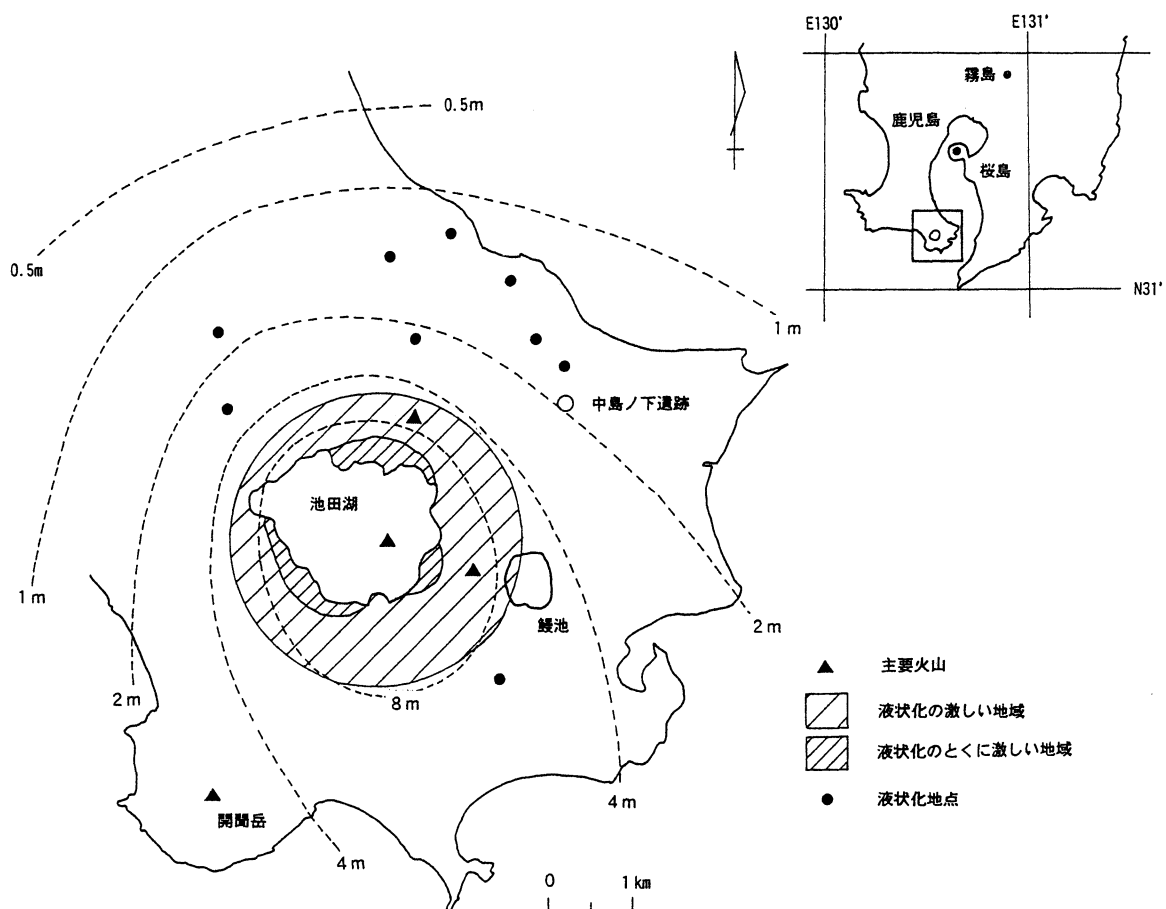


第1図 池田カルデラから噴出したテフラの模式柱状図

ら噴出したテフラは下位より池崎火山灰層、尾下スコリア層、池田降下軽石層、池田火砕流堆積物、池田湖火山灰層の順に堆積している（第1図）。これらのテフラの間には、明瞭な時間間隙を示す浸食面や風化帯は認められない。それゆえ一連の噴火によって堆積したものと判断される。このうち最上位の池田湖火山灰層は、後カルデラ火山活動に伴う噴出物である。

池田湖火山灰層は全体的に細粒で、火山豆石にとみ、水蒸気マグマ噴火によるテフラの特徴を示している。カルデラ近傍では噴出岩塊がつきささったサグ構造やスランプなどの攪乱構造、また稀にベースサージ状の堆積物を挟むこともあるが、全体的には数cm単位に細かく成層した堆積構造をもつ降下テフラであり、シルト質の湖成層と見まちがうほどである。池田湖火山灰層にはクラスティックダイクとともに多くの小断層が認められるが、その上位の開聞岳起源のテフラには達していない。

第2図は指宿地方における池田湖火山灰層の分布図である。カルデラ近傍では特に厚く堆積しており、10m以上にも達する。カルデラ形成後の噴火による降下テフラのため、カルデラ周辺のスロープを覆うだけでなく、カルデラの内側にも厚く堆積している。この図にはクラスティックダイクの露頭位置も表示されているが、それらはテフラの厚さが1m以上の地域に限られ、特にカルデラ近傍でテフラが厚く堆積した地域に密集している。なお開聞岳の東方ではクラスティックダイクの分布密度が薄いのが、これは後の開聞岳テフラに覆われてしまい露頭条件が悪いためである。



第2図 池田湖火山灰の等層厚線図とクラスティックダイクの分布

2-2. クラスティックダイク

今回記載するクラスティックダイクは、すべて池田湖火山灰層の内部より発生したものである。テフラが細粒なため、クラスティックダイクの構成物質も細粒である。クラスティックダイクの内部構造は、一般にはその周辺部分が細粒で、中心部分に砂サイズの結晶や岩片が濃集している。幅の広いクラスティックダイクの場合には、その内部で粒度の違いによるラミナが見られることもある（第3図）。このようなラミナは一般には周囲との接触面に平行するが、時にはダイクの伸びと直交するように、上あるいは下に凸で弧状のラミナを示すものもある。また別のタイプとしては、火山豆石を含むテフラがそのまま上昇している例や、中心部付近を水が流れたことを示す例も認められる。

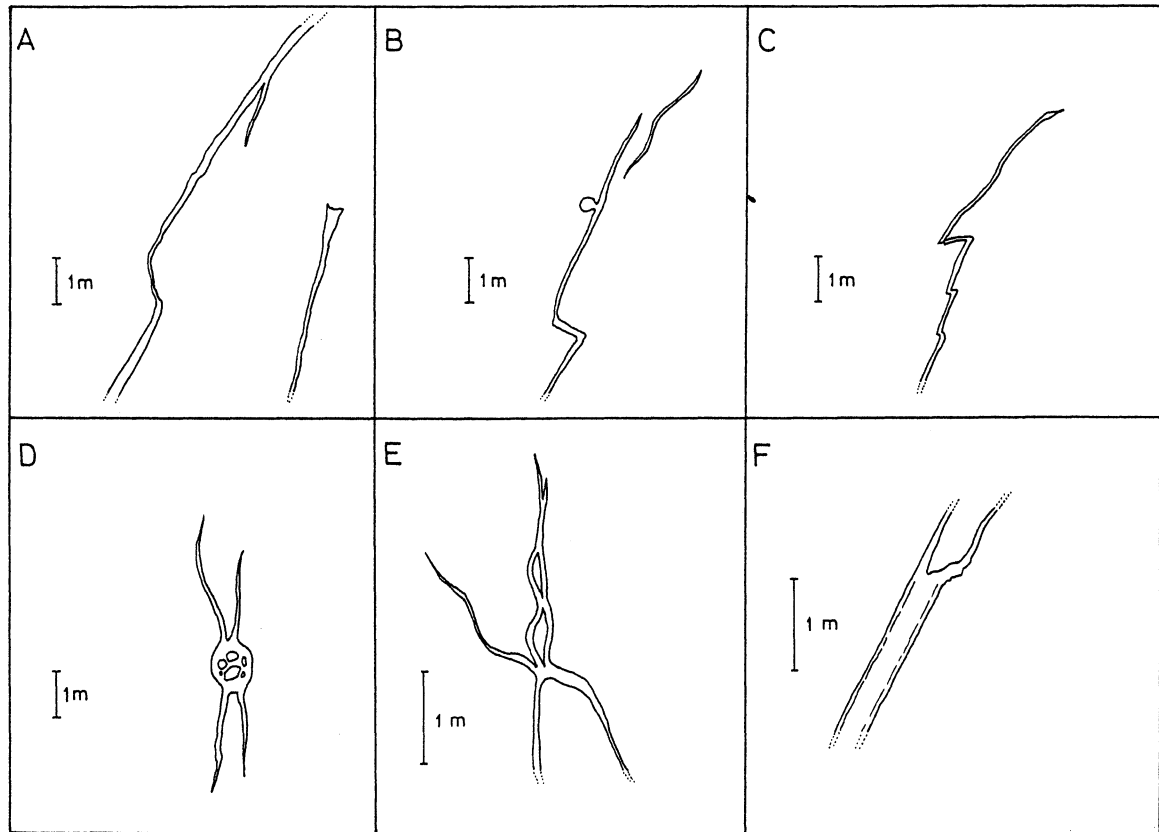


第3図 クラスティックダイクの内部構造
周辺部は接触面に平行な細粒シルト質のラミナ，中央部には砂礫がつまっている。

大きさは様々であるが、一般には幅が4～5cm、高さが数m程度のものが多い。しかしカルデラ内部に堆積した火山灰層のクラスティックダイクは特に大規模であり、平面ではほぼ垂直で直線状に伸び、幅が約20cm、長さは100m以上に達するものもある。

形態もまた多様であり、垂直に直線状に伸びたものから、幅が変化したり、枝分かれしたもの、横方向にうねったり、さらには途中で球状に膨らみ、“マグマ溜まり”のような形状を示すものまで様々である（第4・5図）。

指宿市の中島ノ下遺跡においては、地層の断面のみならず平面での産状も観察できる（成尾，1990）。第6・7図は遺跡における池田湖火山灰層の断面および写真である。テフラ全体の厚さは約2mであり、平行ラミナの発達した細粒の火山灰層で、白色～灰白色、淡黄色、淡桃色を帯びている。粒径、色調の違いにより、11層に区分している。クラスティックダイクは、幅1cm程度、高さが50～60cmで網状に広がっている。やや曲線を描きながら噴き上がり、時には枝わかれ

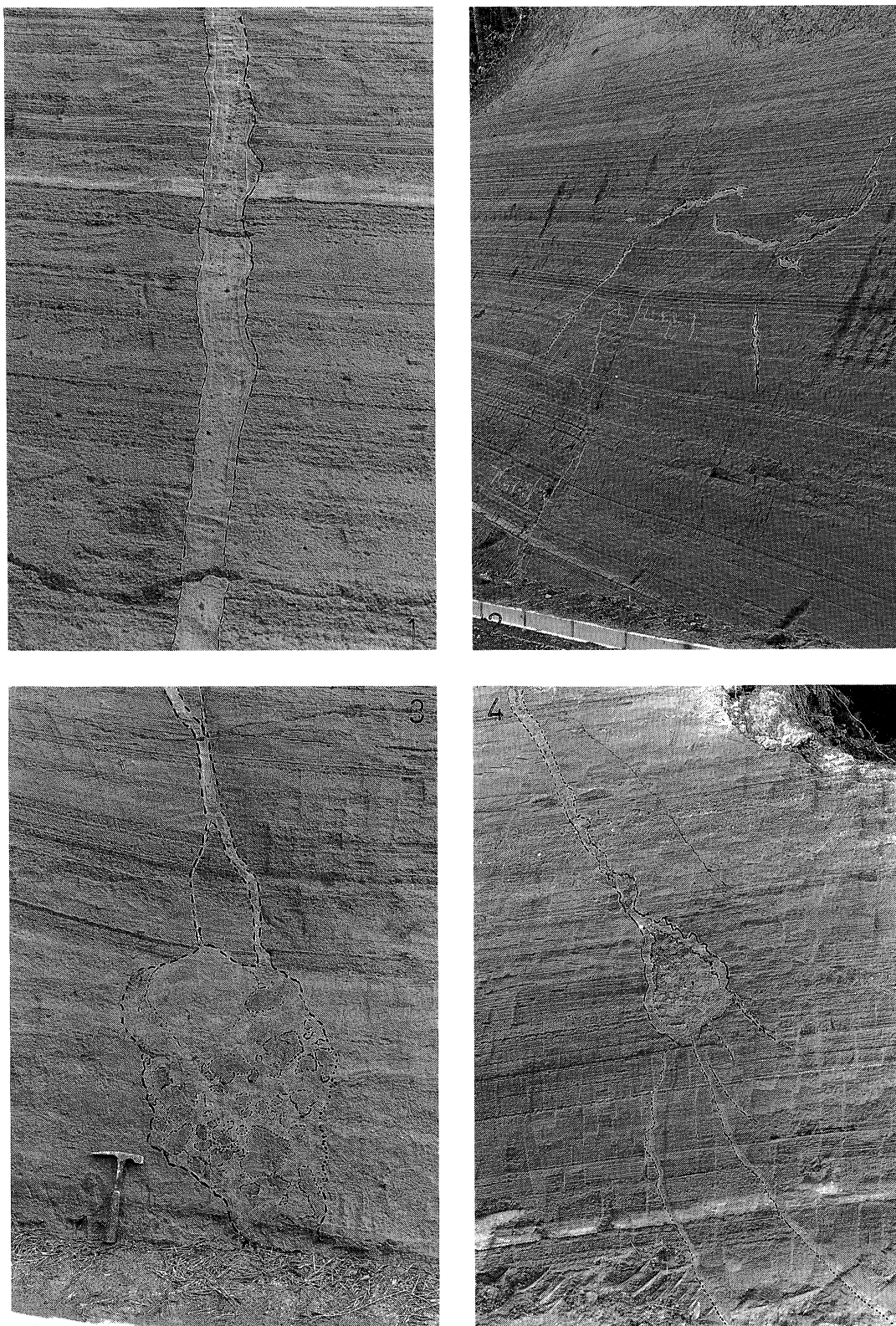


第4図 クラスティックダイクの主要な形態

A：屈曲し，さらに枝わかれするタイプ。上端面でラッパ状に開く。B：屈曲し，横方向への枝わかれが途中で停止しているタイプ。C：稲妻状に屈曲するタイプ。
D：中間に“マグマ溜まり”があるタイプ。E：2本のクラスティックダイクが交わり，さらに枝わかれするタイプ。F：直線状で内部に著しい流動痕を残すタイプ。

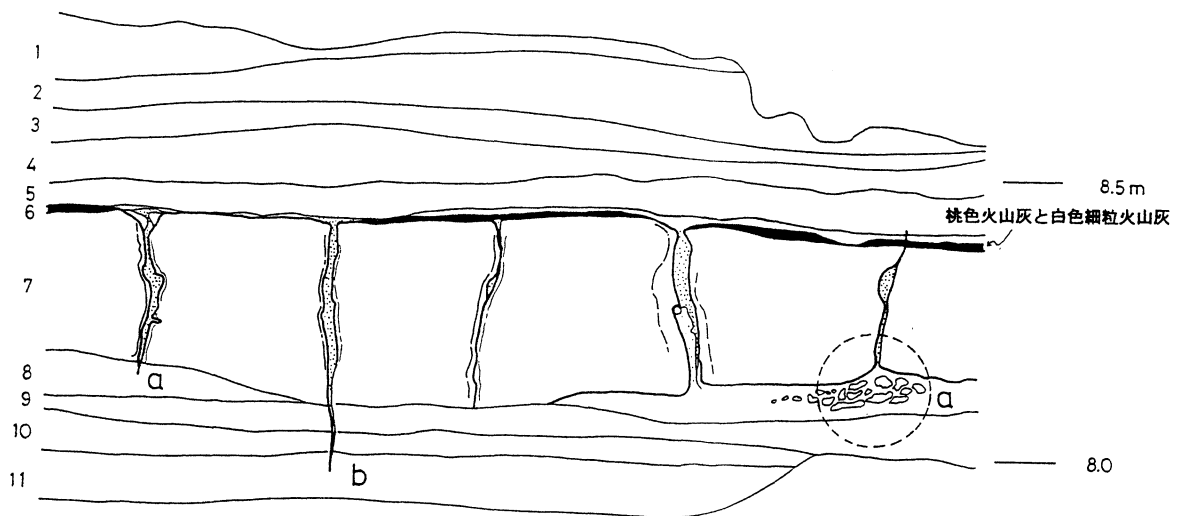
して横方向に伸びている。クラスティックダイクの交差する部分では，細粒の火山灰が径10cm程度の円筒状に噴き出していることもある。クラスティックダイクの上端面（噴砂が地表に達した部分）では，ラッパ状に開いているものが多いが，レンズ状になって削減するものや，幅の変わらないものもある。

噴砂は第7層（最上部は淡桃色火山灰と淡黄色火山灰）の直上に薄く広がり堆積している。その部分の噴砂は池田湖火山灰よりもやや粗粒で白色を帯びており，成層構造は認められない。液状化の生じた層は第8層と第11層の2つに認められるが，観察できた地層断面においては第8層の方が液状化の程度が著しい。図中の円内では地層が攪乱され，液状化した部分と小さなブロック状に取り残された部分が認められる。

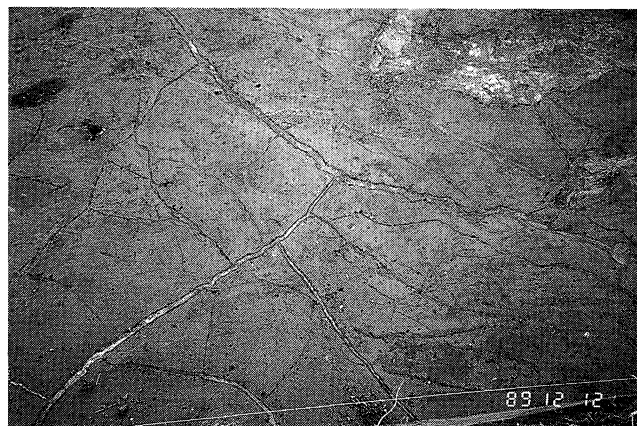


第5図 クラスティックダイクの露頭写真

- 1 : ほぼ垂直で直線状のタイプ, 2 : 不規則な形態で, 横方向に広がったタイプ,
3 : 液状化しつつある “マグマ溜まり” タイプ, 4 : ダイクの途中にできた “マグマ溜まり”



第6図 中島ノ下遺跡における池田湖火山灰層のスケッチ
数字は池田湖火山灰の層区分番号。第5層の堆積前に液状化が発生している。a, b は液状化した層。
円内では火山灰層が破碎されている。

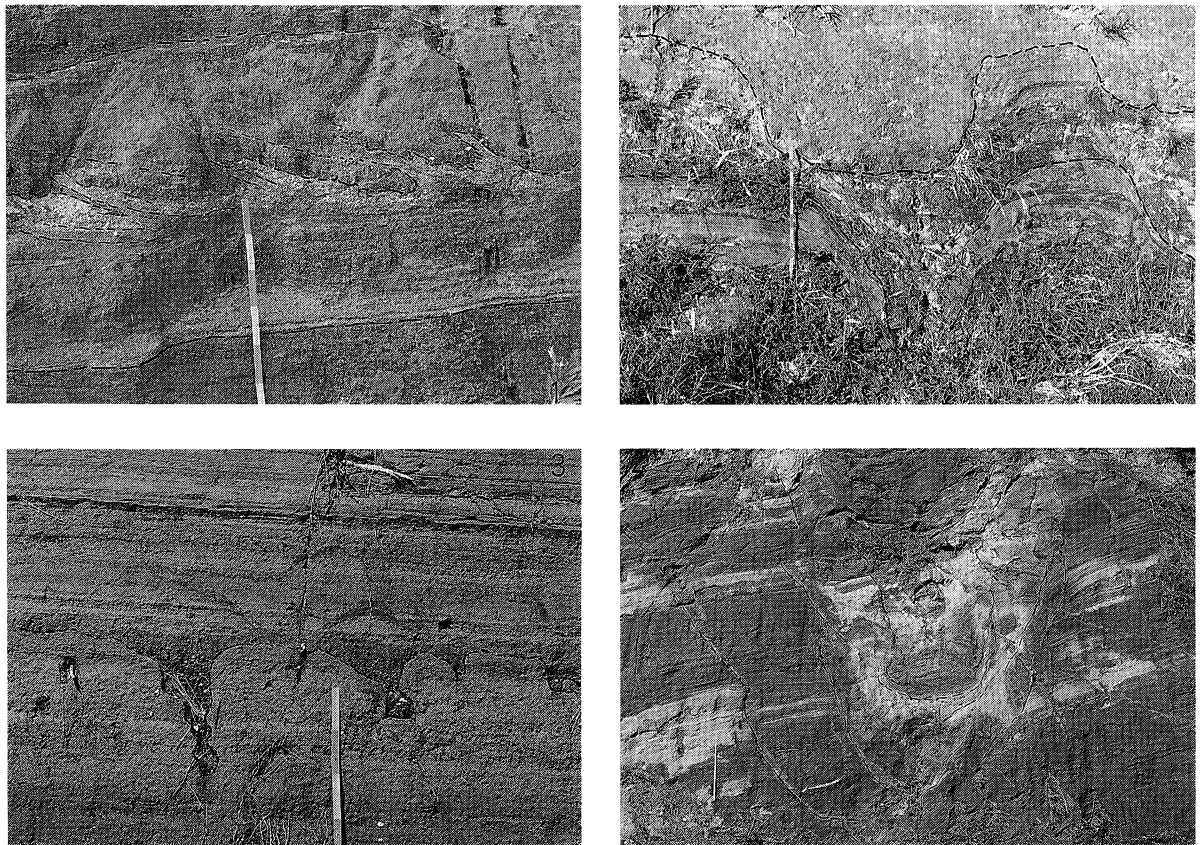


第7図 池田湖火山灰層を貫くクラスティックダイク（中島ノ下遺跡）
上：発掘現場の断面にみられるダイクの産状。
下：平面でみたダイクの分布。脈状に発達している。

3. クラスティックダイクの成因

3-1. 発生条件

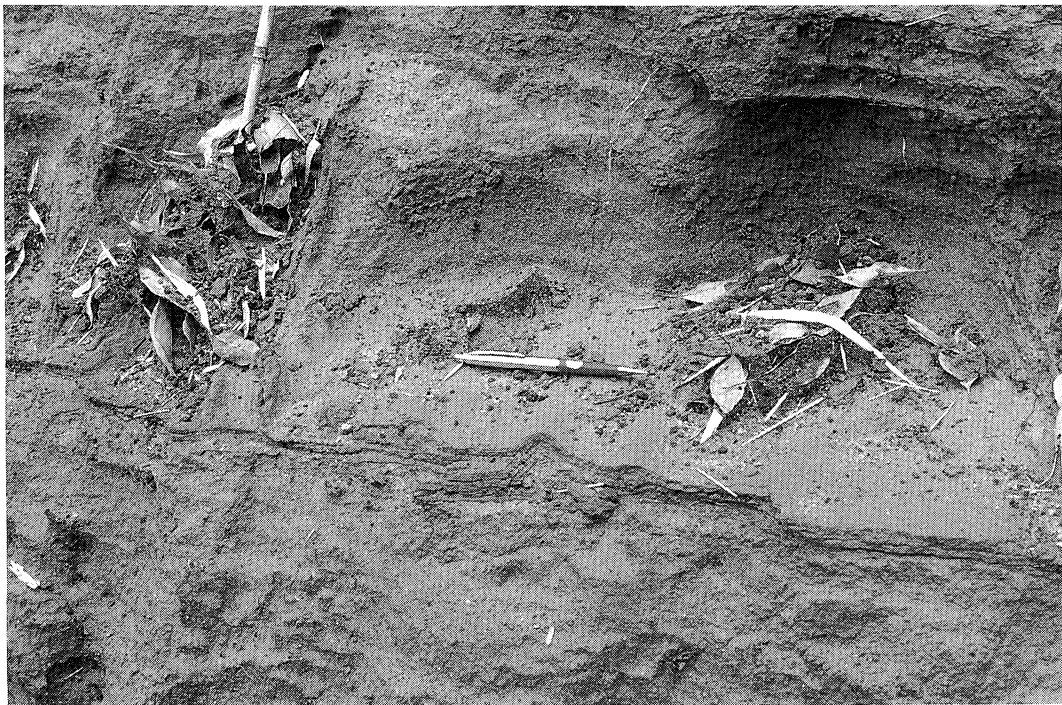
先にも述べたように、池田湖火山灰層は水蒸気マグマ噴火の産物であり、細粒で火山豆石にとんだテフラである。全体的に水分にとみ、堆積時には湿ったテフラであったことが堆積構造からも推定される（第8図）。このなかではスランプ構造が最も多く認められる。池田湖火山灰の噴火の末期に放出された岩塊によるサグ構造でも、テフラは下方に引き延ばされている。このような瞬時の力においても破壊せずに塑性変形していることは、テフラが非常に水分にとんでおり、変形しやすかったことを示している。またテフラの層間には、表面流によるガリー浸食が発達する層準もある。これは噴火時の降雨、あるいはテフラ内部からしみ出た水によるものであり、テフラ全体が湿った状態であったことを示唆している。またU字型の構造もスランプの一種と思われるが、滑り面にそって液状化した部分が上方に移動している。



第8図 池田湖火山灰層にみられる堆積構造

1：水平層間にみられるスランプ構造，2：放出岩塊によるサグ構造，
3：ガリー浸食の断面，4：U字型をしたスランプ構造

ところで震動による液状化はテフラ全体で一様に発生しているのではなく、ある特定の層準あるいは一部分で発生している。例えばまったく乱されていない水平層の内部の一層準のみがスランプ構造を示すことも多い。そのなかには、堆積時の地表で発生したものもあるかもしれないが、多くは特定層準にのみ発生した液状化の結果と推定される。第9図は液状化し、波うちだした地

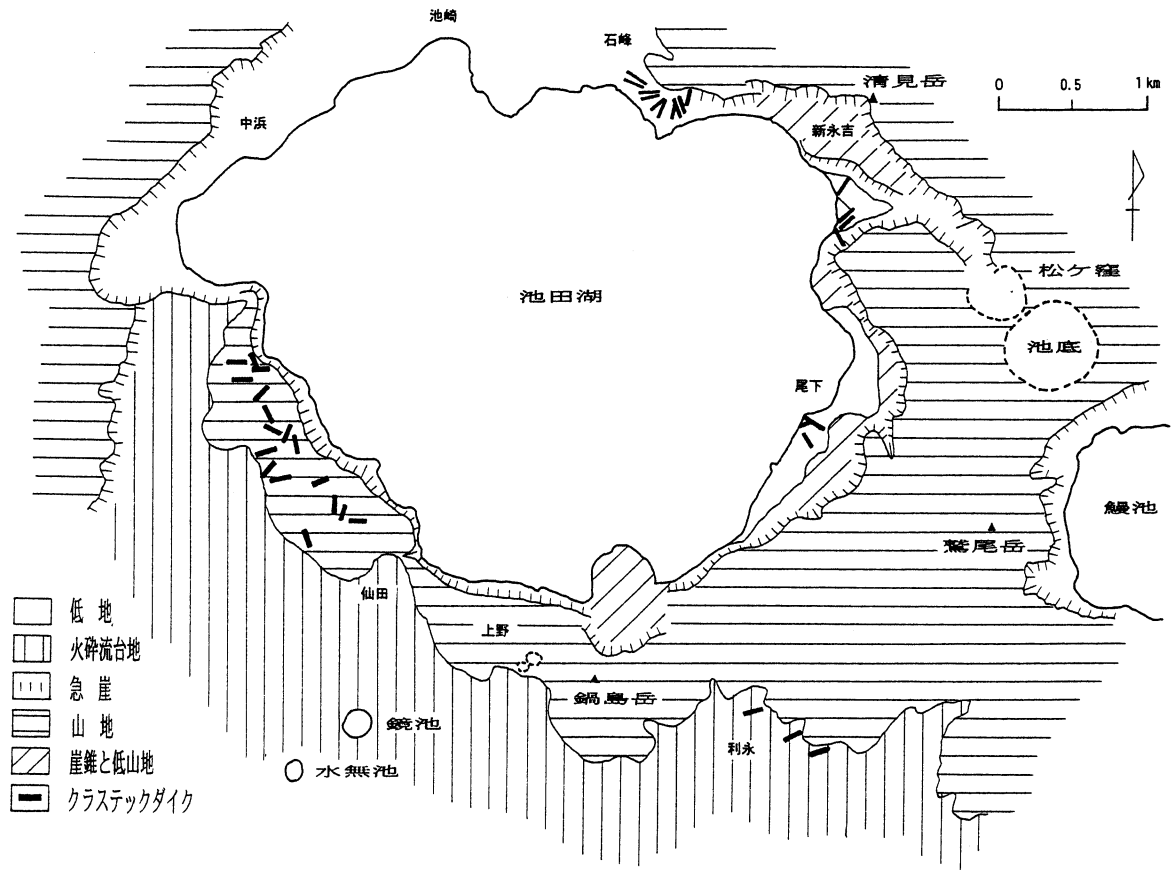


第9図 クラスティックダイクの萌芽
液状化が進み、テフラの成層構造が不明瞭になりつつある。シャープペンシルの載った層準が“蓋”の役割をしており、波状に変形しだしている。

層の表面の状態である。液状化した層準の天井部分に破壊面があれば、それにそって上昇し、クラスティックダイクを形成する。一般に液状化が ocorrência やすい地質構造は、水に飽和した砂層の上位に、泥質物のような締まった地層が蓋の役割をしている場合である。池田湖火山灰層では泥質の火山灰がその役割をはたしているものと考えられる。このように同一テフラの内部にあっても、ある部分は塑性変形ないし液状化をおこし、他の部分では脆性破壊をしている。微妙な物理条件の違いが存在していたのであろう。

テフラの厚さもクラスティックダイクの発生と関連している。層厚が1 m未満の地域ではまったく認められず、逆にカルデラ周辺の厚く堆積した地域には多数のダイクが認められる(第2図)。これはテフラが湿っており、厚いほど圧密効果がはたらき、震動により液状化しやすかったものと推定される。

最後に地形的要因について考察する。カルデラの周辺は一般に緩傾斜地域となっている。その部分に特にスランプ構造が多く認められるのは、地形的な要因が働いていたためであろう。スランプの発生に伴ってクラスティックダイクも生じているため、その伸びの方向性と旧地形との関連について調べてみた(第10図)。同一の露頭においても貫入の方向はまちまちであり、データ数が少ない点を考慮しても、ダイクの方向性と地形との相関はまったくなさそうに思われる。



第10図 クラスティックダイクの水平分布
走向は不規則であり、地形による規則性は認められない。

3-2. 発生のタイミング

次にダイクの発生時期について考察する。カルデラ近傍のクラスティックダイクの大半は池田湖火山灰層の上部にまで達しており、テフラが堆積しつつある後期、ないしは堆積後のわずかな期間に集中して生じたものと推定される。

一般にカルデラを形成するほど多量のマグマを放出した後は、周辺の地盤が急速に沈降し、規模の大きな地震が多発するものと考えられる。池田湖火山灰層にはクラスティックダイクとともに多くの小断層が認めれるが、上位の開聞岳テフラには達していない。それゆえこれらの小断層は、噴火末期の地盤の不安定な時期に発生した地震によって形成されたものと推定される。カルデラ近傍のクラスティックダイクの多くは、このような地震によって誘発されたものであろう。このように噴火の末期、あるいは噴火後のわずかな期間に発生した地震も噴火と関連した現象とみなせば、池田湖火山灰層中のクラスティックダイクの大半は、噴火と関連して形成されたものとみなすことができる。

一方、中島ノ下遺跡の断面でみる限り、液状化が生じた時期は、淡桃色火山灰と淡黄色火山灰の堆積直後であり、それ以降には発生していないことがわかる。すなわちここでは噴火の最中にクラスティックダイクが発生したことは明らかである。しかしそれ以外の場所では、テフラの内部には液状化の発生時期を特定できる露頭を発見することはできなかった。このことはテフラの堆積中、すなわち噴火の最中に液状化がまったく発生しなかったことを意味するわけではない。野外調査では、遺跡のように露出条件の良い場所が見つかりにくいであろう。あるいは噴火

末期の変動で液状化が進行し、証拠が残りにくいのかかもしれない。しかしさらに詳しい調査をすれば、今後とも同様な事例が発見されるものと思われる。

3-3. 類似例

調査地域内では、清見岳テフラ（奥野ほか，本号中）に小規模な液状化が認められた。清見岳テフラは池田湖火山灰層ときわめて類似したテフラであり，水蒸気マグマ噴火の産物である。液状化はそのテフラの内部で発生しており，ダイク状に上方に貫入している。このダイクの発生は，スランプによって誘発されている。

枕崎市の奥木場遺跡では，幸屋火砕流の発生時期に生じた液状化が発見され（成尾，1990），大隅半島の吾平町原口岡遺跡でも同時期の液状化の跡が多数発見された（成尾ほか，1995）。また始良カルデラの入戸火砕流堆積物にも多くのクラスティックダイクが認められるが，それらも噴火と関連したものと推定される。これらについては別の機会に詳しく報告する予定である。

4. おわりに

池田湖火山灰層は典型的な水蒸気マグマ噴火の産物である。同様なテフラは他の火山でも認められており，今後多くの類似例が見い出されるであろう。またテフラを用いた再現実験を行えば，クラスティックダイクの発生条件，さらには噴火時の震度とその分布を推定することも可能となるだろう。

池田テフラの噴火では，池田湖火山灰層以外の層準にも液状化が認められた。池田湖北東の幸屋では，液状化した層は池田テフラ最下部の池崎火山灰層や，さらにその下位にあるピート質の黒色土壌であり，液状化が多種の層に及んでいたことがわかる。

一般に噴火の規模が大きくなる程，噴火時の震動や，噴火後の地殻変動に伴う地震も大規模になるものと推定される。カルデラを出現させるような巨大噴火ではなおさらであろう。このような噴火では，火砕流堆積物など厚いテフラ層を，その下位の層準から貫くクラスティックダイクが多数発生するものと考えられる。このように外来のクラスティックダイクであっても，その規模，分布密度などの詳しい調査を行えば，噴火との関連を証明することも可能になるかもしれない。

謝 辞

本研究を行うにあたり，工業技術院地質調査所の寒川 旭氏には中島ノ下遺跡での液状化現象について多くのご教示をいただいた。また指宿市教育委員会の下山 覚氏，渡辺徹也氏には遺跡調査の機会を与えていただいた。さらに鹿児島県教育委員会文化課（当時）の埋蔵文化財担当者の方々には，指宿地方の遺跡の年代，遺物について様々なご教示をいただいた。これらの方々に感謝いたします。

引用文献

堀口万吉・角田史雄・町田明夫・昼間 明，1985. 埼玉県深谷バイパス遺跡で発見された古代の“噴砂”について. 埼玉大学紀要自然科学編. 21, 243-251.

- 加藤芳郎, 1987. 駿府城三の丸遺跡における脈状砂について. 駿府城三の丸遺跡発掘調査報告書, 静岡県文化財調査報告書, No. 38, 59-64.
- 成尾英仁, 1990. 指宿地方における地盤の液状化跡について. 玉龍紀要, 第8号, 2-15.
- 成尾英仁・小林哲夫, 1980. 池田カルデラの火山活動史. 火山, **25**, 306.
- 成尾英仁・小林哲夫, 1984. 池田カルデラ形成時の降下堆積物. 火山, **29**, 148.
- 成尾英仁・弥栄久志・川崎重治, 1995. 鹿児島県吾平町原口岡遺跡におけるアカホヤ噴火時の液状化跡. 日本文化財科学会第12回大会研究発表要旨集, 64-65.
- 寒川 旭, 1992. 地震考古学—遺跡が語る地震の歴史—, 256pp. 中央公論社, 東京.
- 寒川 旭・岩松 保, 1988. 発掘された地震の液状化跡. 科学, **58**, 322-325.