

阿蘇火山地獄温泉付近における水蒸気爆発とその堆積物

宮縁育夫*・渡辺一徳**

Phreatic Explosions and Ejecta around Jigoku Spa, Southwestern
Part of the Central Cones of Aso Volcano, Japan

Yasuo MIYABUCHI* and Kazunori WATANABE**

(1999年8月17日受付, 2000年1月25日受理)

Jigoku spa is located west of Ikenokubo basin of Yomineyama volcano, southwestern part of the central cones of Aso volcano. In this basin, "Ikenokubo tuff ring" and two smaller maars were developed. Two layers of ejecta, about 10^5 m³ in bulk volume, formed by phreatic explosions were found in this area. They are very poorly sorted and mainly composed of altered fine-grained ash including lithic fragments. Kikai Akahoya ash erupted about 6,300 years BP (¹⁴C) is intercalated between two layers of phreatic ejecta in thick ash layers from Nakadake, the only active central cone. Based on ¹⁴C ages of buried Andisols and the succession of the deposits, the eruption ages of the two ejecta are estimated at about 10,000 years BP for older deposit and at about 4,500 years BP for younger one. Distributions of thickness and maximum grain size of the lithic fragments suggest that the both of two phreatic ejecta were exploded not from "Ikenokubo tuff ring" and two maars but from the Jigoku explosion crater in the western area. Ejecta correlative to the "Ikenokubo tuff ring" lies under the older of the phreatic ejecta layers. Consequently, the eruption age of "Ikenokubo tuff ring" is probably older than 10,000 years BP. Frequency of phreatic explosions, larger than 10^5 m³ in volume, is considered to be once in about 5,000 years. This fact is noteworthy for volcanic hazards assessment in the surrounding area of Jigoku spa and adjacent Tarutama spa.

1. はじめに

阿蘇火山中央火口丘群西部から南西部にかけての地域には、カルデラ内で唯一自然湧出する温泉が存在するために、古くから保養地として利用されてきた。なかでも豊富な湯量に恵まれている地獄・垂玉温泉には、現在も多くの観光客が訪れている。これらの温泉地は高標高の急傾斜地に位置しているだけでなく、付近には噴気活動を伴う「地獄地帯」が存在している。こうした温泉・変質地域においては水蒸気爆発、地すべり、土石流などの山地災害の発生が想定され、過去の噴火活動やその年代を明らかにすることは防災上極めて重要な問題である。

この地域の地質に関しては、岩体の形成順序や数枚の溶岩流の K-Ar 年代 (小野・渡辺, 1985; 松本・他, 1991), 地熱資源調査 (NEDO, 1991) などが報告されて

いるが、比較的新しい時代の噴火活動史については、これまであまり注目されていない。

このような観点から、筆者らは阿蘇中央火口丘群南西部・地獄温泉の東側に隣接する「池の窪」付近 (Figs. 1, 2) において地質調査を行った。本論では、新たに発見した約 4,500 年前および約 10,000 前の水蒸気爆発による堆積物の岩相や分布およびそれらの意義について報告する。

2. 調査地域の概要

地獄温泉は、阿蘇中央火口丘群南西部の夜峰山火山の北麓に位置している。主な調査地域である「池の窪」は、地獄温泉の東側に隣接し、夜峰山山腹の旧火口跡である (Fig. 2)。夜峰山火山は、現在安山岩質の溶結火砕岩から

* 〒860-0862 熊本市黒髪 4-11-16
森林総合研究所九州支所
Kyushu Research Center, Forestry and Forest
Products Research Institute, Kurokami 4-11-16,
Kumamoto 860-0862, Japan.

** 〒860-8555 熊本市黒髪 2-40-1
熊本大学教育学部
Faculty of Education, Kumamoto University, Kuro-
kami 2-40-1, Kumamoto 860-8555, Japan.

なる山体の南側のみが残存しており、山体の北半分は火山活動等によって破壊されたと考えられている(小野・渡辺, 1985). その北半分は烏帽子岳の溶岩などに埋め立てられて、直径約 600 m の皿状地形が形成されており、「池の窪」と呼ばれている (Fig. 2). 池の窪の中心部には、直径約 160 m の火口地形をもち周囲から比高が数 m の火砕丘が認められる. 国土地理院 (1994) は、この火砕丘を「池の窪タフリング」と称するとともに、そのタフ

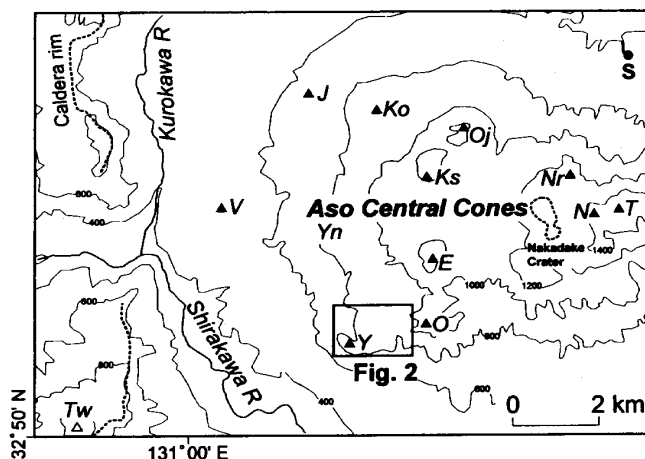


Fig. 1. Index map of study area. Solid triangles show major central cones of Aso volcano. E: Eboshidake; J: Janoo; Ko: Komezuka; Ks: Kishimadake; N: Nakadake; Nr: Naraodake; O: Okamadoyama; T: Takadake; Tw: Tawarayama; V: Volcanological Laboratory lava dome; Y: Yomineyama; Yn: Yunotani spa. S denotes location of schematic stratigraphic section of Nakadake ash layers.

リングの東側と南東側には、2つのマールが存在することを指摘している (Fig. 3).

また夜峰山山頂の北側には、北西方向に開いた 200×400 m の凹地が存在し (Fig. 2), 東側は急崖となっていて池の窪に接している. この凹地は、伊木 (1901) や岩崎・他 (1907) によって爆裂火口と記載され、現在も噴気活動が活発であることから地獄と称されている. 後述するように、この凹地では過去に何度か水蒸気爆発が発生していることが明らかになったので、本論では地獄爆裂火口と呼ぶことにする. 火口内の数地点では、温泉水が自然湧出し、近接する地獄温泉の主な泉源となっている.

地獄温泉の約 250 m 北側には、別の泉源をもつ垂玉温泉が隣接しており、両温泉には 4 軒の宿泊施設があって、年間約 9 万人の観光客が訪れる (長陽村商工観光課未公表資料による) 阿蘇を代表する温泉保養地の一つとなっている.

3. 堆積物の層序・岩相・噴出年代

池の窪周辺における代表的な地点の露頭柱状図を Fig. 4 に示す. 各露頭の堆積物の大部分は、中岳の灰噴火 (小野・他, 1995) による砂質～シルト質の火山灰層で構成されている. この火山灰層間には、活動の休止期あるいは静穏期を示す腐植に富む埋没黒ボク土層 (buried Andisols) が挟在しており (渡辺, 1992), それをもとにして、中岳の活動期を区分することが可能である. 宮縁・渡辺 (1997) は、中岳火口北北東約 4 km 地点 (Fig. 1 の S 地点) の中央火口丘テフラ模式露頭 (渡辺・宮縁, 1996) において、過去約 15,000 年間の層序を上位

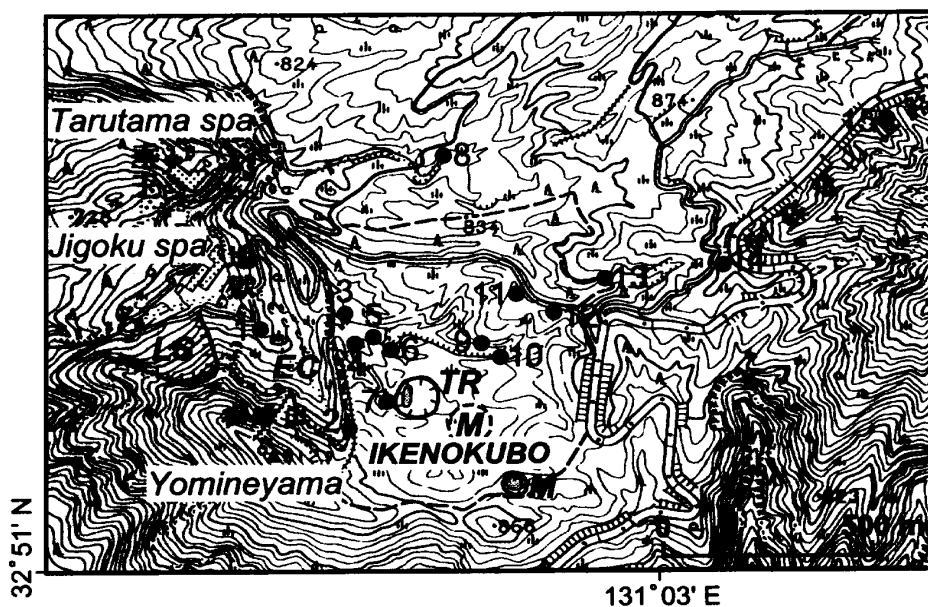


Fig. 2. Location map of observed outcrops in and around Ikenokubo basin, southwestern part of Aso central cones; modified from 1 : 25,000 topographic map "Asosan" published by Geographical Survey Institute. EC: explosion crater; LS: landslide scar; M: maar; TR: tuff ring. Contour interval is 10 m.

から N1~N19 という 19 の活動期に区分している。模式露頭においては、堆積物中の指標テフラとして N4 期に約 2,700 年前（以下に述べる年代は ^{14}C 年代）の往生岳

スコリア (OjS), N6 期に約 3,400 年前の杵島岳スコリア (KsS), N13 期に約 6,300 年前の鬼界アカホヤ火山灰 (町田・新井, 1978; 以下, 略称 K-Ah と呼ぶ) が挟在して

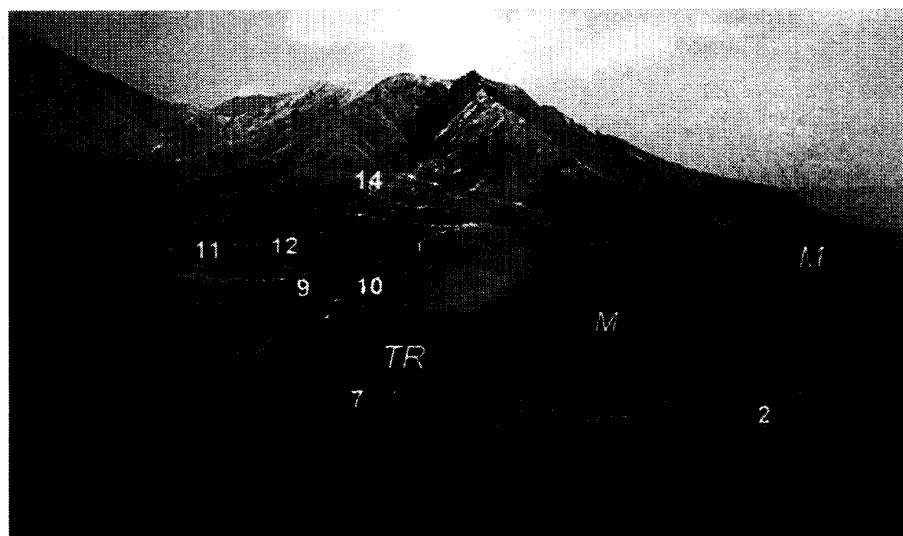


Fig. 3. View of Ikenokubo basin from the top of Yomineyama volcano, showing volcanic landforms such as tuff ring and maar. Numbers denote location of stratigraphic sections in Figs. 2 and 4. M: maar; TR: Ikenokubo tuff ring.

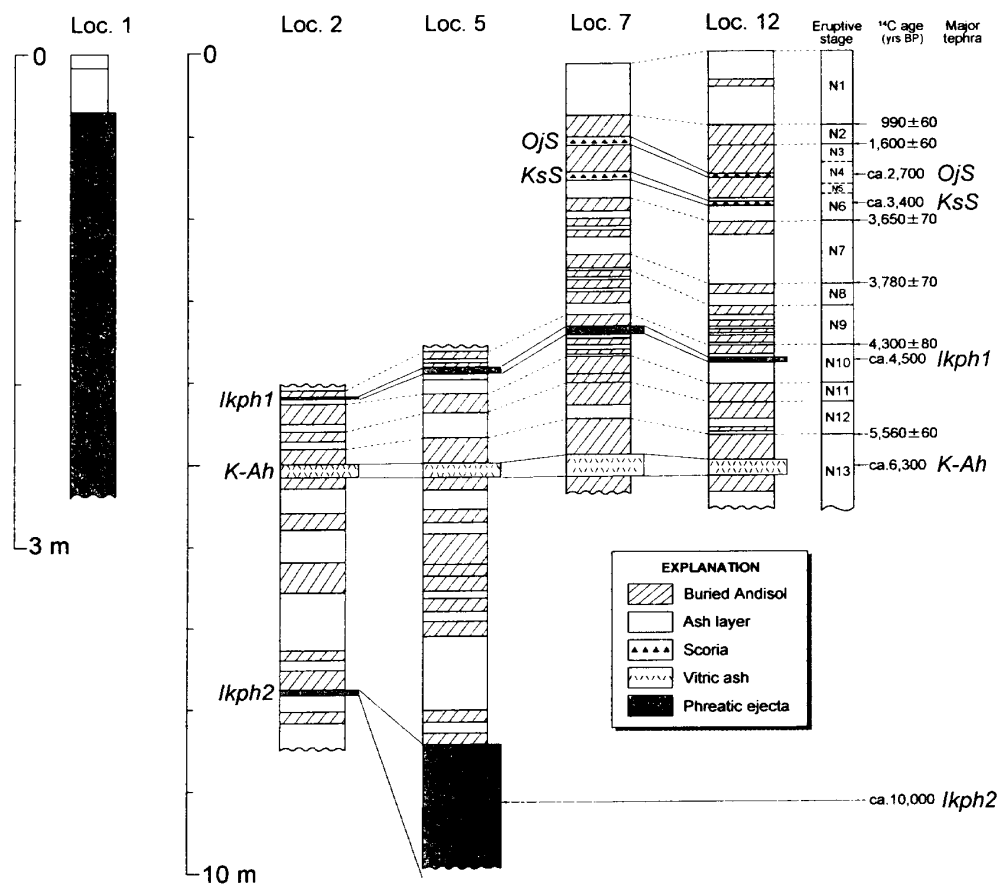


Fig. 4. Representative stratigraphic sections (see Fig. 2 for location of sites) in Ikenokubo basin. Marker tephras are Ojodake scoria (OjS), Kishimadake scoria (KsS) and Kikai Akahoya ash (K-Ah; from southern Kyushu). ^{14}C ages were obtained from buried Andisols at an outcrop (Loc. S in Fig. 1), about 4 km north-northeast of Nakadake crater (Miyabuchi and Watanabe, 1997). Phreatic ejecta at locality 1 are not correlated with those of other sections.

いることが明らかにされている（小野・渡辺, 1985; 中村・渡辺, 1995; 宮縁・渡辺, 1997）。その模式露頭と対比した結果, 調査地域においては N1~N13 の活動期を認定することができた。しかしながら, N13 より下位の部分については, 特徴的なテフラに乏しいために活動期の区分はできていない。

調査地域においては, 前述の指標テフラのほかに明瞭に認識できるテフラとして, 水蒸気爆発による堆積物であるシルト~粘土質火山灰層が K-Ah の上位 80~140 cm 付近および K-Ah の 3~4 m 下位の層準にそれぞれ 1 層存在している。本論では上位の堆積物を池の窪第 1 水蒸気爆発堆積物（略称 Ikph1）, 下位の堆積物を池の窪第 2 水蒸気爆発堆積物（略称 Ikph2）と命名した。なお, 地獄爆裂火口内では, 局所的に分布すると考えられる水蒸気爆発堆積物が少なくとも 9 層認められた（Fig. 4 の Loc. 1）が, 層序関係は不明であり, 他地点との対比もできていない。

本論では, 調査地域で特徴的な水蒸気爆発堆積物である Ikph1 と Ikph2 について, 以下に記載する。

3-1 池の窪第 1 水蒸気爆発堆積物 (Ikph1)

K-Ah の上位 80~140 cm 付近に存在する水蒸気爆発堆積物は, 明黄褐色 (2.5Y7/6; マンセル方式の標準土色帖による) を呈し, すべての地点において細粒な粒子 (粘土~シルト) を主体としている。層厚は 1 地点を除いて, すべて 10 cm 以下であった。白色に変質した岩片を多量に含んでおり, 全体にマッシュで成層構造は認められない (Fig. 5)。変質岩片は角礫から亜円礫の形状を呈し, サグ構造をつくっていること (Fig. 6) から, 噴火によって岩片が飛来したことがわかる。

指標テフラと埋没黒ボク土層の枚数から判断すると, 本堆積物は N10 期の層準に挟在している (Fig. 4)。N10 期と N13 期の埋没黒ボク土層最上部の ^{14}C 年代は, それ

ぞれ約 4,300 年前, 約 5,560 年前と報告されている (宮縁・渡辺, 1997)。埋没黒ボク土層と火山灰層とは堆積速度が異なることが十分考えられるが, 池の窪付近における N10 期から N12 期の火山灰層は, 全体的に細粒 (シルト質) であることから, ここでは堆積速度を一定と仮定すると, N10 期のほぼ中央の層準に存在する本堆積物の噴出年代は約 4,500 年前と推定された。

3-2 池の窪第 2 水蒸気爆発堆積物 (Ikph2)

K-Ah の下位 3~4 m 付近に見られるもう 1 層の水蒸気爆発堆積物は, 地表下約 8 m の層準に存在する (Fig. 4) ために, 深く刻まれたガリーの壁面最下部付近にしか露出しておらず, 観察できる地点は少ない。池の窪北西端付近 (Loc. 3, 5) では下限が見えないが, 層厚は 1 m を越えている。この堆積物も, 粘土~シルトといった細粒物質を主体としていることや白色変質岩片を多量に含むことなどの特徴をもっており, Ikph1 と酷似している。

K-Ah より下位の層序に関しては, 多くの地点で対比できる段階には至っていないために, この堆積物が中岳におけるどの活動期の層準に挟在するのかを断定することはできなかった。しかし, Fig. 4 に示すように本堆積物は地表下約 8 m の位置に存在しており, K-Ah (地表下約 5 m) との層序関係から, 噴出年代は約 10,000 年前と推定された。

3-3 堆積物の粒度組成と構成物質

調査地域における水蒸気爆発堆積物の粒度組成や構成物質を明らかにするため, Ikph1 に関して検討を行った。

試料は, Loc. 12 (Fig. 2) から採取し, 次の方法で粒度分析を実施した。持ち帰って自然乾燥させた後の試料はやや固結していたため, まず水を使用しながら $-5\phi \sim 1\phi$ (1ϕ 間隔) のふるいによって分離した。 1ϕ ($1/2\text{ mm}$) を通過した細粒分については, レーザー回折式粒度分布測定装置 (Malvern Instruments Mastersizer S) によって粒度分布を測定した。その結果を Fig. 7 に示した。この

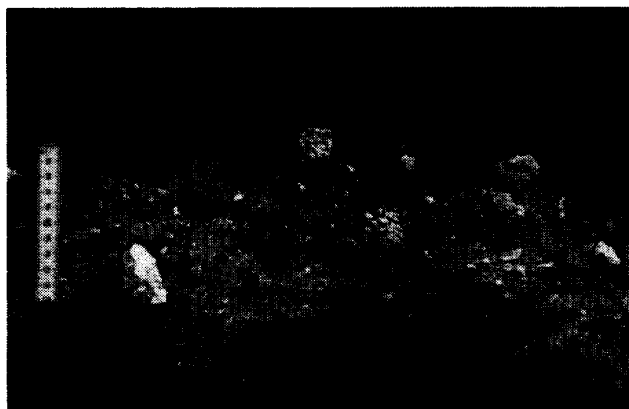


Fig. 5. Ikenokubo phreatic ejecta 1 (Ikph1) erupted about 4,500 years BP at locality 7. Scale in centimeters.



Fig. 6. Sag structure of Ikph1 at locality 3. Scale segments are 10 cm.

堆積物は、中央粒径 Md_{ϕ} は 7.2, 分級度 σ_{ϕ} (Inman, 1952) は 3.9 であり、非常に淘汰が悪い。粘土分 ($>8\phi$) 37.7%, シルト分 ($4\phi\sim 8\phi$) 44.3% で構成され、細粒物質を主体としているが、砂分 ($-1\phi\sim 4\phi$) が 7.7%, さらに礫分 ($<-1\phi$) も 10.3% 含んでいる。また粒度組成は、大きくバイモーダルな分布をしており、 $1\sim 2\phi$ 付近を境に粗粒な部分と細粒な部分とに分けられる (Fig. 7)。このことは、現地における Ikph1 の観察結果とも調和している (Fig. 5)。なお、Ikph2 についても野外での観察結果から、ほぼ同様の性質をもつものと判断される。

噴出物を超音波洗浄によって細粒物質を除去した後、主に砂サイズの粒子を実体顕微鏡によって観察したところ、岩片と鉱物片によって構成されていることがわかった。構成物質の大部分を占める岩片は、白色および黄褐色～褐色を呈する変質した岩片であり、わずかに安山岩質の岩片も含まれていた。鉱物片としては斜長石、単斜輝石、カンラン石、斜方輝石、磁鉄鉱が認められた。なお、マグマ噴火を示す火山ガラスなどの本質物質と判断できるものは検出することができなかった。

また、この堆積物は多量の細粒な変質鉱物を含んでいると考えられたため、X線回折法 (XRD) による鉱物鑑定も行った。その結果、ピークの大きい順にモンモリロナイト、緑泥石、クリストバル石、石英などの鉱物が検出された。

以上のような堆積物の特徴から、Ikph1 と Ikph2 はいずれも水蒸気爆発による堆積物であると考えられる。このような類質物質を主体とする淘汰の悪い堆積物が火口近傍に分布することは、阿蘇中岳における 1958 年 6 月 24 日および 1979 年 9 月 6 日の水蒸気爆発の際にも認められている (種子田・他, 1959; 阿蘇山測候所, 1980; 小野・他, 1982)。

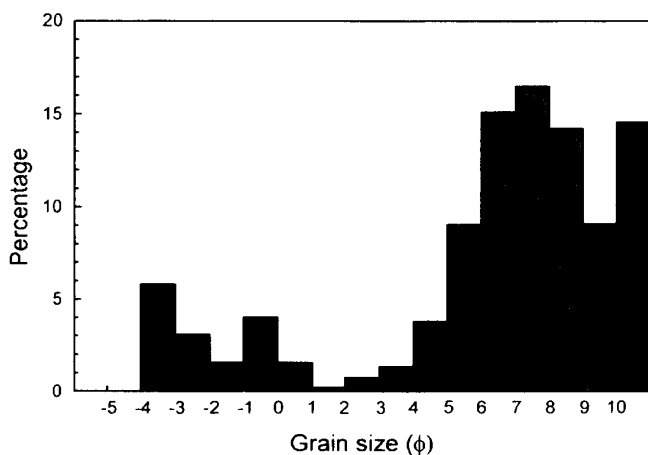


Fig. 7. Grain size histograms of Ikph1, sampled from locality 12.

4. 分布と噴出源および噴出物の体積

Ikph1 の層厚および岩片の最大粒径 (ML; 各露頭における最大の岩片 3 個の長径平均値) の分布を Fig. 8 に示す。層厚分布によると、本堆積物は池の窪の西端で 20 cm 以上と厚く、池の窪の東方 (Loc. 14, 15) では急速に薄くなっている (Fig. 8A)。等層厚線を描くと、夜峰山北側の爆裂火口内 (Loc. 1 付近) に収束している。さらに岩片の最大粒径も池の窪西端で 10 cm 以上と大きく (Fig. 8B), その分布は層厚分布とよく調和している。これらのことから、この水蒸気爆発堆積物の給源は地獄爆裂火口であると推定される。また、Ikph1 は池の窪タフリング (国土地理院, 1994) のリムに位置する露頭 (Loc. 7) において、火砕丘のリム地形をマントルベディングして覆っていること (Fig. 9) から、このタフリング起源ではなく、タフリングの地形は本堆積物よりも古いものと判断された。

Ikph2 については、露出が限られており、給源断定にはやや問題を残しているが、層厚および最大岩片の分布

Ikenokubo phreatic ejecta 1 (Ikph1)

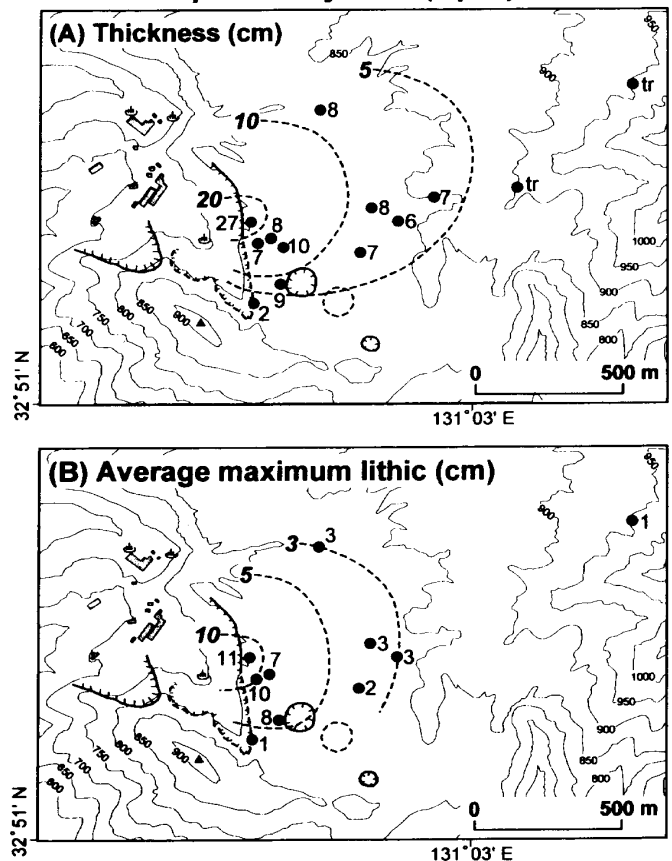


Fig. 8. Thickness and grain size characteristics of Ikph1. (A) Isopach map. (B) Maximum size isopleth map using the average long-axis diameter of the three largest lithics. Distribution of the ejecta indicates that possible vent of the deposit is a part of the Jigoku explosion crater located west of Ikenokubo basin.

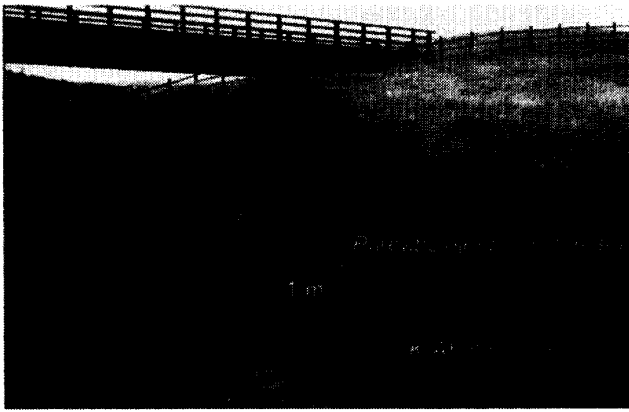


Fig. 9. Occurrence of mantle bedding of Ikph1 and Kikai Akahoya ash (K-Ah; ca. 6,300 years BP) at the rim of "Ikenokubo tuff ring" (Locality 7). View is from outside of the tuff ring.

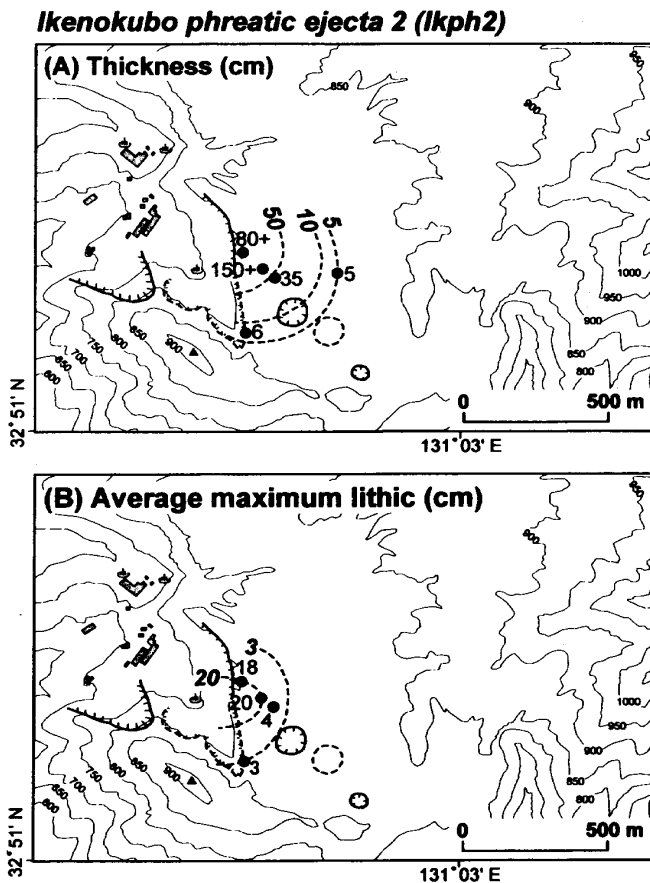


Fig. 10. Distributions of thickness and maximum lithic size for Ikenokubo phreatic ejecta 2 (Ikph 2) about 10,000 years BP. (A) Isopach map. (B) Maximum size isopleth map using the average long-axis diameter of the three largest lithics.

(Fig. 10) とともに、噴出源が池の窪より西方であることを示唆している。したがって、この堆積物も夜峰山北側の地獄爆裂火口起源であると考えられる。

なお、得られた等層厚線図 (Figs. 8A, 10A) から、Fierstein and Nathenson (1992) の方法を用いて、2つの水蒸

気爆発堆積物の体積を計算したところ、上位の Ikph1 が $1.3 \times 10^5 \text{ m}^3$ 、下位の Ikph2 が $1.9 \times 10^5 \text{ m}^3$ という値が得られ、後者の方が規模がやや大きいものの、どちらも 10^5 m^3 オーダーであった。

5. 考 察

5-1 池の窪タフリングの形成年代

池の窪タフリングという新称を与えた国土地理院 (1994) は、地形の開析程度などから、このタフリングの形成年代を K-Ah (約 6,300 年前) 以降と推定している。筆者らの調査によると、対象地域においては K-Ah の上位には前述した約 4,500 年前の水蒸気爆発堆積物しか見出すことができなかった。しかも、この堆積物はその分布 (Fig. 8) やリム地形をマントルベディングしていることから判断して池の窪タフリング起源ではなく、西方の地獄爆裂火口からの噴出物であることが明らかとなった。さらに、K-Ah より下位の約 10,000 年前の水蒸気爆発堆積物も池の窪タフリング起源とは考えにくい。これら 2 層以外にタフリング形成に伴うと考えられる堆積物は全く発見することができなかった。したがって、池の窪タフリングの地形はほとんど開析されておらず新鮮に見えるが、その形成年代は約 10,000 年前より古いと考えられる。

なお、国土地理院 (1994) は夜峰山山頂にタフリングやマールが形成されたときに飛散したと思われる角礫が存在すると記載しているが、筆者らによる調査では夜峰山山頂付近で水蒸気爆発に伴うと考えられる堆積物を発見することができなかった。

今回の筆者らによる調査結果からは、前述のように池の窪タフリング起源の堆積物を見出すことができず、約 10,000 年前より古いらしいこと以外に、その具体的な形成年代については明らかにできなかった。また 2 つのマールについても関連する堆積物は不明であり、形成年代も今後の課題として残っている。

5-2 調査地域における過去の噴火履歴と防災的意義

調査地域に近接する地獄・垂玉温泉は、湯の谷 (Fig. 1 の Yn; 調査地域から北北西約 2.5 km) とともに、阿蘇中央火口丘群において最も高い標高に位置する温泉保養地である。前述した堆積物の発見は、阿蘇火山の噴火史の解明という火山地質学的な問題だけでなく、防災的な観点においても重要な意味をもっている。

地獄温泉は天保 3 年 (1832 年) に創業、垂玉温泉は天正年間 (1573~92 年) にはすでに開いていたと伝えられ (熊本県教育会阿蘇郡支会, 1926, p. 116-117), どちらも古くからの温泉地として利用されてきた。垂玉温泉については、享保年間 (1716~36 年) に洪水と山崩れによっ

て温泉が埋没し、安永2年(1773年)に再興願が提出されたとの記録がある(長陽村村史編纂室, 1999a, 1999b)。地獄温泉の泉源である地獄爆裂火口では、嘉永年間(1848~54年)に明礬石の採掘が行われていたらしい(後藤, 1917, p. 582)が、両温泉とも創業以来の噴火記録は全く残されていない。しかし、その爆裂火口内を調査した結果、今回の水蒸気爆発堆積物と類似した変質岩片を含む堆積物が少なくとも9層以上認められた(Fig. 4のLoc. 1)。これらの詳しい層序や年代は明らかにできなかったが、先に述べた2層の比較的規模の大きい水蒸気爆発堆積物の存在から、この地獄爆裂火口では噴出物量 10^5 m^3 以上の水蒸気爆発が5,000年に1回程度発生していることがわかった。 10^5 m^3 オーダーという噴出物量は、テフラとして認識できる最小規模の水蒸気噴火であるということが指摘されており(奥野, 1995)、 10^5 m^3 オーダーより小規模で地層としては保存されていない爆発はさらに高い頻度で起こっている可能性が考えられる。

垂玉温泉(地学的には地獄温泉と同一の温泉群とみなされる)に関しては、中岳の地震および表面活動の消長と対応して、泉温と硫化水素(H_2S)濃度が増減するという関連性が報告されている(太田, 1978)。調査地域で水蒸気爆発が発生したN10期は、中岳ではマグマ水蒸気爆発と灰噴火が繰り返し発生するとともに、東方から南東に分布する降下スコリアの噴出などがあり、完新世において最も活発な活動期の一つである(宮縁・渡辺, 1997)。このことから、中岳の活動と垂玉・地獄温泉との関連性は過去においても成立している可能性がある。したがって、今後も中岳の活動に伴って、調査地域においても温泉の変化だけでなく、水蒸気爆発の発生などを含む火山活動の活発化が十分予想され、中岳における活動の推移とともに注意深く監視する必要があると考えられる。

6. おわりに

本論では、阿蘇中央火口丘群南西部の池の窪付近で発見された水蒸気爆発堆積物について報告し、その噴出源は地獄温泉の泉源である地獄爆裂火口であると推定した。この火口においては、過去1万年間に噴出物量 10^5 m^3 オーダーの水蒸気爆発が2回起こっていたことがわかり、より小規模な爆発はさらに高い頻度で発生しているものと推察された。今回の調査では具体的に正確な形成年代を明らかにできなかったが、池の窪およびその周辺域では地獄爆裂火口、池の窪タフリングやマールといった爆発的噴火によって形成された火山地形が北西-南東に配列している。この地域では今後もこうした火山

活動の発生が十分考えられ、水蒸気爆発に伴ってはラホールが誘発される危険性もある。さらに夜峰山北側山腹には顕著な地すべり地形が存在しており(Fig. 2)、その活動履歴や今後の変化についても検討しなければならない。

阿蘇火山では、活動中の中岳を中心としたハザードマップが作成されている(Watanabe, 1994; 阿蘇火山防災会議協議会, 1995)が、多くの観光客が訪れる地獄・垂玉温泉地域においても、警戒避難体制などの防災計画を早急に整備する必要があるだろう。

謝 辞

熊本大学教育学部の横山勝三氏には、現地において議論していただくとともに草稿について貴重なご指摘をいただいた。阿蘇火山博物館の池辺伸一郎氏には阿蘇火山の地質と温泉についてさまざまな情報を提供していただき、長陽村村史編纂室の藤岡美寿夫氏には古文書についてご教示いただいた。California State UniversityのBrian P. Hausback氏には英文を校閲していただいた。また奥野 充氏と匿名査読者の意見は本稿を改善する上でたいへん有益であった。以上の方々に、心から感謝の意を表します。

引用文献

- 阿蘇火山防災会議協議会(1995)阿蘇火山噴火災害危険区域予測図。
 阿蘇山測候所(1980)1979年の阿蘇山の活動。火山噴火予知連絡会会報, 17, 17-20。
 長陽村村史編纂室(1999a)垂玉温泉再興願。長陽村広報, 308, 15。
 長陽村村史編纂室(1999b)垂玉温泉再興願(2)。長陽村広報, 309, 13。
 Fierstein, J. and Nathenson, M. (1992) Another look at the calculation of fallout tephra volumes. *Bull. Volcanol.*, 54, 156-167。
 後藤是山編纂(1917)肥後國志下巻, 九州日日新聞社印刷部, 809 p。
 伊木常誠(1901)阿蘇火山地質報文。震災予防調査会報告, 33, 1-90。
 Inman, D. L. (1952) Measures of describing the size distribution of sediments. *J. Sediment. Petrol.*, 22, 125-145。
 岩崎重三・角田政治・有田保太郎(1907)阿蘇山の地学的研究。隆文館, 214 p。
 国土地理院(1994)火山土地条件図「阿蘇山」(3万分の1)。14 p。
 熊本県教育会阿蘇郡支会編纂(1926)阿蘇郡誌。910 p。
 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。
 松本哲一・宇都浩三・小野晃司・渡辺一徳(1991)阿蘇火山岩類のK-Ar年代測定-火山層序との整合性と火

- 碎流試料への適応一. 日本火山学会 1991 年度秋季大会講演予稿集, 73.
- 宮縁育夫・渡辺一徳 (1997) 埋没黒ボク土層の ^{14}C 年代からみた完新世阿蘇火山テフラの噴出年代. 火山, **42**, 403-408.
- 中村 武・渡辺一徳 (1995) 阿蘇火山杵島岳・往生岳の噴出物と黒ボク土に関する知見について. 熊本地学会誌, **110**, 2-5.
- NEDO [新エネルギー・産業技術総合開発機構] (1991) 平成 2 年度全国地熱資源総合調査 (第 3 次) 広域熱水流動系調査 阿蘇地域. 流体地化学調査報告書要旨, 171 p.
- 奥野 充 (1995) 降下テフラからみた水蒸気噴火の規模・頻度. 金沢大学文学部地理学報告, **7**, 1-23.
- 小野晃司・渡辺一徳 (1985) 阿蘇火山地質図 (5 万分の 1). 火山地質図 4, 地質調査所.
- 小野晃司・下川浩一・曾屋龍典・渡辺一徳 (1982) 火山噴出物の地質学的・岩石学的研究. 昭和 54 年度特別研究促進調整費「1979 年の御岳山・阿蘇山噴火に関する特別研究」報告書, 科学技術庁研究調整局, 167-189.
- 小野晃司・渡辺一徳・星住英夫・高田英樹・池辺伸一郎 (1995) 阿蘇火山中岳の灰噴火とその噴出物. 火山, **40**, 133-151.
- 太田一也 (1978) 阿蘇火山における温泉観測. 阿蘇火山の集中総合観測 (第 1 回) 報告 (1977 年 8~12 月), 56-63.
- 種子田定勝・松本征夫・宮地貞憲・宮地六美・石橋澄・児島正憲 (1959) 阿蘇火山 1958 年 6 月“大爆発”概報. 火山, **3**, 136-146.
- 渡辺一徳 (1992) 阿蘇火山. 日本地質学会第 99 年学術大会見学旅行案内書, 13-32.
- Watanabe, K. (1994) Hazard maps of Naka-dake, Aso volcano, Japan. *Mem. Fac. Educ. Kumamoto Univ. Nat. Sci.*, **43**, 25-37.
- 渡辺一徳・宮縁育夫 (1996) 熊本県阿蘇青年の家付近の阿蘇中央火口丘テフラ. 第四紀露頭集—日本のテフラ, 第四紀学会, 302.

(編集担当 林 信太郎)