中国・四国地方の第四紀テフラ研究¹⁾

——広域テフラを中心として——

三 浦 清²⁾・林 正 久²⁾

Quaternary Tephra Studies in the Chugoku and Shikoku Districts¹⁾

Kiyoshi MIURA²⁾ and Masahisa HAYASHI²⁾

A tephrochronological study has been carried out in the Chugoku and Shikoku Districts, paying special attentions to the widespread marker tephtras from Mts. Sanbe and Daisen, as well as tephtras from volcanoes in Kyushu. Chemical analysis of the major element composition of glass shards and/or magnetite grains collected from each tephra layer, using the electron microprobe technique, has been quite useful in identifying the individual tephra. The stratigraphy, chronology, and distribution of tephtras, and their implications for Late Quaternary events are summarized as follows: (1) Aira Tn (AT; erupted about 25, 000 BP), and Kikai Akahoya (K-Ah; erupted about 6, 300 BP) ashes, of Kyushu origin, occur as the most distinctive markers. Both are easily identified by the major element composition of their glass shards. The Aso-4 ash is another marker tephra of Kyushu origin, distinguishable by the major element composition of its magnetite. (2) Of the many tephtras erupted from Sanbe volcano, the Sanbe Kisuki (SKP), Unnan (SUn), and Ikeda (SIP) pumice layers are the most extensive and representative. The SUn and SIP pumice layers are identified in a marine core taken in the Japan Sea to the north of Tottori, 200 km away from Mt. Sanbe. (3) Of the Daisen tephtras, the Matsue (DMP), Kurayoshi (DKP) and Kusadanihara (KsP) pumice layers occur most extensively. KsP, of ca 18 ka, was recognized in a marine core from the Japan Sea to the west of Sakata City, 600 km away from Mt. Daisen. This correlates with the San'in 2 ash. (4) The followings are evident from the relationship of tephrochronology and geomorphic development in the Chugoku and Shikoku Districts: maximum sea level regression in the Late Pleistocene had occurred before the deposition of AT ash in the Izumo Plain; there were three stages of dune sand formation in the San'in District: the first was prior to the deposition of DMP, the second was between the eruptions of DMP and Aso-4, and the third was after the deposition of K-Ah; (5) Some of the unidentified tephtras were examined and showed that an ash layer sampled from Pleistocene gravels near Ozu City, Ehime Pref., and one from the lowermost part of the Oetakayama pyroclastic formation in the Tsunozu Group are similar to the Guminoki ash and Yellow III of the Osaka Group respectively, from the viewpoint of the major element composition of glass shards or glassy matrix.

I. は じ め に

中国・四国地方においては、第四紀末に活動した火山は三瓶火山と大山火山を除いては存在しないことから、

従来、テフロクロロジーの観点からの地形や第四紀地史の研究は東日本での研究に比べると少なかった。ただ、三瓶山と大山周辺の山陰地域では、火山噴出物の層序や火山体の岩石学的な研究が行われてきた。段丘面と

1) 1991年6月28日受付, 1991年8月30日受理. 1990年度日本第四紀学会シンポジウムにおいて講演.

2) 島根大学教育学部 Faculty of Education, Shimane University.

テフラとの関係（山陰第四紀研究グループ，1969），大山の噴出物や層序についての太田（1962 a, b），小畑（1966），赤木（1973），佐治ほか（1975）などの報告や三瓶山の火山灰層序や活動史に関する小畑（1967），鈴木ほか（1968），松井・井上（1971）の研究は中国地方における先駆的なテフラ研究といってよいであろう。しかし，テフラの対比・同定や絶対年代については，方法論も含めて多くの問題があり，残された課題も多かった。

1970年代の後半に発表された始良 Tn 火山灰（町田・新井，1976），アカホヤ火山灰（町田・新井，1978），大山倉吉軽石層（町田・新井，1979）など広域テフラについての研究はテフラの同定や編年において大きな転換期となり，中国・四国地方においても，三瓶山や大山の活動史についての新たな検討が行われるとともに，テフラに関する知見も増加し，多くの研究がなされるようになった。大山に関しては荒川（1984），津久井（1984）の研究，三瓶山についての服部ほか（1983），林・三浦（1986 a, 1987），三浦・林（1987）の研究がある。

本研究では三瓶山・大山起源のテフラ，特に更新世後期の地史・地形発達史を検討する上で指標となる広域性テフラを中心に，その鉱物的特徴や中国・四国地方における地質的意義について報告する。また，山陰西部に存在する更新世前期～中期のテフラや四国地方にみられる外来テフラの産状や層序についても言及したい。

テフラの対比・同定法としては現地での露頭観察のほか，エネルギー分散型 X 線マイクロアナライザー -EPMA-（日立 S-650 型電顕および堀場 EMAX-2200）を利用して，火山ガラス，磁鉄鉱などの化学組成の分析を行った。ガラスの場合，分析した成分は SiO_2 と TiO_2 ， Al_2O_3 ， FeO （全鉄）， MnO ， MgO ， CaO ， Na_2O ， K_2O ， P_2O_5 である。これらの重量%の総和を 100% から差し引いた残りを，多少の問題はあるが， H_2O の重量%とした。

同一のテフラであっても，それに含まれる火山ガラスは，堆積環境やその後の状況によって風化の状態に大きな差が生じる。ある露頭ではかなり新鮮にみえても他の露頭ではほとんど完全に風化している場合も現実として存在する。また，同一露頭であっても各火山ガラス粒ごとに，あるいは 1 粒の中でもその部分ごとに，風化の程度に差が認められることが多い。したがって，テフラの同定に際しては，以下の手続きをとった。火山ガラスの分析を一義的とし，上記成分のうち， SiO_2 の重量比を横軸に， TiO_2 以下の成分の各重量比を縦軸にとって図示し，その特徴的分布パターンを対比・検討の指標と

図1 調査対象地域

黒四角：海底の試料採取地点

Fig. 1 Location map of the study area

Solid square : boring site of marine sediment

する。あわせて，テフラに含まれる磁鉄鉱やシソ輝石，斜長石などの組成を考慮して最終的な同定を行った。火山ガラスを含まないテフラやガラスが風化している場合は，磁鉄鉱の組成が同定に有効なことがある。その場合は Fe の重量比を横軸に，Mn や Al, Mg, Ti の各重量比を縦軸にとって，その特徴的分布パターンを同定の指標とした。

採取した試料は粘土・シルト分を除去して乾燥した後，一部は偏光顕微鏡下で鉱物組成を観察し，一部は火山ガラスなどの粒を実体顕微鏡下で集め，樹脂で接着した後，表面を研磨して EPMA 用の試料とした。分析条件は加速電圧 20 KV，試料電流 5×10^{-10} A，ビーム入射角 90° ，X 線取出角 38° ，カウント時間 200 秒で実施した。図 1 に本研究で扱う対象地域を示す。

II. 更新世後期の外来テフラの特徴とその地質学的意義

中国・四国地方で確認された更新世後期の外来テフラとしては，ガラス質の始良 Tn 火山灰（AT：町田・新井，1976；約 2.5 万年前降下，松本ほか，1987），鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah：約 0.63 万年前降下，町田・新井，1978）が存在し，このほかに阿蘇 4 火山灰

図2 阿蘇4火山灰層中の磁鉄鉱の化学組成

阿蘇山周辺と島根県掛合町奥明で採取。

白：阿蘇山周辺の阿蘇4火砕流の軽石中の磁鉄鉱

黒：掛合町奥明における火山灰質土中の磁鉄鉱

Fig. 2 Major element composition in magnetite grains of the Aso-4 ash sampled around Aso volcano and at Okumyô, Kakeya, Shimane prefecture

open : around Aso volcano, solid : at Okumyô

(Aso-4: 約 7 万年前降下, 町田ほか, 1985) がある。AT は山陰地域では厚さ約 20 cm, 隠岐では 10 cm の黄褐色の細粒バミス質火山灰として広範囲に観察される。一方, K-Ah や Aso-4 は陸上では単層としては観察できず, 別の火山灰に混入したり, 火山灰質土壌として存在するが, 土壌などに含まれる火山ガラスや磁鉄鉱の分析から, その存在が確認されている。

AT や K-Ah は分布の広域性からみて, 中国地方における最も重要な指標テフラである。ただし, 土壌や沖積層中には両者が混在していることが多く, 一つひとつの火山ガラスを正確に区別する必要がある。三浦・林 (1985) は中国地方各地に分布する AT と K-Ah の火山ガラスについて, EPMA による化学組成の分析を行い, その特徴的分布パターンを詳述した。

中国地方に分布する Aso-4 に含まれる火山ガラスは

かなり風化が進んでいるため, 正確な分析値を求めることが困難である。そこで, 火山ガラスのかわりに磁鉄鉱粒の化学分析値を利用して対比を実施してきた。図 2 はその一例である。

一方, 鬱陵隠岐火山灰 (U-Ok: 0.93 万年前降下, 町田ほか, 1981) は陸上では確認されていないが, 鳥取沖 (図 1, 231 地点) の底質コアの中に, 三浦 (1988 a) が示したような, やや変質した火山灰として確認されている。なお, 鬼界葛原火山灰 (K-Tz: 7.5~8 万年前降下, 町田・新井, 1983 a) については, 本研究では検討していない。

III. 山陰起源のテフラの特徴と層序

1. 三瓶火山のテフラ

三瓶火山起源のテフラの層序や特徴については, 活動史を含めてその全貌がほぼ明らかとなった (林・三浦, 1987; 三浦・林, 1987)。三瓶火山起源を中心とするテフラの諸特性を表 1 に示す。従来の松井・井上 (1971) の報告と大きく異なる点は, 三瓶火山の活動開始は約 10 万年前と大幅にさかのぼること, 4 つの活動期に分けられ, それぞれの活動期は軽石や火砕流の大噴火に始まり, 溶岩の流出で終了すること, それぞれの活動期の噴出物の性格は後期のものほど塩基性になっていくことなどである。

三瓶火山起源の重要な広域テフラとして, 三瓶木次軽石 (SKP) と三瓶雲南軽石 (SUn), 三瓶池田軽石 (SIP), 三瓶浮布軽石 (SUP) とがあげられる。いずれも三瓶山周辺では厚さ 1 m 以上の軽石層である。これらのテフラの同定法については, 筆者らの前掲論文に詳述してある。

SKP は三瓶火山の最も古い噴出物の一つで, その年代は 8~9 万年前 (豊蔵ほか, 1991) で, 三瓶山から北東方向に分布する。大山山麓 (津久井・棚山, 1981) をはじめ, 越前海岸・能登半島 (豊蔵ほか, 1991) でもその存在が報告されている。重鉱物に乏しく, 石英・長石粒が多い。風化の進んでいない軽石層からは火山ガラスを識別することができる。SUn は林・三浦 (1986 a) によって新たに発見されたもので, 三瓶カルデラの形成の起因となった大田軽石流とはほぼ同時期の噴出物で, 大量の火山ガラスを含む。大田軽石流中に点在する炭化木の ^{14}C 年代は >3.78 万年前 (林・三浦, 1987) を示し, 年代測定の限界値を超えるが, 大山倉吉軽石層 (DKP) 中に SUn の火山ガラスが混在すること (三浦, 1990 a) から, その年代は 4.5~4.7 万年とされる。SUn は三瓶山の北東から南方へ幅広く分布し, 大

表1 三瓶火山を中心とする指標テフラ層の諸特性

Table 1 Stratigraphy and characteristics of marker tephra mainly erupted from Sanbe volcano

	(1) テフラ名 (記号)	(2) 産状	(3) 年代 (千年前)	(4) 主要鉱物組成	(5) 火山ガラスの 主成分の特徴	(6) 磁鉄鉱の化学 組成の特徴	(7) 分 布
IV 期	大平山降下火山灰層 (SOa)	afa /lfa	3.6	pl>gl>hb>bi,mt,qt	Na>K>Ca>Fe>Mg>Ti	Ti>Al>Mg>Mn>V	広島県北部
	大平山火砕流 (SOh)	bfl					三瓶山周辺
III 期	多根火砕流 (STf) ⁶⁾	bfl	—	pl,hb>gl>mt,bi	—	Ti>Al>Mg>Mn>V	三瓶山周辺
	アカホヤ火山灰 (K-Ah) ¹⁾	afa	6.3 ¹⁾	gl>pl>hy,au,mt	Na>K>Fe>Ca>Mg>Ti	—	全域
	浮布降下軽石層 (SUP) ⁴⁾	pfa	—	pl>hb>mt,bi,gl	—	Ti>Al>Mg>Mn>V	広島, 鳥取, 岡山, 兵庫 ⁷⁾
II 期	小田火砕流 (SOd) ⁶⁾	bfl	16.4	pl>hb>gl>bi,mt	Na>K>Ca>Fe>Mg>Ti	Ti>Al>Mg>Mn>V	三瓶山周辺
	始良Tn火山灰層 (AT) ²⁾	afa	≈25 ⁴⁾	gl>pl>hy,hb>mt,bi	Na>K>Fe>Ca>Mg>Ti	Ti>Al>Mg>Mn>V	全域
	池田降下軽石層 (SIP) ⁵⁾	pfa	30-40	pl>hb>bi>gl,qt	Na>K>Ca>Fe>Mg>Ti	Ti>Al>Mg>Mn>V	大山周辺
	大田軽石流 (SOf) ⁵⁾	pfl	>37.8	gl>pl>qt>bi,mt,hb	K>Na>Ca>Fe>Mg>Ti	Al,Mn>Ti>Mg>V	三瓶山周辺
	雲南降下軽石層 (SUn)	pfa	45-47				大山周辺 広島市郊外
	阿蘇4火山灰 (Aso-4) ³⁾	afa	70 ³⁾	pl>gl,hb,hy,mt>au	—	Ti>Al>Mg>Mn>V	全域
I 期	木次降下軽石層 (SKP) ⁵⁾	pfa	80-90 ⁸⁾	pl>qt>bi,gl,mt,hb	Na>K>Ca>Fe>Mg>Ti	Al>Ti>Mn>Mg>V	鳥取, 石川 ⁹⁾
	粕淵火砕流 (SKf) ⁵⁾	afl	—	gl>pl>qt>bi,mt,hb	K>Na>Ca>Fe>Mg>Ti	Al,Mn>Ti>Mg>V	三瓶山周辺

[産状] afa:降下火山灰 lfa:降下ラブリ pfa:降下軽石 bfl:石質火砕流 pfl:軽石流 afl:火山灰流

[鉱物] gl:火山ガラス pl:斜長石 qt:石英 bi:黒雲母 hb:角閃石 hy:シソ輝石 au:普通輝石 mt:磁鉄鉱

[ガラスの成分] Na:Na₂O K:K₂O Ca:CaO Fe:FeO Mg:MgO Ti:TiO₂¹⁾ 鬼界カルデラ起源 (町田・新井, 1978) ²⁾ 始良カルデラ起源 (町田・新井, 1976) ³⁾ 阿蘇カルデラ起源 (町田ほか, 1985)⁴⁾ 松本ほか (1987) ⁵⁾ 松井・井上 (1971) ⁶⁾ 服部ほか (1983) ⁷⁾ 野村・田中 (1989) ⁸⁾ 三浦 (1990a) ⁹⁾ 豊蔵ほか (1991)(1) Name of tephra (Abbreviation) (2) Mode of emplacement afa:ash fall lfa:lapilli fall pfa:pumice fall bfl:block flow pfl:pumice flow afl:ash flow (3) Age ($\times 10^3$ y. B. P.) (4) Mineral composition gl:glass pl:plagioclase qt:quartz bi:biotite hb:hornblende hy:hypersthene au:augite mt:magnetite (5) Characteristics of major element composition in glass shard (6) Characteristics of chemical composition in magnetite grain (7) Distribution

(林・三浦 (1987) に加筆)

山麓から広島市北東までその存在が知られる。SKPとSUnは重鉱物が乏しいこと、火山ガラスの多くが繊維状・スポンジ状を呈することなど酷似しており、顕微鏡下では両者の識別は困難である。火山ガラスの化学組成からみると、K₂Oの含有量に大きな差が認められる。SKPのものは3.4~3.7%の範囲に集中するが、SUnのものは4.0~4.4%に集中し、しかもK₂O>Na₂Oを示すことが特徴である。また、磁鉄鉱も両者の区別に有効で、SKPではMnの含有量が0.75~0.90%、Tiが0.90~1.05%、Alが1.10~1.35%の範囲にそれぞれ集中する。それに対して、SUnではTiの含有量は0.80~0.86%でSKPの値より低い。また、SUnではMnとAlの量は0.90~1.10%の範囲に交錯するような分布パターンを示すことから容易に識別できる。

SIPとSUPはともに角閃石を多く含む。SIPはATとSUnの間に存在することから、3~4万年前に降下したと考えられる。SIPは三瓶山の南東から北東方向に幅広く分布する。大山から鳥取市の沖までその存在が確認されており (三浦, 1988a), より遠方でも発見される可能性がある。一方、SUPは三瓶山から東南東方向を主軸として、兵庫県の篠山盆地にも分布している (野村・田中, 1989)。しかし、その南北方向への分布幅は狭く、細長い帯状の分布域となっている。SUPの降下年代を直接示す資料はみつからないが、1.64万年前 (林・三浦, 1987) の小田火砕流 (SOd) より新しく、6.3千年前のK-Ahより古いことは確実である。なお、これらのテフラについても、磁鉄鉱粒の化学組成の分析が行われており (林・三浦, 1987; 三浦・林,

表 2 大山火山を中心とする指標テフラ層の諸特性

Table 2 Stratigraphy and characteristics of tephra mainly erupted from Daisen volcano

(1) テフラ層名(記号)	(2) 産状	(3) 年代 (千年前)	(4) 主要鉱物組成	(5) 火山ガラスの 主成分の特徴	(6) 磁鉄鉱の化学 組成の特徴	(7) 分 布
下宝珠泥流 ⁵⁾	mfl	—	—	—	—	大山北麓 ⁵⁾
アカホヤ火山灰(K-Ah) ³⁾	afa	6.3 ³⁾	gl>pl>hy, au, mt	Na>K>Fe>Ca>Mg>Ti	—	大山周辺全域
弥山火砕流 (MiF) ⁵⁾ 草谷原軽石層 (KSP) ⁵⁾	bfl lfa	18.1 —	pl>gl>hb>hy, mt pl>hb, gl>hy>bi, mt	— Na>K>Fe, Ca>Mg>Ti	— —	大山北麓 ⁵⁾ 大山北東麓 ⁵⁾
東大山軽石層 (HgP) ⁵⁾ 東大山火山灰 (HgA) ⁵⁾	lfa afa	— —	pl, hb, hy, bi>cm ⁵⁾ hb>hy>mt ⁴⁾	— —	— Ti>Al>Mg>Mn, V	大山東麓 ⁵⁾ 大山東—南東麓 ⁵⁾
笹ヶ平火砕流 (SaF) ⁵⁾ 笹ヶ平火山灰層 (SaA) ⁵⁾	bfl afa	— —	hb>hy>mt(bi, qt) ⁴⁾ pl>hb>hy, gl>mt, bi	— —	— Ti>Al>Mg>Mn, V	大山東麓, 西麓 ⁵⁾ 大山東麓 ⁴⁾
始良Tn火山灰層 (AT) ²⁾	afa	≈25 ¹⁰⁾	gl>pl>hy, hb>mt, bi	Na>K>Fe>Ca>Mg>Ti	Ti>Al>Mg>Mn>V	大山周辺全域
池田軽石層 (SIP) ¹⁾	pfa	30-40 ⁹⁾	pl>hb>bi>gl, qt	Na>K>Ca>Fe>Mg>Ti	Ti>Al>Mg>Mn>V	大山周辺全域
鴨ヶ丘火山灰-2 (KmA-2) ⁵⁾ 鴨ヶ丘火山灰-1 (KmA-1) ⁵⁾ 楓原火砕流 (MkF) ⁵⁾	pfa pfa bfl	— — —	pl>hb>bi>hy, mt — hb>hy>mt(bi) ⁴⁾	— Na>K>Ca>Fe>Mg>Ti —	Ti>Al>Mg>V, Mn Ti>Al>Mg>Mn, V —	大山東麓, 南西麓 ⁵⁾ 大山東麓, 南西麓 ⁵⁾ 大山北—南西麓 ⁵⁾
雲南軽石層 (SUn) ⁸⁾ 倉吉軽石層 (DKP) ⁴⁾ 堀火砕流 (HoF) ⁵⁾	afa pfa bfl	45-47 ¹¹⁾ 45-47 ⁴⁾ —	gl>pl>qt>bi, mt, hb pl>hb>hy>mt, bi —	K>Na>Ca>Fe>Mg>Ti K>Na>Ca>Fe>Mg>Ti —	Al, Mn>Ti>Mg>V Ti>Al>Mg>V, Mn —	大山周辺全域 東麓, 北麓・北関東 ⁴⁾ 大山東麓 ⁴⁾
関金軽石層 (DSP) ⁴⁾	pfa	—	pl, hb, hy>mt, bi	—	—	大山東麓 ⁴⁾
生竹軽石層 (DNP) ⁴⁾	pfa	—	pl, hb>hy>mt, bi	—	Ti>Al>Mg>V, Mn	大山東麓 ⁴⁾
八東軽石層 (YtP) ⁵⁾	pfa	—	—	—	—	大山東—南東麓 ⁵⁾
阿蘇4火山灰 (Aso-4) ⁷⁾	afa	70 ⁷⁾	pl>gl, hb, hy, mt>au	—	Ti>Al>Mg>Mn>V	大山周辺全域
木次軽石層 (SKP) ¹⁾	pfa	80-90 ¹²⁾	pl>qt>bi, gl, mt, hb	Na>K>Ca>Fe>Mg>Ti	Al>Ti>Mn>Mg>V	大山周辺全域
名和火砕流 (NwF) ⁵⁾	bfl	≈100 ⁸⁾	hb>hy, mt, bi ⁶⁾	—	—	大山北麓 ⁵⁾
旧奈和火砕流 (Kn) ⁶⁾ 蒜山原軽石層 (DHP) ⁴⁾	bfl pfa	— —	hb>hy, mt>bi ⁶⁾ hb>bi>mt ⁴⁾	— —	— —	大山北麓 ⁶⁾ 大山東麓 ⁴⁾
松江軽石層 (DMP) ⁴⁾	pfa	<130 ⁴⁾	pl>hb>mt, bi, cm	—	Ti>Al>Mg>Mn, V	東麓, 西麓, 出雲 ⁴⁾
樋谷軽石層 (HdP) ⁵⁾	pfa	—	hb>hy, bi, mt ⁶⁾	—	—	大山北—西麓 ⁵⁾
福市軽石流 (Fk) ⁶⁾	pfl	—	pl>gl, hb>hy, mt	—	—	大山西麓 ⁶⁾

[産状] mfl: 火山泥流 他の記号は表1と同じ [鉱物] cm: カミングトン閃石 他の記号は表1と同じ

[ガラスの成分] 記号は表1と同じ

[出典] ¹⁾ 三瓶火山起源(松井・井上, 1971) ²⁾ 始良カルデラ起源(町田・新井, 1976) ³⁾ 鬼界カルデラ起源(町田・新井, 1978)

⁴⁾ 町田・新井(1979) ⁵⁾ 津久井(1984) ⁶⁾ 荒川(1984) ⁷⁾ 阿蘇カルデラ起源(町田ほか, 1985)

⁸⁾ 三瓶火山起源(林・三浦, 1986a) ⁹⁾ 林・三浦(1987) ¹⁰⁾ 松本ほか(1987) ¹¹⁾ 三浦(1990a) ¹²⁾ 豊蔵ほか(1991)

[注] 弥山火砕流(MiF)と樋谷軽石(HdP)は荒川(1984)の清水原火砕流(S2)と淀江軽石(DYP)にそれぞれ対比される。

また、東大山軽石(HgP)と東大山火山灰(HgA)、笹ヶ平火砕流(SaF)、笹ヶ平火山灰(SaA)、堀火砕流(HoF)は、町田・新井(1979)の弥山軽石と上のホーキ、オドリ火砕流、下のホーキ、小鴨川古期火砕流にそれぞれ対比される。

上記の他に、町田・新井(1979)は上のホーキとアカホヤ火山灰の間に鏡ヶ成軽石を、荒川(1984)はオドリ火砕流(Od)と清水原火砕流の間に関見火砕流(Sm)を報告している。

(1) Name of tephra (Abbreviation) (2) Mode of emplacement mfl: mud-flow; others are shown in Table 1 (3) Age ($\times 10^3$ y. B.P.) (4) Mineral composition cm: cumingtonite; others are shown in Table 1 (5) Characteristics of major element composition in glass shard (6) Characteristics of chemical composition in magnetite grain (7) Distribution

図3 大山倉吉軽石層 (DKP) の火山ガラスの化学組成
Fig. 3 Major element composition in glass shards of the Daisen Kurayoshi pumice (DKP)

1987), その分析値からもテフラが同定できる。

2. 大山火山のテフラ

大山火山の活動開始年代はかなり古く、古期噴出物の一つ、船上山溶岩は約 35 万年前 (綱川・津久井, 1983) と報告されている。しかし、テフラの噴出量や枚数が多いことから、大山のテフラの全貌が十分に解明されているとはいえないが、更新世後期のテフラについてはかなり研究が進んでいる。表 2 に大山火山周辺のテフラの層序や特徴を示す。これは、津久井 (1984) の研究をもとに、町田・新井 (1979) や荒川 (1984) の報告を検討し、その後、筆者らが確認・分析したテフラや三瓶山や九州起源の外來テフラの層序を加味して作成したものである。しかし、大山周辺にはここに示したものの以外にも何枚かの未調査のテフラが存在する。たとえば、津久井 (1984) によれば、鴨ヶ丘火山灰や笹ヶ平火山灰、東大山火山灰、草谷原軽石層などはそれぞれ 10 枚以上の噴出ユニットから構成されるというが、鴨ヶ丘火山灰の場合、その最上部の軽石層は下部のテフラと鉱物

図4 大山草谷原軽石層 (KsP) Type-I の火山ガラスの化学組成Type-I

Fig. 4 Major element composition in glass shards of the Daisen Kusadanihara pumice (KsP; Type-I)

特性が異なり、鴨ヶ丘火山灰-1 と 2 に区分されること (三浦, 1990 a), DNP と DKP の間に未命名のテフラがあること (三浦, 1989) などが判明しており、今後書き加えられる可能性もある。

大山起源のテフラの中で、松江軽石 (DMP) や生竹軽石 (DNP)、関金軽石 (DSP)、倉吉軽石 (DKP) などは、分布の広域性が指摘されている (町田・新井, 1979)。DMP は少量のカミングトン閃石を含み、シソ輝石をほとんど含まないという特徴的なテフラであるが、そのほかのテフラは重鉱物組成なども比較的似ており、軽石層が著しく風化しているため、それぞれのテフラを特定することは、かなり困難である。

ここでは、重要な指標テフラとして DMP と DKP, そして新たに広域性が明らかになった草谷原軽石層 (KsP) について述べる。DMP に含まれる火山ガラスは風化が著しく、その特性は不明であるが、磁鉄鉱の化学組成において、Fe に対する Ti の関係などの特徴が同定に有効である (三浦・吾郷, 1988)。DKP もその火山ガラスは風化が進んでいるが、分布パターンの傾向を読み取る資料として、かろうじて分析値の求められたものを図 3 にあげる。大山起源のテフラとして、 $K_2O > Na_2O$ の特性をもつものは珍しい。KsP はスポンジ状

図 5 大山草谷原軽石層 (KsP) Type-II の火山ガラスの化学組成

Fig. 5 Major element composition in glass shards of the Daisen Kusadanihara pumice (KsP : Type-II)

の火山ガラスを比較的多く含む。そのガラスの化学組成は図 4, 図 5 に示す。Type-I と Type-II の二つのパターンを示すものが混在している。全体としては、Type-I の方が Type-II に比べて出現頻度が高い。Type-II の特性をもつものは、Type-I のガラスから斜長石質マイクロライトが晶出した部分であると判断される。大山北西麓の中山町香取において、KsP の直上をほぼ整合的に覆う弥山火砕流 (MiF) から採取した炭化木の ^{14}C 年代は $18,100 \pm 180$ 年前 (N-4358) であった。名和町新高田でも、 $17,200 \pm 400$ 年前 (GaK-383) という年代が報告されている (山陰第四紀研究グループ, 1969)。KsP と MiF の両者の間に大きな休止期は認められず、KsP の降下時期は MiF とほぼ同じ、約 1.8 万年前と考えられる。

IV. 中国・四国地方に分布する広域テフラの地史的意義

中国・四国地方の第四紀地史を研究する上で、大山・

図 6 松河戸火山灰層の火山ガラスの化学組成
愛知県春日井市松河戸遺跡で採取。

Fig. 6 Major element composition in glass shards of the Matsukawado ash sampled at the Matsukawado site, Kasugai, Aichi prefecture

三瓶山起源および九州起源の広域テフラの果たす有効性について、いくつかの事例をあげる。

AT および K-Ah は旧石器から縄文時代にかけての考古学的分野の研究にも広く利用されている。K-Ah の噴出以前と以後の縄文土器の急変について、九州における事例が新東 (1978)、町田・新井 (1983 b) によって報告されているが、浜田市の日脚遺跡でも K-Ah を境に押型文から繊維土器に変化することが知られている (三浦・林, 1986)。

最近、森ほか (1990) は愛知県春日井市で松河戸火山灰層 (MT) を発見し、三瓶大平山火山灰 (SOa) に対比される可能性を指摘した。大平山火山灰 (SOa) は三瓶山の最新期の噴出物で、三瓶山周辺では石英安山岩質の軽石を含む淡灰黄色の降下火山灰・火山砂からなる。厚さは 1 m 以下で 3~4 枚のユニットをもつが、岩質的には酷似しており、識別は困難である。SOa とほぼ同

図7 三瓶大平山火山灰層 (SOa) の火山ガラスの化学組成

Fig. 7 Major element composition in glass shards of the Sanbe Ōhirayama ash (SOa).

時期の噴出物である大平山火砕流 (SOh) に含まれる炭化木片から $3,600 \pm 75$ 年前の ^{14}C 年代が得られている (林・三浦, 1987). SOa のユニットの一部は火砕流より下位にあるようにみえるが, 大半は火砕流より上位に堆積しており, SOa は 3,600 年前をはさんで短期間に数回噴出したと考えられる. 松河戸火山灰層と三瓶山周辺の SOa 最上部から採取された火山弾中の火山ガラスの化学分析値を, それぞれ図 6 と図 7 に示す. 両者はよく似たパターンを示し, 同一のテフラである可能性が高い. SOa は三瓶山の南東から東方にかけて分布し, 広島県北部 (三瓶山から約 40 km 東方) まではその存在が確認されているが, 中国地方東部や近畿では報告されておらず, 今後さらに調査を進める必要がある.

四国地方でも, AT や K-Ah の存在が知られており, 年代指標としての有効性が高い. 吉野川左岸には有名な

図8 出雲平野の柱状図における沖積層の層序とテフラとの関係

テフラの記号は表 1・表 2 と同じ. 各テフラ起源の火山ガラスが見つかった最下部の層序を示す.

Fig. 8 Columnar section of alluvial deposits in the Izumo Plain, Shimane prefecture

阿波の土柱があり, 特異な景観をなしている. 土柱を構成する堆積物の中位層準に含まれる火山ガラスの化学組成が, AT および K-Ah に極めて類似しているという分析結果が得られた. ガリーの形成期を考える上で重要と思われるが, 鉱物組成に違いがあることなどから, ここではその類似性を指摘するにとどめ, 今後の検討課題としたい.

また, これらの広域テフラは陸上における指標だけでなく, 第四紀後期の海水準の変動を検討する上でも大きな意義をもっている. 林・三浦 (1986 b) は, 中海・安道湖周辺の沖積層に混在する火山ガラスの分析から, AT がいわゆる沖積層の下限付近から出現すると報告した. 図 8 に出雲平野の沖積層の柱状図とテフラとの関

v v v : 降下テフラ層 網掛け部: 砂丘砂 テフラ名の略号は表 1・表 2 と同じ。
¹⁾ 出雲市西園町妙見山西麓, ²⁾ 鳥取県北条町弓原; 砂丘上に突出する基盤岩の丘陵地, ³⁾ 鳥取県北条町弓原, ⁴⁾ 鳥取県福部村湯山

図 9 テフラからみた山陰地域の砂丘形成

Fig. 9 Stratigraphy of the coastal dune in the San'in District

係を示す。林 (1991) によれば, 出雲平野では, 完新世の海面高頂期は K-Ah 降下より後に起こったこと, いわゆる「沖積統基底礫層」(図 8 の下部礫層に相当) は AT の下位にあり, 第四紀後期の最大海退が AT の降下期以前にさかのぼる可能性が指摘されている。

山陰地域の日本海沿岸に発達する砂丘地にも, 砂丘砂をさむ何層かのテフラが存在し, 砂丘の形成史の研究にも指標テフラが有効である。山陰地域の砂丘や古土壌については, すでに成瀬 (1982), 井上・成瀬 (1990) によって数回の砂丘形成期の存在が報告されている。出雲および北条・鳥取砂丘地においてテフラの詳細な検討を行った三浦 (1988 b, 1989) の結果を図 9 にまとめる。DMP をさむ 2 枚の古砂丘砂層と, K-Ah より新しい新砂丘砂層が識別され, 古砂丘の形成は Aso-4 までに終了していること, 黒ボクの形成時期が K-Ah の降下直後に認められることなどが判明した。

V. 日本海海底にみられる山陰起源のテフラ

三瓶山・大山は比較的海岸近くに位置し, これらの火山から噴出したテフラの広域性を考える上で, 日本海海底堆積物の分析は重要な意味をもつ。筆者らは, 日本海海底で得られた底質堆積物中に存在する火山ガラスを分析し, いくつかの山陰起源のテフラを同定した。その一部は三浦 (1988 a) や三浦ほか (1991) によって報告されている。

三瓶山から北東約 200 km 離れた鳥取沖の海底コア

図 10 日本海における海底コアの採取地点

Fig. 10 Localities of cores drilled in the Japan Sea

(図 1 の 231, 232 地点) からは, AT の下位に三瓶起源の SUn と SIP の火山ガラスが確認され, これら 2 つのテフラの分布の広域性が裏付けられた。山陰から北陸にかけて両テフラの存在する可能性が高いといえる。

一方, 図 10 に示す北陸沖の海底コアには, 山陰起源の可能性が指摘されている山陰 1, 山陰 2 の 2 枚のテフラが存在する (図 14 の S-1, S-2)。山陰 2 といわれているテフラの火山ガラスの化学分析値を図 11 と図 12 に示す。これらは図 4 と図 5 に掲げた大山起源の KsP の特徴とよく一致し, 同一のテフラと考えられる。KsP の分布の広域性はほとんど知られていなかったが, 大山から採取地点までは 600 km 以上離れており, 能登から新潟県沿岸においても発見される可能性が高い。

一方, 図 13 に示す山陰 1 の火山ガラスの化学組成については, 図 3 に示した DKP の特徴との類似性が指摘できるが, 陸上における DKP のガラスの分析数が少ないという点では問題が残る。

図 14 に採取地点の柱状図とテフラとの関係を示す。筆者らは採取試料のすべてを分析してはならず, ここで確認されたもの以外にも, 山陰起源のテフラが介在している可能性がある。

VI. 中国・四国地方における更新世後期以前のテフラ

中国・四国地方には, これまで述べてきた三瓶山・大山や九州など起源が明らかにされたテフラ以外にも, いくつかの未確認のものが存在する。ここでは, それらの

図 11 海底コアにみられる山陰 2 火山灰の火山ガラスの化学組成 (KsP: Type-I)

酒田沖 33 地点の深度 117~119 cm, 図 10 参照。

Fig. 11 Major element composition in glass shards of the San'in 2 ash (KsP: Type-I) sampled from the marine core (117~119 cm in depth) at point 33 to the west of Sakata City

うち二・三のテフラの分析結果について報告する。

四国地方では鹿島ほか (1981, 1982) によって, 更新世のテフラが報告されている。筆者らは愛媛県大洲市平野町野田付近の露頭から採取したテフラの分析を行った。このテフラは鹿島ほか (1981) の V. A. No. 15 に相当し, 角閃石を含まず黒雲母を多量に含む火山灰であるが, 火山ガラスは残存していない。そこで, テフラ中の本質岩片の石基部分の化学組成を求めた。化学組成の点からは, 三浦 (1990 b) が示した大阪層群泉北累層上部の「ゲミノキ火山灰層」のガラス質石基の組成との類似性が認められるが, 鉱物組成の異なる点で問題が残る。

一方, 中国地方の島根県西部には鮮新~更新世前期のものといわれる都野津層群が存在する。都野津層群については, 大西・調枝 (1970) や宇野 (1978, 1979), 都野津団体研究グループ (1983), 大西 (1988) などの研究があり, その層序は次のようにまとめられる。都野津層群は, 江津~浜田にかけて分布する都野津層と, 温泉津~大田にかけてみられる水上層・大江高山火砕岩層に大別される。都野津層は, さらに下部礫層, 中部層, 上部礫層に 3 分され, 中部層には下から M1, M2, M3,

図 12 海底コアにみられる山陰 2 火山灰の火山ガラスの化学組成 (KsP: Type-II)

酒田沖 33 地点の深度 117~119 cm, 図 10 参照。

Fig. 12 Major element composition in glass shards of the San'in 2 ash (KsP: Type-II) sampled from the marine core (117~119 cm in depth) at point 33 to the west of Sakata City

M4 の 4 枚の海成粘土が含まれている。水上層は大江高山火砕岩層の下位を占めるもので, M3 より新しいと考えられている。約 160 万年前とされる鮮新~更新世の境界は M3 と M4 の間に想定されている。M1 と M2 の間には厚さ 1 m 以下の淡青緑色のゼリー状の火山灰 (JT-1) が存在し, 層序の指標となっている。宇野 (1978) は JT-1 のほかに, もう 1 枚のゼリー状の火山灰 (JT-2) を報告している。最近, 井岡ほか (1990) は古地磁気の研究から, M2 が 2.5~2.7 Ma, M3 が 1.7~1.8 Ma, M4 が 1.1~1.5 Ma に相当すると報告している。

筆者らは JT-1 と JT-2 について分析を試みたが, これらの火山灰はいずれも加水ハロイサイト化が著しく, ごく微量の石英がみられるにすぎない。ただ, 全岩分析

図 13 海底コアにみられる山陰 1 火山灰の火山ガラスの化学組成

酒田沖 27 地点の深度 377~379 cm, 図 10 参照.

Fig. 13 Major element composition in glass shards of the San'in 2 ash (KsP: Type-1) sampled from the marine core (377~379 cm in depth) at point 27 to the west of Sakata City

では, FeO の含量が 6~8% に達していることから, 塩基性の火山灰に由来する可能性が高い. 一方, 大江高山火砕岩層について, その最下部付近のピソライトを含む降下火山灰の分析を行った. 火山灰層中には新鮮な火山ガラスが含まれる. その化学組成を図 15 に示す. この特性は YOSHIKAWA (1984) などが報告した大阪層群中の「Yellow-III」に含まれる火山ガラスのそれと類似することが指摘される.

VII. ま と め

三瓶山・大山起源の広域テフラおよび九州起源の広域テフラを中心として, 中国・四国地方におけるテフラの分布, テフラの鉱物特性, 更新世後期の地史・地形発達史を研究する上でのテフラの重要性について報告してきた. それらは次のようにまとめられる.

(1) 中国・四国地方で重要な外来テフラとして, AT, K-Ah, Aso-4 があげられる. AT と K-Ah は火山ガラス, Aso-4 については磁鉄鉱粒の化学組成の分析がテフラの同定に有効である.

(2) 三瓶山は約 10 万年前から活動を始めた小型のカルデラ火山で, その活動史の全貌はほぼ明らかになった. おもなテフラの鉱物特性を表 1 にまとめる. 広域

図 14 日本海のテフラ層を含む海底コアの柱状図
コアの地点は図 1 と図 10 に示す.

NJ 2: 北日本 2 火山灰, AT: 始良 Tn 火山灰, U-Ym: 鬱陵大和火山灰, U-Oki: 鬱陵隠岐火山灰, To: 富山沖火山灰, S-1: 山陰 1 火山灰, S-2: 山陰 2 火山灰 (= 大山草谷原軽石層)

Fig. 14 Columnar sections of marine cores bearing marker-tephras in the Japan Sea

性をもつ指標テフラとしては, 従来知られていた SKP のほかに, 新たに日本海底で発見された SUn と SIP があげられる.

(3) 大山は活動の古さと噴出物の複雑さのため, テフラすべてについて解明されているとはいえない. 現在までに判明しているテフラの鉱物特性を表 2 に示した. 広域性をもつ指標テフラとしては, 従来知られていた DMP, DKP のほかに, 約 1.8 万年前に噴出した KsP の重要性が指摘された. 大山北東約 600 km, 山形県酒田沖の日本海底のコアで報告されていたテフラのうち, 山陰 2 は KsP に対比された. 山陰 1 については, DKP との類似性が指摘されたが, さらに検討が必要であろう.

(4) 阿波の土柱を構成する堆積物のうち, 中位層準付近に AT と K-Ah に極めて類似する火山ガラスが含まれていること, 出雲沖積平野地下のいわゆる沖積統基底礫層には, AT の降下時期より古い堆積物が含まれており, 第四紀後期の最大海退は AT 降下の 2.5 万年前より古い時期に起こった可能性があること, 山陰地域で

図 15 大江高山火砕岩層最下部の火山灰層に含まれる火山ガラスの化学組成

大田市大代町大家で採取。

Fig. 15 Major element composition in glass shards of volcanic ash sampling from the lowest layer of the Ôetakayama Pyroclastic formation, at Ôe, Ôshiro-chô, Ôda, Shimane prefecture

は、DMP 降下時をはさんで Aso-4 降下期までに古砂丘の形成期があり、K-Ah 降下直後に黒ボクの形成期があったことなど中国・四国地方でもテフロクロノロジーの手法が非常に重要であることを指摘した。

(5) 更新世中期以前のテフラとして、愛媛県大洲市の更新統礫層中のテフラや、都野津層上部の大江高山火砕岩層最下部の火山灰が大阪層群中のテフラに対比される可能性を指摘したが、さらに詳細な分析が必要であろう。

謝辞 地質調査所の池原 研、吉川清志両氏からは海底コアを分析する機会を与えていただいた。また、群馬大学新井房夫教授、東京都立大学町田 洋教授には、各地のテフラ試料を分けていただくとともに、適切な指示、助言をいただいた。ここに深く感謝いたします。

引用文献

- 赤木三郎 (1973) 大山火山の地質。日本自然保護協会調査報告, no. 45, p. 9-32.
荒川 宏 (1984) 大山火山北西部における火山麓扇状地の

形成。地理学評論, 57, p.831-855.

服部 仁・鹿野和彦・鈴木隆介・横山勝三・松浦浩久・佐藤博之 (1983) 三瓶山地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 168 p., 地質調査所。

林 正久 (1991) 出雲平野の地形発達。地理学評論, 64 (Ser. A), p. 26-46.

林 正久・三浦 清 (1986 a) 三瓶山南軽石層の鉱物特性と分布の広域性・山陰地域研究(自然環境編), no. 2, p. 17-26.

林 正久・三浦 清 (1986 b) テフラからみた山陰地方の平野の堆積物—特に沖積・洪積層の境界問題—(演旨)。地形, 7, p. 204.

林 正久・三浦 清 (1987) 三瓶火山のテフラの層序とその分布。山陰地域研究(自然環境編), no. 3, p. 43-66.

井岡 昇・水野篤行・山崎俊嗣 (1990) 山陰西部の鮮新—更新統都野津層：古地磁気層序と堆積年代。第四紀研究, 29, p. 257-266.

井上克弘・成瀬敏郎 (1990) 日本海岸沿岸の土壌および古土壤中に堆積したアジア大陸起源の広域風成塵。第四紀研究, 29, p. 209-222.

鹿島愛彦・白石邦幸・高橋 和 (1981) 四国西部大洲—喜多地域で発見された後期更新世火山灰層。愛媛大学紀要自然科学 D (地学), 9 (2), p. 1-14.

鹿島愛彦・白石邦幸・本村泰久・高橋 和・高橋治郎 (1982) 四国西部、伊予灘海岸および野村盆地の段丘堆積物よりテフラ層の発見とその意義。愛媛大学紀要自然科学 D (地学), 9 (3), p. 17-25.

町田 洋・新井房夫 (1976) 広域に分布する火山灰—始良 Tn 火山灰の発見とその意義—。科学, 46, p. 339-347.

町田 洋・新井房夫 (1978) 南九州鬼界カルデラから噴出したテフラ—アカホヤ火山灰—。第四紀研究, 17, p. 143-163.

町田 洋・新井房夫 (1979) 大山倉吉軽石層—分布の広域性と第四紀編年上の意義—。地学雑誌, 88, p. 311-330.

町田 洋・新井房夫・森脇 広 (1981) 日本海を渡ってきたテフラ。科学, 51, p. 562-569.

町田 洋・新井房夫 (1983 a) 鬼界カルデラ起源の新広域テフラと九州における更新世後期大火砕流の噴出年代。火山, 第 2 集, 28, p. 206.

町田 洋・新井房夫 (1983 b) 広域テフラと考古学。第四紀研究, 22, p. 133-148.

町田 洋・新井房夫・百瀬 貢 (1985) 阿蘇 4 火山灰—分布の広域性と後期更新世示標としての意義—。火山, 第 2 集, 30, p. 49-70.

松井整司・井上多津男 (1971) 三瓶火山の噴出物と層序。地球科学, 25, p. 147-163.

松本英二・前田保夫・竹村恵二・西田史郎 (1987) 始良 Tn 火山灰 (AT) の ^{14}C 年代。第四紀研究, 26, p. 79-83.

三浦 清 (1988 a) 鳥取沖海底表層堆積物に見られる三瓶火山起源のテフラとその地質学的意義。島根大学教育学部紀要(自然環境編), no. 4, p. 1-16.

三浦 清 (1986 b) テフラからみた出雲砂丘。山陰地域研究(自然環境編), no. 4, p. 1-16.

三浦 清 (1989) テフラからみた北条砂丘および鳥取砂丘。山陰地域研究(自然環境編), no. 5, p. 19-34.

- 三浦 清 (1990 a) 大山山麓における三瓶火山起源の三瓶雲南降下軽石層および三瓶池田降下軽石層の産状. 山陰地域研究(自然環境編), no. 6, p. 35-55.
- 三浦 清 (1990 b) 火山ガラスの化学組成から見た大阪層群のテフラ. 島根大学教育学部紀要(自然科学編), **24** (2), p. 1-36.
- 三浦 清・吾郷和宏 (1988) テフラの産状から見た島根県横田町国竹遺跡. 山陰地域研究(伝統文化編), no. 4, p. 1-12.
- 三浦 清・林 正久 (1985) 山陰ならびにその周辺地域にみられるアイラ火山灰(AT)およびアカホヤ火山灰(Ah)の火山ガラスの化学的特性. 山陰地域研究(自然環境編), no. 1, p. 71-80.
- 三浦 清・林 正久 (1986) 島根県下における二・三の縄文遺跡とテフラの産状. 山陰地域研究(自然環境編), no. 2, p. 1-15.
- 三浦 清・林 正久 (1987) 火山活動史からみた三瓶火山のテフラの鉱物特性. 山陰地域研究(自然環境編), no. 3, p. 67-94.
- 三浦 清・池原 研・吉川清志 (1991) 北陸沖の日本海底堆積物に見られる大山火山起源のテフラ. 山陰地域研究(自然環境編), no. 7, p. 7-22.
- 森 勇一・伊藤隆彦・宮田英嗣 (1990) 愛知県町田・松河戸遺跡から発見された縄文時代後期・晩期の境界付近に位置する火山灰層について. 第四紀研究, **29**, p. 17-24.
- 成瀬敏郎 (1982) 最終氷期以降の日本沿岸域の風成堆積層—海水準との関連について—. 第四紀研究, **21**, p. 223-227.
- 野村亮太郎・田中眞吾 (1989) 兵庫県内陸部における最終氷期以降の地形形成. 第四紀研究, **27**, p. 219-228.
- 小畑 浩 (1966) 大山周縁の地形と火山灰. 地理学評論, **39**, p. 787-801.
- 小畑 浩 (1967) 三瓶山の地形と火山灰編年. 地理学評論, **40**, p. 31-40.
- 大西郁夫 (1988) 中国地方の第四紀層. 地質学論集, no. 30, p. 127-144.
- 大西郁夫・調枝勝幸 (1970) 都野津層群—山陰地方の鮮新・更新統一. 第四紀研究, **9**, p. 149-152.
- 太田良平 (1962 a) 5 万分の 1 地質図—赤碕・大山および同説明書—. 37 p., 地質調査所.
- 太田良平 (1962 b) 5 万分の 1 地質図—米子および同説明書—. 29 p., 地質調査所.
- 佐治孝式・田崎和江・赤木三郎・麻田 斉 (1975) 大山降下堆積物の層序とその特徴. 地球科学, **29**, p. 199-210.
- 山陰第四紀研究グループ (1969) 山陰海岸地域の第四系. 地団研専報, no. 15, p. 355-376.
- 新東晃一 (1978) 南九州の火山灰と土器形式. どれもん, **19**, p. 40-54.
- 鈴木隆介・横山勝三・高橋健一 (1968) 三瓶火山の活動史と地形(演旨). 地理学評論, **41**, p. 386-387.
- 豊蔵 勇・大村一夫・新井房夫・町田 洋・高瀬信一・中平啓二・伊藤 孝 (1991) 北陸の海成段丘における三瓶木次テフラの同定とその意義. 第四紀研究, **30**, p. 79-90.
- 津久井雅志 (1984) 大山火山の地質. 地質学雑誌, **90**, p. 643-658.
- 津久井雅志・棚山雅則 (1981) 大山山麓における三瓶火山起源の降下軽石層の発見とその意義. 地質学雑誌, **87**, p. 559-562.
- 網川秀夫・津久井雅志 (1983) 大山火山・船上山溶岩の K-Ar 年代. 火山, 第 2 集, **28**, p. 157-159.
- 都野津団体研究グループ (1983) 島根県中部の都野津層と大江高山火山群. 地団研専報, no. 25, p. 151-160.
- 宇野泰光 (1979) 島根県江津～浜田地域の都野津層の層序と構造—都野津層群の研究(その 1)—. 地質学雑誌, **84**, p. 571-582.
- 宇野泰光 (1979) 島根県大田市祖式～大家地域の都野津層群, とくに大江高山火砕岩層について—都野津層群の研究(その 2)—. 地質学雑誌, **85**, p. 239-257.
- YOSHIKAWA, S. (1984) Volcanic ash layers in the Osaka and Kobiwako Groups, Kinki District, Japan. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, **27**, p. 1-40.