

日本海南部 KT96-17 P-2 コアの火山灰層序 —大山草谷原軽石層 (KsP) の噴出年代—

Tephrostratigraphy of the piston cored sediment KT96-17 P-2 in the southern Japan Sea
—the eruption age of Daisen-Kusadanihara Pumice (KsP)—

Abstract

堂満華子* 椎原美紀*
鳥井真之* 塚脇真二**
尾田太良***

Hanako Domitsu*, Miki Shiihara*
Masayuki Torii*, Shinji Tsukawaki**
and Motoyoshi Oda***

2001年12月10日受付.
2002年7月2日受理.

- * 熊本大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Science and Technology,
Kumamoto University, 2-39-1, Kurokami,
Kumamoto 860-8555, Japan
- ** 金沢大学自然計測応用研究センター
Institute of Nature and Environmental Tech-
nology, Kanazawa University, c/o General
Education Hall, Kanazawa University, Kaku-
ma-machi, Kanazawa 920-1192, Japan
- *** 東北大学大学院理学研究科
Institute of Geology and Paleontology, Gra-
duate School of Science, Aoba, Aramaki,
Tohoku University, Sendai 980-8578, Japan

The piston cored sediment KT96-17 P-2 from the southeastern marginal part of the Oki Trough in the southern Japan Sea contained five volcanic ash layers. We studied the morphologic feature and chemical composition of volcanic glass shards and mineral composition in each ash layer. Between the Aira-Tn Ash (AT) and Kikai-Akahoya Ash (K-Ah) layers in the core, we recognized two ash fall deposits derived from the Ulleung Island. The glass shards from these two ash fall deposits have different chemical composition. This fact suggests that the Ulleung-Oki Ash (U-Oki) which has been regarded as one of important time-marker tephra in the paleoceanographic study of the Japan Sea might not be a unique layer but comprised of these two ash fall deposits from the Ulleung Island. It also implies that the U-Oki Ash might possibly be correlatable not only to U-2 but also to U-3 or U-4, which are three thick pumice layers between the AT and K-Ah layers in the Ulleung Island.

We also recognized the Daisen-Kusadanihara Pumice (KsP) layer between the AT and K-Ah Ash layers in the core. AMS ^{14}C datings were conducted on planktic foraminiferal tests picked from the horizons above and below the KsP layer in the core. The AMS ^{14}C ages were $18,070 \pm 50$ yrBP (GX-26361) and $18,470 \pm 160$ yrBP (GX-25558), respectively. The eruption age of KsP was estimated to be 20,260-22,130 cal yrBP (2 sigma range) by calibration to calendar ages using CALIB 4.3 program.

Key words: Japan Sea, tephra, Ulleung-Oki Ash (U-Oki), Kusadanihara Pumice (KsP), AMS ^{14}C age, planktic foraminifera

はじめに

日本列島ならびに周辺海域に広く分布する後期更新世以降の火山灰は、堆積物に明確な時間面を挿入する年代指標として、また広域対比の手段としてきわめて有効な存在であり、とくに海底コアを用いた古海洋学的研究の進展に大きく貢献してきた。これらの火山灰の中で、日本海のほぼ全域に分布する始良 Tn 火山灰 (AT: 町田・新井, 1976)、日本海南西縁部の鬱陵島から東南東にかけて分布する鬱陵隠岐火山灰 (U-Oki: 町田ほか, 1984)、および日本海中央部の大和堆以南に分布する鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah: 町田・新井, 1978) の3火山灰は、日本海南部で採取された海底コアにおけるきわめて有効な年代指標となっている (たとえば、新井ほか, 1981; 町田・新井, 1992 など)。

しかし、U-Oki の噴出源である鬱陵島に由来し日本海南部に降下した火山灰は、AT と K-Ah との間に U-Oki を含め2枚以上ある可能性が示唆されている (横山・西田, 1987; 吉川・井内, 1991, 1993; Chun et al., 1997; 沢田ほか, 1997)。

これは、U-Oki が特徴的な化学組成からほかの火山灰から容易に区別されかつその噴出年代が後氷期における対馬暖流の日本海への流入時期とほぼ一致する (Oba et al., 1991) という重要な層位的位置にあることを考えると早急に確認すべきことといえる。

一方、日本海南部には AT と U-Oki との間に降下年代の明確な火山灰が知られていないことが、これまで日本海において古海洋学的研究を推進するにあたってのひとつの障害となっていた。約 18,000 yrBP に噴出した (三浦・林, 1991) 大山起源の草谷原軽石層 (KsP: 津久井, 1984) は鳥取沖から東北地方沿岸域にかけて帯状に分布し (三浦ほか, 1991; 三浦・林, 1991)、その分布は日本海南縁に限られるものの AT と U-Oki との間を補完する時間面としての意義は大きい。しかし、KsP はこのように重要な層位的位置にあるにも関わらず、同火山灰を直接測定した年代値はいまだに未報告である。

そこでこれらの問題点を解決することを目的に、本研究では日本海南部の敦賀沖で採取された KT96-17 P-2 コアに挟

在する5枚の火山灰層について、火山ガラスの形態や主成分化学組成、および鉱物組成の検討に基づき同定を試みた。そして、KsPに同定された火山灰層の直上・直下から産出する浮遊性有孔虫殻を用いて加速器質量分析(AMS)法による放射性炭素(^{14}C)年代を測定した。その結果、本コアの火山灰層序からU-Okiについて新たな知見を得るとともに、KsPの噴出年代をほぼ明らかにすることができた。これらの結果について以下に報告する。

試 料

1. KT96-17 P-2 コアの火山灰層 1~5

本研究で使用したKT96-17 P-2 コアは、東京大学海洋研究所海洋調査船淡青丸のKT96-17次研究航海で隠岐トラフの南東縁部(北緯36度41.0分, 東経135度24.9分, 水深999 m)から採取された(Fig. 1)。約440 cm長の本コアは主に均質で無層理の泥, 生物擾乱の発達する泥および1~3 mm厚の葉理が発達する泥から構成され, 全体をとおして堆積物の連続性は良好である。海底面下172~173 cm, 310~312 cm および378~386 cmの3層準に火山灰層が肉眼で認められる(Tsukawaki et al., 1998)。

本コアから2.2 cm厚で連続的に定量試料を採取し, 全試料について含水率を測定(Tsukawaki et al., 1998)後, 開口径63 μm の篩上で水洗して泥質分を除去し, 残渣を約40°C

で乾燥させて乾燥重量を測定し含泥率を求めた。本コアの含泥率は火山灰層を除く層準で94~99%と高く, 63 μm 以上の粒子は有孔虫などの生物遺骸を主体とし, 全体をとおして碎屑物は微量である。全残渣試料を鏡下観察した結果, 海底面下107~117 cm および132~139 cm層準に火山ガラスが多量に含まれる層が新たに認められ, 本コアには計5枚の火山灰層が挟入することがわかった。そこで本研究ではこれらを上位より順に火山灰層1~5とする(Fig. 2)。なお, 同166~172 cm層準にも火山ガラスの散在が認められるが, これは同172~173 cm層準の火山灰層と連続することから本研究では両者を同一の火山灰層として扱った。

2. 比較試料のAT・KsP・U-Oki(U-4~U-2)・K-Ah

日本海海底に分布する第四紀後期の火山灰については, その同定や層序の確立を中心に研究が進められ, これまでに多くのデータが蓄積されている(例えば, 町田・新井, 1992)。

新井ほか(1981)や町田・新井(1988)は, 日本海に分布する主な火山灰として九州の諸カルデラ起源の阿蘇4火山灰(Aso-4: 新井ほか, 1981), AT, K-Ah, そして鬱陵島や白頭山を起源とする大陸系火山灰の鬱陵大和火山灰(新井ほか, 1981), U-Oki, 白頭山苦小牧火山灰(町田ほか, 1981)などを数多くの海底コアから見出し, これらの時間指標層としての有効性について示した。また, 吉川(1990), 吉川・池原(1990, 1991, 1992, 1993, 1994)および三浦ほか(1991)は,

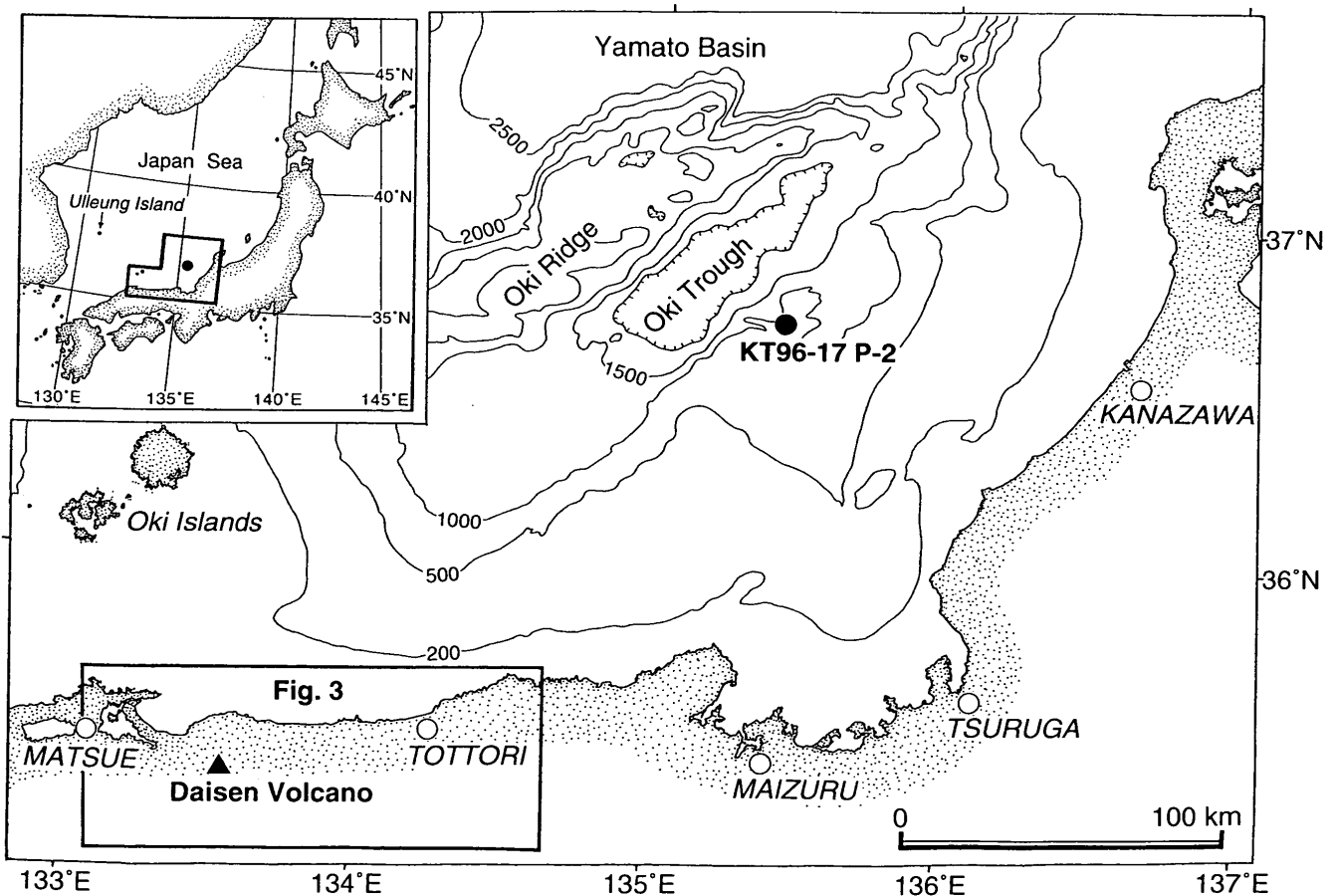


Fig. 1. Location of the core KT96-17 P-2 (based on 1:1,000,000 Bathymetric Chart, no. 6312 and no. 6314, Hydrographic Department, Maritime Safety Agency, Japan, 1980 and 1983).

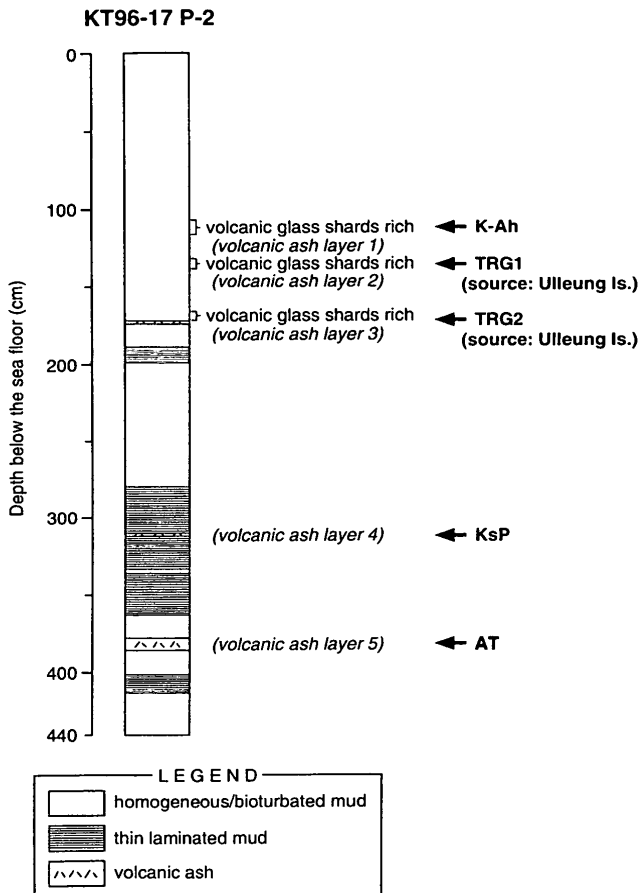


Fig. 2. Lithologic description of the core KT96-17 P-2 (based on Tsukawaki et al., 1998) with names of tephra identified in this paper.

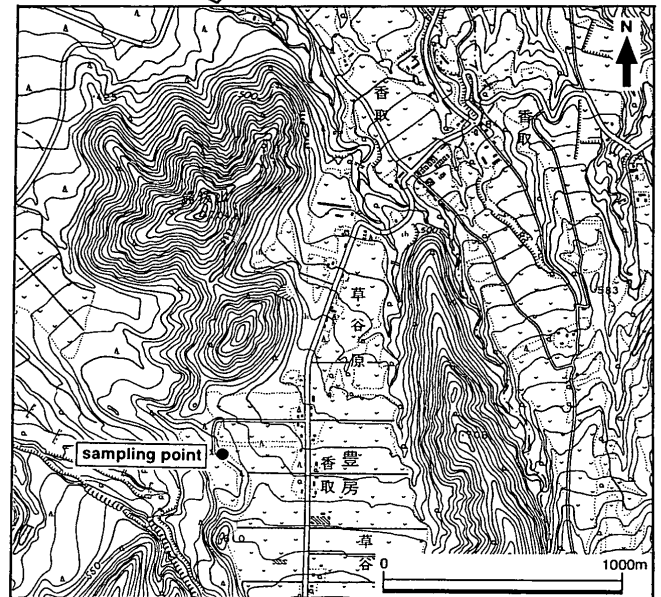
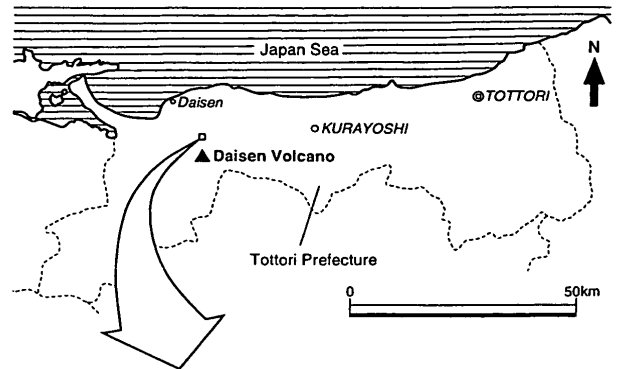


Fig. 3. Sampling site of the Kusadanihara Pumice (KsP) (based on 1 : 25,000 topographic map "Senjyosan" and "Houkudaisen", Geographical Survey Institute of Japan, 1993 and 1998).

日本海の鳥取沖から東北地方沿岸域にかけて新たに確認した多数の火山灰について化学組成から同定を試み、これらの分布範囲を明らかにし、一部を陸上のものと対比した。こうして明らかになった火山灰層序はコアのより正確な対比や編年を可能としている (Ikehara et al., 1994 ; 中嶋ほか, 1996)。

これらの研究によって得られた日本海の海底堆積物中の火山灰の分布や層序などの知見をもとに、本研究では KT96-17 P-2 コアへの挟在が予期される火山灰として AT, KsP, U-Oki および K-Ah を比較検討の対象とし、以下に記す代表的な露頭で試料を採集し分析した。なお、U-Oki については、町田ほか (1984) による鬱陵島における鬱陵降下テフラ群 (下位より U-4, U-3, U-2) および Furuta et al. (1986) による U-Oki の火山ガラスの主成分組成値をそれぞれ参考にした。

AT の試料は町田ほか (1993) で記載された宮崎県新富町 Stop 3.4 の露頭で岩相・層位関係を確認し、AT-II (Nagaoka, 1988) (その下位の AT-I (Nagaoka, 1988) との境界より 5 cm 上) から採取した。

KsP の試料は津久井 (1984) で記載された鳥取県大山町草谷原の露頭で採取した (Fig. 3)。この露頭 (Fig. 4) では最下部の火砕流堆積物上に黄橙色細粒火山灰層 (層厚 20 cm) があり、その上位約 2.3 m に橙色軽石層 (層厚 40 cm, 軽石の最大粒径 8 cm) がある。さらにこの軽石層は古土壌 (層厚 5

cm) に覆われ、その上位には気泡が含まれる灰色細粒火山灰層 (層厚 3 cm)、灰色サージ堆積物 (層厚 5 cm) および灰色火砕流堆積物 (層厚 2 m, 亜角礫の最大粒径約 80 cm) が下位より順に重なる。岩相や層位関係から、黄橙色細粒火山灰層、橙色軽石層および最上位の灰色火砕流堆積物は、AT, KsP および弥山火砕流堆積物 (MiF: 津久井, 1984) にそれぞれ相当する。また、灰色サージ堆積物は香取火砕サージ堆積物 (福元・三宅, 1994) に対比される。分析用試料は KsP の上部から採取した。

K-Ah の試料は町田・新井 (1978) で記載された鹿児島県大根占町地点 52-7 の露頭で岩相・層位関係を確認し、K-Ah の下部 (その下位の幸屋火砕流堆積物 (宇井, 1973) との境界より 10 cm 上) から採取した。

なお、火山ガラスの主成分化学組成分析における分析値の再現性の確認や既存資料との比較のための試料として、Aso-4 A 火砕流堆積物 (小野ほか, 1977 ; 以下 Aso-4 A と略) を小野ほか (1996) で記載された大分県久住町寺原南西の広域農道沿いの採石場で採取した。

AT, K-Ah および Aso-4 A の試料は開口径 63 μm の篩上

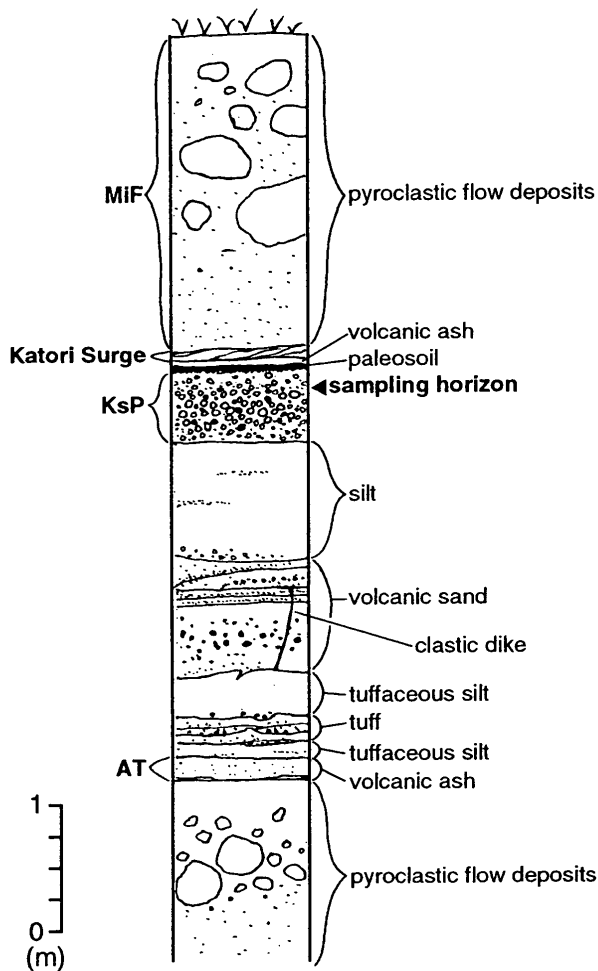


Fig. 4. Lithologic columnar section of the Kusadani-hara Pumice (KsP) at the sampling site.

で水洗し、残渣を超音波洗浄後約 40°C で乾燥させた。一方、KsP の試料は開口径 2 mm および 63 μm の篩を組み合わせて水洗とふるい分けとを同時に行い、それぞれの残渣を超音波洗浄後約 40°C で乾燥させた。

分析方法

KT96-17 P-2 コアの火山灰層 1~5 については、構成物の粒度、鉱物組成および火山ガラスの形態・色調を記載した上で火山ガラスの主成分化学組成を分析した。また、比較検討試料の AT および K-Ah については火山ガラスの主成分化学組成を、KsP については鉱物組成および火山ガラスの主成分化学組成を調べた。

KsP の鉱物組成の分析では本質物である軽石中の結晶を対象とするため、2 mm 以上の粒子から軽石を選別してプラスチックハンマーで粉碎した上で開口径 63 μm の篩上で水洗し、その残渣を超音波洗浄後約 40°C で乾燥させた。そして、これを分割器にて適宜分割したのち、その最小分割部に含まれる 250 μm 以下の粒子をプレパラートに封入後、実体顕微鏡および偏光顕微鏡下で鉱物を 300 粒以上同定し個数百分率を求めた。なお、火山ガラスの形態分類は町田・新井

(1992) にしたがった。

火山ガラスの主成分化学組成分析では、63 μm 以上の粒子をポリエステル樹脂に封入してアランダムおよびダイヤモンドペーストで鏡面研磨したのち、炭素蒸着をして分析用試料とした。分析にはエネルギー分散型 X 線マイクロアナライザー (EDS: 日立 S-650 型走査型電子顕微鏡 + Kevex-Delta 1 System) を用いた。測定条件は加速電圧 20 keV, 試料電流 150.0 pA, ビーム走査範囲約 2 × 2 μm である。補正計算には ZAF 法を用いた。測定にあたっては Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn および Fe の 9 元素について、火山ガラス 1 片につき 1 点、1 試料につき 15 点以上を目安にした。また、火山ガラスとともに単斜輝石や斜方輝石、斜長石などの斑晶鉱物の化学組成もあわせて分析し、それらのストイキオメトリーの点検から分析値の有意義性を確認した。さらに分析値の再現性の確認や既存資料との比較のため、Aso-4 A の火山ガラスもあわせて同方法で分析した。なお、KsP については、2 mm ~ 63 μm の粒子から実体顕微鏡下で新鮮な軽石型火山ガラスを拾い出して用いた。

結果

1. 火山灰の特徴

KT96-17 P-2 コアで確認された 5 枚の火山灰層ならびに AT, KsP および K-Ah の分析結果について以下順に述べる。火山ガラスの主成分化学組成の分析結果については、N 点の測定による平均値とその標準偏差とを Table 1 に示す。主成分値の合計はいずれも 92 wt.% 以上であり、風化などの影響による合計値の著しい低下は認められない。

分析値の再現性は、大分県久住町で採取した Aso-4 A の火山ガラスの主成分組成から確認した。Aso-4 A の主成分組成は、同じバブルウォール型火山ガラスを主体とする AT や K-Ah と比べて SiO₂ 量が約 68 wt.% と低く、アルカリ含有量 (Na₂O 量 + K₂O 量) が約 8 wt.% と高い値を示し、従来報告された Aso-4 の分析値 (Furuta et al., 1986 など) と調和的である。Table 1 には Al₂O₃ 量・FeO* 量・MgO 量・CaO 量が低いグループ (Type-1) と高いグループ (Type-2) とに区別して示す。Furuta et al. (1986) や奥村 (1991) は、Aso-4 の組成がはっきりとグループに分離できる不均質性をもつことをすでに指摘しており、この特徴は今回分析した Aso-4 A の主成分組成にも認められる。

KT96-17 P-2 コアの火山灰層 1~5: 火山灰層 1 (海底面下 107~117 cm) は肉眼では明瞭な層としては認められない。鏡下観察では、構成粒子における火山ガラスなどの火砕物の含有率は海底面下 112~114 cm 層準で最も高い。本層は極細粒~細粒砂大の透明~淡褐色を呈する火山ガラスを主体とする。遊離結晶として斜長石、斜方輝石、単斜輝石がまれに含まれる。火山ガラスは平板状および Y 字状バブルウォール型を主体とし、繊維状軽石型を伴う。スポンジ状軽石型がまれに認められる。火山ガラスの主成分組成は、FeO* 量および CaO 量が低いグループ (Type-1) と高いグループ (Type-2) とに区別して Table 1 に示す。

火山灰層 2 (海底面下 132~139 cm) も肉眼では明瞭な層

Table 1. Chemical compositions (wt.%) of volcanic glass shards from the volcanic ash layers 1~5 in the core KT96-17 P-2 and the K-Ah, KsP, AT, Aso-4 A, U-2~U-4 and U-Oki Ashes from on land section (N : number of analysis ; S.D. : standard deviation ; FeO* : total iron oxide ; U-2~U-4 : after Machida et al., 1984 ; U-Oki : after Furuta et al., 1986).

		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	N
volcanic ash layer 1 (Type-1)	Mean	72.96	0.42	13.09	2.22	0.04	0.47	1.94	2.94	2.96	97.04	11
	S.D.	1.06	0.04	0.21	0.04	0.01	0.08	0.07	0.18	0.10	1.40	
volcanic ash layer 1 (Type-2)	Mean	71.65	0.49	13.43	2.54	0.06	0.55	2.33	2.97	2.82	96.82	4
	S.D.	0.50	0.05	0.12	0.06	0.02	0.06	0.07	0.15	0.06	0.81	
volcanic ash layer 2	Mean	59.47	0.42	19.26	2.65	0.09	0.30	1.48	6.03	7.39	97.09	20
	S.D.	0.38	0.08	0.26	0.13	0.02	0.14	0.12	0.34	0.20	0.63	
volcanic ash layer 3	Mean	58.18	0.08	19.63	2.88	0.15	0.06	0.84	7.70	5.68	95.22	20
	S.D.	0.43	0.03	0.21	0.08	0.03	0.04	0.06	0.28	0.11	0.72	
volcanic ash layer 4	Mean	67.45	0.18	16.52	1.48	0.04	0.45	2.72	4.26	2.50	95.60	29
	S.D.	2.51	0.06	2.03	0.38	0.02	0.17	1.07	0.79	0.55	2.06	
volcanic ash layer 5	Mean	73.59	0.10	12.08	1.11	0.05	0.14	1.09	2.68	3.33	94.16	15
	S.D.	1.21	0.02	0.24	0.04	0.03	0.04	0.03	0.24	0.15	1.71	

		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	N
K-Ah (Type-1)	Mean	72.30	0.43	13.04	2.27	0.06	0.48	1.88	3.04	2.90	96.41	14
	S.D.	0.61	0.03	0.11	0.05	0.02	0.08	0.05	0.19	0.07	0.81	
K-Ah (Type-2)	Mean	70.35	0.51	13.20	2.55	0.05	0.60	2.17	3.08	2.73	95.24	3
	S.D.	0.39	0.04	0.07	0.02	0.01	0.02	0.01	0.07	0.06	0.45	
KsP	Mean	68.83	0.20	15.50	1.37	0.04	0.38	2.07	4.03	2.89	95.28	37
	S.D.	2.21	0.06	2.06	0.33	0.02	0.19	1.10	0.75	0.65	1.91	
AT	Mean	73.48	0.10	12.15	1.07	0.04	0.16	1.00	2.71	3.40	94.12	20
	S.D.	1.07	0.03	0.19	0.11	0.02	0.05	0.08	0.21	0.23	1.50	
Aso-4 A (Type-1)	Mean	68.24	0.34	14.33	1.36	0.05	0.36	1.03	3.48	4.72	93.89	20
	S.D.	1.19	0.03	0.29	0.06	0.02	0.06	0.07	0.20	0.14	1.66	
Aso-4 A (Type-2)	Mean	68.46	0.39	15.21	1.64	0.07	0.59	1.45	3.58	4.45	95.84	3
	S.D.	0.04	0.07	0.20	0.08	0.02	0.03	0.08	0.54	0.41	1.27	

U-2	upper	Mean	60.19	0.38	19.83	3.09	0.14	0.22	1.31	7.24	6.48	98.87	22
	middle	Mean	60.16	0.36	19.33	3.11	0.16	0.20	1.37	7.12	6.18	98.01	10
	lower	Mean	61.09	0.28	20.29	2.89	0.15	0.11	1.43	7.67	5.17	99.66	30
U-3	middle	Mean	60.21	0.60	19.07	2.92	0.15	0.35	1.59	6.02	7.01	97.92	11
	lower	Mean	60.92	0.49	19.84	2.76	0.13	0.26	1.45	6.75	6.83	99.44	27
U-4	middle	Mean	60.35	0.42	19.62	2.97	0.14	0.24	1.47	6.69	6.49	98.40	13
	lower	Mean	59.74	0.10	20.35	3.41	0.24	0.01	0.82	9.90	5.21	99.80	2

U-Oki	Mean	59.92	0.51	19.76	2.80	0.14	0.32	1.56	6.22	6.17	97.45	11
	Mean	60.00	0.27	19.78	2.83	0.17	0.19	1.40	6.57	5.54	97.30	4
	Mean	62.11	0.48	20.48	2.68	0.15	0.25	1.50	4.95	6.63	99.25	25
	Mean	60.31	0.49	19.55	2.63	0.13	0.26	1.49	6.85	6.65	98.39	26
	Mean	60.97	0.42	19.65	3.13	0.18	0.25	1.35	5.94	6.52	98.43	14

として認められず、鏡下観察では、海底面下 135~137 cm 層準で構成粒子における火山ガラスなどの火砕物の含有率が最も高くなる。本層は極細粒~細粒砂大の灰白色火山ガラスを主体とし、淡褐色の火山ガラスもまれに認められる。遊離結晶としてアルカリ長石および黒雲母が少量、斜長石がまれに含まれる。火山ガラスはスポンジ状軽石型で、繊維状軽石型がまれに、バブルウォール型がごくまれに含まれる。火山ガラスの主成分組成は均質である (Table 1)。

火山灰層 3 (海底面下 166~173 cm) は海底面下 172~173 cm 層準で肉眼で認められる。鏡下での観察では、構成粒子における火山ガラスなどの火砕物の含有率は同 168~170 cm

層準で最も高い。本層は極細粒~細粒砂大の白色火山ガラスを主体とする。遊離結晶としてアルカリ長石および黒雲母が少量含まれる。火山ガラスはスポンジ状軽石型で、繊維状軽石型がまれに、バブルウォール型がごくまれに認められる。火山ガラスの主成分組成は均質である (Table 1)。

火山灰層 4 (海底面下 310~312 cm) は肉眼で観察できる。本層は中粒砂大の白色を呈する火山ガラスおよび細粒砂大の結晶・岩片からなる。火山ガラスはスポンジ状軽石型で、結晶を含むものが多く認められる。遊離結晶のうち軽鉱物は斜長石からなる。重鉱物は角閃石 (約 75%) を主体とし不透明鉱物 (約 22%) を伴う。また、斜方輝石や単斜輝石、黒雲母

Table 2. AMS radiocarbon ages using planktic foraminiferal tests from the horizons above and below the volcanic ash layer 4 in the core KT96-17 P-2.

Conventional ^{14}C ages were calibrated calendar ages using CALIB 4.3 program (Stuiver and Reimer, 1993; Stuiver et al. 1998). The volcanic ash layer 4 in the core is correlatable to the Kusadanihara Pumice (KsP).

Depth in core (cm)	Accession No.	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Conventional ^{14}C age (yr BP)	Calendar age (cal yr BP)	Calibrated range 2 sigma (cal yr BP)
308.4~310.8	GX-26361	-0.4	18,070 \pm 50	20,900	20,260 - 21,570
310.8~313.1	GX-25558	-0.2	18,470 \pm 160	21,360	20,620 - 22,130

がごくまれに含まれる(いずれも1%程度)。火山ガラスの主成分組成は標準偏差が大きく組成範囲が広い(Table 1)。しかし、それは単なるばらつきではなく、系統的な組成を示すことで特徴づけられる(後述)。

火山灰層5(海底面下378~386 cm)も肉眼で観察できる。本層は極細粒~細粒砂大の透明な火山ガラスを主体とし、淡褐色の火山ガラスがまれに認められる。遊離結晶として斜長石が少量、黒雲母や斜方輝石、角閃石がまれに含まれる。火山ガラスは平板状およびY字状バブルウォール型を主体とし、繊維状軽石型が少量、白色のスポンジ状軽石型がまれに認められる。火山ガラスの主成分組成は極めて均質である(Table 1)。なお、本層から10 cmほど上位の層準まで少量の透明バブルウォール型や白色スポンジ状軽石型火山ガラスが散在する。

比較試料のAT・KsP・K-Ah: 宮崎県新富町で採取したATの火山ガラスの主成分組成は極めて均質である。SiO₂量が約72~75 wt.%と高く、他の成分が低い値を示す(Table 1)など、これまでに公表された分析値(Furuta et al., 1986など)と一致する。

鳥取県大山町草谷原で採取したKsPの径2 mm以上の軽石に含まれる重鉱物は、角閃石(約87%)を主体とし不透明鉱物(約10%)を伴う。黒雲母や斜方輝石がまれに含まれる(3%以下)。火山ガラスの主成分組成は、ATやK-Ahと比較して標準偏差が大きく組成範囲が広い(Table 1)が、単なるばらつきではなく系統的な組成を示すことで特徴づけられる(後述)、従来公表された分析値(三浦ほか, 1991; 三浦・林, 1991)と類似する。

鹿児島県大根占町で採取したK-Ahの火山ガラスの主成分組成は、TiO₂量、FeO*量、MgO量およびCaO量が比較的高く、従来公表された分析値(Furuta et al., 1986など)と調和的である。Table 1にはFeO*量およびCaO量が低いグループ(Type-1)と高いグループ(Type-2)とに区別して示す。奥村(1991)は、K-Ahの組成がはっきりとグループに分離できる不均質性をもつことを報告している。この特徴は今回分析したK-Ahにも確認できる。

2. KT96-17 P-2 コアの火山灰層4のAMS ^{14}C 年代

KT96-17 P-2 コアの火山灰層4(海底面下310~312 cm層準)の直上(同308.4~310.8 cm層準)ならびに直下(同310.8~313.1 cm層準)で、同火山灰層を含むように採取した堆積物から産出する径125 μm 以上の浮遊性有孔虫殻を用いてAMS ^{14}C 年代を測定した。両層準に生物擾乱の痕跡は認

められない。

直上の試料として*Globigerina bulloides* d'Orbignyを29 mg、一方、直下の試料として主に*G. bulloides*, *Globigerina umbilicata* Orr and Zaitzeffおよび*Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg)の左巻き個体をあわせて51 mgそれぞれ用いた。測定はGeochron Laboratories Division, Krueger Enterprises, Inc., U.S.A.に依頼した。測定の前処理として試料を希塩酸中で超音波洗浄し、殻表面の付着物を除去した。半減期はLibbyの半減期(5,570年)を用い、年代値算出時には $\delta^{13}\text{C}$ で同位体分別効果を補正した。その結果、火山灰層4の直上および直下で18,070 \pm 50 yr BP (GX-26361)および18,470 \pm 160 yr BP (GX-25558)のAMS ^{14}C 年代値がそれぞれ得られた(Table 2)。

考 察

1. 火山灰の同定

KT96-17 P-2 コアに挟在する各火山灰層の層位関係や火山ガラスの形態ならびに主成分化学組成、そして鉱物組成などの特徴をAT, KsP, U-Ok (U-4~U-2)およびK-Ahと比較し、これらの火山灰を同定する。主成分組成値の合計が100 wt.%となるように再計算し、相対的な標準偏差が大きいMnOを除く8成分を同定に用いた(Fig. 5)。また、町田ほか(1984)によるU-4~U-2の火山ガラスの主成分組成値も同様に再計算しFig. 5に示す。

火山灰層1; K-Ah, 火山灰層5; AT: 火山灰層1および5はバブルウォール型の火山ガラスを主体とすることから、大規模火砕流噴火に伴う火山灰と推定され、この特徴と層位関係から火山灰層1はK-Ah、火山灰層5はATである可能性が高い。火山灰層1とK-Ahとの火山ガラスの主成分組成を比較すると、両者のType-1およびType-2がともによく一致する(Fig. 5)。また、火山灰層5とATとの火山ガラスの主成分組成もよく一致する(Fig. 5)。したがって、火山灰層1はK-Ahに、火山灰層5はATにそれぞれ同定される。

火山灰層4; KsP: 比較的粗粒な粒子を主体とし結晶や岩片を多量に含む火山灰層4は、その給源がコア採取地点に比較的近いと推測される。これに加えて本層はATおよびK-Ahの間であって軽石型火山ガラスからなることから、三浦ほか(1991)および三浦・林(1991)によって本海域での分布がすでに報告されている大山起源のKsPである可能性が高い。

火山灰層4の軽石型火山ガラスには結晶を含むものが多く

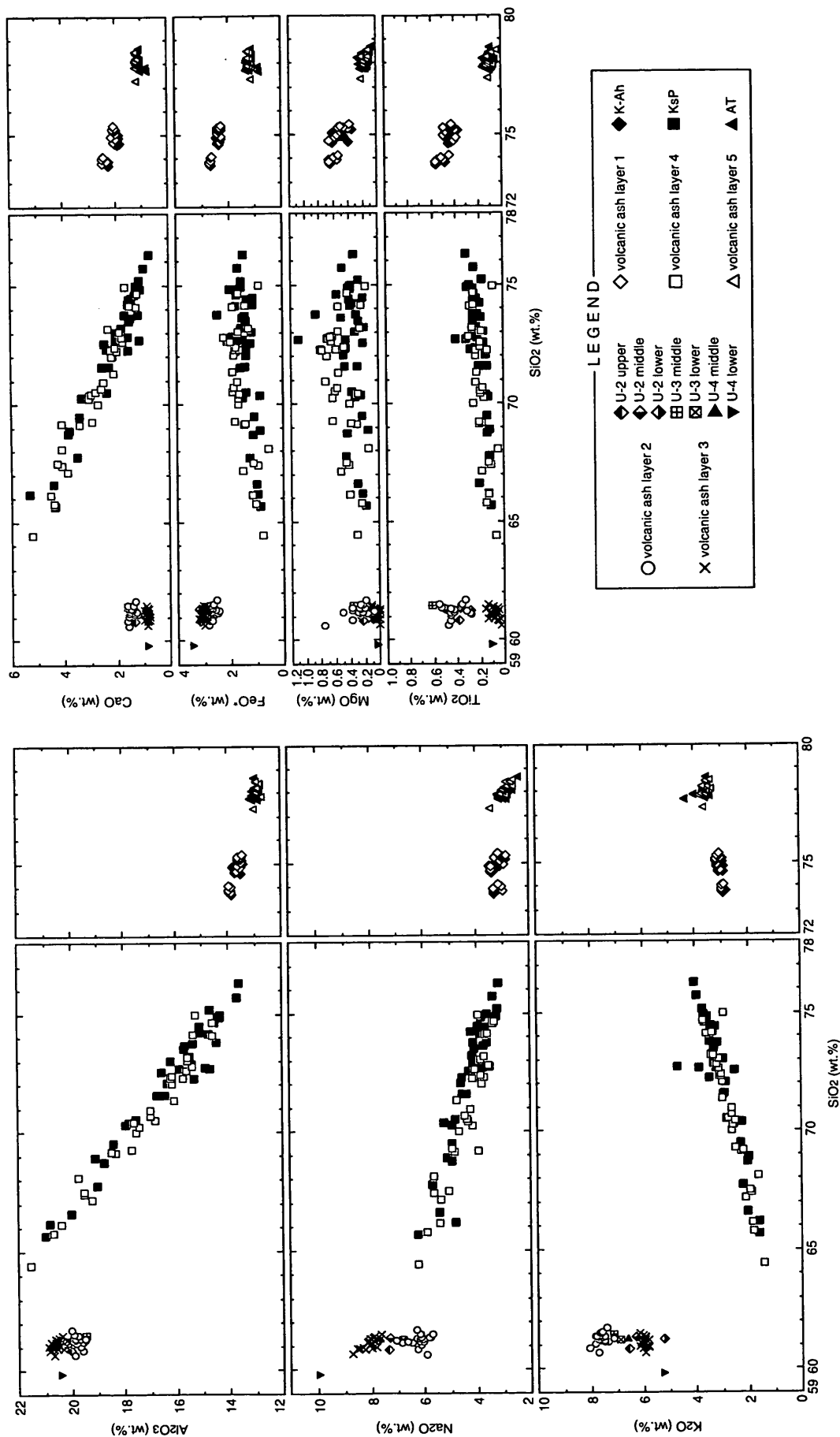


Fig. 5. Comparison of chemical compositions (wt.% ; 100% normalized) of volcanic glass shards from the volcanic ash layers 1~5 in the core KT96-17 P-2 and the K-Ah, KsP, AT and U-2~U-4 Ashes from on land section (FeO* : total iron oxide ; U-2~U-4 : after Machida et al., 1984).

認められ、しかもコアに含まれる碎屑物が全体をとおして微量であることから、本層に多量に含まれる遊離結晶は噴火に伴った火砕物と考えられ、その組成は同定に有効である。火山灰層4の重鉍物は約75%の角閃石と約22%の不透明鉍物、そして微量の斜方輝石や単斜輝石、黒雲母からなり、一方、KsPのそれは約87%の角閃石、約10%の不透明鉍物および微量の黒雲母・斜方輝石から構成され、両者の構成鉍物およびその量比は類似している。

次に、火山灰層4およびKsPの火山ガラスの主成分組成を比較してみる。両者の主成分組成は、ともに標準偏差が大きく不均質である (Table 1)。しかし、その不均質性は単なるばらつきではなく、組成幅が広くかつ系統的な組成を示すことで特徴づけられる。火山灰層4はSiO₂量が約64~75 wt.%, Al₂O₃量が約14.6~21.5 wt.%, FeO*量が約0.6~2.3 wt.%, CaO量が約1.2~5.3 wt.%と、火山灰層1や5などと比べて幅広い組成をもつ (Fig. 5)。さらに、SiO₂と他の成分との間に強い相関が認められる。すなわち、SiO₂量が高くなるにしたがい、Al₂O₃量・CaO量・Na₂O量は低くなる傾向を示し、一方、K₂O量・FeO*量は高くなる傾向にある (Fig. 5)。同様に、KsPも組成幅が広く、SiO₂と他の成分との間にまったく同じ傾向が認められる (Fig. 5)。

ATとK-Ahとの間の時期の大山火山の軽石噴出物としては、KsP以外にもその下位に位置する東大山軽石層 (HgP: 津久井, 1984) がある。三浦ほか (1991) に示されるHgPの火山ガラスの再計算前の主成分組成には、火山灰層4がもつSiO₂-Al₂O₃量の傾向が認められない。また、HgPはSiO₂量70~74 wt.%に対してCaO量およびFeO*量が約1~1.5 wt.%の間でCaO量>FeO*量で明瞭に区別できるが、火山灰層4の両成分 (Fig. 5) はそのような傾向をまったく示さない。

奥村 (1991) は、純粋な単層の火山灰層が不均質な化学組成をもつ火山ガラス粒子から構成されることがあり、その不均質性にはAso-4やK-Ahのようにはっきりとグループに区別されかつそれぞれが均質な組成範囲を示すものや、均質な場合に比べて標準偏差が著しく大きくなる無秩序な混合状態を示すものなど様々なケースがあることを報告している。火山灰層4やKsPを構成する粒子が幅広い組成をもつ原因は不明であるが、両者の粒子ごとの組成はほぼ一致している (Fig. 5)。以上、層位および主成分組成の特徴などを総合すると、火山灰層4はKsPであると判断される。

火山灰層2および3; 鬱陵島起源の火山灰層: 火山灰層2および3の火山ガラスの主成分化学組成は、Na₂OおよびK₂Oの含有量がいずれも高いアルカリ岩質で、しかもAl₂O₃量が高い値を示すことで特徴づけられる (Fig. 5)。日本列島の諸火山を給源とする火山灰が非アルカリ岩質であるのに対し、朝鮮半島およびその周辺の諸火山 (大陸系) を給源とするものはアルカリ岩質である (町田・新井, 1992; 中川ほか, 1994)。また、火山灰層2および3は層位的にATとK-Ahとの間にあり軽石型火山ガラスを主体とすることから、大陸系火山灰のU-OkIである可能性が高い。さらに、火山灰層2および3の火山ガラスの主成分組成は、町田ほか (1984) によるU-4~U-2の主成分組成と類似する (Fig. 5)。以上のこ

とから両者はともに鬱陵島由来の火山灰層と推定される。

以上の考察結果をまとめると、KT96-17 P-2 コアの火山灰層序は次のとおりである (Fig. 2)。海底面下378~386 cm, 310~312 cm および107~117 cm 層準の火山灰層は、AT, KsP およびK-Ahにそれぞれ対比される。また、同166~173 cm および132~139 cm 層準の火山灰層は、ともに鬱陵島起源の火山灰層と推定される。なお、これはTsukawaki et al. (1998) による本コアに対する予察的報告の一部を修正するものである。

2. KT96-17 P-2 コアの2枚の鬱陵降下火山灰層

KT96-17 P-2 コアの火山灰層序 (Fig. 2) は、ATとK-Ahの両層準の間に鬱陵島由来の火山灰層が1枚 (U-OkI) 挟在するという日本海南部の一般的な火山灰層序 (新井ほか, 1981; 町田・新井, 1992 など) とは異なるものである。

U-OkIとは、福井県三方町島浜貝塚で見出されたアルカリ岩質の灰白色火山灰層が、近畿地方の海成層や湖成層、さらに日本海南部の海底堆積物中に挟在する火山灰層と同一層と推定され (隠岐火山灰: 町田ほか, 1981; 新井ほか, 1981)、その分布域と給源火山にちなんで付けられた名称 (町田ほか, 1984) である。町田ほか (1984) は鬱陵島でATとK-Ahとの間に鬱陵火山起源の3枚の火山灰層を確認し (U-4, U-3, U-2)、これらの中で、U-2の分布状況や大容積テフラであることおよびK-Ahの直下にあるという層位的類似性の観点から、U-OkIの対比候補としてU-2が最有力であるとしている。その一方で町田ほか (1984) は、U-3やU-4も海底に堆積した可能性があり、従来U-OkIとされたものの一部 (とくに鬱陵島東方沖のコア) はU-2ではなくU-3やU-4であるかもしれないとも報告している。このように、U-OkIと鬱陵島U-2との対比にはいくらかの不確かさが残されるとともに、ある特定の海域によっては、海底堆積物中のATとK-Ahとの間に鬱陵起源の火山灰層が複数枚見出される可能性も示唆されている。

実際、ATとK-Ahとの間にU-OkIに類似した特徴をもつ火山灰層が複数枚見出された事例は、琵琶湖湖底および日本海海底堆積物から報告されている。例えば、琵琶湖1,400 m コア (B コア) のB. 5-3 (L) 火山灰層はU-OkIに対比されているが、その上位のB. 5-3 (M) 火山灰層も化学組成が類似すると報告されている (横山・西田, 1987)。また、琵琶湖高島沖ボーリングコア (BT コア) のBT4火山灰層はU-OkIに対比されているが、その下位のBT5火山灰層は重鉍物組成が若干異なるもののほかの諸性質がBT4火山灰層とよく類似すると記載され (吉川・井内, 1991)、これらの対比にはさらなる検討が必要であると指摘されている (吉川・井内, 1993)。日本海でも、鬱陵島南方の対馬海盆から採取されたコアにはAT層準以降に鬱陵島由来の火山灰層 (Ulleung-II) が挟在し、2つのユニットに区分できると近年報告されている (Chun et al., 1997)。

これらの報告は、U-2だけではなくU-3あるいはU-4も広域に分布した可能性をもつことを示唆している。しかし、従来U-3やU-4との対比や、その広域性については言及されていない。それは、これまでにコアのAT堆積以降の層準で見

い出された鬱陵起源の火山灰層がいずれも細粒でかつ薄層であり、そしてほとんどの場合1枚である(町田ほか, 1984)ためと推察される。なお、U-4に関しては、島根県大田市で掘削されたコアに挟在するテフラ(波根軽石)はU-4(下部)の漂着軽石であるとの報告がある(沢田ほか, 1997)。

今回、KT96-17 P-2 コアで火山灰層2および3が挟在する層準は27 cm 離れ、その間の堆積物中に両者が混合した痕跡は認められない。また、両者の火山ガラスの主成分化学組成はCaO量およびTiO₂量で明瞭に区別される(Fig. 5)。すなわち、火山灰層2はCaO量1.52±0.12 wt.%, TiO₂量0.44±0.08 wt.%であり、一方、火山灰層3はCaO量0.89±0.06 wt.%, TiO₂量0.08±0.03 wt.%であり、火山灰層2と比べて火山灰層3はCaO量が低く、とくにTiO₂量が低い点が特徴的である。標準偏差を考慮してもCaO量およびTiO₂量の差異は有意であり、この点で両者を識別できる。また、NaやKは初性的な組成から変化している可能性があるため積極的な指標とはしにくい。火山灰層2はK₂O量>Na₂O量であるのに対し、火山灰層3はNa₂O量>K₂O量の傾向がある(Fig. 5)。したがって、層位的な観点および主成分組成から、火山灰層2および3は明らかに異なった噴出物といえる。

本コアでの層位関係を考えると、K-Ahの直下にある火山灰層2はU-2かU-3に、その下位の火山灰層3はU-3かU-4に対比される可能性が高い。また、火山灰層2および3と町田ほか(1984)によるU-4~U-2との主成分組成を比較すると、火山灰層2はU-2, U-3, U-4(中部)に、火山灰層3はSiO₂量が若干異なるもののU-4(下部)に近い値を示す(Fig. 5)。しかし、町田ほか(1984)によるU-4(下部)の主成分組成値は測定数が2点と少ないため、火山灰層3をU-4(下部)に特定することは困難である。火山灰層2および3をU-4~U-2に対比するためには、鬱陵島U-4~U-2を今後詳細に検討する必要がある。

KT96-17 P-2 コアの火山灰層2および3は、極細粒~細粒砂大の粒子から構成され淘汰が良く、鬱陵島から本コアの採取地点までは約400 km 離れていることを考えると、両者はいずれも降下火山灰層と推定される。したがって、日本海南部に降下した鬱陵島由来の火山灰はATとK-Ahとの間に2枚あるのは確実である。そして、従来U-Okiとされたものはこれらが区別されていない可能性がある。

例えば、町田ほか(1984)およびFuruta et al. (1986)によって火山ガラスの主成分組成が示されているU-Okiは互いに類似した組成を示し(Table 1)、それらは本コアの火山灰層2に類似している。一方、隠岐トラフで採取されたGH 87-2 K-E コアの海底面下142~145 cm 層準の火山灰層はU-Okiに対比されている(三浦ほか, 1991)が、その火山ガラスの主成分組成は再計算前の値ではあるがNa₂O量>K₂O量であり、CaO量がほぼ1 wt.%前後と低く、TiO₂量が約0.1 wt.%と著しく低い値を示している。この特徴は本コアの火山灰層3によく類似している。

このように、従来U-Okiに同定された火山灰層のうち主成分組成が示されているものについては、本コアの火山灰層2および3がもつ特徴から区別することができるかもしれな

い。しかし、多く場合U-Okiの同定は火山ガラスの屈折率に基づくため、1枚しか見出されていない場合には、それが今回見出された2枚のうちのどちらに対応するのかを判断するのは困難であると推察される。

従来報告されているU-Okiの¹⁴C年代は、本州で見出されU-Okiに対比された火山灰層について測定され、これらは約9,300 yr BP前後の値を示す(町田ほか, 1981; 新井ほか, 1981)。日本海海底堆積物のU-Oki層準の前後では溶解のため有孔虫化石がほとんど産出せず(新井ほか, 1981; Oba et al., 1991)、この付近の年代を直接得ることができないため、U-Okiの¹⁴C年代は後氷期における対馬暖流の日本海への流入時期を推定する上で重要な位置を占めている(Oba et al., 1991)。

しかし、今回、鬱陵起源の降下火山灰層が2枚見出されたことから、日本海の古海洋学的研究におけるU-Okiの年代指標としての有用性には問題がある。これまでU-Okiとされている火山灰層について化学組成を詳細に検討し、本コアの火山灰層2および3や鬱陵島U-4~U-2との比較から層序学的検討を加えた対比を行い、その分布域や噴出年代の違いについて今後明らかにする必要がある。また、那須(1994)が指摘するように、U-Okiの模式地を設定する必要があると考える。

なお、本研究ではKT96-17 P-2 コアの2枚の鬱陵起源の降下火山灰層について下位をTRG2(敦賀2火山灰)、上位をTRG1(敦賀1火山灰)とよぶことにする。

3. KsPの噴出年代

KsPの噴出年代については、鳥取県中山町香取に分布するMiF中の炭化木片の¹⁴C年代測定から18,100±180 yr BP(N-4358)とされている(三浦・林, 1991)。また、酒田沖で採取されたGH89-4 St. 33 コアの海底面下117 cm 付近に挟在するKsP(三浦ほか, 1991)の上位14.5 cmの層準での有孔虫殻のAMS¹⁴C年代値と、KsPの下位に挟在するATとの層位的位置関係から、三浦・林(1991)の年代値は支持されている(池原ほか, 1996)。

今回、KsPの試料を採取した草谷原の露頭ではKsPとMiFとの間に厚さ5 cmの古土壌が認められた(Fig. 4)。古土壌の形成とその層厚は地形や気候条件によって異なるが、KsPとMiFの間には火山活動の休止期があったと推定される。本研究では、KT96-17 P-2 コアの火山灰層4の直上・直下の層準で浮遊性有孔虫殻を試料としたAMS¹⁴C年代を測定し、18,070±50 yr BP(GX-26361)および18,470±160 yr BP(GX-25558)の年代値をそれぞれ得た(Table 2)。本コアの火山灰層4はKsPに対比されることから、これらの年代値からKsPの噴出年代をより直接的に推定することができる。

大気と海洋表層の¹⁴C濃度は異なる(Broecker and Peng, 1982)ため、今回得られた年代値はさらに補正する必要がある。大気一表層海水間の中緯度域の補正值は約400年とされる(Bard, 1988)が、この年代差は海洋循環の変化などにより時代と地域によって違いがある(Stuiver and Braziunas, 1993)。KsP降下時期の日本海は、最終氷期の海水準低下に

より閉鎖的になるとともに大量の淡水による低塩分が進行したとされる(大場ほか, 1995)。このような海洋表層の ^{14}C 濃度の大きな変化は浮遊性有孔虫殻の初生炭素同位体比に影響すると考えられることから, 実際にはリザーバ効果は400年から幾分ずれる可能性がある。例えば, 日本海北部の完新世のリザーバ効果については約350年との推定結果もある(池原, 2000)。しかし, KsP 降下時期のリザーバ効果は報告例がないため, 今回はリザーバ効果を400年とみなすことにする。

AMS ^{14}C 年代値から400年を引くと約18,000 yr BP 程度になり, 三浦・林(1991)の報告とほぼ同様の値を示す。これはKsPとMiFとの間に時間間隙があったとしても非常に短かったことを示唆するのかもしれないが, この点については今後古土壌の年代値が求められたら明確になるであろう。

今回得られたAMS ^{14}C 年代値を暦年代に変換し, KsPの噴出年代を求める。過去の大気中の ^{14}C 濃度は一定ではないため, ^{14}C 年代は校正し真の年代を求める必要がある(増澤, 1998; 村山, 2000; 中村, 2001などに詳述)。暦年校正には, 校正プログラムCALIB 4.3 (Stuiver and Reimer, 1993; Stuiver et al., 1998)を用いた。Table 2には ^{14}C 年代の $\pm 2\sigma$ に対応する暦年の範囲を示す。KsPの噴出年代は95.4%の信頼限界で20,260~22,130 cal yr BPである(Table 2)。

KsPは組成幅が広くかつ粒子ごとの系統的な組成変化を示す, その特徴的な主成分組成によって他の火山灰から区別しやすく, とくに日本海南部においてはATとK-Ahとの間を補完する年代指標層として期待される。

ま と め

本研究では, 日本海南部の隠岐トラフ南東縁部から採取されたKT96-17 P-2 コアのATとK-Ahの両層準の間に鬱陵島起源の降下火山灰層を2枚見出し, それらの火山ガラスの主成分組成が互いに異なることを明らかにした。しかし, これら2枚の鬱陵起源の火山灰層が, 鬱陵島でATとK-Ahとの間に確認された3枚の鬱陵降下テフラ群U-4, U-3, U-2のどれに対比されるかは不明である。確実な対比がなされるまで, これら2枚の鬱陵降下火山灰層の下位をTRG2(敦賀2火山灰), 上位をTRG1(敦賀1火山灰)と呼ぶことにする。日本海の古海洋学的研究において重要な年代指標とされてきたU-Okiはこれらが混同されている可能性があり, また従来U-Okiの対比候補とされていたU-2だけではなくU-3あるいはU-4も広域に分布した可能性が示唆される。これらの分布域や噴出年代の違いについては今後の詳細検討が必要である。

一方, 本研究ではKT96-17 P-2 コアのATとK-Ahとの間に大山起源のKsPも確認した。そして, このKsPについては浮遊性有孔虫殻を用いてAMS ^{14}C 年代を測定し, 約18,000 yr BPの年代値を得た。KsPの噴出年代は約20,000~22,000 cal yr BP程度と見積もられる。KsPはその特徴的な主成分組成からほかの火山灰から容易に区別でき, 日本海南部ではATとK-Ahとの間を補完する年代指標層として重要である。

謝 辞

千葉大学の津久井雅志助教授には草谷原軽石層の試料採取にあたり露頭情報をご教示いただいた。金沢大学の酒寄淳史助教授には粗稿を読んでいただき分析結果について有益なご意見をいただいた。福岡大学の奥野 充博士には本論を改善するうえでの様々なご指摘をいただいた。海洋科学技術センターの徐 学東博士には英文要旨を校閲していただいた。産業技術総合研究所活断層研究センターの水野清秀氏ならびに東京都立大学の鈴木毅彦氏には, 本稿を査読していただき有益なコメントをいただいた。以上の方々に厚くお礼申し上げます。なお, この研究には科研費(No. 08404030, 代表者: 尾田太良)の一部を使用した。

文 献

- 新井房夫・大場忠道・北里 洋・堀部純男・町田 洋, 1981, 後期第四紀における日本海の高環境—テフロクロノロジー, 有孔虫群集解析, 酸素同位体比法による—。第四紀研究, 20, 209-230。
- Bard, E., 1988, Correction of accelerator mass spectrometry ^{14}C ages measured in planktonic foraminifera: paleoceanographic implications. *Paleoceanography*, 3, 635-645。
- Broecker, W.S. and Peng, T-H., 1982 ed., *Tracers in the Sea*. Eldigio Press, 690 p.
- Chun, J.H., Han, S.J., Cheong, D.K., Huh, S. and Shin, D.H., 1997, Volcanic processes of the Ulleung-II tephra (Ulleung-Oki ash) erupted from the Ulleung Island. *Ocean Res.*, 19, 275-283。
- 福元和孝・三宅康幸, 1994, 大山火山, 弥山溶岩ドームよりも新期に形成された三結峰溶岩ドームと清水原火砕流。第四紀, no. 26, 45-50。
- Furuta, T., Fujioka, K. and Arai, F., 1986, Widespread submarine tephras around Japan -petrographic and chemical properties. *Mar. Geol.*, 72, 125-142。
- 池原 研, 2000, いくつかの材料を用いた海底堆積物の放射性炭素年代値の比較。月刊地球, 22, 670-674。
- 池原 研・片山 肇・中嶋 健, 1996, 日本海中部-南東部から採取された柱状試料の加速器質量分析法による炭素14年代。地質調査所月報, 47, 309-316。
- Ikehara, K., Kikkawa, K., Katayama, H. and Seto, K., 1994, Late Quaternary paleoceanography of the Japan Sea; a tephrochronological and sedimentological study. In Juvigne, E.H., ed., *Quaternary environmental changes. Proc. 29th Intern. Geol. Congr., Part B*, 229-235。
- 吉川清志, 1990, ICP 発光分析を用いたテフラ層の同定法とその応用。地学雑誌, 99, 743-758。
- 吉川清志・池原 研, 1990, 日本海東縁海域のコアに含まれるテフラ(火山灰)層の化学組成と広域対比。岡村行信・有田正史・奥田義久編, 日本海中部東縁部大陸棚周辺海域の海洋地質学的研究, 平成元年度研究概要報告書—青森県~新潟県沖概査一, 地質調査所, 146-159。
- 吉川清志・池原 研, 1991, 日本海東縁海域のコア(GH90, GH89-4航海)に含まれるテフラ(火山灰)層の化学組成と広域対比。岡村行信編, 日本海中部東縁部大陸棚周辺海域の海洋地質学的研究, 平成2年度研究概要報告書—新潟県沖海域一, 地質調査所, 92-106。
- 吉川清志・池原 研, 1992, 日本海東縁海域~山陰沖のコアに含まれるテフラ(火山灰)層の化学組成と広域対比。岡村行信編, 日本海中部東縁部大陸棚周辺海域の海洋地質学的研究, 平成3年度研究概要報告書—山形~秋田県沖海域一, 地質調査所, 163-173。
- 吉川清志・池原 研, 1993, 日本海東縁海域のテフラ(GH91, 92)の化学組成と広域対比。岡村行信編, 日本海中部東縁部大陸棚周辺海域の海洋地質学的研究, 平成4年度研究概要報告書, 地質調査所, 180-188。
- 吉川清志・池原 研, 1994, 日本海におけるテフラ(火山灰)の分布

- と層序：まとめ。岡村行信編，日本海中部東縁部大陸棚周辺海域の海洋地質学的研究，平成5年度研究概要報告書，地質調査所，174-181。
- 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，46，339-347。
- 町田 洋・新井房夫，1978，南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラ—アカホヤ火山灰。第四紀研究，17，143-163。
- 町田 洋・新井房夫，1988，日本列島周辺の深海底に分布するテフラ。第四紀研究，26，227-242。
- 町田 洋・新井房夫，1992，火山灰アトラス [日本列島とその周辺]。東京大学出版会，276 p。
- 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，51，562-569。
- 町田 洋・新井房夫・李 炳嵩・森脇 広・古田俊夫，1984，韓国鬱陵島のテフラ。地学雑誌，93，1-14。
- 町田 洋・森脇 広・長岡信治，1993，テフラ研究委員会野外集会 9303 南九州のテフロクロノロジー案内書。日本第四紀学会テフラ研究委員会鹿児島県，87 p。
- 増澤敏行，1998，第四紀後期における年代軸の決定と問題点。地学雑誌，107，150-165。
- 三浦 清・林 正久，1991，中国・四国地方の第四紀テフラ研究—広域テフラを中心として—。第四紀研究，30，339-351。
- 三浦 清・池原 研・吉川清志，1991，北陸沖の日本海海底堆積物中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)，7，7-22。
- 村山雅史，2000，古海洋学における放射性炭素年代測定とその問題点。月刊地球，22，645-650。
- Nagaoka, S., 1988, The 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.
- 中川光弘・藤岡換太郎・古田俊夫・小泉聡子，1994，日本海，Leg. 127，128 コア中の火山灰—火山ガラスの主成分化学組成からの火山灰対比と第四紀火山活動史—。月刊地球，13，218-224。
- 中嶋 健・吉川清志・池原 研・片山 肇・木川栄一・上嶋正人・瀬戸浩二，1996，日本海南東部における海底堆積物と後期第四紀層序—特に暗色層の形成時期に関連して—。地質雑，102，125-138。
- 中村俊夫，2001，放射性炭素年代とその高精度化。第四紀研究，40，445-459。
- 那須孝悌，1994，広域テフラ「鬱陵—隠岐火山灰層」について。第四紀，no. 26，67-70。
- Oba, T., Kato, M., Kitazato, H., Koizumi, I., Omura, A., Sakai, T. and Takayama, T., 1991, Paleoenviromental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. *Paleoceanography*, 6, 499-518.
- 大場忠道・村山雅史・松本英二・中村俊夫，1995，日本海隠岐堆積コアの加速器質量分析 (AMS) 法による¹⁴C年代。第四紀研究，34，289-296。
- 奥村晃史，1991，火山ガラスの主成分組成に基づくテフラの対比—EPMA。月刊地球，16，691-698。
- 小野晃司・松本徹夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和，1977，竹田地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅)，地質調査所，145 p。
- 小野晃司・渡邊一徳・星住英夫・鎌田浩毅・町田 洋，1996，九州中部のテフロクロノロジー案内書。第 5 回第四紀学会テフラ研究野外集会，62 p。
- 沢田順弘・中村唯史・榎田禎久・Yoon, S.・徳岡隆夫，1997，島根県大田市の掘削コアから発見された鬱陵島の完新世初期火山活動由来の漂着軽石。第四紀研究，36，1-16。
- Stuiver, M. and Braziunas, T.F., 1993, Modeling atmospheric ¹⁴C influences and ¹⁴C ages of marine samples to 10,000 BC. *Radiocarbon*, 35, 137-189.
- Stuiver, M. and Reimer, P.J., 1993, Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program. *Radiocarbon*, 35, 215-230.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., Bard, E., Beck, J. W., Burr, G. S., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, F. G., van der Plicht, J. and Spurk, M., 1998, INTCAL98 radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. *Radiocarbon*, 40, 1041-1083.
- Tsukawaki, S., Kamiya, T., Ozawa, H. and Kato, M., 1998, Preliminary results on the sediment sampling during the R.V. *Tansei-maru* cruise KT96-17 Leg 2 in the southwestern part of the Japan Sea -sediments, benthic foraminifers and ostracodes-. *Bull. Japan Sea Res. Inst. Kanazawa Univ.*, 29, 67-89.
- 津久井雅志，1984，大山火山の地質。地質雑，90，643-658。
- 宇井忠英，1973，幸屋火砕流—極めて薄く拡がり堆積した火砕流の発見。火山，18，153-168。
- 横山卓雄・西田史朗，1987，琵琶湖深層試錐中の火山ガラスの EDX 分析による火山灰の同定と対比。地質雑，93，275-286。
- 吉川周作・井内美郎，1991，琵琶湖高島沖ボーリングコアの火山灰層序。地球科学，45，81-100。
- 吉川周作・井内美郎，1993，琵琶湖高島沖ボーリング火山灰から見た中期更新世～完新世の噴火活動史。地球科学，47，97-109。

(要 旨)

堂満華子・椎原美紀・鳥井真之・塚脇真二・尾田太良，2002，日本海南部 KT96-17 P-2 コアの火山灰層序—大山草谷原軽石層 (KsP) の噴出年代—。地質雑，108，545-556。(Domitsu, H., Shiihara, M., Torii, M., Tsukawaki, S. and Oda, M., 2002, Tephrostratigraphy of the piston cored sediment KT96-17 P-2 in the southern Japan Sea —the eruption age of Daisen-Kusadanihara Pumice (KsP)—. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 108, 545-556.)

日本海南部の隠岐トラフ南東縁部で採取された KT96-17 P-2 コアには 5 枚の火山灰層が挟在する。これらの火山灰層について火山ガラスの形態や主成分化学組成，および鉱物組成を調べた結果，AT と K-Ah の両層準の間に鬱陵島起源の降下火山灰層を 2 枚見出し，それらの火山ガラスの主成分組成が互いに異なることを明らかにした。日本海の古海洋学的研究において重要な年代指標とされる U-Oki はこれらが混同されている可能性があり，従来 U-Oki の対比候補とされていた鬱陵島の鬱陵降下テフラ U-2 だけではなく U-3 や U-4 も広域に分布した可能性が指摘される。

また，本コアに挟在する KsP の直上ならびに直下の層準から採取した浮遊性有孔虫殻を試料として AMS ¹⁴C 年代を測定した結果，約 18,000 yr BP の年代値を得た。KsP の噴出年代は約 20,000～22,000 cal yr BP 程度と見積もられる。

