

長野県, 高野層ボーリングコア (TKN-2004) に挟在する 広域テフラ層の層序と編年

長橋良隆*^{1,a}・佐藤孝子*²・竹下欣宏*³・田原敬治*⁴・公文富士夫*⁵



長野市高野に分布する高野層は、中・後期更新世の湖成堆積物からなる。ここで掘削された高野層コア (TKN-2004: 掘削深約 54 m) は、ほぼ均質な粘土質シルト層からなり、多数のテフラ層を挟在する。本論では、挟在するテフラ層の層序と岩石学的検討に基づき、下位より順に、Aso-2, Aso-3, SK, Ata, Aso-ABCD, K-Tz, Aso-4 の各広域テフラ層を同定・対比した。さらに、MIS 5.5~5.4 には火山ガラスの主要成分化学組成で K_2O 量が特徴的に少ないテフラ層があり、大阪湾沿岸コアおよび琵琶湖高島沖コアのテフラ層と対比されること、高野層コアの上部に挟在するアルカリ岩質テフラ層が野尻湖底コアに挟在する BW1466 テフラ層と対比され、その堆積年代が 39.5 ka であることを明らかにした。Aso-2, Aso-3, Aso-4 およびアルカリ岩質テフラ層を年代基準として堆積速度を算出し、主要なテフラ層の年代を求め、酸素同位体比ステージとの対応について検討した。その結果、高野層コアは約 160 ka から約 30 ka の MIS 6 から MIS 3 に相当し、中期更新世末から後期更新世の広域テフラ層の標準層序を提供できることが明らかになった。

キーワード: 高野層, 広域テフラ層, 主要成分化学組成, 編年, 後期更新世

I. はじめに

高野層は長野市の南西約 20 km にあり、犀川と千曲川に挟まれた丘陵地内の小盆地に分布する (図 1)。高野層はおもに湖成の粘土質シルト層からなり、中・後期更新世のテフラ層を良好な状態で保存していることから、テフラ層序と広域テフラ層対比に関する多くの研究がなされてきた (木村, 1987a, b, 1996; 竹本ほか, 1987; 町田・新井, 1994; 入谷ほか, 2005)。

2004年6月に掘削された高野層ボーリングコア (TKN-2004: 以下、高野層コアとする) は掘削深約 54 m で、ほぼ均質な粘土質シルト層からなる (田原ほか, 2006)。このコアは湖盆の最深部で掘削されたため、露頭の層序と比較すると、立山 D テフラ (Tt-D: 町田・新井, 2003)

より下位の高野層下部層 (木村, 1987a) がとくに厚い。そのため、中期更新世末から後期更新世にかけての古環境解析を高時間分解能で行うことができ、全有機炭素含有率 (田原ほか, 2006) や花粉分析などの古環境変動に関する研究が進行中である。

本論では、高野層コアに挟在する軽石層とガラス質火山灰層を記載し、広域テフラ層との対比を行った。その結果、軽石層は御嶽・立山火山を給源とし、その他の広域テフラ層は九州のカルデラ火山、山陰の大山・三瓶火山、および鬱陵島 (図 1) を給源とすることが明らかになった。高野層コアには、露頭で観察されるよりも多くのテフラ層が挟在しており、過去 15 万年間の広域テフラ層のほぼすべてが検出された。本論では、高野層コアのテフラ層と広域テフラ層との対比について述べるとと

2006年11月18日受付。2007年3月17日受理。

*1 福島大学共生システム理工学類 〒960-1296 福島市金谷川1番地。

*2 株式会社河田仙台支店 〒984-0015 仙台市若林区卸町2-8-5。

*3 栃木県立博物館 〒320-0865 宇都宮市睦町2-2。

*4 信州大学大学院総合工学研究科 〒390-8621 松本市旭3-1-1。

*5 信州大学理学部 〒390-8621 松本市旭3-1-1。

*a Corresponding author: nagahashi@sss.fukushima-u.ac.jp

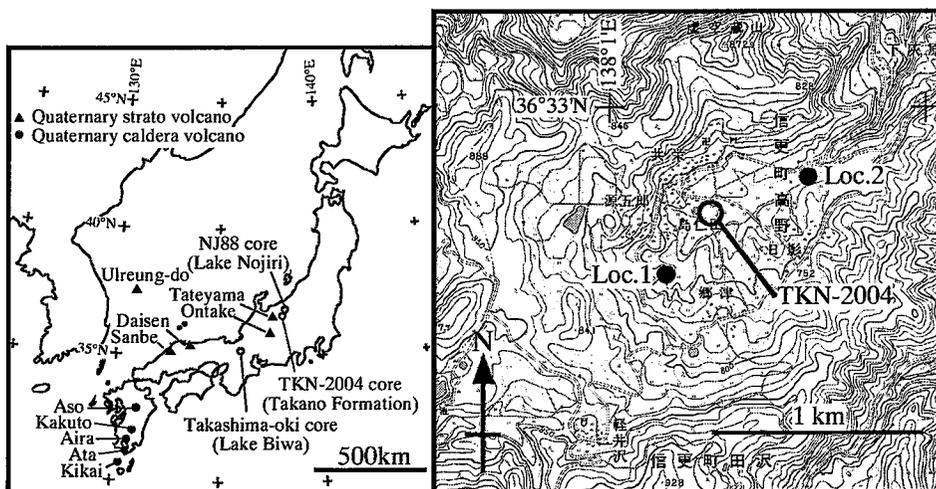


図1 西南日本における第四紀火山と高島沖コア・野尻湖底コア (NJ88)・高野層コア (TKN-2004) の掘削地点およびテフラ層露頭の位置
国土地理院発行の 1/25,000 地形図「稲荷山」を使用。

Fig. 1 Locality maps showing the Quaternary volcanoes in Southwest Japan, Takashima-oki core, NJ88 core, TKN-2004 core drilling site and tephra outcrops, using 1 : 25,000 topographical map of "Inaniyama" published by the Geographical Survey Institute of Japan

もに、年代指標となる広域テフラ層を用いた編年を行い、酸素同位体比ステージとの対応についても議論する。

II. 地形・地質の概要

高野層は南西-北東方向に延びる2つの尾根に挟まれた盆地内に分布する(図1)。これらの尾根は標高850m程度で、北東方向に標高を減ずる。盆地の中央部を流れる小河川は北東方向へ流れた後、北西に向きを変えて犀川に合流する。この小河川は高野層を侵食しており、盆地の内部には樹枝状のガリー地形が発達する。盆地内の最低標高は720~730mであるが、高野層の基底はそれよりも低いところにある。

高野層の地質と地質構造は木村(1987a)により明らかにされている。それによると、高野層と北側の尾根部との境界付近に南落ちの高野川断層が南西-北東方向に延び、その西端は北西-南東方向に延びる軽井沢撓曲に切られる。盆地周囲の尾根部には鮮新・下部更新統の灰原層が分布し、盆地の北東部では中部更新統の仙石層が灰原層を不整合で覆う。高野層は仙石層を不整合で覆う湖成堆積物であり、盆地内部の標高約780m以下、東西幅1.5km、南北幅1kmの範囲に分布する(図1)。高野層

は非整合により下部層・中部層・上部層・最上部層に細分されている。下部層はおもに礫層からなるが、中部層以上は粘土質シルト層を主体とする。高野層は全体的に盆地中央部に向かって数度程度で傾斜しているが、分布域の北東部では20度程度と傾斜が大きくなる。高野層の最深部は盆地の中央よりやや北にあり、そこでの高野層は層厚60m程度(基底面の標高約660m)と推定されている。高野川断層と軽井沢撓曲により形成された構造的凹地に堆積が始まり、その後も沈降が継続したことにより、長期間にわたって湖が存続したと考えられている。

III. 高野層コアに挟在するテフラ層の記載

高野層コア(TKN-2004)は、旧信田小学校高野分校跡地(標高約730m)で掘削された(図1)。その付近は高野層基底が最も深いと推定されており(木村, 1987a)、過去の工事用ボーリング調査で層厚が40m以上に達することがわかっていた(長野市教育委員会, 1977)。高野層コアの掘削深は53.88m、コア径は66mm、回収率は99%であった。コア基底部の厚さ数cm(図2には示していない)には、礫層(高野層下部層もしくは灰原層)があり、それ以浅はほぼ均質な粘土質シルト層からなる

(図2). 多数のテフラ層を挟在しており、本論ではこのコアに挟まるテフラ層の名称をTKNの後に4桁の数字

(テフラ層基底深度：単位はcm)をつけて表記する(図2).

1. 記載方法

本コアは暗色でほぼ均質な粘土質シルト層からなる。そのため、軽石層やガラス質火山灰層は肉眼観察と双眼実体顕微鏡観察により容易に識別することができる。そのようにして識別されたテフラ層は下位より順に、TKN5338・4519・3698・3301・3254・2976・2826・2780・2540・2513・2435・2392・2385・2288・2276・2003・1903・1374・1080・0301の20層である(図2)。これ以外のスコリアもしくは石質火山灰層は本コアの上半部(TKN2276~TKN0301間)に集中して挟在する(図2)。さらに、肉眼観察では識別できなかったが、火山ガラスの濃集層準としてTKN3840が識別された。

採取したテフラ試料は40℃の恒温器で乾燥後、500メッシュ(目の開き：1/32mm)・250メッシュ(1/16mm)・60メッシュ(1/4mm)の篩上で水洗し、超音波洗浄機を用いて粘土分を除去した。さらに深度37mから43mまでの粘土質シルト層については、5cm分(乾燥重量で10g程度)を1試料として、上記と同様の手洗処理を行った。これは予想的な分析結果から、この深度に長橋ほか(2004)のAso-3テフラ層が挟在する可能性が推定されたからである。これらのテフラ試料とシルト試料は、水洗・乾燥後の1/4mmから1/16mmの粒子について、双眼実体顕微鏡観察を行い、さらにグリコールフライトで封入したプレパラートの偏光顕微鏡観察により粒子組成・火山ガラスの形状・マフィック鉱物組成を求めた。粒子組成は火山ガラス・フェルシク鉱物(斜長石・石英)・マフィック鉱物・石質岩片に区分し、総数が200粒子を超えるまで鑑定した。火山ガラスの形状は吉川(1976)に基づき、扁平型・中間型・多孔質型に区分し、卓越する形状を記載した。マフィック鉱物組み合わせは、プレパラートに封入された全粒子とネオジウム磁石で集めたマフィック鉱物を鑑定した。火山ガラスの化学組成は福島大学のSEM+EDSシステムを用いて、長橋ほか(2003)の分析条件と補正方法により求めた(付表1, 2)。またホルンブレンドと斜方輝石の化学組成は、信州大学のSEM+EDSシステムを用いて、竹下(2004)と同じ分析条件により求めた(付表3)。

2. テフラ層の記載

ここでは高野層コアに挟在するテフラ層の岩相・粒子組成・火山ガラスの形状・マフィック鉱物の組み合わせ(表1)について記載する。火山ガラスの主要成分化学組成の平均値(付表1)については、特徴的な組成を有する

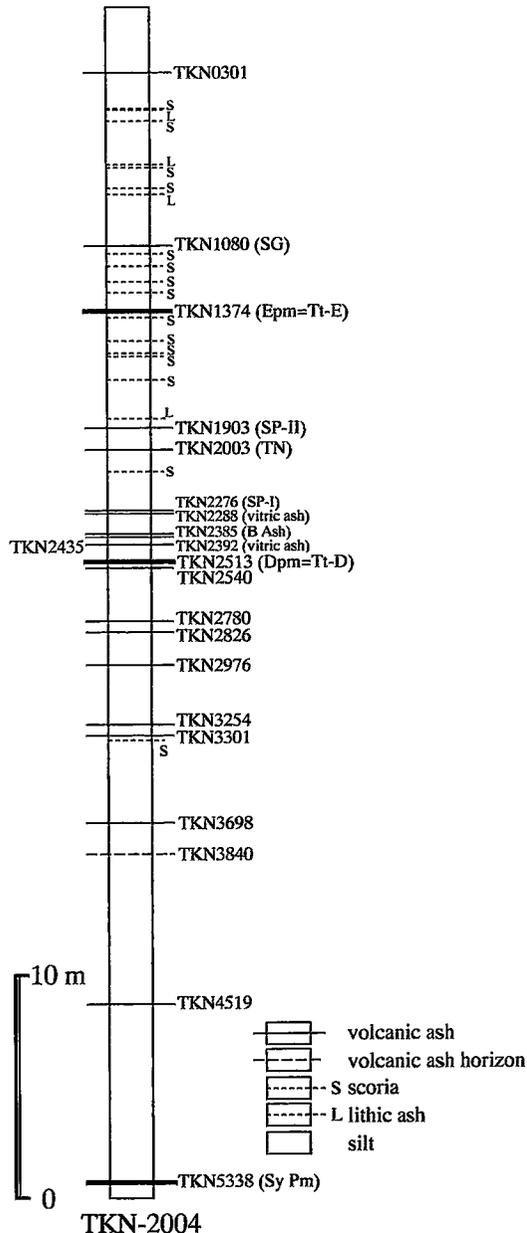


図2 高野層コアの岩相層序とテフラ層

括弧の中は木村(1987a)によるテフラ名称を示す。

Fig. 2 Lithofacies columnar section and stratigraphical horizon of tephra beds from the TKN-2004 core. Characters in parenthesis show the name of tephra mentioned by Kimura (1987a).

表 1 高野層コアに挟在するテフラ層の記載岩石学的性質

Table 1 Petrographic properties of tephra beds intercalated in the TKN-2004 core of Takano Formation, central Japan

sample no.	depth (m)	thickness (cm)	lithofacies	grain component				glass shape	mafic mineral assemblage
				Gl	felsic	mafic	lithic		
TKN0301	3.01	0.3	vitric	78	22	0	0	T>C	Hbl, Opx
TKN1080-U		3.5	vitric	84	13	2	0	T	
TKN1080-L	10.80	4.5	crystal	10	54	36	0	T	Hbl>Opx>>Ap
TKN1374-P	13.74	16.0	pumice	74	18	8	0		Hbl, Opx
TKN1903	19.03	2.0	crystal-vitric	15	19	5	61	T	Opx>>Cpx, Hbl
TKN2003	20.03	>3.0	vitric	88	7	3	1	H	Opx>Hbl>Cpx
TKN2276	22.76	3.5	pumice	20	53	6	20	T	Opx>>Cpx
TKN2288	22.88	0.7	vitric	95	4	0.4	0.4	H	Opx>Cpx>>Hbl
TKN2385	23.85	0.3 / 2.7	crystal-vitric, pumice	51	14	4	31	T	Bt>>Opx>Hbl, Cpx, Ap
TKN2392	23.92	2.2	vitric	98	2	0	0	H>C,T	Opx, Cpx
TKN2435	24.35	0.3	vitric	95	4	1	0	H	Opx, Hbl, Cpx
TKN2513-P	25.13	>13.0	pumice	76	16	8	0		Opx>>Cpx>Hbl>Ap
TKN2540	25.40	0.4	vitric	90	3	1	5	T	Bt>>Hbl, Opx
TKN2780	27.80	3.0	crystal-vitric	91	6	2	1	T	Opx, Cpx
TKN2826	28.26	1.3	crystal-vitric	1	22	4	73		Hbl>Opx>Bt, Cpx
TKN2976	29.76	2.0	vitric	95	3	0	2	T>C	Opx, Cpx
TKN3254	32.54	1.0	vitric	83	6	2	9	T	Opx, Cpx
TKN3301	33.01	>0.5	vitric	96	3	1	0.5	T	Opx>Hbl>Cpx
TKN3698	36.98	2.5	vitric	69	20	9	1	T	Hbl>>Opx>Ap
TKN3840	38.40	+	vitric	78	12	1	9	T>H,C	Opx>>Cpx
TKN4519	45.19	0.5	vitric	96	3	0	1	H>C	Opx, Cpx, Hbl
TKN5338-P	53.38	15.0	pumice	87	7	5	0		Hbl, Opx>>Cpx

U: upper, L: lower, P: pumice sample, Gl: glass shard, felsic: felsic minerals, mafic: mafic minerals, lithic: lithic fragments, Bt: biotite, Hbl: hornblende, Opx: orthopyroxene, Cpx: clinopyroxene, Ap: apatite, glass shape: Yoshikawa (1976)

一部のものについて記載する。なお、木村(1987a)で記載されたテフラ層(以下では“ ”でくくる)との対応については、高野層コアのテフラ層名称のあとに記述する。

TKN5338 (“Sy Pm”): 層厚 15 cm, 淘汰のよい軽石からなる。軽石は粒径数 mm 程度で、白色のものを主体とするが、暗灰色のものも含む。マフィック鉱物はホルンブレンドと斜方輝石を主体とし、単斜輝石を含む。

TKN4519: 層厚 0.5 cm, 極細粒砂サイズからシルトサイズのガラス質火山灰からなる。火山ガラスは無色透明の扁平型から中間型からなり、淡褐色火山ガラスを含む。ごくわずかに含まれるマフィック鉱物は斜方輝石・単斜輝石・ホルンブレンドからなる。

TKN3840: シルト中の火山ガラス濃集層準として識別された。明瞭な層をなしていないものの、肉眼観察では上下のシルトよりもやや明色となっている。火山ガラスは多孔質型を主体とするが、扁平型や中間型の火山ガラスも含む。また、淡褐色火山ガラスを含む。ごくわずかに含まれるマフィック鉱物は斜方輝石を主体とし、単斜輝石を含む。火山ガラスの SiO₂量は 63.1 wt% のものと、69.7 wt% のものにわかれる。SiO₂量が 63.1 wt%

のもの、FeO*量(5.7 wt%)が多く、K₂O量(3.7 wt%)がやや多い。SiO₂量が 69.7 wt% のものは、FeO*量(2.6 wt%)がやや多く、K₂O量(4.9 wt%)が多い。

TKN3698: 層厚 2.5 cm, ガラス質火山灰からなり、極細粒砂サイズからシルトサイズへと正級化する。火山ガラスは多孔質型である。マフィック鉱物はホルンブレンドを主体とし、斜方輝石と燐灰石を含む。

TKN3301: 層厚 0.5 cm 以上、極細粒砂サイズのガラス質火山灰からなる。火山ガラスは多孔質型である。ごくわずかに含まれるマフィック鉱物は斜方輝石・ホルンブレンド・単斜輝石からなる。火山ガラスの SiO₂量は 70.2 wt% で、FeO*量(4.4 wt%)が多く、K₂O量(2.3 wt%)が比較的少ない。

TKN3254: 最大厚さ 1 cm のダンゴ状に産する。シルトサイズのガラス質火山灰からなる。火山ガラスは多孔質型である。ごくわずかに含まれるマフィック鉱物は斜方輝石と単斜輝石からなる。火山ガラスの SiO₂量は 69.5 wt% で、FeO*量(4.3 wt%)が多く、K₂O量(1.4 wt%)が少ない。

TKN2976: 層厚 2 cm, シルトサイズのガラス質火山灰からなる。火山ガラスは多孔質型を主体とするが、中

間型も含む。ごくわずかに含まれるマフィック鉱物は斜方輝石と単斜輝石からなる。火山ガラスのSiO₂量は68.6 wt%で、FeO*量(4.9 wt%)が多く、K₂O量(1.4 wt%)が少ない。

TKN2826 : 層厚1.3 cm, 下半部は中粒砂サイズの結晶火山灰からなり、上半部は極細粒砂サイズのガラス質火山灰からなる。マフィック鉱物はホルンブレンドと斜方輝石を主体とし、酸化ホルンブレンド・黒雲母・単斜輝石を含む。

TKN2780 : 層厚3 cm, 下半部は結晶ガラス質火山灰からなり、上半部はガラス質火山灰からなる。中粒砂サイズから極細粒砂サイズへと正級化する。火山ガラスは多孔質型である。マフィック鉱物は斜方輝石と単斜輝石からなる。火山ガラスのSiO₂量は69.1 wt%で、FeO*量(4.7 wt%)が多く、K₂O量(1.3 wt%)が少ない。

TKN2540 : 層厚0.4 cm, 極細粒砂サイズのガラス質火山灰からなる。火山ガラスは多孔質型である。石英をわずかに含む。マフィック鉱物は黒雲母を主体とし、ホルンブレンドと斜方輝石を含む。火山ガラスのSiO₂量は76.2 wt%で、FeO*量(0.6 wt%)とCaO量(0.7 wt%)が少なく、K₂O量(4.1 wt%)が比較的多い。

TKN2513 ("Dpm" = Tt-D) : 層厚13 cm 以上, 淘汰のよい軽石からなる。軽石の粒径は数 mm 程度で、最大径1 cm である。軽石に含まれるマフィック鉱物は、斜方輝石を主体とし、単斜輝石・ホルンブレンド・燐灰石を含む。

TKN2435 : 層厚0.3 cm, シルトサイズのガラス質火山灰からなる。火山ガラスは無色透明の扁平型を主体とし、淡褐色火山ガラスを含む。ごくわずかに含まれるマフィック鉱物は斜方輝石・ホルンブレンド・単斜輝石からなる。火山ガラスのSiO₂量は73.7 wt%で、FeO*量(2.4 wt%)とCaO量(1.9 wt%)が比較的多い。

TKN2392 ("下位の vitric ash") : 層厚2.2 cm, 極細粒砂サイズからシルトサイズのガラス質火山灰からなる。下半部は灰白色、上半部は白色を呈する。火山ガラスは扁平型を主体とするが、中間型から多孔質型も含む。ごくわずかに含まれるマフィック鉱物は斜方輝石と単斜輝石からなる。

TKN2385 ("B Ash") : 下部は層厚2.7 cm, 淡青灰色を呈する細粒砂サイズから極細粒砂サイズの結晶ガラス質火山灰からなる。上部は層厚0.3 cm, 粗粒砂サイズの軽石からなる。火山ガラスは多孔質型である。マフィック鉱物は黒雲母を主体とし、斜方輝石・ホルンブレンド・単斜輝石・燐灰石を含む。

TKN2288 ("上位の vitric ash") : 層厚0.7 cm, 細粒砂サイズから極細粒砂サイズのガラス質火山灰からなる。火山ガラスは無色透明の扁平型を主体とする。高温型石英を含む。マフィック鉱物は斜方輝石・単斜輝石とホルンブレンドからなる。

TKN2276 ("SP-I") : 層厚3.5 cm, 粗粒砂サイズ以下の軽石質火山灰からなる。火山ガラスは多孔質型からなる。マフィック鉱物は斜方輝石を主体とし、単斜輝石を含む。

TKN2003 ("TN") : 層厚3 cm 以上, 中粒砂サイズから極細粒砂サイズのガラス質火山灰からなる。火山ガラスは扁平型からなる。マフィック鉱物は斜方輝石を主体とし、ホルンブレンド・単斜輝石を含む。

TKN1903 ("SP-II") : 層厚2 cm, 極細粒砂サイズの結晶ガラス質火山灰からなり、淡青灰色を呈する。火山ガラスは多孔質型である。マフィック鉱物は斜方輝石を主体とし、単斜輝石とホルンブレンドを含む。

TKN1374 ("Epm" = Tt-E) : 層厚16 cm, 淘汰のよい軽石からなる。軽石の粒径は数 mm 程度である。軽石のマフィック鉱物はホルンブレンドと斜方輝石からなる。

TKN1080 ("SG") : 下部4.5 cm (TKN1080-L) は、粗粒砂サイズから中粒砂サイズの結晶火山灰からなる。上部3.5 cm (TKN1080-U) は、極細粒砂サイズからシルトサイズのガラス質火山灰からなる。下部に含まれるマフィック鉱物はホルンブレンドと斜方輝石からなり、燐灰石を含む。上部に含まれる火山ガラスは多孔質型であり、火山ガラスのSiO₂量は74.0 wt%で、Al₂O₃量(14.7 wt%)、K₂O量(3.0 wt%)よりNa₂O量(4.2 wt%)が多い。

TKN0301 : 層厚0.3 cm, 極細粒砂サイズのガラス質火山灰からなる。火山ガラスは多孔質型を主体とし、中間型を含む。ごくわずかに含まれるマフィック鉱物はホルンブレンドと斜方輝石からなる。火山ガラスのSiO₂量は61.1 wt%で、Al₂O₃量(19.4 wt%)・Na₂O量(6.9 wt%)・K₂O量(6.7 wt%)が多い。

IV. 高野層の露頭から新たに見いだしたテフラ層

高野層下部層の2露頭から新たに3層のテフラ層を見いだした(図1, 図3)。それらを下位より順に日影-1(HK-1), 日影-2(HK-2), 日影-3(HK-3)とする。

Loc. 1 と Loc. 2 で産出するHK-1は層厚0.2 cm から0.5 cm, 極細粒砂サイズからシルトサイズの結晶ガラス質火山灰からなる。火山ガラスは多孔質型からなる。火

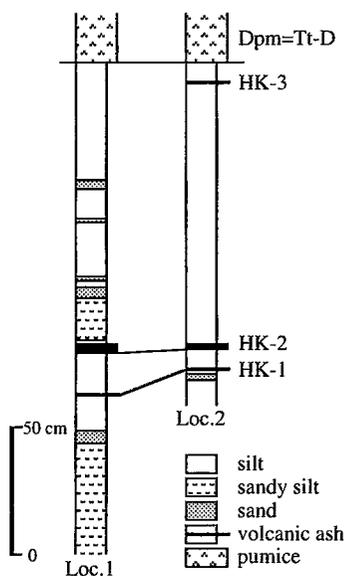


図3 高野層の露頭で記載したテフラ層
露頭位置は図1に示す。

Fig. 3 Tephra beds intercalated in
the Takano Formation
Localities are shown in Fig. 1.

山ガラスのSiO₂量は75.3-75.7wt%で、FeO*量(2.1-2.3 wt%)とCaO量(2.3-2.4 wt%)がやや多く、K₂O量(2.5 wt%)がやや少ない(付表1)。Loc. 1とLoc. 2で産出するHK-2は層厚2cmから4cmで、中粒砂サイズから極細粒砂サイズの結晶ガラス質火山灰からなる。火山ガラスのSiO₂量は69.9-70.5 wt%で、FeO*量(4.1 wt%)が多く、K₂O量(1.3-1.4 wt%)が少ない(付表1)。Loc. 1のみに産出するHK-3は層厚0.2 cm、極細粒砂サイズのガラス質火山灰からなる。火山ガラスは多孔質型である。火山ガラスのSiO₂量は76.3 wt%で、FeO*量(0.6 wt%)とCaO量(0.7 wt%)が少なく、K₂O量(4.0 wt%)が比較的多い(付表1)。

これらのテフラ層は、“Dpm”の基底から1.3m以内にある(図3)。テフラ層序、岩相および火山ガラスの形状と主要成分化学組成から、HK-1がTKN2826に、HK-2がTKN2780に、HK-3がTKN2540にそれぞれ対比される。

V. 広域テフラ層との対比

御嶽・立山火山を給源とする軽石層とガラス質火山灰層の層序は、木村(1987b)や竹本ほか(1987)により

明らかにされた。さらに町田・新井(1994)は、高野層中部層に挟在する“下位の vitric ash”(木村, 1987bのN-Tf)がAso-3火砕流の噴出に伴って広域に降下・堆積した広域テフラ層としている。これらの研究に基づくと、高野層に挟在するテフラ層と広域テフラ層(名称と略称は町田・新井(2003)による)との対応は、以下のように整理される。すなわち“下位の vitric ash”が阿蘇3テフラ(Aso-3:町田・新井, 1994)に、“B Ash”が御岳第1テフラ(On-Pm1:小林ほか, 1967;町田・鈴木, 1971)に、“上位の vitric ash”が鬼界葛原テフラ(K-Tz:町田・新井, 1983)に、“TN”が阿蘇4テフラ(Aso-4:町田ほか, 1985)に、“SG”が大山倉吉テフラ(DKP:町田・新井, 1979)に、“KN”が始良Tnテフラ(AT:町田・新井, 1976)にそれぞれ対比されている。この対比は入谷ほか(2005)でも踏襲されている。

高野層コアは、露頭で観察される高野層と比較して堆積速度が大きく、またTt-Dより下位のシルト層が厚く堆積している。そのため、露頭では記載されていない新たな広域テフラ層を高野層コアから検出することができ、西南日本における過去15万年間の広域テフラ層のほぼすべての層序関係を把握することができた。従来の広域テフラ層対比のうち、“上位の vitric ash”とK-Tz, “KN”とATとの対比については本論でも踏襲する。

以下では、1)三瓶火山起源の三瓶木次テフラ(SK:豊蔵ほか, 1991)との対比、2)阿多カルデラ起源の阿多テフラ(Ata:町田・新井, 1983)との対比、3)阿蘇カルデラ起源のAso-2・3・4とAso-ABCD(小野ほか, 1977)との対比、4)大阪湾岸ボーリングコア(以下、大阪湾岸コアとする)に挟在する南港II・III火山灰層(Nk-II・III:吉川ほか, 1993)との対比、5)野尻湖底ボーリングコア(NJ88:以下、野尻湖底コアとする)に挟まるBW2765(野尻湖火山灰グループ, 1993)および大山山麓のDKPとの対比、6)野尻湖底コアに挟まるアルカリ岩質テフラ層BW1466(野尻湖火山灰グループ, 1993)との対比の順に議論する。

1. TKN2540(HK-3)とSKとの対比

TKN2540と本論で新たに記載したHK-3(Loc. 2)はともに“Dpm”のすぐ下位に挟在する。石英と黒雲母を含むことが特徴で、火山ガラスの化学組成はFeO*量とCaO量が少ないこと(FeO*量の方が若干少ない)、Na₂O・K₂O量が比較的多く、Na₂Oが若干少ない(付表1)。これらの特徴は、島根県出雲市佐田町横田のSK軽石試料のそれと一致する(付表2)。次に述べるTKN2435はAtaに対比され、大山山麓で確認されているSK

とAtaとの層序関係(石賀, 1997)とも矛盾しない。よってTKN2540(HK-3)はSKに対比される。なお、これまで報告されているSKの火山ガラス化学組成(林・三浦, 1987; 豊蔵ほか, 1991; 白石ほか, 1992; 国中層団研究グループ, 1999; 野村ほか, 2000)のうち、 FeO^* 量とCaO量については本論の分析結果とほぼ一致する。しかし、アルカリについては K_2O 量より Na_2O 量が多いことが特徴(林・三浦, 1987)とされており、本論の分析結果とは異なる。

2. TKN2435とAtaとの対比

TKN2435は扁平型の火山ガラスからなり、その化学組成上の特徴は FeO^* 量(2.4 wt%)とCaO量(1.9 wt%)がやや多いことである(付表1)。このような組成をもつ後期更新世の広域テフラ層は少なく、類似しているものとしては鬼界アカホヤテフラ(K-Ah: 町田・新井, 1978)とAtaがある。両者はほぼ一致する化学組成を示すものの、Ataの FeO^* 量がK-Ahよりも少ない(町田・新井, 2003)。TKN2435の火山ガラス化学組成は、長橋ほか(2004)のK-Ahのそれと近い値を示し、なおかつ FeO^* 量・CaO量ともK-Ahよりもやや少ない。これは、これまで知られているAtaの火山ガラス化学組成(町田・新井, 2003)とほぼ一致する。さらに、阿蘇中岳の東方約20 kmの竹田市萩町野鹿の露頭において、Ataと同定されているガラス質火山灰層(町田, 1996)の火山ガラス化学組成(付表2)もTKN2435と一致する。TKN2435の層準は“Dpm”のやや上位でK-Tzより下位にあるので、層位的にもTKN2435をAtaに対比することに矛盾はない。これまで知られているAtaの産出地点は少なく、中部日本の内陸部では初めて検出された。

3. TKN4519・3840・2288・2003とAso-2・3・ABCD・4との対比

長橋ほか(2004)は琵琶湖高島沖ボーリングコア(以下、高島沖コアとする)のAso-1・2・3・4の同定に際し、火山ガラス化学組成の特徴として、以下のことを指摘している。 SiO_2 - K_2O 図では、Aso-1・2のトレンドより K_2O 量の少ない領域にAso-3があり、さらに K_2O 量の少ない領域にAso-4がある。 SiO_2 - FeO^* 図では、Aso-1・2のトレンドより FeO^* 量の少ない領域にAso-3・4のトレンドがある。高島沖コアで同定されたAso-2(BT43)・3(BT39-41)・4(BT22)とそれらに対比されるTKN4519・3840・2003を、 SiO_2 - K_2O 図と SiO_2 - FeO^* 図にプロットすると(図4-a, b)、それぞれがほぼ同じ領域に重なる。さらに先に述べた SiO_2 - K_2O 図と SiO_2 - FeO^* 図におけるトレンドの変化も同様である。

高島沖コアでも高野層コアでも、Aso-2とAso-3は近い層位にあり、それより離れた上位にAso-4があるという層位関係が類似している。またTKN2435がAtaに対比されることは、阿蘇カルデラ東麓におけるAso-3とAtaの層位関係(町田, 1996; 町田・新井, 2003)とも矛盾しない。以上のことから、TKN4519がAso-2に、TKN3840がAso-3に、TKN2003がAso-4に対比される。

以上のように、Aso-3火砕流噴出に伴う広域テフラ層Aso-3は、従来Aso-3に対比されていた“下位の vitric ash”(TKN2392)ではなく、それよりはるかに下位にあるTKN3840と対比される。後の議論で述べるが、このことはAso-3の層準がMIS 6.2であるとする見解(下山ほか, 1999; Chun *et al.*, 2004; 長橋ほか, 2004)と整合的である。

次に“下位の vitric ash”(TKN2392)の給源火山とテフラ層対比について検討する。TKN2392の火山ガラス化学組成は、Aso-3に対比されたTKN3840の高 SiO_2 のものとも一致していることから(図4-c, d)、TKN2392も阿蘇カルデラ起源と考えられる。竹田市萩町野鹿の露頭ではAtaの上位にAso-ABCD降下軽石層があり、さらに上位にK-Tzがある(町田, 1996)。TKN2435がAtaに対比され、“上位の vitric ash”(TKN2288)がK-Tzに対比されている(竹本ほか, 1987)ので、それらの間にあるTKN2392はAso-ABCDと同じ層位的位置にある。Aso-ABCDは1噴火サイクルの産物であり、下位より順に、厚い軽石層(Aso-D)、細粒火山灰と軽石の細互層(Aso-C)、ガラス質火山灰層(Aso-B)、厚い軽石層(Aso-A)に区分されている(小野ほか, 1977)。先に述べたAtaと同じ竹田市萩町野鹿の露頭からAso-ABCDを採取し、各層の火山ガラスの化学組成(付表2)とAso-A・Dの火山ガラスの形状(表2)を調べた。

火山ガラスの化学組成はAso-Bの値がばらつくものの、それ以外のAso-A・C・DとTKN2392とはよく一致する(図4-c, d)。一方、TKN3840(Aso-3)の高 SiO_2 側の火山ガラスはTKN2392およびAso-A・C・Dと一致するものの、TKN3840の低 SiO_2 側のものはAso-A・C・Dには認められない。

これまで“下位の vitric ash”がAso-3に同定されていた根拠としては、扁平型の火山ガラスを含むことでもあった(町田・新井, 1994; 入谷ほか, 2005)。TKN2392がAso-ABCDに対比されるとすると、降下軽石層の遠方堆積層でありながら、扁平型火山ガラスを含むことについての説明が必要である。ただし、TKN2392の火山

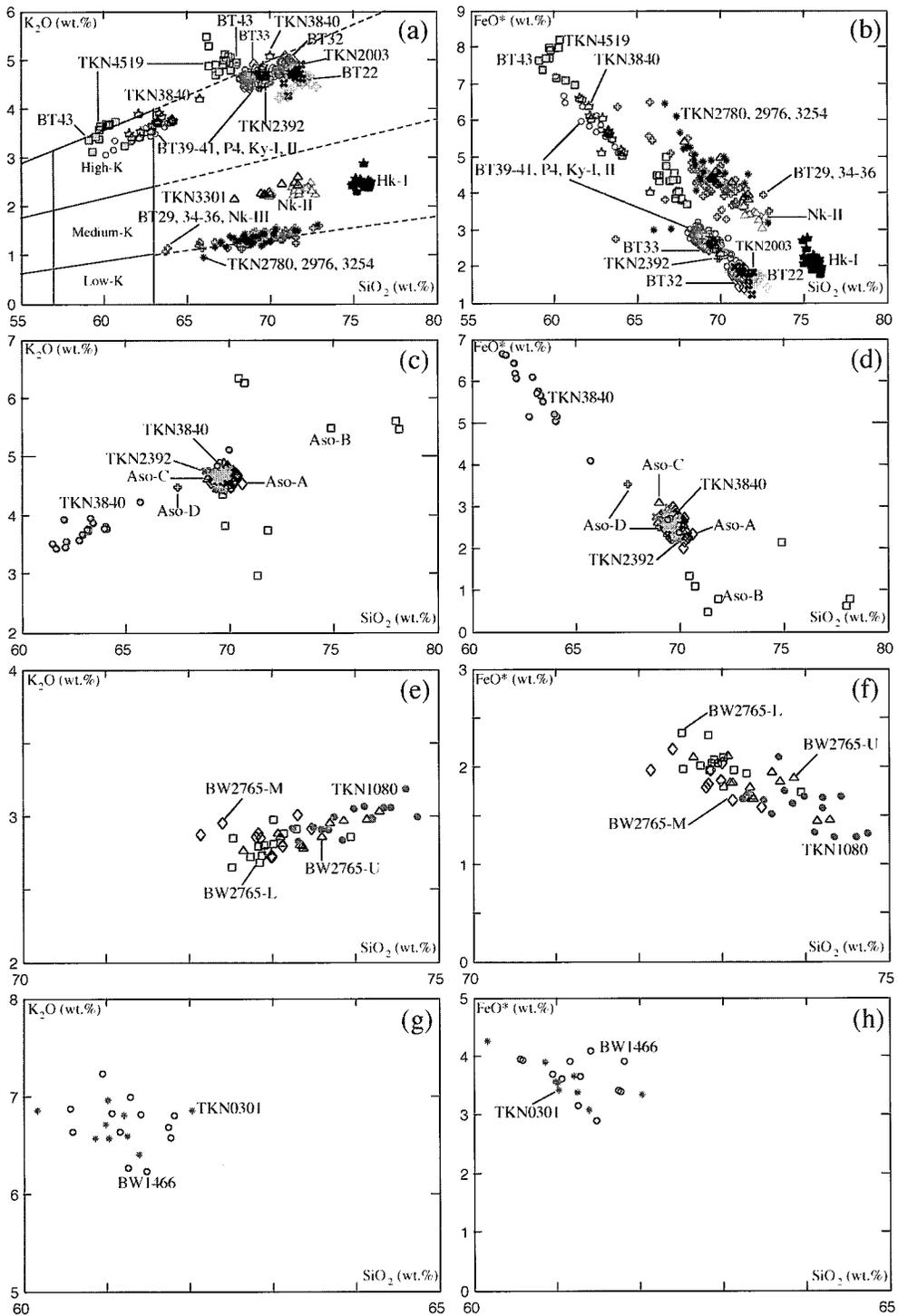


図 4 火山ガラスの主要成分化学組成に基づくテフラの比較
 SiO₂-K₂O 図における低カリウム・中カリウム・高カリウムの境界は、Gill (1981) による。
 Fig. 4 Tephra correlation based on chemical composition of volcanic glass shards
 Boundary lines in the SiO₂-K₂O diagram are after Gill (1981).

ガラスのほとんどが扁平型からなるのではなく、多孔質型の火山ガラスも相当量含む。例えば、入谷ほか(2005)の記載では、その割合を半々としている。また、竹本ほか(1987)はTt-D上位でOn-Pm1直下の木祖火山灰(Ks-ash)について、多孔質型7割、扁平型3割と記載している。

以下では、Aso-ABCDのうち、厚層の降下軽石層で遠方にまで到達している可能性の高いAso-A・Dの火山ガラスの形状について検討する。Aso-A・D軽石を粉碎した火山ガラス(粒径1/4~1/16mm)は、中間型が6~8割程度で、次に多孔質型が多い(表2)。また、Aso-A・D軽石層全体をふるい分けして得た火山灰部(粒径1/4~1/16mm)では、同層準の軽石を粉碎したものと比較して、相対的に多孔質型が減少し、扁平型が増加する(表2)。実体顕微鏡および偏光顕微鏡により、Aso-A・D軽石粉碎試料の火山ガラスを観察すると、小さい泡が密にある多孔質型ではなく、比較的大きな泡が接合した中間型を主体とする。とくに、Aso-A・Dの火山灰部では軽石粉碎試料に比べて扁平型火山ガラスが増加していることが重要である(表2)。このことは、TKN2392と“下位の vitric ash”が扁平型と中間型を主体とすること(表2)を解釈する上で重要である。つまりAso-ABCD軽石層の遠方堆積層は、扁平型火山ガラスに富んだものが選択的に運搬・堆積したと考えられる。以上述べたAtaとAso-ABCDとK-Tzとの層位関係、火山ガラスの化学組成、火山ガラスが扁平型を比較的多く含むことの解釈から、TKN2392はAso-ABCDに対比される。

なお、高島沖コアや高野層コアなどのAso-3はSiO₂が63 wt%程度のもものと70 wt%程度のももの2つにわ

かれるのに対して、Aso-ABCDはSiO₂が70 wt%程度のもものみからなるので、化学組成上からもAso-3とAso-ABCDの識別は可能である。

4. TKN3301・3254とNk-II・IIIとの対比

高島沖コアでは、火山ガラスのK₂O量が特徴的に少ない(1.3 wt%程度)テフラ層が、Aso-3とK-Tzの間に複数認められ(長橋ほか, 2004)、それはBT29・34・35・36である。そのうちのBT36は大坂湾岸コアのNk-IIIに対比されており、Nk-IIIの下位にはK₂O量が2.3 wt%のNk-IIがある(長橋ほか, 2004)。一方、高野層コアでは、K₂O量が特徴的に低い(1.3 wt%程度)テフラ層として、下位より順に、TKN3254・2976・2780がある。さらに、TKN3301とHK-1(TKN2826に対比される)のK₂O量は、それぞれ2.3 wt%と2.5 wt%である。これらテフラ層の火山ガラス化学組成をSiO₂-K₂O図にプロットすると、特徴的に低いK₂O量をもつテフラ層はすべてLow-KとMedium-Kの境界部にプロットされる(図4-a, b)。しかし、K₂O量がやや多いMedium-Kにプロットされるものは、TKN3301とNk-IIとはほぼ一致するものの、TKN2826に対比されるHK-1とNk-IIとは異なる領域にプロットされる(図4-a, b)。長橋ほか(2004)によるテフラ編年では、Nk-II・IIIはK-TzよりもAso-3に近い層位にある。よってTKN3301がNk-IIに、TKN3254はNk-IIIにそれぞれ対比される。

Low-KとMedium-Kの境界部にプロットされるテフラ層は、マフィック鉱物として斜方輝石と単斜輝石を主体としている。K₂O量が低いことから、火山フロント付近の火山からもたらされたものと推定され、これらのテフラ層の給源はこの時期に頻繁に爆発的噴火をくり返した箱根火山(町田, 1971; 小林・小山, 1996)の可能性がある。

5. TKN1080とBW2765(キゴマ)・DKPとの対比

“SG”(TKN1080)はこれまでDKPに対比されてきた。岩相やマフィック鉱物の組み合わせに関してはDKPと一致している。しかし、火山ガラスの化学組成は大山山麓のそれ(三浦・林, 1991)とは異なる。すなわち、DKPの火山ガラス化学組成はNa₂O量よりK₂O量が多く、大山起源のテフラとしては珍しい(三浦・林, 1991)。しかし、TKN1080の火山ガラス化学組成はこれとは明らかに異なるので、長橋ほか(2005)ではDKPとの対比について留保し、DKPもしくはDSPに対比されるとした。

ここではまず、木村(1987b)により“SG”(TKN1080)と対比されている「キゴマ」(野尻湖底コアのBW2765:

表2 TKN2392とAso-A, Dの火山ガラスの形状

Table 2 Shape of volcanic glass shards from TKN2392 in the TKN-2004 core and Aso-A, D tephra beds at the eastern foot of the Aso Caldera, Kyushu

tephra name	Ha	Hb	Ca	Cb	Ta	Tb
vitric ash (Loc. 2)	16	18	21	33	1	10
TKN2392	17	30	14	29	3	6
Aso-A (M) ash	0	5	37	44	10	4
Aso-A (M) pumice	0	1	43	29	17	10
Aso-A (L) ash	2	12	37	26	14	9
Aso-A (L) pumice	0	3	41	24	26	7
Aso-D ash	5	10	31	33	13	8
Aso-D pumice	0	0	42	25	28	5

Ha, Hb, Ca, Cb, Ta and Tb are based on classification from Yoshikawa (1976)

M: middle part, L: lower part

野尻湖火山灰グループ, 1993)との対比について検討し, その次に大山山麓のDKPとの対比について検討する。

野尻湖底コアのBW2765の火山ガラス化学組成は, 下部(BW2765-L)・中部(BW2765-M)よりも上部(BW2765-U)のものが若干SiO₂に富む(図4-e, f)。TKN1080はBW2765の高SiO₂側にプロットされ, BW2765の上部とほぼ一致する(図4-e, f)。岩相および記載岩石学的性質についてもTKN1080とBW2765は類似している。

次に, DKPとの対比については, DKPの火山ガラスが失われているので, ホルンブレンドと斜方輝石の化学組成から検討する(図5, 図6および付表3)。DKP・DSP・DNPおよびSKは, 大山東麓の倉吉市桜の露頭から採取した。ホルンブレンドの化学組成では, DKP下部のみがやや広い領域にプロットされ, 中部と上部はほぼ同じ領域にまとまってプロットされる(図5)。また, DSPはDKP中・上部とほぼ同じ領域にプロットされる。斜方輝石の化学組成でもホルンブレンドの場合と同様に, DKP下部のみがやや広い領域にプロットされ, DKP中・上部はそれとは異なる領域にまとまってプ

ロットされ, DSPもDKP中・上部とほぼ重なる(図6)。ホルンブレンドと斜方輝石の化学組成では, DKP中・上部とDSPを明確に識別することが困難であり, TKN1080もそれらとほぼ同じ領域にプロットされる。

以上のことを整理すると, 1) BW2765の火山ガラス化学組成には層的变化が認められ, TKN1080とBW2765上部は一致する, 2) ホルンブレンド・斜方輝石の化学組成において, DKP下部とDKP中・上部は異なる, 3) ホルンブレンド・斜方輝石の化学組成において, DKP中・上部とDSPを識別することは困難であり, なおかつTKN1080とDKP中・上部およびDSPとは一致する。

DKPの火山ガラス化学組成が他の大山起源のテフラ層と異なる特徴を示す(三浦・林, 1991)ことからすれば, TKN1080とDKPは対比できない。しかし, 三浦・林(1991)では「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, かるうじて分析値の求められた」とある。これまでの多くの報告でも, 風成堆積のDKPから火山ガラスを得るこ

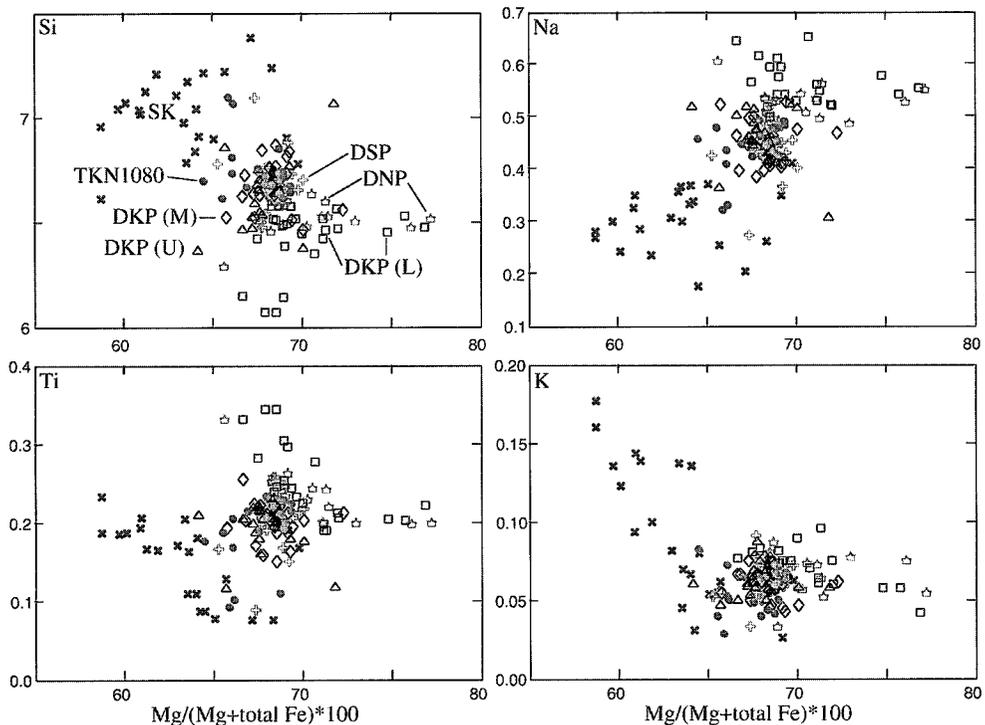


図5 ホルンブレンド化学組成によるTKN1080と大山東麓のDKP・DSP・DNP・SKの比較

Fig. 5 Comparison of chemical composition of the hornblende from the TKN1080 in the TKN-2004 core and DKP, DSP, DNP and SK at the eastern foot of Daisen Volcano, Chugoku, western Japan

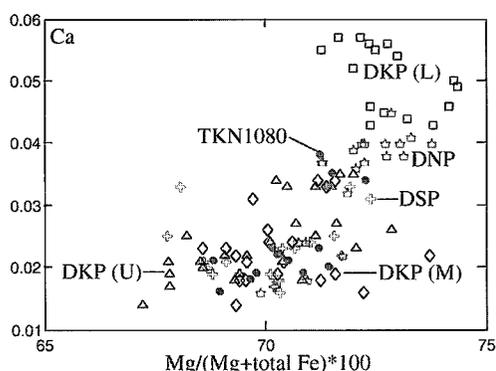


図6 斜方輝石化学組成によるTKN1080と大山麓麓のDKP・DSP・DNPの比較

Fig. 6 Comparison of chemical composition of the orthopyroxene from the TKN1080 in the TKN-2004 core and DKP, DSP and DNP at the eastern foot of Daisen Volcano, Chugoku, western Japan

とは困難とされており、三浦・林(1991)の分析値が真にDKPの値を示すものであるかを疑う要素はある。一方、火山ガラスやホルンブレンド・斜方輝石の化学組成からみると、TKN1080とDSPが対比されることに問題はない。しかし大山麓麓では、DSPよりもDKPの方が層厚が厚く、噴出規模が大きいため、これまでの報告のように、DKPが広域テフラ層として追跡されている(町田・新井, 1979)と考えた方が自然である。

結局のところ、TKN1080が野尻湖底コアのBW2765と対比することに大きな矛盾はないが、大山麓麓のDKPもしくはDSPとの対比については保留せざるを得ない。

6. TKN0301とBW1466との対比

野尻湖底コアでは、アルカリ岩質テフラ層として上位から順に、BW502h, BW1466, BW3047の3層が記載されている(野尻湖火山灰グループ, 1993)。このうち、BW1466はBW2765とATに対比されるBW1021(野尻湖火山灰グループ, 1993)の間で、BW1021に近い層準に挟まる。高野層コアの掘削地点と木村(1987a)の地質図から判断すると、高野層コアの上限よりも上位に“KN”(AT)がある。TKN1080がBW2765(「キゴマ」)に対比されるので、TKN0301とBW1466は類似した層位関係にある。

記載岩石学的には、BW1466が扁平型火山ガラス主体(多孔質型火山ガラスも含む)であること、岩片を比較的多く含んでいる点がTKN0301と異なる。しかし、野尻

湖火山灰グループ(1993)が記載したものよりも細粒な粒子(1/8~1/16mm)については、多孔質型の火山ガラスを主体とする。粒子組成の違いは、観察粒度が異なることに起因していると考えられる。また、TKN0301とBW1466の火山ガラス化学組成は、 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O}$ 量がともに6wt%を超えていること、さらに Al_2O_3 が19wt%を超えていることが共通している(図4-g, h, 付表1, 2)。以上のことから、TKN0301とBW1466は対比される。

このような火山ガラス化学組成上の特徴は、鬱陵島起源のテフラ層、例えば鬱陵隠岐テフラ(U-Ok: 町田ほか, 1981)の火山ガラス化学組成(高島沖コアのBT4: 長橋ほか, 2004)とほぼ一致している。鬱陵島の爆発的噴火活動は、異なる時代に複数回あることが知られているので(町田ほか, 1984)、TKN0301もU-Okよりも古い時期の鬱陵島起源の広域テフラ層と考えられる。

VI. 議論

ここでは、1)高野層コアに挟まるテフラ層の年代、2)広域テフラ層と酸素同位体比ステージとの対応、3)MIS 5.3に集中する爆発的火山噴火について、議論する。

1. 高野層コアに挟在するテフラ層の年代

高野層コアに挟まるテフラ層は、高島沖コアとの対比および広域テフラ層との対比から、図7のように整理される。高野層コアはほぼ均質な粘土質シルト層からなるので、その堆積速度からテフラ層の年代を算出する。堆積速度算出の基準となる広域テフラ層は、酸素同位体比ステージとの対応が明らかにされているものや、数多くの年代測定値が報告されているものとする。本論ではAso-2・3・4とTKN0301テフラ層を年代指標層とする。

Aso-2については、海底堆積物コアにおける酸素同位体比ステージとの対応は今のところ不明である。高島沖コアの堆積速度から求めたAso-2の年代は約146kaと推定されている(長橋ほか, 2004)。この推定年代は阿蘇カルデラ近傍のAso-2火砕流堆積物のK-Ar年代 141 ± 5 ka(松本ほか, 1991)と整合的である。よって本論ではAso-2の年代を146kaとする。

Aso-3の年代は鬱陵島近海海底堆積物コアにおいて、Termination IIの133kaと推定されている(Chun *et al.*, 2004)。大阪湾岸コアにおけるAso-3の層準は、MIS 5.5に対比(吉川・三田村, 1999)される海成粘土層Ma12の直下であり(長橋ほか, 2004)、133kaという推定年代と整合的である。また高島沖コアにおけるAso-3(長橋ほか, 2004)の年代は、133kaと推定されている

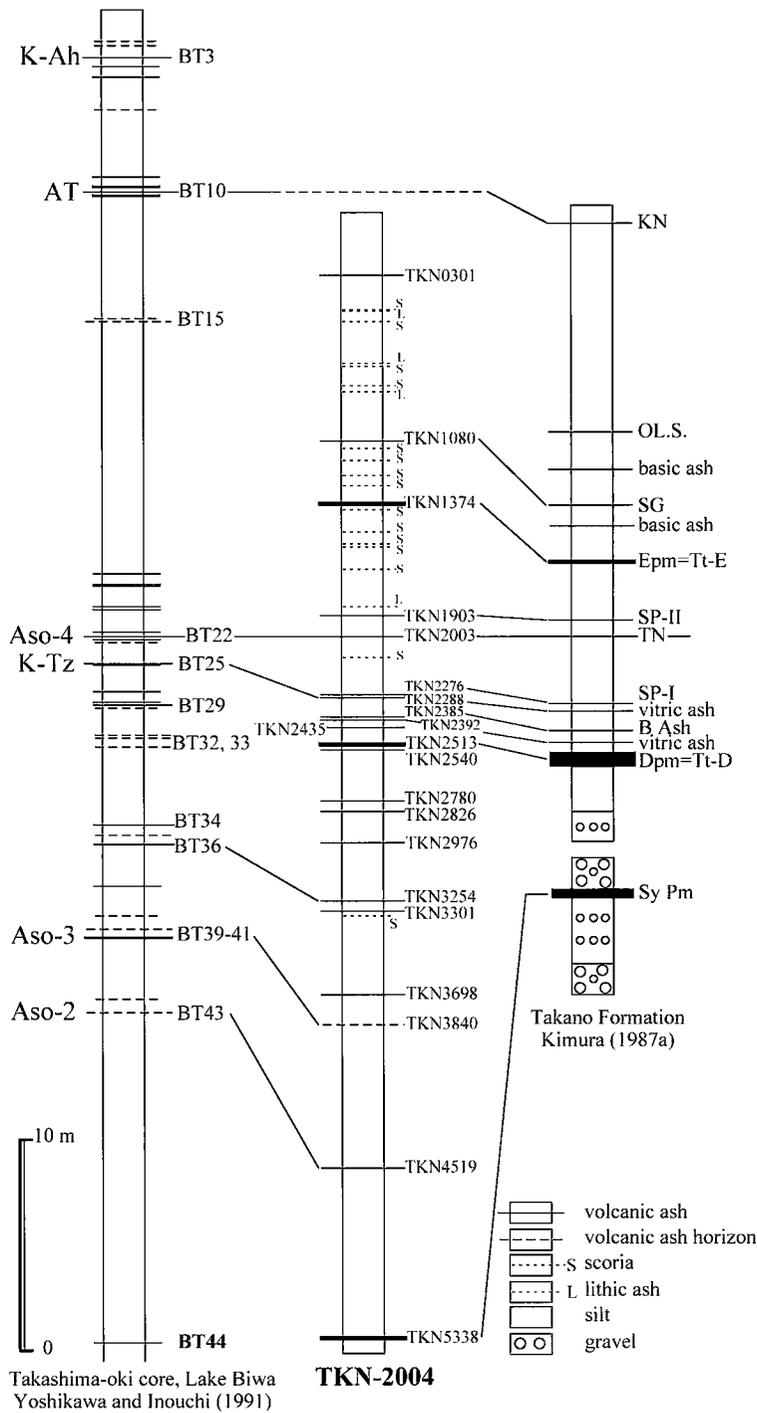


図 7 高野層コアのテフラ層と琵琶湖高島沖コアのテフラ層との対比

Fig. 7 Tephrostratigraphy and correlation of tephra beds between the TKN-2004 core and the Takashima-oki core from Lake Biwa

(吉川・加, 2001). 阿蘇カルデラ近傍の Aso-3 火砕流堆積物からは、 123 ± 6 ka の K-Ar 年代値 (松本ほか, 1991) が得られており、先に述べた 133 ka の推定年代よりも若干新しい。本論では酸素同位体比ステージとの関係を重視して、Aso-3 の年代を 133 ka とする。

Aso-4 は海底堆積物コアの酸素同位体比ステージとの関係が明らかにされている (大場, 1991). それによると、Aso-4 の層準は MIS 5.1 に近い MIS 5.2 にあり、その年代は 86~90 ka と推定されている。この報告に基づき、日本海海底堆積物コアの最近の研究では、Aso-4 の年代として 88 ka が用いられている (Chun *et al.*, 2004; 長島ほか, 2004). また阿蘇カルデラ近傍の Aso-4 火砕流堆積物からは 89 ± 7 ka の K-Ar 年代が報告されており (松本ほか, 1991), Aso-4 が MIS 5.2 層準であることと整合的である。本論では Aso-4 の年代を 88 ka とする。

TKN0301 は野尻湖底コアの BW1466 と対比された。野尻湖西岸の立が鼻遺跡はナウマンゾウやオオツノジカなどの哺乳動物化石が産出することで有名である (例えば、野尻湖発掘調査団, 2003 など)。立が鼻遺跡の上部更新統は下位より順に下部野尻湖層、中部野尻湖層、上部野尻湖層に大きく区分されている (野尻湖層は野尻湖地質グループ (2004) において再定義されているが、ここでは従来の層序区分で記述する)。沢田ほか (1992) は、立が鼻遺跡の野尻湖層から産出した哺乳動物化石および材化石の AMS による ^{14}C 年代測定を行った。しかし、BW1466 は立が鼻遺跡の野尻湖層から検出されていないので、沢田ほか (1992) による年代値から BW1466 の年代を直接得ることはできない。一方、野尻湖底コアの BW1466 は、上部野尻湖層の鍵層である「黄クロ II」テフラ層の下位にある (野尻湖火山灰グループ, 1993)。

野尻湖底コアの上部野尻湖層相当層は、テフラ層を除くとほぼ均質な粘土質シルトからなるので、その堆積速度から年代を得ることができる。沢田ほか (1992) は中部野尻湖層と上部野尻湖層の境界を 39,000 yrs BP としているが、この値を Fairbanks *et al.* (2005) によるプログラムで暦年補正すると、約 43,000 cal BP となる。野尻湖底コアでも、テフラ層を用いて中部野尻湖層と上部野尻湖層の境界を決めることができ、その深度は 16.15 m である。また野尻湖底コアの BW1021 (AT) の深度は 10.21 m である。AT の年代を 29 ka (Tada *et al.*, 1999) とし、先に求めた野尻湖底コアの中部野尻湖層と上部野尻湖層境界の年代から堆積速度を算出すると、40.5 cm/千年となる。ここから BW1466 の年代は約 39.5 ka と求

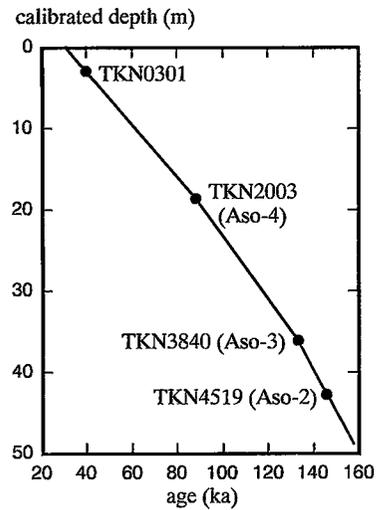


図 8 年代指標テフラ層に基づく深度-年代関係
図中の深度はテフラ層の層厚を取り除いた補正深度である。

Fig. 8 Depth-age model of TKN-2004 from the Takano Formation based on the time maker tephra beds. The depth in diagram is calibrated one excluding cumulative tephra thickness above the tephra bed.

められる。

以上述べた Aso-2・3・4 と TKN0301 の年代を基準として、高野層ボーリングコアの堆積速度を算出する (テフラ層や砂層の層厚を差し引いた) と、Aso-2 と Aso-3 間 が 51 cm/千年、Aso-3 と Aso-4 間 が 39 cm/千年、Aso-4 と TKN0301 間 が 34 cm/千年となる (図 8)。これらの堆積速度から算出した主要テフラ層の年代は、表 3 のようになる。また高野層コアの上限の年代は 30.7 ka となる。

2. 広域テフラ層と酸素同位体比ステージとの対応

ここでは、入谷ほか (2005) による高野層の花粉分析結果と酸素同位体比ステージとの対応について整理し、それを琵琶湖底堆積物コアによる研究などから検討する。

入谷ほか (2005) は高野層の花粉分析結果に基づいて、局地化石花粉群帯 TKN-I~VIII 帯を設定した。ここで、入谷ほか (2005) の柱状図にある Tt-D の下位約 1 m と 1.2 m にあるテフラ層は、本論の HK-2 と HK-1 に対応すると推定される。先に述べたように、HK-2 が TKN 2780 に、HK-1 が TKN 2826 に対比されるので、本論のテフラ層序と入谷ほか (2005) の花粉帯との関係は図 9 のようになる。

表 3 年代指標テフラ層 (Aso-2, Aso-3, Aso-4 と BW1466) にもとづき算出した高野層コアに挟在するテフラ層の堆積年代とテフラ対比研究の比較

Table 3 Depositional ages of tephra beds estimated from the age-depth relationships of the time maker tephra beds shown in bold (Aso-2, Aso-3, Aso-4 and BW1466) and comparison of the tephra studies associated with the Takano Formation

TKN-2004 core tephra name	age (ka)	This study	Kimura (1987a)	Kimura (1987b)	Takemoto et al. (1987)	Machida and Arai (1994)	Iriya et al. (2005)
TKN0301	39.5	BW1466					
TKN1080	62.0	SG	SG	Kigoma	DKP		DKP
TKN1374	70.0	Tt-E	Epm	Epm	Epm		Tt-E
TKN1903	85.1	SP-II	SP-II	Pm-3C	NgP		On-Ng
TKN2003	88.0	Aso-4	TN	O-Tf	Aso-4	Aso-4	Aso-4
TKN2276	94.9	SP-I	SP-I	Pm-2B	KtP		On-Kt ?
TKN2288	95.2	K-Tz	vitric ash	K-Tf	K-Tz	K-Tz	K-Tz
TKN2385	97.6	B Ash	B Ash	Pm-1B	OP1		On-Pm1
TKN2392	97.7	Aso-ABCD	vitric ash	N-Tf	Ks-ash	Aso-3	Aso-3
TKN2435	98.9	Ata					
TKN2513	99.2	Tt-D	Dpm	Dpm	Dpm	Tt-D	Tt-D
TKN2540	99.9	SK					
TKN2780	105.9						
TKN2826	107.1						
TKN2976	110.9						
TKN3254	118.0	Nanko-III					
TKN3301	119.2	Nanko-II					
TKN3698	129.3						
TKN3840	133.0	Aso-3					
TKN4519	146.0	Aso-2					
TKN5338	157.9	SyPm	SyPm				

これらの花粉帯のうち、TKN-I帯は冷涼な時期、TKN-II帯は温暖期、TKN-III帯は冷涼な時期、TKN-IV帯は寒冷期である(入谷ほか, 2005)。入谷ほか(2005)は、低海面期に降下・堆積したはずのAso-3(本論のTKN2392=Aso-ABCD)がTKN-II帯とTKN-III帯の境界にあることの解釈として、1) On-Pm1(本論のTKN2385)とAso-3(本論のAso-ABCD)の間に露頭観察では見いだせなかった不整合が存在する可能性、2) 花粉分析から得られた陸上の気候変動と海洋酸素同位体比変動との対応がずれている可能性、3) 高野層で従来Aso-3とされてきたものが広域のAso-3と異なる層位のものである可能性、をあげている。これらの可能性のうち、本論で得た結論は3)であり、本論のテフラ層序に基づけば、TKN-I~IV帯を素直にMIS 5.4から5.2に対応させればよい。すなわち、TKN-I帯がMIS 5.4に、TKN-II帯がMIS 5.3に、TKN-III帯がMIS 5.3からMIS 5.2の移行期に、TKN-IV帯がMIS 5.2にほぼ対応する(図9)。

以上述べた酸素同位体比ステージとの対応について、琵琶湖湖底堆積物コアの古環境に関する研究と、広域テ

フラ層対比に関する研究から検討する。琵琶湖湖底で掘削された高島沖コアと1,400 mコアと200 mコアにおけるテフラ層対比は、吉川・井内(1991)により明らかにされている。また広域テフラ層との対比は、町田ほか(1991)や長橋ほか(2004)により明らかにされている。吉川・加(2001)は、1,400 mコアの花分析結果(Miyoshi *et al.*, 1999)を基に酸素同位体比ステージとの細かな対応について検討している。それによると、BT34がMIS 5.5に、AtaがMIS 5.3に、Aso-4がMIS 5.2に対応するとしている。Nk-III(高島沖コアのBT36)がTKN3254と対比されることから、TKN3254付近がMIS 5.5と考えられる。本論で得られたTKN3254の堆積年代は118 kaであるので、この層準付近をMIS 5.5とすることに矛盾はない。もう少し詳しく述べると、TKN3301とTKN3254はそれぞれ大阪湾岸コアに挟まるNk-II・IIIに対比され、Nk-II・IIIは海成粘土層Ma12の中上部に挟在する(吉川ほか, 1993)。Nk-II・IIIのMa12に対する層位的位置関係は、高野層コアにおけるMIS 5.5の上・下限を考える上で重要である。

次にAtaの層位について述べる。200 mコアのBB179

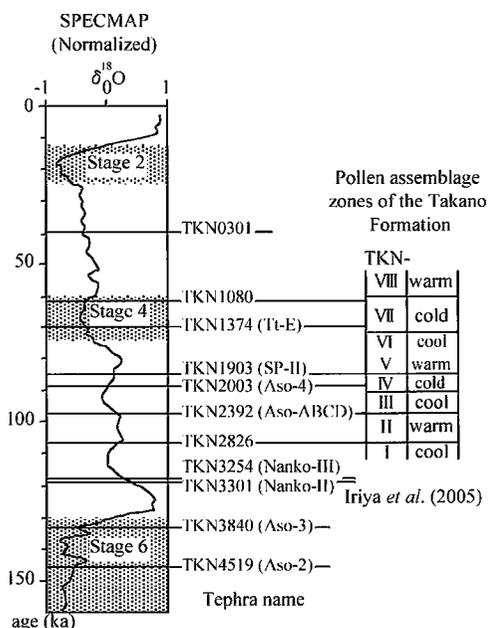


図9 高野層コアに確認された広域テフラ層と SPECMAP および花粉帯との対比
SPECMAP との対比はテフラ層の年代値(表1)に基づく。
Fig. 9 Comparison of widespread tephra beds in the TKN-2004 core with SPECMAP and pollen assemblage zones
Correlation of maker tephra horizons with SPECMAP is based on the estimated tephra ages in Table 1.

は Ata に対比されている(町田ほか, 1991)。吉川・加(2001)はこの層準を MIS 5.3 としている。また、高野層における Ata (TKN2435)の層準は、入谷ほか(2005)の TKN-II 帯最上部(MIS 5.3 温暖期の最末期)に相当する。高野層コアでは Ata の下位に Tt-D (TKN2513)があり、その直下に SK (TKN2540)がある。秋田県男鹿半島では MIS 5.3 に対比される瀧西層の離水層準直下に SK が挟まる(白石ほか, 1992; 白石・竹内, 1999)。これらのことから、Ata の層位は MIS 5.3 もしくは MIS 5.3~5.2 の移行期にあると推定され、本論で求めた Ata (TKN2435)の堆積年代(98.9 ka)とは整合的である。また、Ata のゼータ較正法によるフィッシュン・トラック年代 100 ± 27 ka (檀原, 1995)とも一致する。しかし、Ata の給源火砕堆積物の K-Ar 年代 108 ± 3 ka (松本・宇井, 1997)や奄美海台の海底堆積物コアにおける Ata の層準(MIS 5.4 と MIS 5.3 の中間)にあり、その年代を $103 \sim 107$ ka と推定: 大場, 1991)とは異なる。Ata の挟在層

準については、海底堆積物コアによる酸素同位体比ステージと、陸域の花粉分析から解釈した酸素同位体比ステージとが一致しない、という可能性も今後の検討事項となる。

次に、入谷ほか(2005)により DKP に対比されている TKN1080 について述べる。入谷ほか(2005)はこのテフラ層の堆積年代を、MIS 4.2 と MIS 4.0 間の $58 \sim 59$ ka 程度、あるいはこれより古くなる可能性があるとしている。本論で求めた TKN1080 の堆積年代は 62 ka であるので、入谷ほか(2005)による $58 \sim 59$ ka 程度という推定年代より古い、「これより古くなる可能性」と整合的である。一方、海底堆積物コアでは池原ほか(2004)により SAN1 が DKP に対比され、その堆積年代を $53 \sim 55$ ka と推定している。この対比は三浦・林(1991)による DKP の火山ガラス化学組成と SAN1 のそれとが類似することが主たる根拠になっている。したがって、TKN1080 と SAN1 とは別のテフラ層の可能性があるので、TKN1080 の堆積年代を池原ほか(2004)による SAN1 の堆積年代から評価することができない。

なお、山元(2003)は福島県西部の沼沢火山の水沼火砕堆積物とその上下の植物遺体について、AMS による ^{14}C 年代値(直下の年代値として、 $44,970 \pm 1,030$ yrs BP と $45,270 \pm 1,540$ yrs BP)を報告し、水沼火砕堆積物の噴火年代を 45 ± 1 ka としている。水沼火砕堆積物の直上には DKP に対比されるテフラ層がある(鈴木・早田, 1994; 山元・須藤, 1996)。山元(2003)は、DKP 直下とされる東京軽石流堆積物中の炭化木片の AMS ^{14}C 年代値 $52,310 \pm 360$ yrs BP (中村ほか, 1992a)や DKP 直上とされる木曾川泥流堆積物中の埋没樹幹の AMS ^{14}C 年代値 $49,850 \pm 420$ (中村ほか, 1992b)が、水沼火砕堆積物の ^{14}C 年代値とは明らかに矛盾し、いずれの年代も正しいとするなら、DKP の対比が層序関係の認定に重大な間違いがあると指摘している。

本論に基づく TKN1080 の堆積年代は ^{14}C 年代測定法の測定限界を超えており、DKP と同定されているテフラ層が複数層存在する可能性もある。本論でも TKN1080 と DKP との対比が明確にできなかったことから、山元(2003)の指摘を検証することが今後の課題として残された。

本論において構築された高野層コアの年代モデルは、酸素同位体比ステージとの整合性を考慮して、指標テフラ年代の最適化を図ったものといえる。その点で、田原ほか(2006)による放射年代値に重点をおき、堆積速度を一定と仮定した年代モデルとは原理的に異なるもので

ある。しかし、全有機炭素 (TOC) 含有率変動に基づく酸素同位体比曲線との対応 (田原ほか, 2006) は、本論で整理した高野層コアの酸素同位体比ステージとの対応、およびテフラ層の堆積年代とも一致している。

3. MIS 5.3 に集中する爆発的火山噴火

表 3 に示したテフラ層の堆積年代をみると、MIS 5.3 の 99.9~94.9 ka の 5,000 年間に 7 層もの広域テフラ層が挟在する。このことは、これらの広域テフラ層を時間指標層として、MIS 5.3 に相当する各地の地層を高時間解像度で解析できることを意味する。

また、高野層コアのテフラ層序からみると、MIS 5.5 から MIS 5.2 にかけて、中~大規模爆発的火山噴火が多いように見え、とくに MIS 5.3 の時期に集中している。そのうち、SK, Tt-D, Aso-ABCD, On-Pm1, On-Kt はブリニアン噴火で、Ata, K-Tz は南九州のカルデラからの大規模火砕流噴出による。町田・新井 (2003) によると、これらのテフラ層の噴出体積は、SK が 20 km³、Ata が 50~100 km³、On-Pm1 が 50 km³、K-Tz が 150 km³ と推定されており、これに Tt-D, Aso-ABCD, On-Kt の噴出体積を加えると、ゆうに 400 km³ を超えるものと推定される。5,000 年間に噴出したテフラの体積が 400 km³ を超えるということが、日本の爆発的火山噴火史のなかで多いかどうかの検討は別に行わなければならぬ。しかし、この爆発的噴火の連続が陸域の環境に与えた影響がどれほどであったのか、またそれが地層から検出できるかどうかは興味ある課題である。

VII. ま と め

本論では高野層コアに挟在する 21 層のテフラ層について、岩相・記載岩石学的性質、および火山ガラス・ホルンブレンド・斜方輝石の化学組成を記載した。これらに基づいて、中・後期更新世の広域テフラ層との対比を行った。従来の研究による成果も含めて、高野層コアで同定された広域テフラ層は下位より順に、Aso-2, Aso-3, Nk-II, Nk-III, SK, Tt-D, Ata, Aso-ABCD, B-Ash (On-Pm1), K-Tz, SP-I (On-Kt), Aso-4, SP-II (On-Ng), Tt-E, アルカリ岩質テフラ BW1466 である。しかし、後期更新世の重要な指標テフラ層である DKP と TKN1080 との対比については、保留せざるを得なかった。

Aso-2・3・4 および BW1466 を年代指標層として設定し、高野層コアの堆積速度から各テフラ層の堆積年代を算出した。本論における高野層コアの年代モデルは、高野層の花分析による酸素同位体比ステージとの対応

や、高野層コアの全有機炭素含有率変動から導いた酸素同位体比ステージとの対応とよく一致する。

高野層コアでは、西南日本においてこれまで知られている過去 15 万年間の広域テフラ層のほとんどが検出され、広域テフラ層の標準層が提供できる。高野層コアは広域テフラ層を同時面の指標層として、MIS 6 から MIS 3 における高解像度の地層記録として重要である。

謝辞 森林総合研究所九州支所の宮縁育夫氏には Aso-ABCD の試料を採取していただいた。小倉博之氏には大山テフラ層の試料採取に同行していただいた。野尻湖発掘調査団には野尻湖底ボーリングコアのテフラ試料を提供していただいた。三瓶木次テフラの軽石試料は、新潟大学の卜部厚志助教授からいただいた。この試料は卜部氏が島根大学の山内靖喜教授 (当時) を通じて入手したものである。以上の方々に、この場をお借りしてお礼申し上げる。本研究は文部科学省科学研究費補助金若手研究 (B) (課題番号 16740283, 代表者: 長橋良隆) の一部を使用した。

引用文献

- Chun, J.H., Ikehara, K. and Han, S.J. (2004) Evidence in Ulleung basin sediment cores for a Termination II (Penultimate Deglaciation) eruption of the Aso-3 tephra. *The Quaternary Research (Daiyonki-Kenkyu)*, 43, 99-112.
- 檀原 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.
- Fairbanks, R.G., Mortlock, R.A., Chiu, T.C., Cao, L., Kaplan, A., Guilderson, T.P., Fairbanks, T.W., Bloom, A.L., Grootes, P.M. and Nadeau, M.J. (2005) Radiocarbon calibration curve spanning 0 to 50,000 years BP based on paired ²³⁰Th/²³⁴U/²³⁸U and ¹⁴C dates on pristine corals. *Quaternary Science Reviews*, 24, 1781-1796.
- Gill, J.B. (1981) *Orogenic andesites and plate tectonics*. 358 p, Springer-Verlag.
- 林 正久・三浦 清 (1987) 三瓶火山のテフラ層序とその分布。山陰地域研究 (自然環境編), 3, 43-66.
- 池原 研・吉川清志・Chun, J.H. (2004) 日本海中部大和盆地から採取された酸素同位体比ステージ 3 に噴出した 3 枚の火山灰。第四紀研究, 43, 201-212.
- 入谷 剛・北川陽一・大井信夫・古澤 明・宮脇理一郎

- (2005) 長野県北部, 上部更新統高野層のテフラと花粉分析に基づく環境変遷. 第四紀研究, 44, 323-338.
- 石賀 敏 (1997) 蒜山原で新たに発見された広域テフラについて. 鳥取地学会誌, 1, 17-23.
- 木村純一 (1987a) 長野県聖山北麓の更新統一中部から上部更新統一. 地質学雑誌, 93, 245-257.
- 木村純一 (1987b) 長野県における後期更新世の降下火山砕屑物層序. 第四紀研究, 25, 247-263.
- 木村純一 (1996) 長野市信更町高野の湖成高野層一約13万年間の諸広域指標テフラの包含層一. 日本第四紀学会第四紀露頭集編集委員会編「第四紀露頭集—日本のテフラ」: 34-35, 日本第四紀学会.
- 小林国夫・清水英樹・北沢和男・小林武彦 (1967) 御岳火山第一浮石層—御岳火山第一浮石層の研究その1—. 地質学雑誌, 73, 291-308.
- 小林 淳・小山真人 (1996) 箱根火山西麓～南麓地域のテフラ層序と火山噴火史. 地学雑誌, 105, 431-447.
- 国中層団体研究グループ (1999) 佐渡加茂湖周辺の中・後期更新世堆積層. 地球科学, 53, 340-358.
- 町田 洋 (1971) 南関東のテフロクロノロジー (I)—下末吉期以降のテフラの起源および層序と年代について—. 第四紀研究, 10, 1-20.
- 町田 洋 (1996) 阿蘇東麓における阿蘇4テフラと阿多テフラ. 日本第四紀学会第四紀露頭集編集委員会編「第四紀露頭集—日本のテフラ」: 56-57, 日本第四紀学会.
- 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 (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, 33-50.
- 町田 洋・新井房夫 (1983) 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, 28, 206.
- 町田 洋・新井房夫 (1994) 時間指標テフラ阿蘇3によって示唆される最終間氷期直後5d期の海面低下. 地学雑誌, 103, 749-759.
- 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〕. 336 p, 東京大学出版会.
- 町田 洋・新井房夫・李 炳禹・森脇 広・古田俊夫 (1984) 韓国鬱陵島火山のテフラ. 地学雑誌, 92, 39-45.
- 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指標層としての意義—. 火山, 30, 49-70.
- 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・横山卓雄 (1991) 琵琶湖200mコアにおける指標テフラ層の再検討. 第四紀研究, 30, 439-442.
- 町田 洋・鈴木正男 (1971) 火山灰の絶対年代と第四紀後期の編年—フィッシュン・トラック法による試み—. 科学, 41, 263-270.
- 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.
- 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砕流資料への適応—. 日本火山学会講演予稿集, 73.
- 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.
- Miyoshi, N., Fujiki, T. and Morita, Y. (1999) Palynology of a 250 m core from Lake Biwa: A 430,000-year record of glacial-interglacial vegetation changes in Japan. Review of Palaeobotany and Palynology, 104, 267-283.
- 長橋良隆・佐藤孝子・竹下欣宏・田原敬治・公文富士夫 (2005) 長野県北部・高野層ボーリングコアのテフラ層序. 日本第四紀学会講演要旨集, 35, 86-87.
- 長橋良隆・吉田武義・中井聡子・奥平敬元 (2003) XRF分析との比較によるテフラガラス片のEDS分析結果の評価と補正. 第四紀研究, 42, 265-277.
- 長橋良隆・吉川周作・宮川ちひろ・内山 高・井内美郎 (2004) 近畿地方および八ヶ岳山麓における過去43万年間の広域テフラの層序と編年—EDS分析による火山ガラス片の主要成分化学組成—. 第四紀研究, 43, 15-35.
- 長野市教育委員会 (1977) 高野小学校地盤調査報告書, 50 p, 長野市.
- 長島佳奈・多田隆治・松井裕之 (2004) 過去14万年間のアジアモンスーン・偏西風変動—日本海堆積物中の黄砂粒径・含有量からの復元—. 第四紀研究, 43, 85-97.
- 中村俊夫・藤井登美夫・鹿野勘次・木曾谷第四紀研究会 (1992b) 岐阜県八百津町の木曾川泥流堆積物から採取された埋没樹木の加速器¹⁴C年代. 第四紀研究, 31, 29-36.

- 中村俊夫・岡 重文・坂本 亮 (1992a) 東京軽石流堆積物中の炭化木片の加速器質量分析計による放射性炭素年代. 地質学雑誌, 98, 905-908.
- 野尻湖地質グループ (2004) 長野県北部野尻湖湖底発掘地の地質—とくに野尻湖層の再定義について—. 野尻湖ナウマンゾウ博物館研究報告, 12, 1-13.
- 野尻湖発掘調査団 (2003) 第14次野尻湖発掘の概要と成果. 野尻湖ナウマンゾウ博物館研究報告, 11, 1-14.
- 野尻湖火山灰グループ (1993) 野尻湖の湖底ボーリング試料 NJ88 の火山灰層. 地団研専報, 41, 1-26.
- 野村亮策・品川道夫・白石建雄 (2000) 秋田県北部沿岸地域における上部更新統中の広域テフラ層序—降下堆積した三瓶木次軽石の発見ならびに御岳第1軽石問題—. 第四紀, 32, 11-17.
- 小野晃司・松本隼夫・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地質図幅), 131 p. 地質調査所.
- 大場忠道 (1991) 酸素同位体比層序からみた阿多テフラ. 月刊地球, 13, 224-227.
- 沢田 健・有田陽子・中村俊夫・秋山雅彦・亀井節夫・中井信之 (1992) 加速器質量分析計を用いた¹⁴C年代測定による野尻湖層の編年. 地球化学, 46, 133-142.
- 下山正一・木村裕子・宮原百々・田中ゆかり・市原季彦・竹村恵二 (1999) 旧汀線高度から見た九州の後期更新世地殻変動様式. 地質学雑誌, 105, 311-331.
- 白石建雄・新井房夫・藤本幸雄 (1992) 秋田県男鹿半島における西日本起源の漂流軽石・火山灰の発見とその意義. 第四紀研究, 31, 21-27.
- 白石建雄・竹内貞子 (1999) 秋田県男鹿半島における上部更新統層序の再検討. 第四紀研究, 38, 29-39.
- 鈴木毅彦・早田 勉 (1994) 奥会津沼沢火山から約5万年前に噴出した沼沢-金山テフラ. 第四紀研究, 33, 233-242.
- Tada, R., Irino, T. and Koizumi, I. (1999) Land-ocean linkages over orbital and millennial timescale record in late Quaternary sediments of the Japan Sea. *Paleoceanography*, 14, 236-247.
- 竹本弘幸・百瀬 貢・平林 潔・小林武彦 (1987) 新期御岳テフラ層の層序と時代—中部日本における編年上の意義—. 第四紀研究, 25, 337-352.
- 竹下欣宏 (2004) 中部日本, 中期更新世古期御岳火山の火山活動史—テフラ層序学と記載岩石学に基づいて—. 地質学雑誌, 110, 158-174.
- 田原敬治・公文富士夫・長橋良隆・角田尚子・野末泰宏 (2006) 長野県, 高野層のボーリングコア試料の全有機炭素 (TOC) 含有率変動に基づく更新世後期の古気候変動の復元. 地質学雑誌, 112, 568-579.
- 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, 79-90.
- 山元孝広 (2003) 東北日本, 沼沢火山の形成史: 噴出物層序, 噴出年代及びマグマ噴出量の再検討. 地質調査研究報告, 54, 323-340.
- 山元孝広・須藤 茂 (1996) テフラ層序からみた磐梯火山の噴火活動史. 地質調査所月報, 47, 335-359.
- 吉川周作 (1976) 大阪層群の火山灰層について. 地質学雑誌, 82, 497-515.
- 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・加 三千宣 (2001) 琵琶湖底堆積物による過去40万年間の高精度火山灰編年. 月刊地球, 23, 594-599.
- 吉川周作・三田村宗樹 (1999) 大阪平野第四系層序と深海底の酸素同位体比層序との対比. 地質学雑誌, 105, 332-340.
- 吉川周作・小倉博之・福西佐代 (1993) 大阪平野地下の中・上部更新統火山灰層序. 地質学雑誌, 99, 467-478.

付表 1 高野層コアと高野層に挟在するテフラ層の火山ガラス化学組成
 Appendix 1 Chemical composition of glass shards taken from tephra beds
 in the TKN-2004 core and the Takano Formation

TKN-2004 core																				
sample no.	TKN0301	TKN1080-U		TKN1374-P		TKN1903-P		TKN1903		TKN2003		TKN2276-P		TKN2276		TKN2288		TKN2385-P		
correlation	BW1466	SG		Tx-E		SP-II		SP-II		Aso-4		SP-I		SP-I		K-Tz		B Ash		
EDS wt%	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s
SiO ₂	61.10	0.49	73.98	0.46	76.15	0.34	74.64	0.43	74.93	0.58	71.49	0.35	74.98	0.27	75.36	0.45	77.49	0.18	75.58	0.37
TiO ₂	0.41	0.09	0.22	0.08	0.22	0.11	0.30	0.05	0.31	0.11	0.50	0.10	0.33	0.05	0.16	0.10	0.27	0.12	0.16	0.08
Al ₂ O ₃	19.40	0.20	14.70	0.22	13.12	0.11	13.97	0.33	13.73	0.23	15.33	0.17	13.86	0.13	13.86	0.09	12.60	0.19	14.09	0.17
FeO*	3.58	0.34	1.58	0.22	1.21	0.17	1.50	0.23	1.56	0.22	1.74	0.23	1.42	0.14	1.30	0.22	1.14	0.18	1.03	0.14
MnO	0.18	0.09	0.06	0.09	0.05	0.08	0.04	0.05	0.05	0.06	0.08	0.11	0.13	0.14	0.11	0.09	0.06	0.06	0.10	0.10
MgO	0.25	0.14	0.45	0.08	0.17	0.03	0.30	0.12	0.30	0.11	0.41	0.08	0.31	0.07	0.33	0.09	0.25	0.07	0.25	0.07
CaO	1.51	0.37	1.81	0.20	1.28	0.08	1.67	0.18	1.52	0.27	1.27	0.21	1.50	0.06	1.45	0.11	1.19	0.11	1.42	0.08
Na ₂ O	6.88	0.33	4.21	0.15	2.86	0.09	3.70	0.14	3.55	0.13	4.51	0.07	3.60	0.08	3.55	0.10	3.59	0.14	3.64	0.15
K ₂ O	6.71	0.18	2.97	0.10	4.94	0.07	3.88	0.20	4.06	0.26	4.67	0.18	3.87	0.06	3.87	0.08	3.42	0.09	3.73	0.09
n=	9		15		10		9		10		10		10		10		9		10	

sample no.	TKN2385	TKN2392-U		TKN2392-L		TKN2435		TKN2513		TKN2540		TKN2780		TKN2976		TKN3254		
correlation	B Ash	Aso-ABCD		Aso-ABCD		Ata		Ti-D		SK						Nanko-III		
EDS wt%	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s
SiO ₂	76.37	0.80	69.48	0.25	69.60	0.28	73.70	0.22	75.70	0.45	76.15	0.20	69.15	0.86	68.55	0.66	69.49	2.34
TiO ₂	0.21	0.09	0.70	0.15	0.68	0.10	0.49	0.04	0.25	0.08	0.07	0.08	0.77	0.09	0.68	0.13	0.75	0.14
Al ₂ O ₃	13.63	0.55	15.52	0.12	15.62	0.10	13.69	0.15	13.23	0.20	14.31	0.18	14.83	0.18	14.98	0.10	15.08	1.74
FeO*	0.92	0.13	2.66	0.17	2.51	0.23	2.43	0.14	1.47	0.15	0.59	0.21	4.72	0.60	4.86	0.44	4.30	1.07
MnO	0.07	0.09	0.13	0.13	0.13	0.12	0.18	0.16	0.04	0.03	0.10	0.15	0.14	0.06	0.19	0.13	0.13	0.08
MgO	0.20	0.07	0.65	0.09	0.65	0.08	0.48	0.10	0.20	0.06	0.16	0.04	1.11	0.13	1.18	0.07	0.76	0.14
CaO	1.32	0.43	1.88	0.14	1.86	0.10	1.94	0.10	1.25	0.13	0.73	0.08	3.69	0.27	4.02	0.26	3.77	0.95
Na ₂ O	3.49	0.20	4.33	0.16	4.31	0.07	3.97	0.12	2.91	0.12	3.85	0.09	4.29	0.18	4.19	0.12	4.35	0.32
K ₂ O	3.79	0.30	4.66	0.09	4.63	0.11	3.11	0.12	4.95	0.13	4.05	0.10	1.30	0.09	1.35	0.08	1.37	0.20
n=	10		10		10		10		7		10		10		10		10	

sample no.	TKN3301	TKN3698		TKN3840		TKN3840		TKN4519		TKN4519		TKN5338-U(P)		TKN5338-M		TKN5338-L		
correlation	Nanko-II			Aso-3		Aso-3		Aso-2		Aso-2		Sy Pm						
EDS wt%	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s
SiO ₂	70.20	1.21	75.70	0.75	63.12	1.12	69.70	0.28	60.06	0.32	66.69	0.49	68.81	1.42	69.60	0.36	75.27	0.48
TiO ₂	0.52	0.11	0.31	0.13	0.87	0.08	0.66	0.12	1.28	0.09	0.81	0.20	0.50	0.14	0.43	0.08	0.31	0.13
Al ₂ O ₃	14.62	0.36	13.37	0.27	16.38	0.17	15.49	0.03	16.11	0.10	15.67	0.16	16.01	0.24	15.95	0.15	13.60	0.29
FeO*	4.42	0.50	1.44	0.26	5.66	0.67	2.56	0.18	8.03	0.12	4.44	0.37	3.33	0.56	3.05	0.15	1.52	0.15
MnO	0.11	0.08	0.07	0.09	0.19	0.07	0.10	0.03	0.19	0.19	0.13	0.13	0.20	0.11	0.11	0.11	0.06	0.08
MgO	0.74	0.18	0.34	0.10	1.76	0.24	0.57	0.05	2.24	0.14	0.73	0.10	0.86	0.30	0.71	0.12	0.29	0.10
CaO	3.09	0.46	1.81	0.22	4.19	0.44	1.75	0.11	4.79	0.18	2.28	0.22	3.06	0.51	2.90	0.12	1.52	0.12
Na ₂ O	3.97	0.12	3.25	0.12	4.10	0.15	4.23	0.16	3.67	0.09	4.14	0.20	4.02	0.15	4.04	0.14	3.59	0.10
K ₂ O	2.34	0.14	3.71	0.12	3.72	0.21	4.94	0.15	3.64	0.04	5.11	0.23	3.21	0.20	3.23	0.10	3.84	0.11
n=	10		10		16		3		4		6		10		15		15	

Takano Formation (Loc.1 and Loc.2)

sample no.	SP-II		SP-II		TN		SP-I		vitric ash		B Ash-P		vitric ash-U		vitric ash-M		vitric ash-L	
correlation					Aso-4				K-Tz				Aso-ABCD		Aso-ABCD		Aso-ABCD	
EDS wt%	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s
SiO ₂	74.31	0.32	74.52	0.32	71.47	0.75	75.14	0.21	77.64	0.25	76.63	0.22	69.67	0.32	69.59	0.21	69.62	0.23
TiO ₂	0.29	0.08	0.26	0.12	0.46	0.16	0.22	0.08	0.22	0.10	0.18	0.08	0.63	0.08	0.67	0.06	0.67	0.08
Al ₂ O ₃	14.34	0.17	14.15	0.14	15.37	0.25	13.84	0.10	12.63	0.13	13.35	0.17	15.46	0.10	15.53	0.14	15.55	0.14
FeO*	1.57	0.24	1.57	0.16	1.84	0.25	1.44	0.12	1.20	0.14	0.91	0.14	2.51	0.15	2.46	0.13	2.58	0.17
MnO	0.03	0.07	0.08	0.07	0.12	0.16	0.07	0.09	0.03	0.06	0.11	0.08	0.10	0.12	0.09	0.09	0.12	0.12
MgO	0.40	0.05	0.33	0.10	0.44	0.10	0.32	0.07	0.19	0.06	0.23	0.04	0.67	0.10	0.70	0.09	0.65	0.07
CaO	1.74	0.13	1.73	0.10	1.27	0.21	1.54	0.09	1.16	0.13	1.10	0.14	1.89	0.12	1.91	0.12	1.83	0.07
Na ₂ O	3.62	0.27	3.52	0.11	4.51	0.18	3.56	0.11	3.53	0.08	3.45	0.09	4.44	0.16	4.44	0.09	4.43	0.10
K ₂ O	3.70	0.28	3.83	0.08	4.52	0.08	3.87	0.08	3.41	0.14	4.04	0.13	4.62	0.09	4.61	0.10	4.56	0.06
n=	10		10		10		11		8		10		10		10		10	

sample no.	Dpm-P		HK-3 (Loc.1)		HK-2 (Loc.2)		HK-2 (Loc.1)		HK-1 (Loc.2)		HK-1 (Loc.1)	
correlation	Ti-D		SK		TKN2780				TKN2826			
EDS wt%	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s
SiO ₂	75.84	0.69	76.33	0.16	69.87	1.41	70.45	1.50	75.30	0.36	75.71	0.23
TiO ₂	0.30	0.30	0.05	0.07	0.63	0.11	0.53	0.11	0.41	0.08	0.37	0.06
Al ₂ O ₃	13.22	0.32	14.28	0.11	14.81	0.54	14.65	0.48	13.04	0.15	13.01	0.11
FeO*	1.21	0.37	0.60	0.13	4.06	0.40	4.07	0.41	2.32	0.28	2.06	0.17
MnO	0.05	0.07	0.10	0.06	0.13	0.14	0.21	0.08	0.10	0.10	0.08	0.08
MgO	0.24	0.05	0.12	0.03	0.95	0.17	0.95	0.05	0.54	0.06	0.53	0.11
CaO	1.28	0.15	0.74	0.08	3.74	0.48	3.33	0.45	2.33	0.07	2.35	0.09
Na ₂ O	2.95	0.16	3.78	0.14	4.48	0.18	4.46	0.00	3.50	0.11	3.38	0.12
K ₂ O	4.92	0.13	4.01	0.09	1.34	0.07	1.35	0.07	2.46	0.08	2.51	0.14
n=	20		10		10		2		9		10	

100% normalized chemical composition, FeO* total iron as FeO, P: pumice sample, U: upper part, M: middle part, L: lower part

付表 2 野尻湖底コア (NJ88) の BW1466・BW2765, 島根県横見の SK, 阿蘇カルデラ東麓の Ata と Aso-ABCD の火山ガラス化学組成

Appendix 2 Chemical composition of glass shards of taken from the BW1466 and BW2765 tephra beds in the NJ88 core of Lake Nojiri, SK tephra bed in the Yokomi, Shimane Prefecture, and Ata and Aso-ABCD tephra beds collected from the eastern foot of the Aso Caldera, Kyushu

NJ88 core (Lake Nojiri)				Yokomi, Shimane Prefecture											
tephra name	BW1466			BW2765-U		BW2765-M		BW2765-L		SK					
sample no.	S-2A77			19-A13		19-A14.5		19-A19							
EDS wt%	mean	s		mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s		
SiO ₂	61.27	0.42		73.47	0.47	72.89	0.40	72.97	0.36	76.30	0.24				
TiO ₂	0.48	0.14		0.26	0.10	0.29	0.16	0.25	0.11	0.13	0.08				
Al ₂ O ₃	19.64	0.34		14.94	0.23	15.15	0.11	15.08	0.19	14.31	0.07				
FeO*	3.62	0.36		1.80	0.21	1.86	0.18	2.02	0.17	0.56	0.14				
MnO	0.08	0.09		0.04	0.07	0.07	0.08	0.02	0.06	0.08	0.10				
MgO	0.33	0.17		0.46	0.06	0.53	0.08	0.47	0.07	0.15	0.02				
CaO	1.70	0.39		2.05	0.14	2.14	0.12	2.20	0.10	0.70	0.09				
Na ₂ O	6.18	0.51		4.11	0.12	4.22	0.08	4.18	0.13	3.85	0.17				
K ₂ O	6.70	0.28		2.87	0.09	2.86	0.09	2.80	0.10	3.93	0.13				
n=	12			12		10		13		16					

eastern foot of the Aso Caldera																				
tephra name	Ata		Aso-A (U) ash		Aso-A (M) P		Aso-A (L) ash		Aso-B		Aso-C (U) ash		Aso-C (M) P		Aso-C (L) P		Aso-D (U) ash		Aso-D (L) P	
EDS wt%	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s	mean	s
SiO ₂	73.94	0.31	69.88	0.27	69.67	0.39	69.89	0.28	72.46	3.34	69.73	0.34	69.90	0.28	69.75	0.30	69.39	0.20	69.29	0.66
TiO ₂	0.44	0.12	0.62	0.12	0.70	0.11	0.61	0.14	0.64	0.14	0.69	0.09	0.65	0.09	0.66	0.16	0.71	0.07	0.70	0.15
Al ₂ O ₃	13.74	0.12	15.54	0.11	15.57	0.14	15.59	0.08	14.78	1.81	15.42	0.16	15.62	0.16	15.53	0.13	15.71	0.11	15.63	0.19
FeO*	2.37	0.20	2.54	0.21	2.60	0.23	2.38	0.20	1.45	0.82	2.56	0.14	2.49	0.17	2.65	0.17	2.53	0.21	2.75	0.31
MnO	0.01	0.12	0.11	0.08	0.17	0.12	0.07	0.09	0.05	0.06	0.11	0.08	0.09	0.12	0.05	0.11	0.09	0.14	0.12	0.07
MgO	0.45	0.06	0.69	0.06	0.66	0.07	0.63	0.09	0.32	0.19	0.72	0.04	0.65	0.10	0.67	0.06	0.72	0.07	0.71	0.11
CaO	1.90	0.11	1.87	0.11	1.86	0.08	1.86	0.06	1.41	0.80	1.79	0.08	1.77	0.13	1.81	0.09	1.98	0.11	2.02	0.30
Na ₂ O	4.11	0.07	4.13	0.19	4.19	0.28	4.29	0.10	4.00	0.95	4.35	0.16	4.15	0.17	4.20	0.13	4.22	0.12	4.16	0.14
K ₂ O	3.04	0.13	4.62	0.08	4.58	0.09	4.68	0.11	4.89	1.14	4.64	0.09	4.69	0.10	4.69	0.14	4.65	0.07	4.63	0.11
n=	10		10		10		10		10		10		10		10		10		10	

100 % normalized chemical composition, FeO*: total iron as FeO, P: pumice sample, U: upper part, M: middle part, L: lower part

付表 3 TKN1080 と大山山麓の DKP・DSP・DNP・SK のホルンブレンドと斜方輝石の代表的な化学組成値

Appendix 3 Representative chemical composition of hornblende and orthopyroxene from the TKN1080 in TKN-2004 core and the DKP, DSP, DNP and SK tephra beds collected at the eastern foot of the Daisen volcano

Hornblende: oxides(wt%)	TKN1080							Orthopyroxene: oxides(wt%)					
	TKN1080	DKP-U	DKP-M	DKP-L	DSP	DNP	SK	TKN1080	DKP-U	DKP-M	DKP-L	DSP	DNP
SiO ₂	45.88	46.17	46.27	44.64	46.14	45.96	48.54	53.73	53.78	54.58	55.33	54.99	54.09
TiO ₂	1.95	1.90	2.07	1.83	1.99	2.26	1.50	0.09	0.28	0.14	0.15	0.06	0.22
Al ₂ O ₃	10.01	9.59	10.21	12.41	9.97	10.10	6.40	1.30	1.29	1.68	0.71	0.96	1.48
FeO	11.66	12.09	12.35	10.89	12.34	11.26	14.69	18.71	19.44	19.60	16.54	16.98	18.75
MnO	0.14	0.28	0.19	0.10	0.19	0.26	0.71	0.67	0.68	0.75	0.51	0.49	0.63
MgO	14.83	14.61	15.07	15.08	14.73	15.13	13.04	24.89	24.36	24.87	26.91	26.17	25.01
CaO	11.19	10.88	11.26	11.26	11.20	11.16	11.43	0.55	0.55	0.56	1.29	1.06	0.60
Na ₂ O	1.74	1.57	1.62	2.02	1.68	1.82	1.00	0.20	0.02	0.18	0.02	0.12	0.00
K ₂ O	0.36	0.37	0.42	0.35	0.41	0.40	0.74	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.09
Total	97.76	97.46	99.46	98.58	98.65	98.35	98.05	100.14	100.40	102.36	101.49	100.83	100.87
cation(O=23.000)							cation(O=6.000)						
Si	6.67	6.73	6.63	6.42	6.66	6.63	7.13	1.97	1.97	1.96	1.98	1.98	1.96
Al	1.71	1.65	1.72	2.10	1.70	1.72	1.11	0.06	0.06	0.07	0.03	0.04	0.06
Ti	0.21	0.21	0.22	0.20	0.22	0.25	0.17	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Fe	1.42	1.47	1.48	1.31	1.49	1.36	1.80	0.57	0.59	0.59	0.49	0.51	0.57
Mn	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03	0.09	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02
Mg	3.21	3.18	3.22	3.23	3.17	3.26	2.85	1.36	1.33	1.33	1.43	1.40	1.35
Ca	1.74	1.70	1.73	1.74	1.73	1.73	1.80	0.02	0.02	0.02	0.05	0.04	0.02
Na	0.49	0.44	0.45	0.56	0.47	0.51	0.28	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
K	0.07	0.07	0.08	0.06	0.08	0.07	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total	15.54	15.49	15.55	15.64	15.54	15.55	15.37	4.01	4.00	4.01	4.01	4.00	4.00
mg*	0.69	0.68	0.69	0.71	0.68	0.71	0.61	0.70	0.69	0.69	0.74	0.73	0.70

mg*=Mg/(Mg+Fe), U; Upper part, M; Middle part, L; Lower part

Stratigraphy and Chronology of Widespread Tephra Beds Intercalated in the TKN-2004 Core Sediment Obtained from the Takano Formation, Central Japan

Yoshitaka Nagahashi*^{1, a}, Takako Sato*², Yoshihiro Takeshita*³,
Takaharu Tawara*⁴ and Fujio Kumon*⁵

A 53.88 m sediment core (TKN-2004) taken from the Takano Formation, Nagano Prefecture in central Japan, consists mostly of homogenous clayey silt, including numerous beds of primary fallout tephra. On the basis of the stratigraphy, petrography, and chemistry of volcanic glass shards, hornblende, and orthopyroxene measured by microprobe (EDS) analyses, 15 tephra beds can be correlated to the Aso-2, Aso-3, Nanko-II, Nanko-III, SK, Tt-D, Ata, Aso-ABCD, On-Pm1, K-Tz, On-Kt, Aso-4, On-Ng, Tt-E, and BW1466 tephra beds in ascending order. Using the 4 time marker tephra beds—namely, Aso-2 (146ka), Aso-3 (133ka), Aso-4 (88ka), and BW1466 (38.5ka)—as the controlling points, depositional ages of other 17 marker

tephra beds in the TKN-2004 core can be calculated, postulating that sedimentation rate is constant between the controlling points. The ages of marker tephra beds in the TKN-2004 core estimated by this method are very consistent with the identification of the oxygen isotope stages based on the palynological study of the Takano Formation and the total organic carbon content profile of the TKN-2004 core. Consequently the TKN-2004 core sample can provide not only a high-resolution record of the climate from MIS 6 to MIS 3, but also the standard stratigraphy of the widespread tephra beds of the middle to upper Pleistocene in southwest to central Japan.

Keywords : Takano Formation, marker tephra, major elements composition, chronology, late Pleistocene

*1 Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University. 1 Kanayagawa, Fukushima, 960-1296, Japan.

*2 Kawada Co., LTD. 2-8-5 Oroshimachi, Wakabayashi-ku, Sendai, 984-0015, Japan.

*3 Tochigi Prefectural Museum. 2-2 Mutsumimachi, Utsunomiya, 320-0865, Japan.

*4 Interdisciplinary Graduate School of Science and Technology, Shinshu University. 3-1-1 Asahi, Matsumoto, 390-8621, Japan.

*5 Faculty of Science, Shinshu University. 3-1-1 Asahi, Matsumoto, 390-8621, Japan.

*a Corresponding author : nagahashi@sss.fukushima-u.ac.jp