

## 由布岳火山西南西麓に分布するユムタテフラの対比とその給源

古澤 明\*

(2002年4月9日受付, 2003年4月24日受理)

## Correlation, Age, and Source of Yumuta Tephra around Yufudake Volcano

Akira FURUSAWA

Yumuta tephra layers 1~9 (Yum 1~9) in ascending order are recognized in tephric loess between Aso-3 (110~123 ka) and K-Tz (90~95 ka) widespread tephra on the Yumuta plateau, west side of Yufudake volcano, Kyushu. Ata (95~110 ka) widespread tephra is also seen between Yum2 and Yum3. Therefore, eruptive age of Yum3~9 is ca. 100 ka. Yum3, 7, 8 are correlated with Tsukahara 3, 2, 1 pumice layers (TP-3, TP-2, TP-1) at the north foot of Yufudake Volcano on the basis of shape of volcanic glass shards, the refractive indices of glass, orthopyroxene and hornblende.

Mineral assemblage and refractive indices of minerals show that Yum8 is the tephra erupted from Kuju Volcano above Kuju-Shimosakata pyroclastic flow deposits and that Yum3 through 8 are correlated with a part of Aso-ABCD airfall pumice erupted from Aso Volcano.

## 1. はじめに

由布岳火山の活動を把握する上で重要となる同火山周辺の後期更新世のテフラについては、小林(1984)、星住・他(1988)、梅田・他(1996)、藤沢・他(2001)、藤沢・他(2002)などの研究がある。小林(1984)は由布岳周辺に下位から阿蘇4(Aso-4)、九重第1軽石、始良Tn(AT)、鬼界アカホヤ(K-Ah)、米窪スコリア、由布岳火山灰(YA1)および層序不明の塚原降下軽石(TP-1, TP-2, TP-3)を識別している。また、由布岳火山は2.0~1.5 kaに塚原火砕流、池代火砕流、由布岳山頂溶岩、由布岳火山灰を放出し、鶴見岳山頂溶岩は15~12 kaに噴出したと推定している(小林, 1984)。

星住・他(1988)は小林(1984)の塚原火砕流を塚原岩屑なだれ堆積物と池代火砕流とに区分し、K-Ah以降の堆積物とした。また塚原降下軽石の産出層準を更新世後期~完新世にかけての扇状地性堆積物中とした。

梅田・他(1996)は由布岳火山が40 kaに池代火砕流堆積物を噴出し、その後、2.5 kaころに2回以上の山頂溶岩崩壊による火砕流を同火山南西麓、北東麓、南東麓

方向に発生させ、この活動における灰かぐらとして由布岳火山灰(YA1)が降下したと考えた。

藤沢・他(2001)は梅田・他(1996)で区分された塚原火砕流堆積物と2.5 kaころの火砕流をあわせて2.2 ka噴火による堆積物と考えた。

藤沢・他(2002)は、これまで溶岩の記載しかなかった鶴見岳火山のテフラの記載を行い、同火山起源のテフラがATの上位に数層準存在し、10.5 kaに中釣火砕流堆積物および中釣火山灰が、1.8 kaに鶴見岳火山灰が、1.2および1.0 kaに伽藍岳2および伽藍岳1火山灰がそれぞれ噴出したとした。

以上のように、AT降灰以降の由布岳周辺のテフラについては、多くの議論がある。一方、ATより下位の由布岳、鶴見岳両火山の活動については、小林(1984)が本論のA point付近(Fig. 5)で九重第1軽石の下位、Aso-4の上位に由布岳起源と考えられる礫が挟まれていることや、鶴見岳火山起源の土石流中に九重第1軽石が挟まれていることを明らかにし、両火山群の活動が九重第1軽石よりは古いことを示したが、これらの活動とAso-4との関係は不明であるとしている(小林, 1984)。

また、由布岳火山北麓の塚原(Fig. 1のT point)において、小林(1984)は3枚のテフラを識別して上位から塚原降下軽石TP-1, TP-2, TP-3と命名したが、これらの軽石の層位や給源火山ははまだ把握されていない。

\* 〒444-0840 岡崎市戸崎町屋敷 93-7  
(有)古澤地質調査事務所  
FURUSAWA Geological Survey Inc., 93-7, Yashiki  
Tosaki-cho, Okazaki-shi 444-0840, Japan.  
e-mail: furusawa@tephra.co.jp

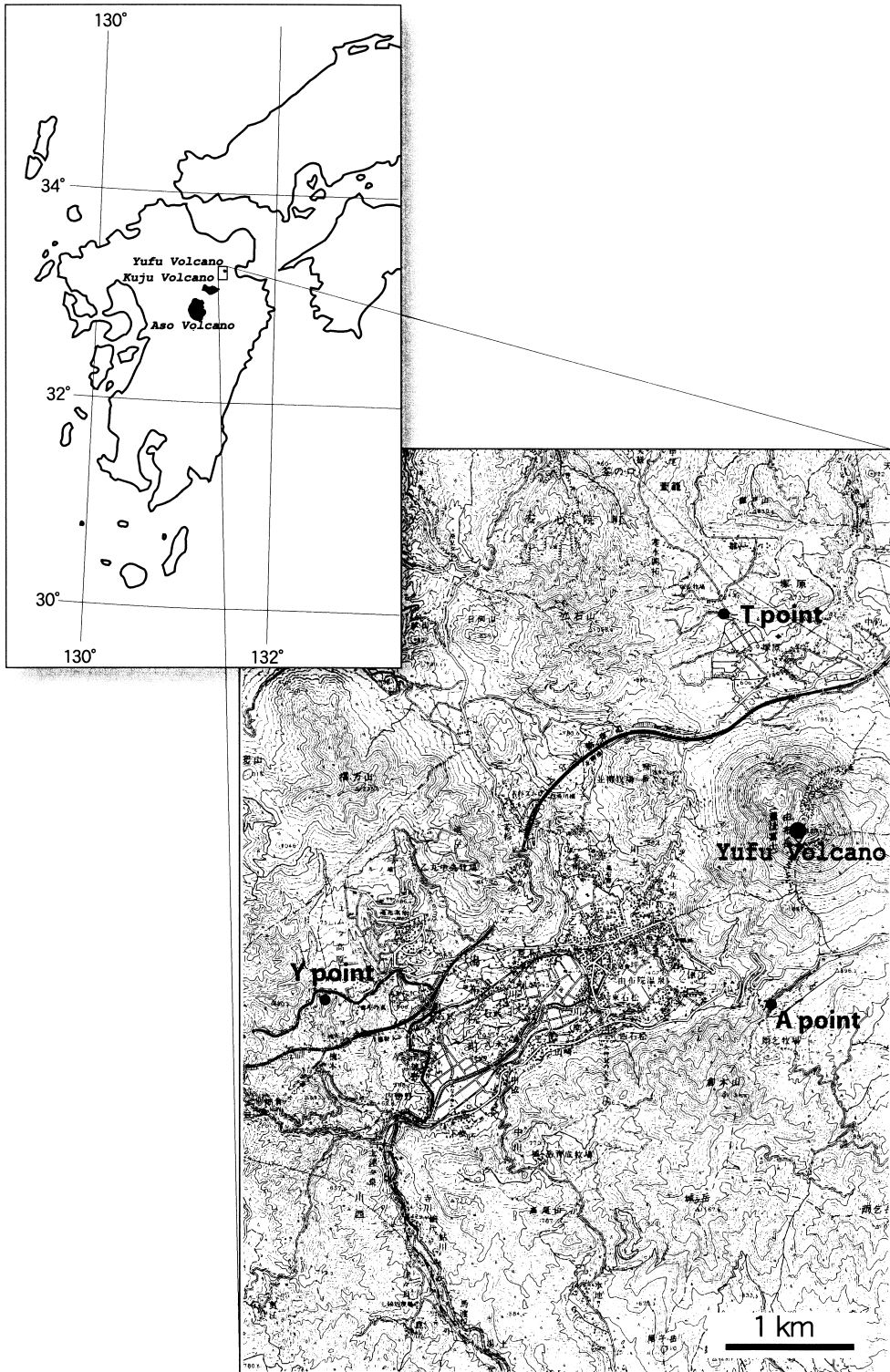


Fig. 1. Map showing the studied areas. Original map is a part of 1 : 50,000 topographic map of “Beppu” published by Geographical Survey Institute of Japan.

このように、由布岳火山周辺では特に AT 降灰以前のテフラについての情報が不足し、由布岳火山周辺のテフロクロノロジーを編む上で重要と考えられる塚原降下軽石などの層位がいまだ不明のままである。

今回、由布岳西南西麓のコムタ高原 (Fig. 1 の Y point) で AT より下位の層準において多数のテフラを発見し、これを下位よりコムタテフラ 1~9 と命名した。また、その一部が塚原降下軽石に対比できること、およびその噴出時代や給源火山を明らかにすることができた。本論ではコムタ高原に分布するテフラに関するこれらの新知見とその意義について述べる。

## 2. 由布岳南西のコムタ高原におけるコムタテフラの層序と特徴

### 2-1 野外における記載

由布岳の西南西のコムタ高原 (Fig. 1 の Y point) には Fig. 2 に示すように、下位より阿蘇 3 テフラ: Aso-3 (小野・他, 1977), コムタテフラ 1: Yum1 (新称), コムタテフラ 2: Yum2 (新称), 阿多テフラ: Ata (荒牧・宇井, 1966), コムタテフラ 3: Yum3 (新称), コムタテフラ 4: Yum4 (新称), コムタテフラ 5: Yum5 (新称), コムタテフラ 6: Yum6 (新称), コムタテフラ 7: Yum7 (新称), コムタテフラ 8: Yum8 (新称), コムタテフラ 9: Yum9 (新称), 鬼界葛原テフラ: K-Tz (町田・新井, 1992), 阿蘇 4 テフラ: Aso-4 (小野・他, 1977), 九重第 1 軽石: Kj-P1 (町田, 1980; 小林 (1984) の KjP1), 始良 Tn 降下火山灰: AT (町田・新井, 1976), 鬼界アカホヤ降下火山灰: K-Ah (町田・新井, 1978) が堆積している。なお、本論では、広域テフラとして周知のものを除き、時間間隙を示すローム層の有無にかかわらず、粒径のことなるテフラの単層を単位 (ユニット) として区分した。その理由は、露頭が Y point に限られており、テフラ層間のローム層が浸食などにより削剥されていても確認できないためである。つまり、一露頭では時間間隙を正しく判断できない恐れがあるということが考えられる。

Aso-3 は粒径不淘汰で最大径 5 cm の明橙色軽石を主体とした火砕流で、厚さは 30 cm である。Aso-3 テフラの上位には安山岩質の角礫層~砂礫層 (95 cm) を挟み Yum1 がみられる。Yum1 は、厚さ 5 cm で最大径 3 cm の淡黄色軽石からなる降下軽石層である。Yum1 と Yum2 の間には淡褐色のローム層 (40 cm) が挟まっている。Yum2 は厚さ 20 cm で淡黄灰色のシルトサイズ火山灰からなる降下火山灰層であり、径 1 mm 程度の長石を含む。Yum2 は Ata に直接覆われている。Ata は基底部の厚さ 5 cm の黄灰色軽石からなる降下軽石層 (直径 2~3 mm) とその上位の厚さ 20 cm で橙色のシルトサイズ火

山灰からなる降下火山灰層とからなる。Yum3 は Ata を直接覆う、厚さ 10 cm、直径 2 mm 程度の淡黄白~淡橙色軽石からなる降下軽石層である。Yum3 と Yum4 の間には褐色の土壌化した軽石層 (20 cm) が挟まっている。

Yum4 は厚さ 2 cm で極細砂サイズの淡紫灰色火山灰からなる降下火山灰層である。Yum5 は Yum4 を直接覆う、厚さ約 3 cm で直径 5 mm 程度の淡橙色の軽石からなる降下軽石層である。Yum5 は Yum6 に直接覆われる。Yum6 は厚さ約 3 cm で淡紫灰色の極細砂サイズ火山灰からなる降下火山灰層である。Yum6 は Yum7 に直接覆われる。Yum7 は厚さ 20 cm で下部が直径 2 mm、上部が直径 5 mm の淡黄白色軽石からなる降下軽石層で逆級化構造が認められる。Yum7 は Yum8 に直接覆われる。Yum8 は厚さ 3 cm で直径 2~5 mm の淡黄白色軽石からなる降下軽石層である。Yum8 と Yum9 の間には褐色のローム層 (3 cm) が挟まっている。Yum9 は厚さ 10 cm で極細砂サイズの淡灰色火山灰からなる降下火山灰層である。Yum9 は厚さ 25 cm の褐色火山灰質ローム層を介して K-Tz を混在する厚さ 20 cm の褐色火山灰質ロームに覆われる。この上位には厚さ 5 cm の褐灰色ローム層を介して Aso-4 火砕流がある。この火砕流は厚さ 55 cm で直径 10 cm 以下の橙色軽石、安山岩片および黄白色粗粒火山灰からなる。安山岩片の含有率は上部ほど低く、軽石の含有率は逆に上部ほど高い。Aso-4 火砕流は厚さ 75 cm の淡褐色火山灰質ローム層を介して Kj-P1 に覆われる。Kj-P1 は下部が厚さ 5 cm の淡灰色極細砂サイズ火山灰からなる降下火山灰層、上部が厚さ 5 cm で直径 5 mm の白色軽石からなる降下軽石層であり、灰色火山岩片が多く含まれる。Kj-P1 は厚さ 80 cm の淡褐色ローム層および厚さ 30 cm の濃褐色ローム層を介して厚さ 60 cm の AT を含む淡褐色ローム層に覆われる。AT は肉眼では識別できないが、顕微鏡下で AT 起源の火山ガラスが多量に確認できる。本研究で AT とした層準はこのガラスが特に多量に含まれる中央 15 cm の部分である。AT を挟むローム層は厚さ 75 cm の黒ボク土壌層に覆われる。黒ボク土壌層の中央、基底より 35 cm 上には厚さ 10 cm の薄い橙色を帯びた極細砂サイズ火山灰からなる降下火山灰 K-Ah が挟まれる。

### 2-2 コムタテフラの分析

#### 2-2-1 分析手法

##### 屈折率

本研究では、各テフラについて浸液の温度を直接測定しつつ屈折率を測定する温度変化型測定装置“MAIOT” (古澤, 1995) の改良型 (単一化学組成の浸液を使用し測温精度および測定プログラムを改良することにより温度



上昇時ないしは下降時どちらか一方のみでの測定が可能)を使用し、火山ガラスおよび斑晶鉱物(斜方輝石、角閃石)ともに30粒子を目処に屈折率を測定した。測定精度は火山ガラスで±0.0001~0.0002、斑晶鉱物で±0.0002~0.0003である。

構成粒子の組成

本研究では、それぞれのテフラについて古澤・梅田(2000)で用いた区分により、極細粒砂サイズのテフラ粒子がどのような種類の粒子から構成されているかを識別した。

火山ガラスは、まず、無色透明(Colorless)、淡褐色透明~半透明(Brown)、淡緑褐色透明(Green)の色調で分け、それぞれの色調のガラスについて、発泡の程度や形態により細分した(Table 1)。発泡の程度や形態については、古澤(1995)を簡略化した区分を用い、発泡度の高いものと、低~無発泡で微斑晶が約50%以下の微小結晶含有ガラス(OTH)に分類した。このほか斑晶が約50%以上で発泡の形跡が全くみられないものを火山岩片(Volcanic Rock)に区分した(Table 1)。なお、発泡度の高い無色透明ガラスについては、古澤・梅田(2000)

Table 1. Grain composition of the tephra after Aso-3 at Y point, west-southwest side of Yufudake Volcano.

Tephra	Sample No.	Colorless Glass				Brown Glass		Green Glass		Volcanic Rock	Light Mineral	Heavy Mineral						Rock Fragment	Bio	
		Bw	Pul	Pus	OTH	Bw	OTH	Bw	OTH			Opx	Cpx	Ho	Ol	Bi	Opq			
AT	150	129	25	0	0	10	1	0	0	5	10	5	2	0	0	11	2	0	0	200
	137	108	2	0	1	0	0	0	0	0	34	6	0	10	0	0	24	0	15	200
	136	100	4	0	0	0	0	0	0	0	39	9	1	8	0	0	19	0	20	200
	135	95	3	0	4	1	0	0	0	0	52	8	0	5	0	0	20	0	12	200
	134	103	2	0	2	0	0	0	0	0	40	9	1	11	0	0	17	0	15	200
KJ-P1	108	2	1	0	4	0	0	0	0	14	36	12	13	57	0	0	47	0	14	200
	107	1	2	0	5	0	0	0	0	12	42	11	3	88	0	1	25	2	8	200
Aso-4	91	1	1	0	0	0	0	0	0	1	129	17	0	6	0	0	25	0	20	200
	90	1	1	0	1	1	0	0	0	2	142	20	0	5	0	0	21	0	6	200
	89	0	0	0	1	1	0	0	0	2	136	15	1	2	0	0	22	0	20	200
	88	1	1	0	1	3	0	0	0	0	142	10	1	4	0	0	22	0	15	200
	87	1	1	0	0	0	0	0	0	0	144	14	0	4	0	0	26	0	10	200
	86	0	0	0	1	0	0	0	0	0	147	14	0	7	0	0	19	0	12	200
	85	0	0	0	0	1	0	0	0	0	158	8	0	4	0	1	17	0	11	200
	84	3	0	0	0	1	1	0	0	0	142	13	0	5	0	0	19	0	16	200
	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	141	12	1	6	0	0	11	0	28	200
	82	5	0	0	0	0	0	0	0	0	149	12	0	0	0	0	16	0	18	200
81	8	0	1	0	0	0	0	0	0	2	119	15	1	9	0	0	30	0	15	200
K-Tz	77	2	8	0	5	0	0	0	0	8	42	12	1	75	0	0	40	0	7	200
Yum9	70	0	50	0	13	0	0	0	0	22	35	7	5	48	0	0	20	0	0	200
	69	0	66	0	11	0	0	0	0	35	27	3	1	45	0	0	10	0	2	200
Yum8	68	0	0	1	0	0	1	0	0	28	68	11	0	69	0	0	21	0	1	200
Yum7	67	0	0	0	0	0	1	0	0	28	99	30	13	1	0	0	26	0	2	200
	66	3	0	0	0	1	0	0	0	1	139	19	6	0	0	0	27	0	4	200
	65	0	0	0	0	1	0	0	0	0	125	28	12	0	0	0	30	0	4	200
	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	103	30	14	0	0	0	46	0	0
Yum6	63	1	2	0	1	2	0	0	0	87	77	15	4	0	0	0	11	0	0	200
Yum5	62	1	0	0	0	1	0	0	0	31	88	30	8	0	0	0	38	0	3	200
Yum4	61	0	0	0	1	0	10	0	0	82	69	18	2	0	0	0	17	1	0	200
Yum3	60	0	0	0	0	1	1	0	0	0	99	27	14	1	0	0	41	0	16	200
	59	1	1	0	0	0	1	0	0	0	104	38	5	0	0	0	42	0	8	200
	58	1	1	0	0	0	0	0	0	0	105	49	11	0	0	0	31	0	2	200
	57	2	0	1	0	0	0	0	0	0	115	43	5	1	0	0	28	0	5	200
	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126	40	6	0	0	0	26	0	2	200
	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126	40	7	0	0	0	25	0	2	200
54	0	0	0	0	1	0	0	0	0	147	24	8	0	0	0	20	0	0	200	
Ata	53	2	1	0	0	1	0	0	0	0	61	35	7	4	0	0	41	0	48	200
	52	7	0	0	0	2	0	0	0	0	53	21	13	4	0	0	35	0	65	200
	51	1	2	0	0	3	0	0	0	0	39	17	12	4	0	0	27	1	94	200
	50	3	1	0	0	2	0	0	0	0	65	29	13	5	0	0	30	0	52	200
	49	4	1	0	0	1	0	0	0	0	70	48	10	2	0	0	43	0	21	200
Yum2	48	0	1	0	0	2	0	0	0	5	62	52	6	4	0	0	33	0	35	200
	47	0	0	0	1	0	0	0	0	9	97	36	5	2	0	0	26	0	24	200
	46	0	2	0	0	0	0	0	0	14	57	55	2	2	0	0	33	0	35	200
	45	2	1	0	0	0	0	0	0	19	64	50	2	5	0	0	32	0	25	200
Yum1	C'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	53	4	79	0	0	51	0	5	200
Aso-3	17	0	1	0	1	3	0	0	0	5	55	25	25	0	0	0	56	0	29	200
	16	0	0	0	0	2	1	0	0	5	53	27	27	1	0	0	73	0	11	200
	15	1	0	0	0	0	0	0	0	2	48	39	34	1	0	0	70	0	5	200
	14	1	0	0	0	2	1	0	0	2	52	33	32	1	0	0	48	0	28	200
	13	0	1	0	0	2	1	0	0	11	69	31	16	0	0	0	42	0	27	200
	12	0	0	0	0	3	3	0	0	6	51	32	30	1	0	0	42	0	32	200

In glass, Bw: vesicular grain with large vesicle walls; Pul: vesicular grain with middle sized vesicle walls; Pus: vesicular grain with small vesicle walls; OTH: nonvesicular or poor vesicular grain. Volcanic Rock: Volcanic rock fragment. In heavy mineral, Opx: Orthopyroxene; Cpx: Clinopyroxene; Ho: Green, brown, greenish brown hornblende and Oxyhornblende; Bi: Biotite; Opq: Opaque mineral; OTH: Other heavy mineral. Rock Fragment: Rock fragment except for volcanic rock fragment.

に従い、発泡度の違いにより、大径のもの (Bw)、中径のもの (Pul)、小径のもの (Pus) にさらに細分した (Table 1).

火山ガラス以外の粒子については、石英・長石類 (Light Mineral)、前出の火山岩片 (Volcanic Rock)、風化粒や岩片 (非火山砕屑物) など (Rock Fragment) に区分した (Table 1). 植物珪酸体などの生物遺骸についてはこれを1つにまとめて Bio と区分した。また、斑晶鉱物のうち重鉱物は斜方輝石 (Opx)、単斜輝石 (Cpx)、緑色普通角閃石 (GHo)、緑褐色普通角閃石 (GBHo)、褐色普通角閃石 (BHo)、酸化角閃石 (BaHo)、カンラン石 (Ol)、雲母類 (Bi)、その他の重鉱物: リン灰石、ジルコン、不透明鉱物など (OTH) に区分した (Table 1).

以上の分類基準に従い、本研究では、テフラ1試料につき約200個の粒子をカウントして組成区分を求めた。

## 2-2-2 分析結果

### ユムタ高原のテフラ

ユムタ高原における Aso-3, Yum1, Yum2, Ata, Yum3, Yum4, Yum5, Yum6, Yum7, Yum8, Yum9, K-Tz, Aso-4, Kj-P1, AT, K-Ah の各テフラの構成粒子組成を Table 1 に、またその組成と火山ガラス、斜方輝石および角閃石の屈折率とを Fig. 2 に示した。これらを基にして以下に岩石記載学的特徴を詳しく述べる。

**Aso-3:** 火山ガラスは淡褐色 vesicule~淡褐色 OTH など様々な発泡形態のものを主体とする。火山ガラスの屈折率 (nd) のレンジは 1.501~1.526 で 1.511~1.514 にモードがみられる。重鉱物は斜方輝石および単斜輝石を主体とする。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) のレンジは 1.699~1.709 で 1.700~1.704 にモードがみられる。極少量含まれる普通角閃石の屈折率 ( $n_2$ ) のレンジは 1.669~1.685 で 1.673~1.679 にモードがみられる。

**Yum1:** 火山ガラスは残存していない。重鉱物としては緑色普通角閃石を主体とし、斜方輝石および微量の黒雲母を含む。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) は 1.699~1.708 で、普通角閃石の屈折率 ( $n_2$ ) は 1.669~1.688 である。

**Yum2:** 火山ガラスは無色 Bw~Pul タイプのものを主体とし低発泡のものを含む。火山ガラスの屈折率 (nd) のレンジは 1.503~1.516 で 1.508~1.512 にモードがみられる。重鉱物は斜方輝石および単斜輝石を主体とし緑色普通角閃石を含む。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) のレンジは 1.697~1.712 で 1.669~1.702 にモードがみられるほか少量ながら 1.708~1.712 にまとまる。普通角閃石の屈折率 ( $n_2$ ) は 1.669~1.688 である。

**Ata:** 火山ガラスは無色 Bw~Pul タイプのものを主体とする。同タイプの淡褐色ガラスも含む。その屈折率

(nd) のレンジは 1.498~1.512 で 1.510~1.515 にモードがみられる。重鉱物は斜方輝石、単斜輝石、緑色普通角閃石、酸化角閃石を含み、微量の黒雲母を含む。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) のレンジは 1.698~1.711 で 1.705~1.711 にモードがみられる。普通角閃石の屈折率 ( $n_2$ ) のレンジは 1.668~1.685 で 1.670~1.676 にモードがみられる。

なお、Ata に同定されるシルトサイズ火山灰の基底には厚さが 5 cm 程度で直径 2~3 mm の黄灰色軽石からなる降下軽石層がみられる。この軽石の火山ガラスおよび斜方輝石の屈折率は上位のシルトサイズ火山灰の火山ガラスの屈折率 (nd) の 1.507~1.512、および斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) の 1.705~1.710 と一致する。Ata の噴火経緯は、水蒸気マグマ噴火とプリニアン噴火を2回繰り返した後、中・小規模の火砕流をおこし最後に破局的な阿多上位の大規模火砕流に移行したとされている (Nagaoka, 1988)。上部のシルトサイズ火山灰は阿多火砕流の cognimbrite ash fall であり、基底の軽石層は初期のプリニアン式噴火と考えられる。初期のプリニアン式噴火による降下軽石群の分布主軸は鹿児島湾南部から南東および東南東に延びるが (Nagaoka, 1988)、一部のユニットは阿多カルデラから北に向かい、200 km ほど離れた由布岳にまで達した可能性がある。今後、初期のプリニアン式噴火の規模やその分布を再検討する必要がある。

**Yum3:** 火山ガラスは著しく風化され、斜長石に附着してわずかに残存する。発泡は Pul~Bw タイプである。火山ガラスの屈折率 (nd) のレンジは 1.502~1.506 で 1.502~1.504 にモードがみられる。重鉱物は斜方輝石および単斜輝石を主体とする。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) のレンジは 1.698~1.704 で 1.699~1.702 にモードがみられる。

**Yum4:** 火山ガラスは著しく風化され、斜長石に附着してわずかに残存する。発泡は Pul タイプである。重鉱物は斜方輝石を主体とする。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) は 1.697~1.702 で平均値は 1.699 である。

**Yum5:** 火山ガラスは無色 Bw~Pul タイプのものを主体とする。同タイプの淡褐色ガラスも含む。ガラスの屈折率 (nd) は 1.512~1.515 で平均値は 1.513 である。重鉱物は斜方輝石を主体とする。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) は 1.697~1.701 で平均値は 1.699 である。

**Yum6:** 火山ガラスは低発泡無色 Pul タイプのものを主体とする。その屈折率 (nd) のレンジは 1.511~1.517 で 1.514~1.516 にモードがみられる。重鉱物は斜方輝石および単斜輝石を主体とする。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) のレンジは 1.697~1.702 で 1.697~1.701 にモードがみられる。

**Yum7:** 火山ガラスは無色 Bw~Pul タイプのものを主体とする。同タイプの淡褐色ガラスも含む。火山ガラスの屈折率 (nd) のレンジは 1.511~1.514 で平均値は 1.513 である。重鉱物としては斜方輝石および単斜輝石を主体とする。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) のレンジは 1.698~1.702 で、モードは 1.698~1.701 である。

**Yum8:** 火山ガラスは低発泡 Pul タイプのものを主体とする。その屈折率 (nd) は 1.499~1.504 で平均値は 1.501 である。重鉱物としては緑色普通角閃石を主体とし斜方輝石を含む。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) は 1.699~1.708 である。普通角閃石の屈折率 ( $n_2$ ) は 1.672~1.684 である。

**Yum9:** 火山ガラスは無色 Pul タイプを主体とし低発泡のものを含む。ガラスの屈折率 (nd) は 1.499~1.503 で平均値は 1.501 である。重鉱物としては緑色普通角閃石を主体とし酸化角閃石、斜方輝石および単斜輝石を含む。微量の黒雲母を含む。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) は 1.699~1.706 であり、普通角閃石の屈折率 ( $n_2$ ) は 1.670~1.685 である。

**K-Tz:** 火山ガラスは無色 Pul~Bw タイプを主体とする。火山ガラスの屈折率 (nd) は 1.497~1.500 である。高温型石英を多量に含む。

**Aso-4:** 火山ガラスは無色 Bw~Pul タイプを主体とし淡褐色のものも含む。ガラスの屈折率 (nd) のレンジは 1.507~1.515 で 1.507~1.511 にモードがみられる。重鉱物としては斜方輝石を主体とし緑褐色普通角閃石を多く含む。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) は 1.698~1.702 である。普通角閃石の屈折率 ( $n_2$ ) のレンジは 1.672~1.694 で 1.685~1.690 にモードがみられる。

**Kj-P1:** 火山ガラスは Pul~OTH タイプを主体とするが両タイプの中間的形態のものも多い。その屈折率 (nd) のレンジは 1.495~1.501 で 1.497~1.500 にモードがみられる。重鉱物としては緑色普通角閃石を主体とし斜方輝石および黒雲母を含む。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) は 1.704~1.708 である。普通角閃石の屈折率 ( $n_2$ ) は 1.670~1.679 で下部は範囲が広く上部は 1.671~1.674 にまとまる。

**AT:** 火山ガラスは無色 Bw タイプを主体とする。火山ガラスの屈折率 (nd) のレンジは 1.495~1.501 で 1.497~1.500 にモードがみられる。重鉱物としては緑色普通角閃石および斜方輝石を主体とするが、本質のものがどれほど含まれるかは不明である。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) は 1.729~1.738 と特徴的に高い。

**K-Ah:** 火山ガラスは無色 Bw タイプを主体とする。その屈折率 (nd) は 1.510~1.514 である。重鉱物としては斜方輝石および単斜輝石を主体とする。斜方輝石の屈折

率 ( $\gamma$ ) は 1.708~1.713 である。

### 3. 議論

#### 3-1 コムタテフラと塚原降下軽石の対比

2章において由布岳火山の西南西コムタ高原 (Fig. 1 の Y point) における Aso-3 より上位のコムタテフラの層序および岩石記載学的特徴を明らかにしてきた (Fig. 2)。ここでは、由布岳北麓の塚原 (Fig.1 の T point) に分布する層位不明の塚原降下軽石 TP-3, TP-2, TP-1 (小林, 1984; Fig. 3) を、野外における層相の特徴および、火山ガラスや、斜方輝石、普通角閃石などの斑晶鉱物の屈折率などの岩石記載の特徴 (Fig. 3) に基づいて、コムタテフラと対比することを試みる。

Y point における Aso-3 より上位のテフラと塚原降下軽石 (TP-3, TP-2 および TP-1) の班晶の特徴、火山ガラス、斜方輝石、普通角閃石の屈折率とを比較し Fig. 4 に示す。

由布岳の北麓塚原 (Fig. 1 の T point) には、Fig. 3 に示すように、3枚の降下軽石と1枚の降下火山灰が識別できる。降下軽石は下位より塚原降下軽石 3: TP-3, 塚原降下軽石 2: TP-2 および塚原降下軽石 1: TP-1 と命名されている (小林, 1984)。

最下位の TP-3 は厚さ 2~5 cm の橙色細粒砂~粗粒砂サイズ火山灰からなる降下火山灰層である。TP-3 は厚さ 35 cm の褐色ローム層に覆われる。このローム層内には厚さ 5 cm の淡いあずき色の粗粒砂サイズ火山灰がレンズ状に挟まれる。このローム層を覆う TP-2 は厚さ 10 cm で粒径が 2~3 mm の橙色軽石からなる降下軽石層である。TP-2 は、厚さ 10 cm の褐色ローム層を介して TP-1 に覆われる。TP-1 は中部に挟まれる紫色のややローム質な部分を境に上部の TP-1U と下部の TP-1L に区分できる。TP-1L は、厚さ 22 cm で粒径が 0.5~35 mm の黄白色火山灰や軽石からなる降下テフラであり、最下部は橙色を帯びる。TP-1U は厚さ 10 cm 程度で径 2~5 mm の黄白色軽石からなる降下軽石層であり、厚さ 2~3 cm の 4 フォールユニットが識別される。TP-1U の最下部のフォールユニットは紫色の細粒砂サイズ火山灰からなる降下火山灰であり、最下部には最大 20 mm の軽石が含まれる。TP-1 は起源不明の岩屑流堆積物 (小林, 1984) に直接覆われている。

#### TP-3

TP-3 は Pul~Bw タイプの火山ガラスを主体とする。その屈折率 (nd) のレンジは 1.503~1.513 で 1.503~1.507 にモードがみられる。重鉱物としては斜方輝石および単斜輝石を主体とし緑色普通角閃石をわずかに含む。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) は 1.699~1.702 であり、普通

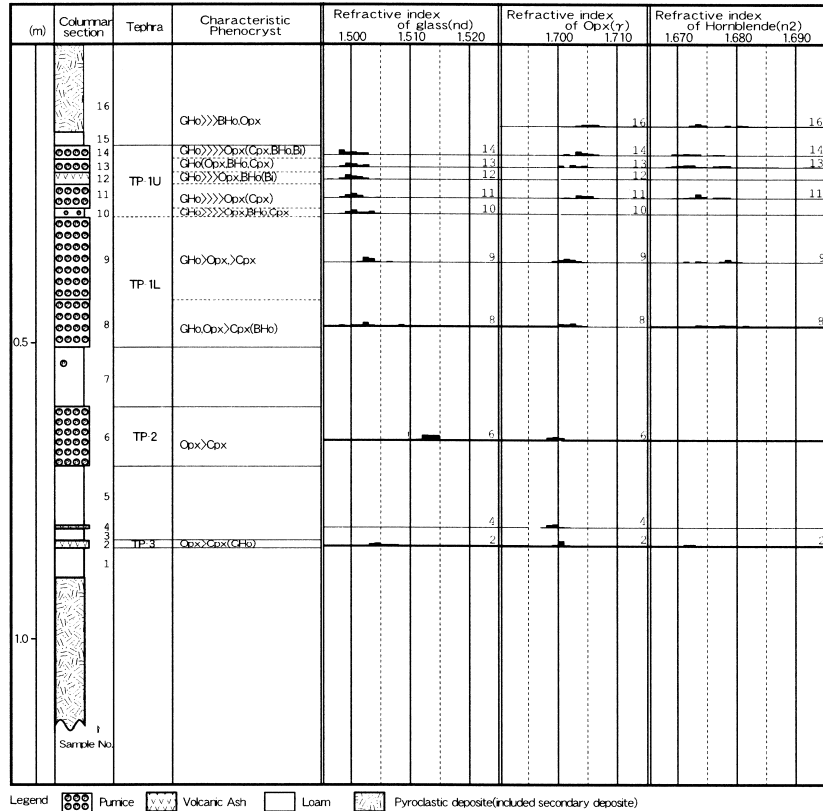


Fig. 3. Stratigraphic section of the tephra after TP-3 at T point, and histogram showing the mineral composition and refractive index of volcanic glass, orthopyroxene and hornblende included volcanic ash layers. Opx: Orthopyroxene; Cpx: Clinopyroxene; GHo: Green hornblende; BHo: Brown hornblende; Bi: Biotite; BaHo: Oxyhornblende.

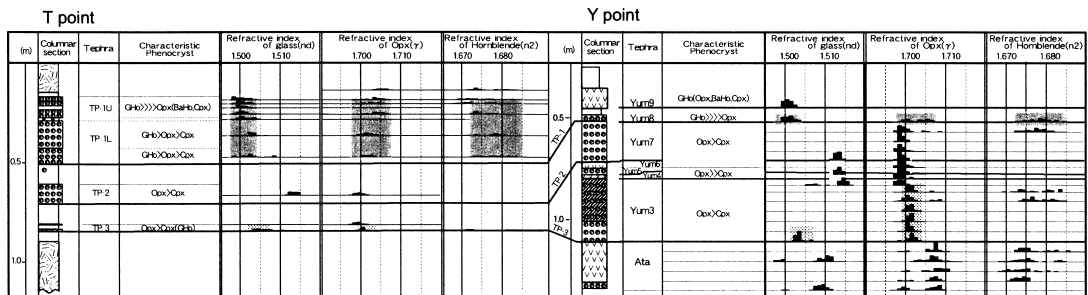


Fig. 4. Petrographic correlation between T and Y points. Symbols as Fig. 3.

角閃石の屈折率 ( $n_2$ ) は 1.670~1.689 である。

Fig. 4 から明らかなように Yum3 と TP-3 はともに重鉱物として斜方輝石および単斜輝石を主体とする。火山ガラスの屈折率 (nd) は、Yum3 が 1.502~1.506 (モード 1.502~1.504), TP-3 が 1.503~1.513 (モード 1.503~1.507) で、両者はほぼ一致する。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) も、Yum3 が 1.698~1.704 (モード 1.699~1.702), TP-3 が 1.699~1.702 で両者はよく一致する。

**TP-2**

TP-2 は Pul~Bw タイプの火山ガラスを主体とする。火山ガラスの屈折率 (nd) は 1.511~1.515 である。重鉱物としては斜方輝石を主体とするが単斜輝石も多く含む。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) は 1.698~1.702 である。

Yum7 と TP-2 はともに重鉱物として斜方輝石を主体とし単斜輝石を多く含む。火山ガラスの屈折率 (nd) は、Yum7 が 1.511~1.514 (平均値は 1.513), TP-2 が 1.511



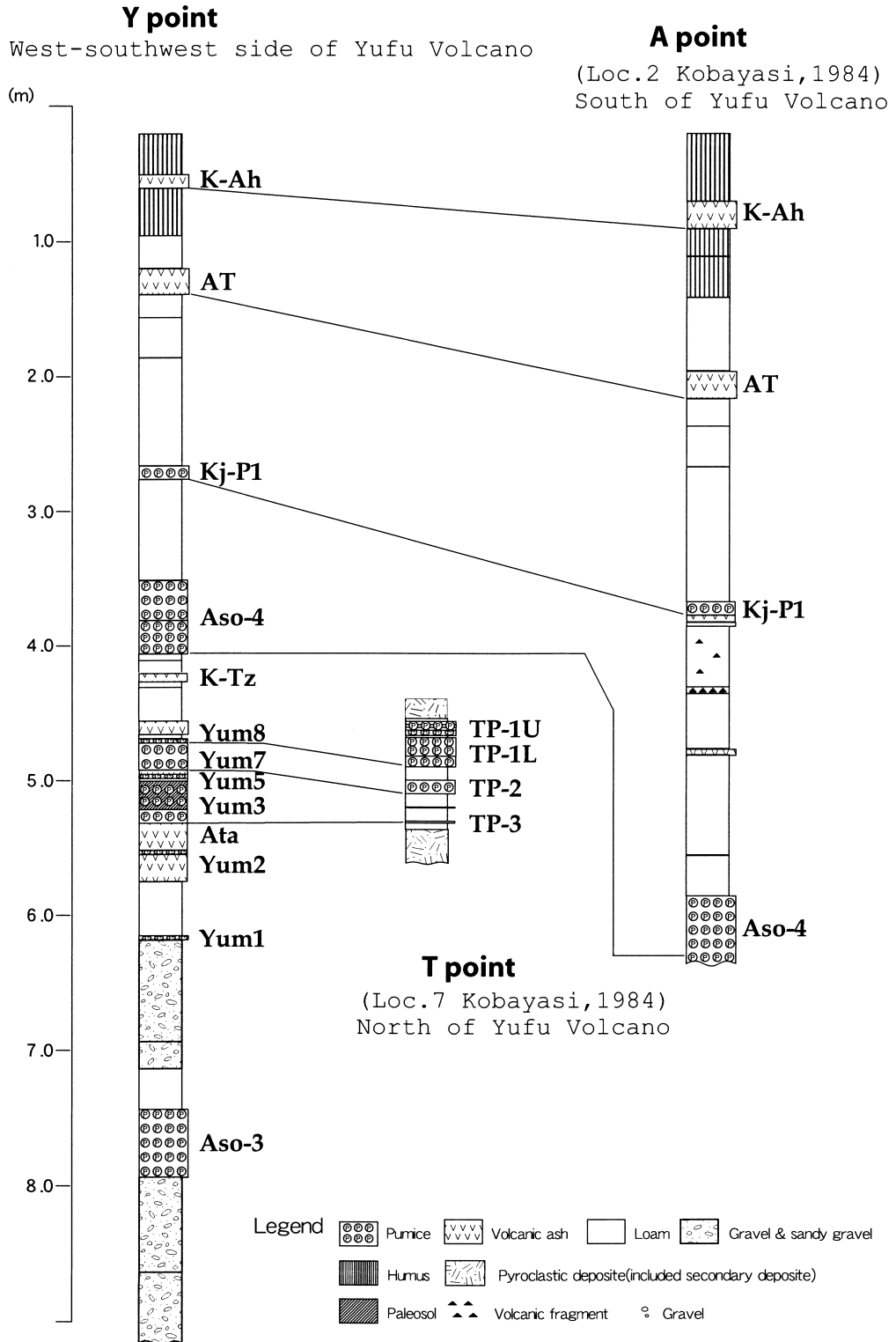


Fig. 5. Correlation of tephras around Yufudake Volcano.

～1.515 で、両者は一致する。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) も、Yum7 が 1.698～1.702 (モード 1.698～1.701)、TP-2 が 1.698～1.702 であり、両者はよく一致する。

#### TP-1

TP-1L の火山ガラスは無色 OTH タイプを主体とする。この OTH タイプは低発泡の Pul, Pus タイプの発泡跡を含む。火山ガラスの屈折率 (nd) のレンジは 1.498～1.509 で 1.500～1.504 にモードがみられる。重鉱物としては緑色普通角閃石および斜方輝石を主体とし、単斜輝石を含む。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) は 1.699～1.705 であり、普通角閃石の屈折率 ( $n_2$ ) は 1.671～1.681 である。TP-1U の火山ガラスは Pul から低発泡 Pul タイプを主体とする。火山ガラスの屈折率 (nd) のレンジは 1.498～1.505 で 1.498～1.503 にモードがみられる。重鉱物としては緑色普通角閃石を主体とし少量の斜方輝石、酸化角閃石を含む。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) のレンジは 1.700～1.707 で 1.702～1.706 にモードがみられる。普通角閃石の屈折率 ( $n_2$ ) は 1.669～1.679 である。

Yum8 と TP-1 はともに重鉱物として緑色普通角閃石を主体とし、斜方輝石を含む。火山ガラスの屈折率 (nd) は、Yum8 が 1.499～1.504、TP-1 が 1.498～1.509 (モード 1.500～1.504) と、両者は一致する。斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) も、Yum8 が 1.699～1.707、TP-1 が 1.699～1.705 と、両者は一致する。普通角閃石の屈折率 ( $n_2$ ) については、Yum8 が 1.672～1.684、TP-1 が 1.669～1.679 で両者はほぼ一致している。

以上、重鉱物組成、火山ガラス、斜方輝石や普通角閃石などの屈折率から、TP-3 は Yum3 に、TP-2 は Yum7 に、TP-1 は Yum8 にそれぞれ対比される。

#### 3-2 ユムタテフラの噴出年代

Yum3, Yum7, Yum8 は Ata と K-Tz に挟まれた層準にみられる (Fig. 5)。Ata および K-Tz の噴出年代は 110～95 ka および 95～90 ka と考えられている (Machida, 1999)。したがって、塚原降下軽石の噴出年代は 110～90 ka の間、約 100 ka と推定される。

#### 3-3 ユムタテフラ中の Yum3・Yum7・Yum8 の給源火山推定

Yum8 と Yum7 はユムタ高原および由布岳の北麓塚原とともに粒径が 2 mm 以上の軽石を主体とする。小林 (1984) は TP-1 を含め塚原降下軽石全体の岩質が類似し、層序が近接していることから TP-1, TP-2, TP-3 は同一火山から短期間に噴出したと考え、TP-1 のみが粒径 35 mm と大きく、他が細かい理由について降下軽石の分布主軸からはずれたか、火砕流噴火にともなうガラス質

降下火山灰であると考えた。しかし、本研究により Yum3, Yum7 および Yum8 はそれぞれ明らかに岩質が異なることがわかった。Yum3 や Yum7 は、斜方輝石および単斜輝石を主体とする点で、阿蘇火山起源の降下火砕物、阿蘇 ABCD (Aso-ABCD) テフラ (小野・他, 1997; 町田・新井, 1992) と類似している。これら Aso-ABCD の斜方輝石の屈折率 ( $\gamma$ ) は 1.699～1.701 (町田・新井, 1992) で、Yum3, Yum7 のそれ (1.699～1.702) と一致する。Yum3 に対比される TP-3 と Yum7 に対比される TP-2 の間には土壌が発達するので、Yum3 と Yum7 の間には時間間隙が存在すると推定される。一方、Aso-ABCD の各ユニット間には時間間隙が存在しないので Aso-ABCD は Yum3 から Yum7 のいずれかのユムタテフラに対比されると考えられる。また、Aso-ABCD および Ata の下位にあり、Aso-3 の上位にある九重火山起源の下坂田火砕流は緑色普通角閃石、斜方輝石を主体とし (小野・他, 1977)、その普通角閃石の屈折率は 1.669～1.675 (町田・新井, 1992) で、TP-1 の 1.669～1.679 と一致する。

以上から、Yum3～Yum7 のいずれかのユムタテフラは阿蘇火山起源の降下軽石 Aso-ABCD である可能性が非常に高い。また、Yum8 は九重火山起源の下坂田火砕流と類似、あるいはそれに関連したテフラである可能性が高い。

#### 4. ま と め

(1) 由布岳の西ユムタ高原には、Aso-3 より上位に下位から Yum1, Yum2, Ata, Yum3, Yum4, Yum5, Yum6, Yum7, Yum8, Yum9, K-Tz, Aso-4, Kj-P1, AT, K-Ah の各テフラが分布する。

(2) 重鉱物組成、火山ガラス、斜方輝石および普通角閃石の屈折率から、ユムタ高原の K-Tz と Ata の間に位置する Yum3, 7, 8 は小林 (1984) の塚原降下軽石 TP-3, TP-2, TP-1 にそれぞれ対比でき、その噴出年代は 100 ka と推定される。

(3) Yum3 から Yum7 のいずれかのユムタテフラは阿蘇火山起源の降下軽石 Aso-ABCD に対比でき、Yum8 は九重火山起源の下坂田火砕流に関係したテフラと考えられる。

#### 謝 辞

本論のとりまとめには、岩手大学工学部齋藤徳美教授にご指導をいただいた。図表の作成には(有)古澤地質調査事務所の古澤秀子氏にご助力をいただいた。同社の永井康子氏には屈折率測定にご助力をいただいた。以上の方々に心からお礼申し上げます。

## 引用文献

- 荒牧重雄・宇井忠英 (1966) 阿多火砕流と阿多カルデラ. 地質雑, 72, 337-349.
- 藤沢康弘・上野宏共・小林哲夫 (2001) 火砕流堆積物の堆積温度からみた由布火山の 2.2 ka 噴火. 火山, 46, 187-203.
- 藤沢康弘・奥野 充・中村俊夫・小林哲夫 (2002) 九州北東部, 鶴見火山の最近 3 万年間の噴火活動. 地質雑, 108, 48-58.
- 古澤 明 (1995) 火山ガラスの屈折率測定・形態分類とその統計的な解析. 地質雑, 101, 123-133.
- 古澤 明・梅田浩司 (2000) 別府湾コアにおける最近 7000 年間の火山灰層序—ピストンコア中の火山灰と阿蘇, 九重火山のテフラとの対比—. 地質雑, 106, 31-50.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎 (1988) 別府地域の地質. 地域地質研究報告書 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 131p.
- 小林哲夫 (1984) 由布・鶴見火山の地質と最新の噴火活動. 地質学論集, no. 24, 93-108.
- 町田 洋 (1980) 岩戸遺跡のテフラ (火山灰). 坂田邦洋 (編)「大分県清川村岩戸における後期旧石器文化の研究」, 広雅堂書店, 443-454.
- Machida, H. (1999) Quaternary widespread tephra catalog in and around Japan : Recent progress. *The Quaternary Research*, 38, 194-201.
- 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 (1992) 火山灰アトラス [日本列島とその周辺], 東大出版会, 276p.
- Nagaoka, S. (1988) The late Quaternary tephra layers from the caldera volcanoes in and around Kagoshima Bay, southern Kyushu, Japan. *Geog. Rept. Tokyo Metropolitan Univ.*, 23, 49-122.
- 小野晃司・松本征夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和 (1977) 5 万分の 1 地質図「竹田」および同説明書. 地質調査所, 145p.
- 梅田浩司・草薙 恵・古澤 明・宇井忠英 (1996) 別府湾コアからみた由布・鶴見火山群における完新世の噴火活動. 火山, 41, 61-71.

(編集担当 井村隆介)