

八ヶ岳火山を起源とする新期テフラ群の層序と噴火史

大石雅之*・鈴木毅彦*

(2003年2月13日受付, 2003年11月17日受理)

Tephrostratigraphy and Eruptive History of the Younger Tephra Beds
from the Yatsugatake Volcano, Central Japan

Masayuki OISHI* and Takehiko SUZUKI*

The north-trending Yatsugatake Volcanic Chain (YVC) spans approximately 20 km on the volcanic front in central Japan. At the eastern foot of the YVC, five pyroclastic fall deposits derived from the YVC in the younger period from about 0.2 Ma to the present can be identified. To clarify the eruptive history of the YVC, this study describes these pyroclastic fall deposits and infers their ages, the intervals of pyroclastic eruptions, volumes, eruption rate in the younger period, and the eruption sources of the tephra beds.

The Yatsugatake Younger Tephra Beds consist of five tephra beds as follows: Yt-Kw, Yt-Pm1, Yt-Pm2, Yt-Pm3 and Yt-Pm4, in ascending order. The tephra beds consist of pumiceous lapilli deposited during Plinian eruptions and, except for Yt-Pm4, are inter-layered with fine gray ash layers, probably produced by eruption with more strong explosive power (Vulcanian eruption or phreatomagmatic eruption). Based on the stratigraphic relation of these deposits to well-dated tephra layers from distant sources, and the thicknesses of intercalated loess deposits, it is estimated that the eruptions that created Yt-Kw, Yt-Pm1, Yt-Pm2, Yt-Pm3 and Yt-Pm4 occurred at approximately 171 ka, 86–66 ka, 66 ka, 56 ka and 29 ka, respectively. Therefore, eruptions produced pyroclastic fall deposits that occurred with an interval of 85–105 ky between the Yt-Kw and Yt-Pm1 eruptions, and intervals of 10–27 ky, in general, thereafter. Eruption volumes are estimated as approximately 0.6 km³, 0.2 km³, 0.2 km³ and 0.2 km³ (DRE) for Yt-Kw, Yt-Pm1, Yt-Pm3 and Yt-Pm4, respectively. Calculations reveal that the YVC has discharged about 0.007 km³ DRE/ky of pyroclastic fall products from ca. 171 ka to the present. On the other hand, lava and pyroclastic flow discharges amount to about 0.3 km³ DRE/ky.

Thickness variations indicate that Yt-Pm4 is derived from Yokodake Volcano, in the north of the YVC. Since several lava flows cover Yt-Pm4, the Yokodake Volcano must have had several magmatic eruptions after 29 ka to the present. Yt-Kw, Yt-Pm1, Yt-Pm2 and Yt-Pm3 derived from the center of the YVC. The stratigraphic relationships of these tephra beds to the deposits distributed on the summit area are unknown, but since two lava flows distributed around Tengudake (Tengudake Middle Lava Flow and Tengudake Upper Lava Flow) are dated to the almost the same time as Yt-Pm2 and Yt-Pm3, these tephra beds and lava flows may be correlated.

Key words: Yatsugatake Volcanic Chain, Younger Tephra Beds, tephrochronology, Late Quaternary, eruption history

1. はじめに

中部日本の火山フロント上に位置する八ヶ岳は、南北約 21 km にわたって多数の成層火山および溶岩ドームが配列する火山列である (Fig. 1)。八ヶ岳火山は噴火様

式や岩質の違いから、中央部の夏沢峠を境に北八ヶ岳と南八ヶ岳に分けられ、また侵食期を挟んで古八ヶ岳期と新八ヶ岳期の 2 つのステージに区分されている (河内, 1974–75; 1977)。古八ヶ岳期は約 1.3 Ma に活動が始まり (Kaneoka and Kawachi, 1983), 南北に配列した複数の成層火山を形成した (河内, 1988)。その後、大規模な山体崩壊と侵食期を経て新八ヶ岳期の活動が約 20 万年前に始まり、成層火山や溶岩ドームからなる東西 2 列の火山列を形成した (河内, 1988)。また、新八ヶ岳期に北八ヶ岳西列で活動した横岳 (北横岳) は、2003 年に気象庁により活火山に指定されている。

* 〒192-0397 八王子市南大沢 1-1

東京都立大学大学院理学研究科

Department of Geography, Graduate School of Science, Tokyo Metropolitan University, 1-1, Minamiosawa, Hachioji, Tokyo 192-0397, Japan.

Corresponding author: Masayuki OISHI

e-mail: ooisim@comp.metro-u.ac.jp

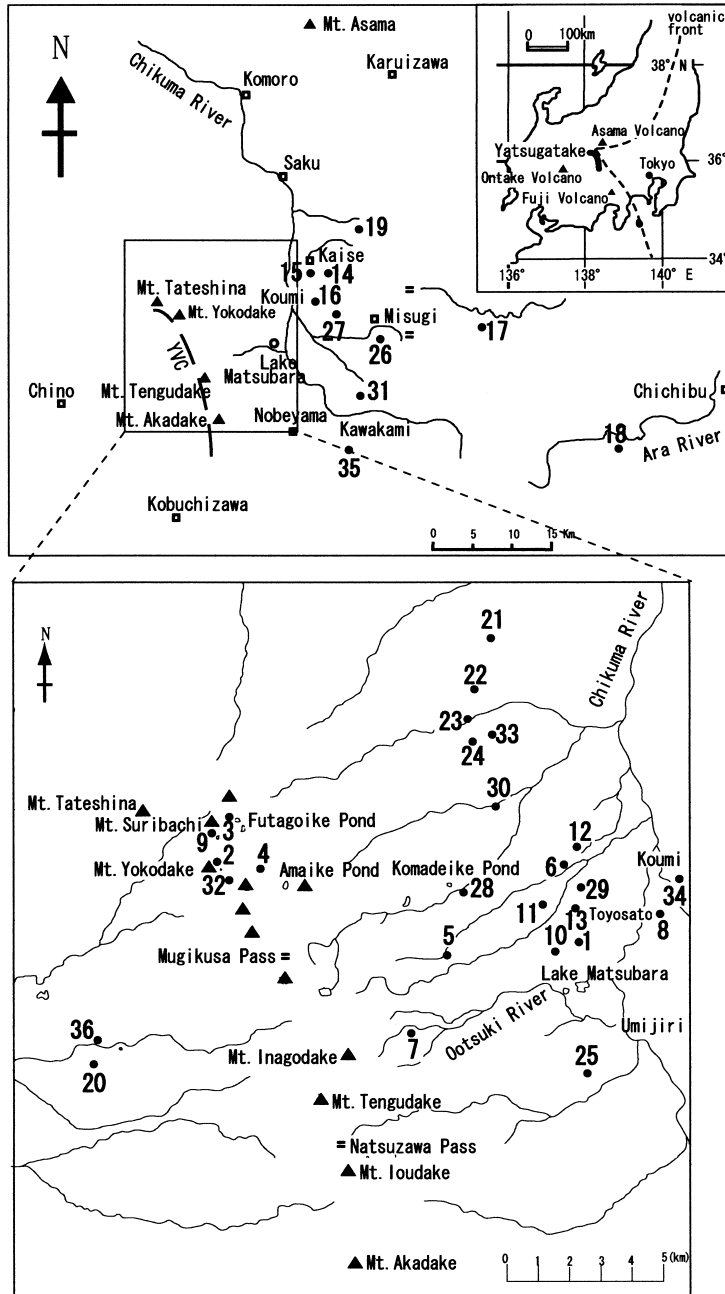


Fig. 1. Location maps around the Yatsugatake Volcanic Chain (YVC). Numerals show the locations of columnar sections in Fig. 2. Solid triangles on the upper map represent Quaternary volcanoes; on the detailed (lower) map, they represent eruption centers or lava domes in the YVC.

これまでの研究により、新八ヶ岳期には複数枚のテフラが生産されたことが明らかにされている。中谷 (1970) は、降下軽石を主体とする 5 枚のテフラを認定し、それらを下位から順に、八ヶ岳川上軽石 (KwP)・八ヶ岳新时期第 1 軽石 (YPm-I)・八ヶ岳新时期第 2 軽石 (YPm-II)・

八ヶ岳新时期第 3 軽石 (YPm-III)・八ヶ岳新时期第 4 軽石 (YPm-IV) と命名した。Kawachi *et al.* (1978) や大場・河内 (1997) は、YPm-IV の分布や給源について報告している。また八ヶ岳団体研究グループ (1988) は、八ヶ岳山麓の後期更新統の佐久ローム層から、中谷 (1970) の

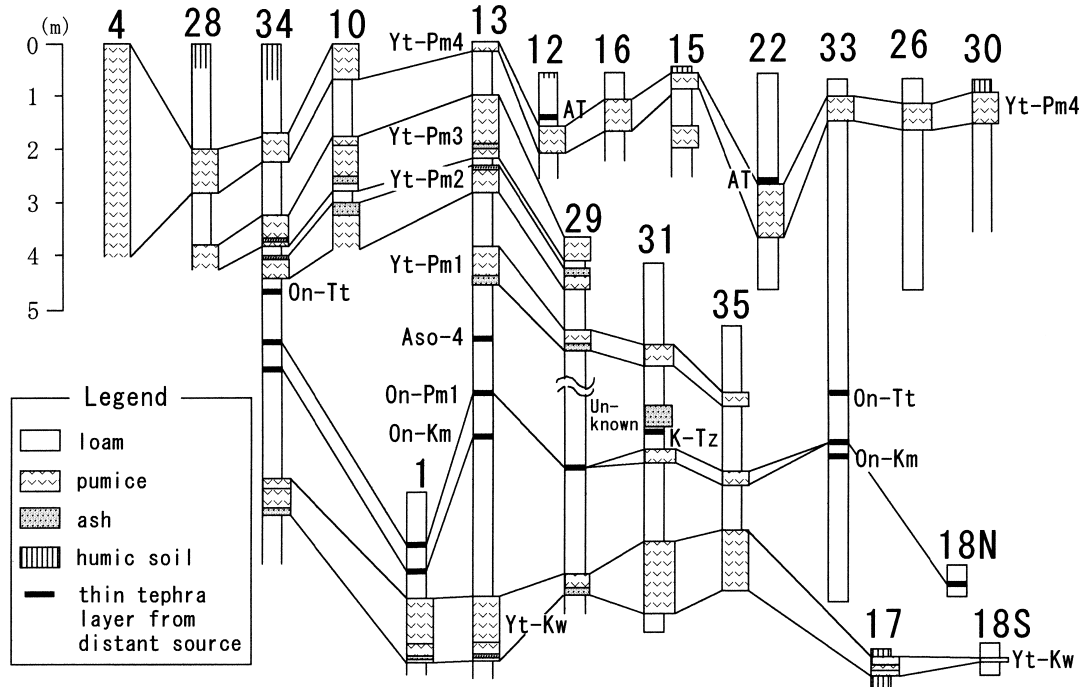


Fig. 2. Columnar sections for the Yatsugatake Younger Tephra Beds. Section locations are shown in Fig. 1. Sites 18N and 18S are about 100 m apart.

KwP と YPm-IV に対比されるテフラ（順にオレンジパミス、デカパミ）を報告している。町田・新井（1992, p. 114-115）はハケ岳起源の後期更新世の2テフラとして、下位から、ハケ岳川上テフラ（Yt-Kw）およびハケ岳4テフラ（Yt-Pm 4）（それぞれ、中谷, 1970の KwP, YPm-IV に相当）を記載して、岩石記載的特徴と簡単な分布図を示している。また、ハケ岳起源のテフラの間に挟在する外来テフラについては、早津（1988）が YPm-IV の直上から始良 Tn テフラ（AT; 町田・新井, 1992, p. 60-66）を、中谷（1970）が御岳第1テフラ（On-Pm1; 町田・新井, 1992, p.82-83）直下に立山 D テフラ（DPm; 中谷, 1972; Tt-D, 町田・新井, 1992）を認定している。竹本・他（1987）は On-Pm1 と Yt-Kw の間に、上位から Tt-D および御岳上垂テフラ（KmP もしくは Pm-I', On-Km; 町田・新井, 1992, p.114-115）を、竹本（1991）は Yt-Pm1 の上位で Yt-Pm2 の直下に大山倉吉テフラ（DKP; 町田・新井, 1992, p.79-80）を認定している。このように、新ハケ岳期のテフラと外来テフラの層序はほぼ明らかにされているが、野外で容易に見発できる Yt-Kw と Yt-Pm4 以外の新ハケ岳期のテフラについては、分布や体積、年代などの定量的データが少ない。このため、火山体を構成している溶岩や溶結凝灰岩などは、河内（1974-75; 1977）やハケ岳団体研究グループ

（1988）によって詳細に記載されている一方で、爆発噴火史の解明が十分に行われていない。したがって、ハケ岳火山の活動史を総合的に明らかにするために、テフラの研究を進展させることが重要な課題となっている。

本論文では、おもに中期更新世末期から後期更新世にかけてのハケ岳火山の噴火履歴を、テフラを用いて明らかにすることを目的とし、まず現地調査により新ハケ岳期のテフラと外来テフラを記載した。そしてこの結果から、テフラ噴火の年代と噴火間隔を推定し、また新ハケ岳期のテフラの噴出量と噴出率を求めた。また各テフラを生産した噴火様式および給源について考察した。

2. ハケ岳新期テフラ群

2-1 テフラの認定

本研究の模式露頭（Loc. 13; Fig. 1）とした長野県南佐久郡小海町の豊里台地は、ハケ岳火山列の中部に位置する天狗岳火山の北東約 11 km に位置し、新ハケ岳初期の稲子岳火砕流堆積物（河内, 1974-75）が作る台地である。ここでは、粒径と層厚からみてハケ岳火山起源と思われる、プリニー式噴火による降下軽石を主体とするテフラが5枚認められる。この5枚のテフラは、下位から中谷（1970）の KwP・YPm-I・YPm-II・YPm-III・YPm-IV に対応する。本研究では、町田・新井（1992）が、テフラ

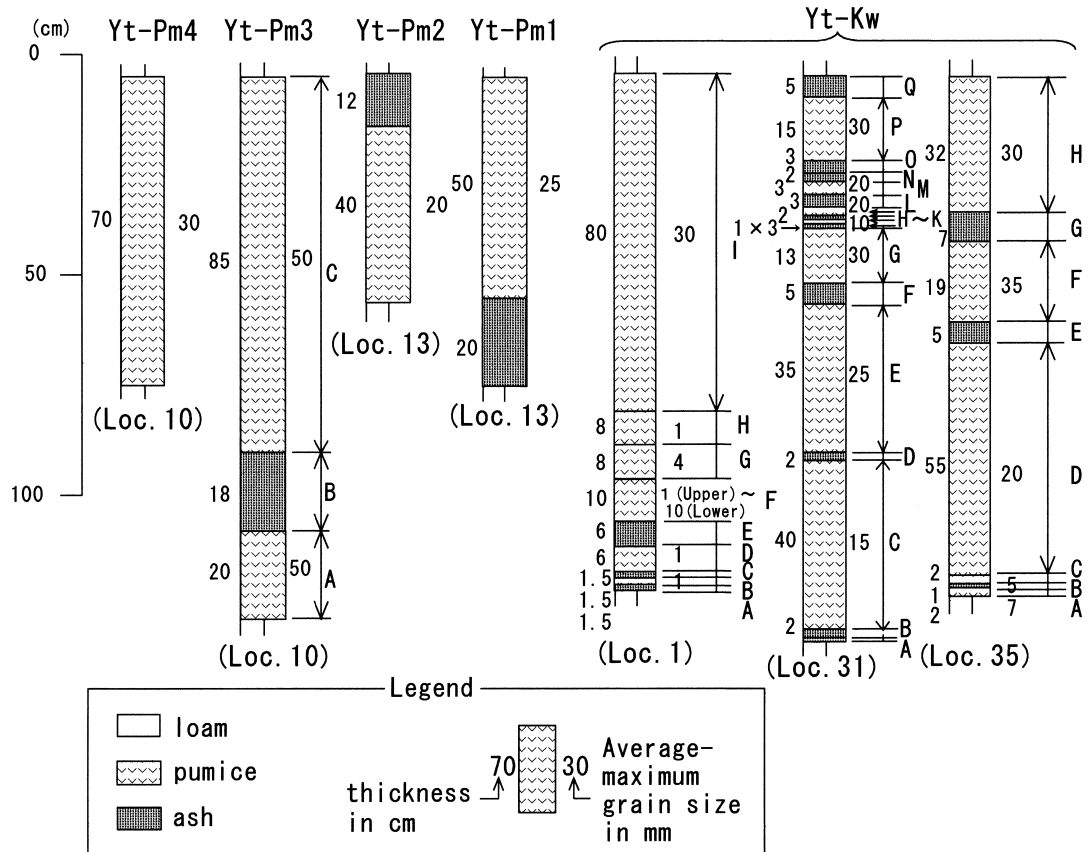


Fig. 3. Columnar sections illustrating the composition of units within the Yatsugatake Younger Tephra Beds. For convenience, letters are used to designate each tephra unit in the text.

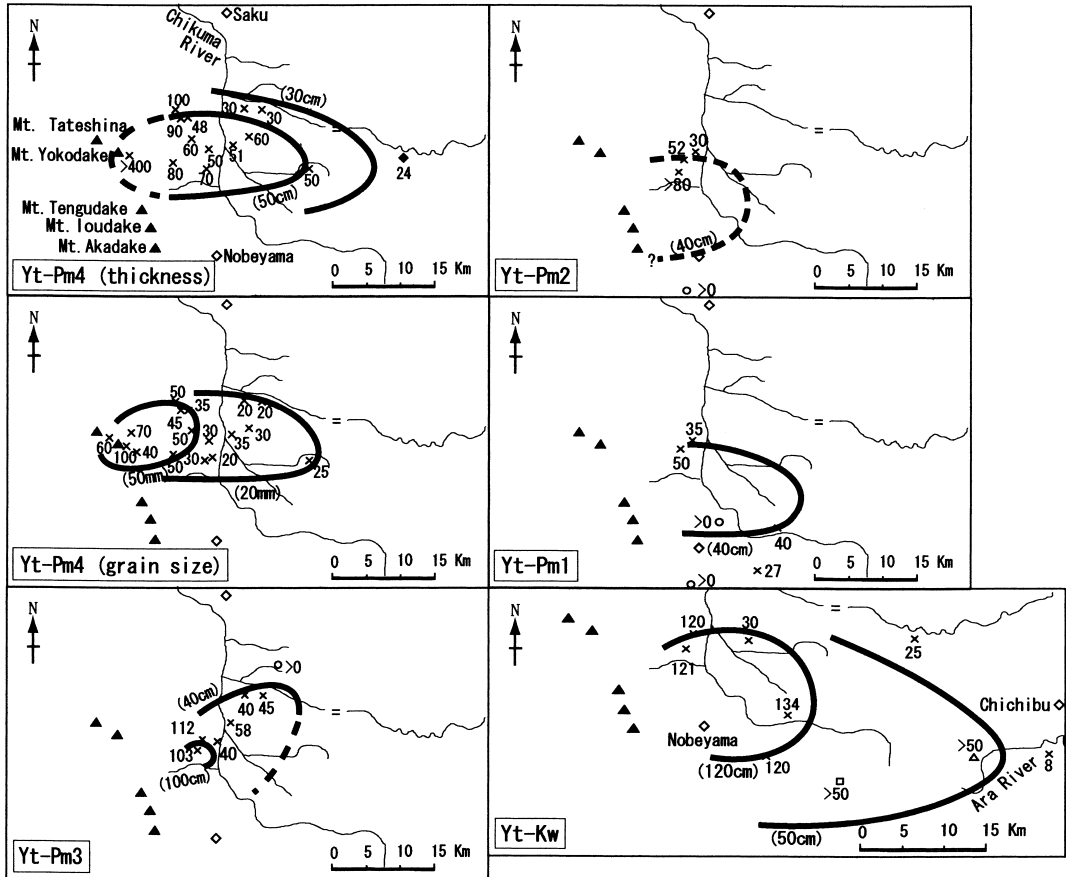
名の先頭に給源の名称を加えることを提唱していることを踏まえて、それぞれを八ヶ岳川上テフラ (Yt-Kw)、八ヶ岳新期第1テフラ (Yt-Pm1)、八ヶ岳新期第2テフラ (Yt-Pm2)、八ヶ岳新期第3テフラ (Yt-Pm3)、八ヶ岳新期第4テフラ (Yt-Pm4) と呼称する (括弧内は略称)。また、本稿ではこの5枚のテフラを一括して、八ヶ岳新期テフラ群と新称する。テフラ層は、火山活動の休止期を示す風化火山灰土によって分けられたものを、1噴火イベントによる1枚のテフラとして扱った。

2-2 八ヶ岳新期テフラ群の産状と分布

八ヶ岳川上テフラ (Yt-Kw) 長野県南佐久郡川上村大深山の露頭 (Fig. 1 の Loc. 31) では、全層厚 134 cm で橙色を呈する八ヶ岳川上テフラ (Yt-Kw) が認められる (Fig. 2)。その上位 150 cm には、On-Pm1 が認められ、またその上位 40 cm には、鬼界葛原テフラ (K-Tz; 町田・新井, 1992, p.70-72) に対比される明肌色の細粒ガラス質火山灰層が認められる (2-3 参照)。その直上には層厚 35 cm の灰色火山灰層があるが、現在のところ何のテ

ラに対比されるかは不明である。この灰色火山灰層の上位 80 cm には、青灰色と橙色を呈する軽石が層厚 40 cm にわたって点在する層がある。この軽石の最大平均粒径は 10 mm である。その肉眼的特徴と層位から、後述の八ヶ岳新期第1テフラ (Yt-Pm1) と判断される。

本露頭における Yt-Kw は、粒度などの層相をもとに、17 ユニット (下位から順にユニット A~Q) に区分することができる (Fig. 3)。最下位のユニット A はシルトサイズの細粒な白色火山灰である。本ユニットは層厚 1 cm と薄いため保存が悪く、本露頭付近以外では認めることができない。その上位には、7枚の橙色または黄褐色の降下軽石層 (下位からユニット C・E・G・I・K・M・P) と、9枚の灰色または黒色火山灰層 (下位からユニット B・D・F・H・J・L・N・O・Q) がのる。降下軽石層中には、灰~黒色の、最大平均粒径 25 mm の岩片が豊富に含まれている。Yt-Kw の噴火フェーズは、Loc. 31 のユニット区分によると少なくとも 17 回と見られるが、Loc. 1 では 9 回、Loc. 35 でみると 8 回あったと見られる (Fig.



Legend about observation point

×... this study ○... Nakaya(1970) ◆... Umino et al.(1992) □... Shimizu(1996) ▲... Machida(1996)

Fig. 4. Isopach maps of the Yatsugatake Younger Tephra Beds.

3). しかしそれらユニットの対比は、観察地点によって枚数や層相が異なるため難しい。これはユニットによって、分布軸が異なるためと考えている。

本テフラに含まれる重鉱物は、降下軽石・細粒火山灰とともに、斜方輝石、単斜輝石、チタン磁鉄鉱、およびごくわずかなカンラン石である。

等層厚線図 (Fig. 4) から見た Yt-Kw の分布は、八ヶ岳火山列の麦草峠付近から南八ヶ岳北部を給源とし、東南東寄りの軸をもつ。

給源からより遠方に分布する Yt-Kw としては、埼玉県南西部大滝村の三峰観光道路脇 (Loc. 18) で、風化火山灰土中に、最大層厚 8 cm のレンズ状で、明黄色を呈する Yt-Kw が認められる。全体的に風化しており、粒状をなさないため粒径は不明である。その他、清水 (1996) が長野県川上村高登谷沢で、また町田 (1996) が埼玉県大滝村豆焼橋とともに、層厚 50 cm 以上の Yt-Kw を記載

している。このように埼玉県南西部でも 50 cm 以上の層厚をもつことから、Yt-Kw は、遠方では関東平野にまで達している可能性が高い。

八ヶ岳新期第 1 テフラ (Yt-Pm1) Yt-Pm1 は、模式露頭 (Fig. 1 の Loc. 13) で On-Pm1 の上位 200 cm に、層厚 70 cm で産出するテフラである (Fig. 2)。上位 50 cm はやや風化した橙～白色の降下軽石からなり、発泡のやや悪い青灰色の軽石も、橙～白色軽石とほぼ同量含まれる。軽石の最大平均粒径は 25 mm である。下位 20 cm は細粒な灰色火山灰からなる。

本テフラの重鉱物組み合わせは斜方輝石、単斜輝石およびチタン磁鉄鉱で、わずかに普通角閃石を含む。また Loc. 31 で採取した Yt-Pm1 のサンプル中には繊維型の火山ガラスが認められ、その屈折率は 1.501-1.504 であった。

本テフラの分布から見た給源火口の位置は、八ヶ岳火

山列の麦草峠から硫黄岳付近であり、分布軸は南南東に向いている。中谷(1970)は、本研究の Loc. 31 から約 6 km 西の南牧村市場や、山梨県大泉村の JR 清里駅南南東約 1.7 km において Yt-Pm1 の存在を記載しているが、本研究では当該地域でこれを確認することはできなかった。

八ヶ岳新期第 2 テフラ (Yt-Pm2) 豊里の模式露頭 (Loc. 13) で、Yt-Pm1 の上位 100 cm に全層厚 52 cm でのる。下部 40 cm は橙色や白色または青灰色の軽石からなり、最大平均粒径は 20 mm で淘汰は良い。Yt-Pm1 と同様、軽石の風化がやや進んでいる。上位 12 cm は細粒の灰色火山灰からなる。千曲川右岸の小海町 (Loc. 34) では、On-Pm1 の 124 cm 上位に Yt-Pm2 が認められる。また、Yt-Pm2 の下位 25 cm、かつ On-Pm1 の上位 90 cm に御岳辰野テフラ (On-Tt; 竹本・他, 1987) が認められた。

本テフラに含まれる重鉱物は、斜方輝石、単斜輝石、チタン磁鉄鉱とわずかに普通角閃石である。

観察地点が少ないために Yt-Pm2 の等層厚線図を描くことはできなかったが、現在までに本テフラが認められた 3 地点による等層厚線図や粒径から推定すると、Yt-Pm1 とほぼ同じ、八ヶ岳火山列中部を給源とする東向きの分布を示すと推定される。なお竹本(1991)による分布図では、北東方向に延びる分布軸が描かれている。

八ヶ岳新期第 3 テフラ (Yt-Pm3) 松原湖北方の Loc. 10 (Fig. 1) において、Yt-Pm2 の上位 25 cm に、全層厚 123 cm からなる Yt-Pm3 が認められる (Fig. 2)。本露頭における Yt-Pm3 は大きく 3 ユニット (下位からユニット A・B・C) に分けることができる。ユニット A は層厚 20 cm で、橙色と青灰色の軽石が混在する層である。最大平均粒径は 50 mm で淘汰はやや良い。ユニット B は粗粒な灰色火山灰からなり、層厚は 18 cm である。またユニット B には少なくとも 11 枚の層理が見られる。ユニット C は 85 cm と最大の層厚をもつ橙色軽石層で、最大平均粒径は 50 mm である。淘汰はやや良く、発泡は良い。最大平均粒径 20 mm の黒曜岩片や、縞状軽石も含まれる。

軽石および灰色火山灰に含まれる重鉱物とはともに、斜方輝石、単斜輝石、チタン磁鉄鉱とわずかに普通角閃石が含まれる。

本テフラの分布軸は、八ヶ岳火山列中部から北東方向に延びている。

八ヶ岳新期第 4 テフラ (Yt-Pm4) 八ヶ岳新期第 4 テフラ (Yt-Pm4) は、八ヶ岳起源のプリニー式噴火によるテフラのうち、最も上位に観察される降下軽石堆積物である。

松原湖北方の Loc. 10 (Fig. 1) では Yt-Pm3 の上位 85 cm に黄褐色の Yt-Pm4 が認められる (Fig. 2)。層厚は 70 cm 以上であるが、上部が人工的に削られており本来の層厚は不明である。最大平均粒径は 30 mm で淘汰は良い。また黒曜岩片と縞状軽石を含む。複数のユニットは認められない。一方、八千穂村の Loc. 30 では層厚 60 cm の Yt-Pm4 が認められる。ここでは、最下部 5 cm が最大平均粒径 8 mm であるのに対してその上位は最大平均粒径 50 mm であり、層内での粒径変化が認められる。このような変化は、Yt-Pm4 の噴火時に噴出率が変化したことに原因があるのかもしれない。

重鉱物は、単斜輝石、斜方輝石、チタン磁鉄鉱とわずかに普通角閃石を含む。また八千穂村駒出池の露頭 (Loc. 28) では繊維型の火山ガラスが含まれており、その屈折率は 1.509–1.515 である。

本テフラの分布軸はほぼ真東に伸び (Fig. 4)、北相木村三寸木 (Loc. 26) で層厚 50 cm、軸からやや北にそれた佐久町海瀬付近 (Loc. 14, 15) で層厚 30 cm である。

本テフラは八ヶ岳火山列最北部の横岳に向かって層厚・最大平均粒径が増加する (Fig. 4) ので、給源は横岳付近と推定される。

2-3 調査地域で認められる外来テフラ

本研究地域では、八ヶ岳新期テフラ群の年代を推定する上で重要ないくつかの外来テフラを認めることができた (Fig. 2, Table 1)。それらは下位から、On-Km, On-Pm1, K-Tz, 阿蘇 4 テフラ (Aso-4; 町田・新井, 1992, p.66–70), On-Tt, AT である。

御岳上垂テフラ (On-Km) 模式露頭の Loc. 13 において、On-Pm1 の下位 80 cm, Yt-Kw の上位 300 cm に、最大層厚 7 cm でレンズ状の白～灰～紫色を呈する細粒火山灰層を見いだした。また Loc. 1 においても、On-Pm1 の下位 50 cm, Yt-Kw の上位 50 cm に黄褐色細粒軽石層として認められるほか、Loc. 30 や Loc. 33 においても On-Pm1 の下位に、白～紫色を呈する細粒火山灰として認められる。

含有する重鉱物は、斜方輝石、黒雲母、角閃石である。Loc. 13 において、屈折率 1.702–1.704 の斜方輝石を含み、On-Pm1 の下位に位置することから、御岳火山起源の On-Km (竹本・他, 1987) と同定できる。

層位について竹本・他(1987)は、Tt-D の直上であるとしているが、年代は不明である。

御岳第 1 テフラ (On-Pm1) 模式露頭 (Loc. 13) において、Yt-Pm1 の下位 200 cm の風化火山灰土中に層厚 4 cm の降下軽石層を見いだした。同じ軽石層は、Loc. 1 では Yt-Kw の上位 100 cm, Loc. 30 では Yt-Kw の上位 150 cm, Yt-Pm1 の下位 158 cm, また Loc. 34 では、

Table 1. Lithological and petrographical characteristics of the Yatsugatake Younger Tephra Beds.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Tephra	Source Volcano	Unit	Loc. Type	Color	Thickness (cm)	Maximum Grain Size (mm)	Sorting	Lithic Fragment	Heavy Mineral Composition	Refractive Index of opx (γ)	Volcanic Glass	Remarks	
AT	Aira Caldera	22	afa								(bw) 1.499-1.502		
Yt-Pm4	Ya	10	pfa	or	70	30	sl.well	common	opx, opx, mt >> ho	1.698-1.704	(f) 1.509-1.515	ob, b.p.	
Yt-Pm3	Ya	C	pfa	or, bg	85	50	sl.well	a few	opx, cpx, mt >> ho	1.696-1.703		ob, b.p.	
		B	afa	gr	18	sand	well	common	opx, cpx, mt >> ho				
		A	pfa	bg	20	50	sl.well	common	opx, cpx, mt >> ho				
Yt-Pm2	Ya	B	afa	gr	12	sand	well	common	opx, cpx, mt >> ho				
		A	pfa	or, bg	40	20	sl.well	abundant	opx, cpx, mt >> ho	1.698-1.704			
On-Tt	Ontake	33	pfa	or	3	1	well	a few	opx > cpx, ho	1.712-1.716			
Yt-Pm1	Ya	B	pfa	bg	50	25	sl.well	abundant	opx, cpx, mt >> ho	1.700-1.705	(f) 1.501-1.504 *		
		A	afa	gr	20	sand	well	common	opx, cpx, mt >> ho				
Aso-4	Aso Caldera	13	afa					a few	ho	ho (ng) : 1.686-1.691			
K-Tz	Kikai Caldera	31	afa	or	3			a few			(bw, f) 1.494-1.500	β-qt	
On-Pm1	Ontake	13	pfa	or	4	2	well	a few	opx, ho, bi				
On-Km	Ontake	13	afa	wh	7	1	well	a few	opx > ho, bi		(f) 1.501-1.503		
Yt-Kw	Ya	I	pfa	or	80	30	sl.well	abundant	opx, cpx, mt >> ol	1.697-1.700		b.p.	
		H	pfa	or	8	1	well	abundant	opx, cpx, mt >> ol				
		G	pfa	or	8	4	well	abundant	opx, cpx, mt >> ol				
		F	pfa	or	10	1-10	sl.well	abundant	opx, cpx, mt >> ol				
		E	afa	gr	6	sand	well	abundant	opx, cpx, mt >> ol				
		D	pfa	or	6	1	well	abundant	opx, cpx, mt >> ol				
		C	afa	gr	1.5	sand	well	abundant	opx, cpx, mt >> ol				
		B	pfa	or	1.5	1	well	abundant	opx, cpx, mt >> ol				
		A	afa	gr	1.5	sand	well	abundant	opx, cpx, mt >> ol				

(2) Ya: Yatsugatake

(4) Each locality is shown in Fig. 1.

(5) afa: ash fall deposit, pfa: pumice fall deposit

(6) bg: blue and gray, gr: gray, or: orange, re: red, wh: white

(9) sl: slightly.

(11) opx: orthopyroxene, cpx: clinopyroxene, ho: hornblende, mt: titanomagnetite, ol: olivine.

(13) bw: bubble wall type, fi: fiber type * at Loc. 31

(14) b.p.: bearing banded pumices in deposit. ob: obsidian, β-qt: β-quartz

Refractive indices were determined by the author with RIMS 2000 (Kyoto Fission Track Co. Ltd).

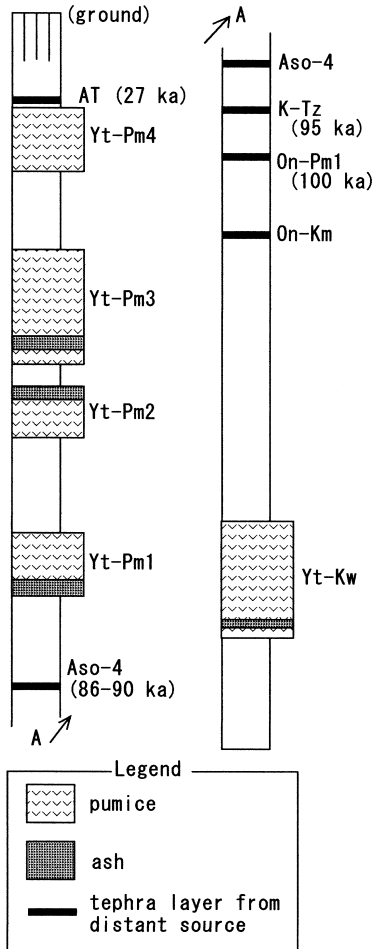


Fig. 5. Standard columnar section of the Yatsugatake Younger Tephra Beds and tephra layers derived from distant source, on the east side of YVC. Tephra ages were determined by Kaizuka *et al.* (2000) for AT, Oba (1991) for Aso-4, Yonekura *et al.* (2001) for K-Tz and On-Pm1.

Yt-Pm2の下位124 cmにも認められる。

これらの降下軽石層は、屈折率1.501-1.503の繊維型火山ガラスおよび少量の黒雲母と角閃石結晶を含むことから、On-Pm1(町田・新井, 1992, p. 82-83)と同定できる。

On-Pm1の年代は、フィッシュントラック(FT)法および南関東における海成段丘との関係から、約100 kaとされている(米倉・他, 2001, p. 124)。

鬼界葛原テフラ(K-Tz) 川上村大深山のLoc. 31において、Yt-Pm1の下位115 cm, On-Pm1の上位40 cmに、最大層厚3 cmでレンズ状の明肌色細粒火山灰を見いだした。

おもにバブルウォール型と繊維型の火山ガラスからなる。屈折率1.497-1.501の火山ガラスと高温型石英結晶を含むことから、K-Tz(町田・新井, 1992, p. 70-72)と同定できる。

K-Tzの噴出年代は、約95 kaである(米倉・他, 2001, p. 124)。

阿蘇4テフラ(Aso-4) 模式露頭のLoc. 13において風化火山灰土を20 cm間隔で連続サンプリングし、Yt-Pm1の下位100 cmから、褐色の角閃石が検出できた。その屈折率は1.686-1.691で、Aso-4に含まれる褐色の角閃石の屈折率(1.685-1.691; 町田・新井, 1992, p. 66-70)と一致する。このことから、Aso-4がこの層準に位置すると判断した。なお本地点においては、土壌化のため火山ガラスは消失していた。

海洋酸素同位体比層序を用いたAso-4の噴出年代は、86~90 kaである(大場, 1991)。

御岳辰野テフラ(On-Tt) 研究対象地域北部のLoc. 33と中央部のLoc. 34において、粒径1 mmできわめて淘汰のよい黄色軽石層を見いだした。この軽石層は、Loc. 33ではYt-Pm4の下位500 cm, On-Pm1の上位83 cmに、層厚3 cmでレンズ状に挟在する。またLoc. 34では、Yt-Pm2の下位25 cm, On-Pm1の上位90 cmに認められる。Yt-Pm1との層序を確認できる露頭は今のところない。

重鉱物は、斜方輝石のほか単斜輝石、角閃石が認められた。屈折率1.712-1.716の斜方輝石を含み、On-Pm1の上位であることから、本テフラをOn-Ttと同定した。

本テフラの噴出年代は、竹本・他(1987)が、DKP(50~55 ka; 米倉・他, 2001, p. 124)の下位でAso-4の上位であるとしていることから、50~90 kaの範囲になると考えられる。

始良Tnテフラ(AT) 八千穂村北方のLoc. 22 (Fig. 1)において、Yt-Pm4の直上の風化火山灰土中に、火山ガラスの密集帯を見いだした。この火山ガラスはバブルウォール型であり、屈折率が1.499-1.502である(Table 1)ことから、ATの火山ガラスと同定できる。また、八千穂村南方のLoc. 12においても、Yt-Pm4の直上から上位40 cmにかけての火山灰土から、ATに由来する、屈折率1.499-1.502のバブルウォール型の火山ガラスを検出した。

ATの噴出年代は27 ka(貝塚・他, 2000, p. 31)である。

3. 考 察

3-1 各テフラの噴出年代の推定

本稿で記述した八ヶ岳新テフラ群の構成テフラのう

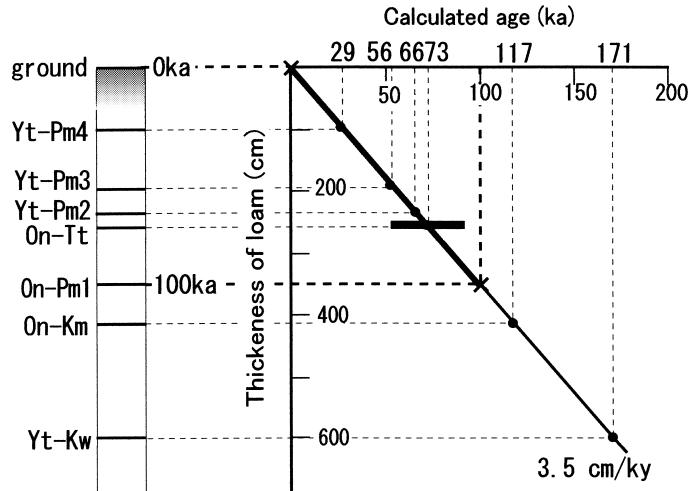


Fig. 6. Age estimations for tephra beds at Loc. 34 in Fig. 1. The gray unit at the top of the section indicates a humic soil layer. Horizontal band on On-Tt shows previously determined age.

ち、Yt-Pm4 についてはいくつかの年代値が報告されている。ハケ岳団地研究グループ (1976) は Yt-Pm4 について、1.4 万年前とするフィッシュトラック (FT) 年代を報告している。またハケ岳団地研究グループ (1988) は、デカバミ (本稿の Yt-Pm4 に相当) について、黒曜岩片の 13000 ± 650 y.B.P. という Suzuki (1974) の FT 年代を採用している。また稲田 (1986) は、Yt-Pm4 と同層準で採取した木片について、 23490 ± 1150 y.B.P. の ^{14}C 年代を報告している。しかしハケ岳団地研究グループ (1976)、Suzuki (1974) および稲田 (1986) の年代値は、本研究において Yt-Pm4 の直上で見いだした AT の年代 (27 ka, 貝塚・他, 2000, p. 31) よりも若く、層序と矛盾している。したがって本稿では、これらの年代値を採用しない。Yt-Pm2 については、竹本 (1991) が DKP の直上であると層位のみ報告している。しかし、その他のテフラについては噴出年代の報告が行われていない。そこで本研究

ではまず層位により各テフラの年代を検討する。

Yt-Pm4 から Yt-Pm1 までの 4 枚のテフラは、上位を AT (27 ka) に、下位を Aso-4 (86~90 ka) に挟まれることから、27~90 ka に噴出したことがわかる。また Yt-Kw は On-Pm1 (100 ka) の下位にあることから、100 ka 以前に噴出したことになる。

次に、各テフラの噴出年代をさらに絞るため、テフラの間にある風化火山灰土 (ローム) の堆積速度を一定と仮定して、年代を求めた (Fig. 6)。今回検討した露頭 (Loc. 34; Fig. 1) は、不整合など時間間隙を示すものではなく、ほぼ水平にテフラや風化火山灰土が堆積しており、風化火山灰土の堆積速度をもとにテフラの年代を求めるのに適している。

まず、地表から 345 cm 下位の On-Pm1 (100 ka) と地表 (0 ka) を年代既知の基準として、この露頭における風化火山灰土の堆積速度を 3.5 cm/ky と見積もった。これ

Table 2. Volume, mass and index of eruption scale of the Yatsugatake Younger Tephra Beds.

	Thickness of Isopach (cm)	Area (km ²)	Volume (km ³)	Deposit Density (g/cm ³)	Mass (10 ¹³ kg)	DRE (km ³)	Volcanic Explosivity Index	Eruption Magnitude
Yt-Pm4	50	261.8	1.6	0.4	0.6	0.2	5	4.8
Yt-Pm3	40	254.1	1.2	0.3	0.4	0.2	5	4.6
Yt-Pm2	no data			0.5				
Yt-Pm1	40	225.9	1.1	0.5	0.6	0.2	5	4.8
Yt-Kw	120	320.3	4.7	0.3	1.5	0.6	5	5.2

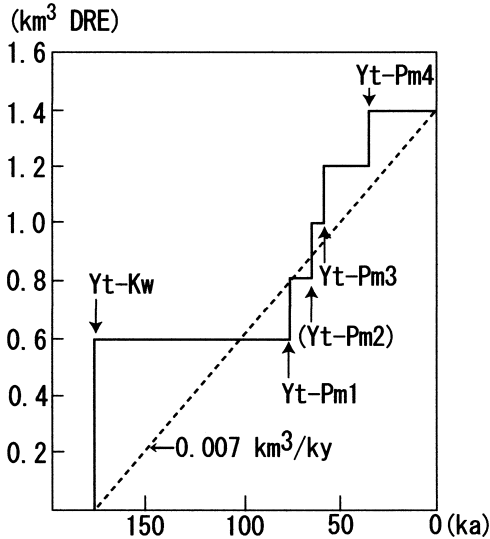


Fig. 7. Cumulative volume for the Yatsugatake Younger Tephra Beds. The volume of Yt-Pm 2 is considered to be the same as that of Yt-Pm1. The age of Yt-Pm1 (66–86 ka) is considered to 76 ka. The oblique dashed line indicates the eruption rate of the pyroclastic fall products.

に基づいて2つの既知年代基準点の間に内挿される Yt-Pm4, Yt-Pm3, Yt-Pm2, On-Tt と、外挿となる On-Km, Yt-Kw の年代を計算した。結果は、上位から順に Yt-Pm 4 が 29 ka, Yt-Pm3 が 56 ka, Yt-Pm2 が 66 ka, On-Tt が 73 ka, On-Km が 117 ka, Yt-Kw が 171 ka となった。Yt-Pm4 の推定年代 (29 ka) は、Yt-Pm4 直上の AT の年代 (27 ka; 貝塚・他, 2000, p. 31) より古く、層序とも矛盾しない。またこのことは、地表面を 0 ka と仮定した本稿での計算方法に問題がないことを示している。Yt-Pm 1 は本露頭では認められていないが、Loc. 13において、Yt-Pm2 の下位でかつ Aso-4 (86~90 ka; 大場, 1991) の上位であることから、66~86 ka とする。また具体的な噴出年代が不明であった外来テフラについても、On-Tt が 73 ka, On-Km は 113 ka という年代値が得られた。

以上の結果を踏まえると、八ヶ岳火山における新八ヶ岳期のプリニー式噴火は5回であり、その間隔は、Yt-Kw 噴火と Yt-Pm1 噴火の間は8万5千~10万5千年開いているが、Yt-Pm1 噴火以降の噴火間隔は、Yt-Pm 1 と Yt-Pm2 の間が最大約2万年、Yt-Pm2 と Yt-Pm3 の間が1万年、Yt-Pm3 と Yt-Pm4 の間が2万7千年と、約1万~2万7千年の間隔で噴火している。

3-2 テフラの噴出量と噴出率

本論文で記載した5枚の降下テフラの体積は、Yt-Pm

4 について Kawachi *et al.* (1978) が 0.17 km^3 としている以外に報告がない。そこで本研究によって得られた等層厚線図を用いて、Hayakawa (1985) の経験式により降下テフラの体積を求めた。また乾燥させたテフラ 300 cm^3 の重量から堆積密度を求め、マグマの密度を 2.5 g/cm^3 として DRE (dense rock equivalent) 体積を算出した (Table 2)。さらに火山噴火の規模の目安として、火山爆発指数 VEI (Volcanic Explosivity Index; Newhall and Self, 1982) と、噴火マグニチュード (Eruption Magnitude; 早川, 1993) を併せて示した。

Yt-Kw の 120 cm の等層厚線から算出した噴出量は 4.7 km^3 ($0.6 \text{ km}^3 \text{ DRE}$) で、乾燥密度 0.3 g/cm^3 から求めた重量は $1.5 \times 10^{13} \text{ kg}$ である。Yt-Pm1・Yt-Pm3・Yt-Pm4 の噴出量は、それぞれ 1.1 km^3 , 1.2 km^3 , 1.6 km^3 で、いずれも $0.2 \text{ km}^3 \text{ DRE}$ である。また重量は、それぞれ $0.6 \times 10^{13} \text{ kg}$, $0.4 \times 10^{13} \text{ kg}$, $0.6 \times 10^{13} \text{ kg}$ である。八ヶ岳新テフラ群の VEI はいずれも 5 であり、これは富士火山 1707 年 (宝永) 噴火やアメリカ St. Helens 火山 1980 年噴火と同指数である (Simkin and Siebert, 1994)。噴火マグニチュードは、Yt-Kw が 5.2 と最も高く、他は 4.6~4.8 の範囲である (Table 2)。

Yt-Pm2 については分布図が描けなかったため体積を算出していないが、前述のとおり Yt-Pm1 と同様の分布をしていることが予想されることから、これとほぼ同じ 1 km^3 ($0.2 \text{ km}^3 \text{ DRE}$) 程度であろう。

次に、本研究で得られた各テフラの噴出量・噴出年代に基づき、新八ヶ岳期の Yt-Kw 噴火以降における、テフラの平均噴出率を求めた (Fig. 7)。ただし前述のとおり今回判明しなかった Yt-Pm2 の体積は、Yt-Pm1 と同じと仮定する。5枚のテフラの積算体積は約 9.7 km^3 (約 $1.2 \text{ km}^3 \text{ DRE}$) であり、1回の噴火での噴出量の平均は、約 1.94 km^3 ($0.28 \text{ km}^3 \text{ DRE}$) である。Yt-Kw 噴火 (171 ka) から現在までの平均噴出率は約 $0.007 \text{ km}^3 \text{ DRE/ky}$ となる。一方、河内 (1985) によって記載されている溶岩や火砕流堆積物等の体積は、新八ヶ岳期の約 20 万年間 (河内, 1988) に約 60 km^3 であり、平均噴出率は約 $0.30 \text{ km}^3/\text{ky}$ である。新八ヶ岳期では、全噴出物のうち降下テフラが約 2 vol. % を占めていることになる。

3-3 噴火様式

八ヶ岳新テフラ群のうち、すべてが降下軽石からなる Yt-Pm4 を除いた他の4枚のテフラには、降下軽石からなるユニットとともに、細粒な灰色火山灰からなるユニットも認められる。すべてのテフラに認められる橙色または青灰色の軽石は、いずれも粒径変化や淘汰度などから見て、プリニー式噴火による降下堆積物であると考えられる。一方、プリニー式噴火による降下軽石ユニ

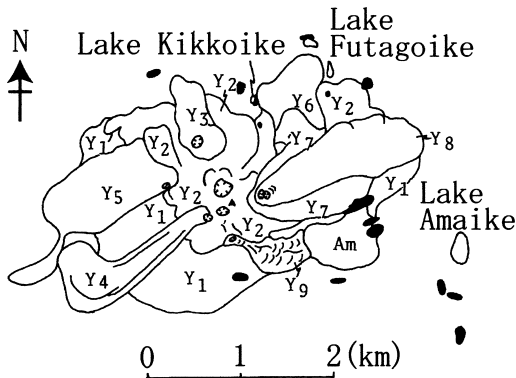


Fig. 8. Geologic map of Yokodake Volcano after Kawachi *et al.* (1978). The black areas show the thick Yt-Pm4 Tephra Bed. Y₁~Y₉ are lava flows. Am is the Amaikeyama Lava Dome.

トに挟在する細粒火山灰の成因としては、①火道の部分閉塞などによる爆発力の一時的減少、②火砕流またはサージによるもの、③降雨によって粗粒軽石とともに強制降下したもの、④噴火様式の変化、⑤隣接する給源からの降下火山灰、などが考えられる (Walker, 1981)。八ヶ岳新期テフラ群は、同一テフラに共存する細粒火山灰と軽石が、共通の鉱物組み合わせや鏡下の特徴をもっている。したがって細粒火山灰と軽石が同じ本質物に由来する可能性があり、プリニー式噴火よりも爆発力強い噴火 (例えばマグマ水蒸気爆発またはブルカノ式噴火) によって細粒火山灰が生産されたことが考えられる。一方、降雨によって細粒火山灰と粗粒軽石がともに降下したのであれば、淘汰が悪くなり、本研究で観察されたような、軽石と細粒火山灰がユニットに分かれるようなことは考えにくい。また八ヶ岳新期テフラ群と同イベントの火砕流や給源火口は、現時点では認められていない。爆発力の一時的減少についても現在あるデータでは検証が不可能である。したがって、八ヶ岳新期テフラ群の噴火では、プリニー式噴火の前後または途中で噴火様式の変化があったと考えるのが、現段階では妥当である。しかし細粒火山灰を生産した噴火様式の実態をより正確に明らかにするためにも、今後、さらに多くの地点で細粒火山灰層の産状を観察し、細粒火山灰層のみの等層厚線図を作成すること、また降下テフラの噴出に關係すると思われる火口や火砕流の有無の検討などが必要であろう。

3-4 噴出源

本稿で記述した八ヶ岳新期テフラ群の給源は、その分布や粒径、層厚の変化から、Yt-Kw から Yt-Pm3 までの4枚は八ヶ岳火山列中央部付近であるが、最新の Yt-Pm

4 だけは八ヶ岳火山列最北部の横岳付近であることが明らかになった。横岳火山は9枚の溶岩流 (形成順に、Y₁~Y₉に区分) からなる火山体であり (Kawachi *et al.*, 1978; Fig. 8), 特に最新の溶岩流 (Y₉) は、溶岩微地形を極めて新鮮に保存していることから完新世の活動と考えられている (河内, 1974-75)。Kawachi *et al.* (1978) は Yt-Pm4 の噴出時期について、溶岩と Yt-Pm4 との上下関係から、Y₃~Y₅ 溶岩流のいずれかの直前であるとした。一方、大場・河内 (1997) は、各溶岩と Yt-Pm4 の全岩および斜長石斑晶の組成を比較検討し、Y₆ 溶岩流出の直前に Yt-Pm4 が噴出したと結論した。どちらの見解が正しいとしても、約 29 ka の Yt-Pm4 の噴火後、横岳火山では数回のマグマ噴火が起きたことになる。

一方、Yt-Kw から Yt-Pm3 の4枚のテフラの給源と思われる八ヶ岳火山列中央部付近では、これらのテフラが今のところ認められないため、テフラと溶岩の層序は不明である。本研究で得られたテフラの年代と、松本・他 (1999) で報告されている溶岩の K-Ar 年代を比較すると、Yt-Pm2 (66 ka), Yt-Pm3 (56 ka) は、天狗岳中部溶岩 (河内, 1974-75; 55 ± 3 ka) または天狗岳上部溶岩 (河内, 1974-75; 42 ± 20 ka) に対比されるか、近い時代のイベントである可能性がある。鉱物組み合わせも、天狗岳中部溶岩が角閃石紫輝石普通輝石安山岩、天狗岳上部溶岩が紫蘇輝石普通輝石安山岩であり、Yt-Pm2, Yt-Pm3 とともに矛盾しない。これらの溶岩はいずれも天狗岳東壁付近が噴出口とされており (河内, 1974-75), Yt-Pm2 と Yt-Pm3 も、八ヶ岳火山列中央部に位置する天狗岳付近を給源とする可能性がある。Yt-Kw および Yt-Pm1 については、年代や鉱物組み合わせが一致する溶岩が今のところ見当たらない。

現時点では、テフラと溶岩との層序には不明な点が多く、今後、より詳細な調査により層序を明らかにし、テフロクロノロジーを基礎とした八ヶ岳火山の活動史を解明することが、活火山である横岳を含めた八ヶ岳での火山防災を考えるためにも必要であろう。

4. おわりに

八ヶ岳火山の新八ヶ岳期に噴出した5枚のテフラについて記載を行い、それらの分布と噴出量、噴出年代を求めた。その結果、最近約20万年間の新八ヶ岳期に少なくとも5回のプリニー式噴火が、約1万年から10万5千年の間隔で発生したことが明らかになった。また、最新の Yt-Pm4 噴火を除き、それぞれの噴火イベントが、1回のプリニー式噴火だけでなく、噴火様式の変化によると思われる複数の噴火フェーズからなることが明らかになった。今回風化火山灰土の堆積速度を一定と仮定して

噴出年代を算出したが、今後は他の露頭における計算などのクロスチェックが必要であろう。また各テフラの等層厚線図をより正確に描くことによって、給源火口を絞り込むことも重要である。

本研究で扱ったテフラ、例えば Yt-Kw (海洋酸素同位体ステージ: MIS6 または 7) は、その年代の精度が高まれば、指標テフラの少ない同時代 (鈴木, 2001) の貴重な鍵層となることが期待されるなど、第四紀編年上重要な存在であるといえ、この点でも分布や年代についてより詳細にされる必要がある。

5. 謝 辞

本論文は、筆者の 1 人が東京都立大学大学院理学研究科に提出した修士学位論文の一部を再構成したものである。また内容の一部は 2002 年日本第四紀学会大会 (信州大学) において口頭発表した。

地形・地質学研究室の山崎晴雄教授、菊地隆男教授 (現・立正大学教授)、山田周二助手 (現・大阪教育大学助教授)、植木岳雪博士 (現・産業技術総合研究所) には終始ご指導をいただいた。またゼミナールの皆様には数多くの有益な助言をいただいた。林野庁中部森林管理局東信森林管理署の井出良二氏には入林許可申請の際にお世話になった。早川由紀夫氏と匿名の査読者の方、および編集担当の伴 雅雄氏からいただいたコメントによって本論文は大幅に改善された。以上の皆様にご心から感謝いたします。

引用文献

- Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada Volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, **60**, 507-592.
- 早川由紀夫 (1993) 噴火マグニチュードの提唱。火山, **38**, 223-226.
- 早津賢二 (1988) テフラおよびテフラ性土壌の堆積機構とテフロクロノロジー—AT にまつわる議論に関係して—。考古学研究, **34**, 18-32.
- 稲田孝司 (1986) 旧石器文化と動物相。九州の旧石器文化 (II), 7-19.
- 貝塚爽平・小池一之・遠藤邦彦・山崎晴雄・鈴木毅彦 (2000) 日本の地形 4 関東・伊豆小笠原。東京大学出版会。
- Kaneoka, I. and Kawachi, S. (1983) K-Ar ages of volcanic rocks from the northern area of the Yatsugatake volcanic chain, central Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **89**, 359-361.
- 河内晋平 (1974-75) 蓼科山地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所。
- 河内晋平 (1977) ハガ岳地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所。
- 河内晋平 (1985) ハガ岳火山岩類の全岩化学組成。昭和 57~59 年度科学研究費補助金 (総合研究 A) 研究経過報告書, 課題番号 57340049, 日本の第四紀火山岩組成の時空分布, 31-36.
- 河内晋平 (1988) ハゲ岳。理科年表読本 空からみる日本の火山。丸善, 139-143.
- Kawachi, S., Nakaya, S. and Muraki, K. (1978) YPm-IV pumice bed in Northern Yatsugatake, Yatsugatake Volcanic Chain, central Japan. *Studies on Yatsugatake tephra, Part I. Bull. Geol. Surv. Japan*, **29**, 21-33.
- 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。
- 町田瑞男 (1996) 関東山地荒川上流の斜面堆積物。第四紀露頭集—日本のテフラ, 186.
- 松本哲一・宇都浩三・水野清秀 (1999) 蓼科山地域に分布する北ハゲ岳火山岩類の K-Ar 年代。日本火山学会講演予稿集, 20.
- 中谷 進 (1970) ハゲ岳東麓のテフラ—特に八那池軽石流を覆うテフラ層中の軽石—。軽石学雑誌, **3**, 30-35.
- 中谷 進 (1972) 大町テフラ層とテフロクロノロジー。第四紀研究, **11**, 305-317.
- Newhall, C. G. and Self, S. (1982) The Volcanic Explosivity Index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *J. Geophys. Res. (Oceans & Atmos.)*, **87**, 1231-1238.
- 大場忠道 (1991) 酸素同位体比層序からみた阿蘇 4 テフラおよび阿多テフラ。月刊地球, **13**, 224-227.
- 大場孝信・河内晋平 (1997) 北ハゲ岳火山群横岳 YPm-IV 軽石層の噴出時期の岩石化学・鉱物学的考察。地球惑星科学関連学会 1997 年合同大会予稿集, 466.
- 清水長正 (1996) 関東山地西部の山麓緩斜面構成層。第四紀露頭集—日本のテフラ, 229.
- Simkin, T. and Siebert, L. (1994) *Volcanoes of the world*. Smithsonian Institution.
- Suzuki, M. (1974) Chronology of prehistoric human activity in Kanto, Japan. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, **4**, 395-469.
- 鈴木毅彦 (2001) 海洋酸素同位体ステージ 5-6 境界に降下した飯綱上樽テフラ群とその編年学的意義。第四紀研究, **40**, 29-41.
- 竹本弘幸 (1991) 大山倉吉軽石層とこれにまつわる諸問題。駒沢地理, **27**, 131-150.
- 竹本弘幸・百瀬 貢・平林 潔・小林武彦 (1987) 新时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.
- 海野芳聖・大井信三・黒木貴一・坂井尚登 (1992) 群馬県南西部, 神流川上流域における火山灰層序について。国土地理院技術資料 D-1-No. 308, 地理調査部研究報告, **8**, 196-204.
- Walker, G. P. L. (1981) Plinian eruptions and their products. *Bull. Volcanol.*, **44**, 223-240.
- ハゲ岳団体研究グループ (1976) ハゲ岳火山活動の概要—とくに中期洪積世以降の火山活動について—。地球科学, **30**, 2, 87-94.
- ハゲ岳団体研究グループ (1988) ハゲ岳山麓の上部更新統。ハゲ岳山麓の第四系, 地団研専報, **34**, 91-109.
- 米倉伸之・貝塚爽平・野上道男・鎮西清高 (2001) 日本の地形 1 総説。東京大学出版会, 124-124.

(編集担当 伴 雅雄)