

Morphometry of Pyroclastic Cones in Japan

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/5299

日本の火砕丘の地形計測

守 屋 以智雄

MORPHOMETRY OF PYROCLASTIC CONES IN JAPAN

Ichio MORIYA

Abstract

A morphometry of 225 pyroclastic cones in Japan has been carried out with measurement using the topographic maps in 1:25,000 scale. The results of the morphometry are summarized as follows:

- (1) Most of scoria cones are 200-600 m wide and 20-100 m high and their craters are 100-300 m wide and 10-50 m deep.
- (2) The relative heights of the pyroclastic cones are less than 0.3 of the basal widths.
- (3) Most of the crater widths of the pyroclastic cones are more than a quarter of the basal widths.
- (4) SiO_2 values of the fragments composing the scoria cones are mostly less than 57%, and those of other pyroclastic cones range from 50 to 75%.
- (5) Proportions of basal widths to relative heights have no correlation to SiO_2 values.
- (6) Most of the pyroclastic cones in Japan have been formed since a few ten thousand years ago.
- (7) The scoria cones mainly distributed along the coast of the Sea of Japan and on Izu-Bonin arc. The tuff cones mainly stand along the volcanic front of Tohoku arc.

1. はじめに

あまり激しくない爆発的噴火で火口の周辺に堆積した噴出物がつくる小丘を火砕丘とよぶ。これは一般に一輪廻噴火で生ずる単成火山であるが複成火山の山麓に側火山として、あるいは主火口中に、あるいは単成火山群をなして独立に存在する。いずれにしろ地形的に目立つため認定は容易で古くから研究の対象になってきたし (例えば Lyell, 1830, 361p, Scrope, 1862, 169p, Schneider, 1911, 62p, Sapper, 1927, 181p), 現在なお多くの研究がなされている (Ollier, 1967, Heiken, 1971, Mc-

Getchin et al, 1974, Wood, 1980, Hasenaka, 1985). ここでは日本の火砕丘の諸性質の一覧表をかげ (Table 1) それをもとに形態, 構造, 構成物質の性質, 各々の関係などについてのべる。

この研究には空中写真を利用して火砕丘の認定を行い, その結果を 2.5 万分の 1 の地形図におとし, その比高・底径など形態的特徴を計測によって求めた。さらに野外調査および文献によって噴出物の特質などについて調べ, それらと計測結果との関係を検討した。

(Table1)

火 山 名・火砕丘名	型	底径 (m)	比高 (m)	底径/比高	火口径 (m)	火口深 (m)	底径/火口深	岩 質	SiO ₂	年 代	文 献
利尻・鬼脇ボン山	S	500	50	10.0	200	20	2.5				
仙法志ボン山	S	750	100	7.5	250	25	3.0				
三日月沼北	S	500	40	12.5	300	60	1.7				
156m山	S	350	65	5.4	70	10	5.0				
沼 浦 北	T R	1000	10	100	850	30	1.2				
沼 浦 南	T R	1000	10	100	800	20	1.3				
南 浜 南	M	450	10	45.0	350	10	1.3				
南 浜 北	M	250	10	25.0	150	20	1.7				
雌阿寒・中マチネシリ	T	750	20	32.5	350	20	2.0	au-hyA		<13520±240	勝井(1976)
羊蹄・半月湖	T	1050	20	52.5	550	60~100	1.9	au-hyA			勝井(1956)
394m山	S	1250	50	25.0	570	20	2.2	hyA			
323m山	S	650	50	13.0	200	10	3.3				
渡島大島・中央火口丘	P C	1100	300	3.7	250	70	4.4	ol-auB	50.92	A D 1741-1790	勝井ほか(1977)
恐山・剣 山	T	1500	80	18.8	800	70	1.9	ho-hyA	61.56		富樫(1977)
秋田駒・女 岳	P C	960	270	3.6	90	20	10.7	au-hyA	49.47		荒牧(1971)
小 岳	S	360	55	6.5	150	55	2.4				
女 目 岳	S	500	105	4.8	120	17	4.2				
蔵王・御 釜	T	600	30	20.0	400	90	1.3				
吾妻・小 富 士	T	1250	170	7.4	350	130	3.6	ol-au-hyA	59.10		青木(1961)
桶 沼	T	350	40	8.8	150	30	2.3				
目潟・一ノ目潟	M	750	0	—	750	40	1.0				
二ノ目潟	M	600	0	—	600	50	1.0				
三ノ目潟	M	400	0	—	400	40	1.0				
鳥海・鳥 ノ 海	T	500	20	25.0	300	20	1.7				
草津白根・逢ノ峰	T	600	70	8.6	160	30	3.8				
弓 池	M	200	10	20.0	150	10	1.3				
白 根	P C	2250	80	28.1	—	—	—	bi-Qz-au-hyA	64.90		
姫 池	T	200	30	6.7	150	25	1.3				
鏡 池	T	400	50	8.0	150	30	1.6	au-hyA	60.80		宇都ほか(1983)
2076m丘	T	400	50	8.0	250	40	1.6	au-hyA	59.80		宇都ほか(1983)
志賀・鉢 山	T	1000	120	8.3	250	40	2.9	au-hyA			
富士 1 平 塚	S	400	60	6.7	350	20	2.7				
2 錐 子 山	S	550	70	7.9	150	30	2.8				
3 黒 塚	S	700	120	5.8	200	40	2.8				
4	S	300	30	10.0	250	15	3.0				
5 東 白 塚	S	450	40	11.3	100	10	3.8				
6 西 黒 塚	S	200	20	10.0	120	5	2.0				
7 腰 切 塚	S	330	30	11.0	100	20	2.8				
8 馬 ノ 頭	S	400	40	10.0	120	15	3.1				
9	S	230	25	9.2	130	10	2.9				
10 赤 塚	S	500	80	6.3	80	40	3.3				
11 浅 黄 塚	S	450	70	6.4	150	30	2.5				
12	S	350	40	8.8	180	5	2.3				
13	S	330	20	16.5	150	5	2.5				
14	S	300	50	6.0	130	10	6.0				

火 山 名・火砕丘名	型	底径 (m)	比高 (m)	底径/比高	火口径 (m)	火口深 (m)	底径/火口深	岩 質	SiO ₂	年 代	文 献
富士 15	S	230	30	7.7	50	5	4.6				
16	S	400	60	6.7	100	10	4.0				
17	S	350	40	8.8	70	5	5.0				
18 ニツ塚 東	S	550	100	5.5	120	15	4.6				
19 ニツ塚 西	S	500	80	8.3	100	10	5.0				
20 1649 m 山	S	450	110	4.1	250	15	1.8				
21 西 白 塚	S	230	30	7.7	50	10	4.6				
22	S	600	80	7.5	250	40	2.4				
23 桧 塚	S	500	60	8.3	200	20	2.5				
24 桧塚 西南	S	250	20	1.3	60	10	4.2				
25 白 塚	S	380	50	7.6	100	20	3.8				
26 鷺 塚	S	650	100	6.5	250	25	2.6				
27	S	400	50	8.0	150	30	2.7				
28 701 m 山	S	600	120	5.0	170	20	3.5				
29	S	400	60	6.7	120	30	3.3				
30	S	250	40	6.3	120	20	2.1				
31	S	450	60	7.5	180	20	2.5				
32	S	450	60	7.5	160	30	2.8				
33 弓 射 塚	S	800	120	6.7	400	?	2.0				
34	S	220	30	7.3	100	20	2.2				
35 水 池	S	220	30	7.3	100	30	2.2				
36 片 蓋 山	S	700	120	5.8	200	40	3.5				
37	S	400	50	8.0	120	20	3.3				
38	S	500	50	10.0	220	30	2.3				
39 長 尾 山	S	550	80	6.9	200	50	2.6			A D 864	町田(1977)
40 大 室 山	S	1500	200	7.5	450	100	3.3	ol-B	50.80		Tsuya(1955)
先原・大 室 山	S	1000	220	4.5	250	70	4.0	A~B	53.76	3,000~30,000年前	宮島ほか(1985)
小 室 山	S	500	80	6.3	—	—	—	ol-A	53~58		
天城・鉢 山	S	1100	300	3.7	—	—	—	ol-B	49.82		
鉢 山 東	S	500	80	8.3	250	30	2.0	ol-B	50.77		
伊 雄 山	S	530	80	6.6	150	40	3.5	ol-au-hyA	56.28	約3000年前	
伊豆大島・291m山	S	400	40	10.0	200	10	2.0				
315 m 山	S	500	45	11.1	200	10	2.5				
蟻 ノ 尻	S	600	50	12.0	300	20	2.0				
岳 ノ 平	S	500	100	5.0	250	20	2.0			A D 500	中村(1979)
岳 平 北 西	S	800	50	16.0	300	20	2.7				
253 m 山	S	320	40	8.0	80	10	4.0				
165 m 山	S	350	40	8.8	100	10	3.5				
岳 ノ 平 東	S	550	50	11.0	300	50	1.8				
波 浮 港	M	450	0	—	450	60	1.0			A D 838	
波 浮 港 西	M	650	40	16.3	450	40	1.4				
三 原 山	P C	1500	130	11.5	800	80	1.9	au-hyB	50~52		
1950~51年丘	S	700	80	8.8	400	300	1.8	au-hyB	51~52		
愛 宕 山	S	420	80	5.3	—	—	—			2000年前	中村(1979)
三宅島 1	S	350	40	8.6	140	10	2.5				
2	S	350	40	8.6	150	20	2.3				

火 山 名・火砕丘名	型	底径 (m)	比高 (m)	麓径/麓 (m)	火口径 (m)	火口深 (m)	麓径/火口 (m)	岩 質	SiO ₂	年 代	文 献
三宅島 3	S	280	30	9.3	110	10	2.5				
4	S	350	50	7.0	150	20	2.3				
5	S	150	20	7.5	60	10	2.5		56.07	A D 1940	Tsuya(1937)
6	S	150	10	15.0	125	20	1.2		56.07		Tsuya(1937)
7	S	400	50	8.0	160	10	2.5				
8 ひょうたん山	S	250	50	5.0	150	20	—			A D 1940	
9 三 七 山	S	300	90	3.3	—	—	—			A D 1962	
10	M	450	0	—	450	100	1.0				
11 三 池 浜	M	750	0	—	750	80	1.0				
12 山 頂	S	300	60	5.0	100	30	3.0	auA	54.55		一色(1960)
13 雄 山	P C	1200	110	10.9	650	60	1.8				
14	S	200	20	10.0	90	10	2.2				
15	S	270	30	9.0	80	20	3.4				
16	S	130	5	26.0	50	3	2.6				
17	S	400	40	10.0	160	60	2.5	B	50.76		一色(1960)
18	M	500	0	—	500	60	1.0				
19	M	670	0	—	670	50	1.0				
20	S	400	60	6.7	200	10	2.0				
21	T R	250	10	25.0	200	15	1.0				
22	S	400	45	8.9	200	10	2.0				
23	T R	1400	60	23.3	850	110	1.6				
24 大 路 池	T R	1250	50	25.0	950	100	1.3				
25	M	250	0	—	250	50	1.0				
26	T R	700	10	70.0	600	80	1.1				
27	S	600	60	10.0	200	20	3.0				
28 次 男 山	S	600	100	6.0	400	30	1.5				
29 337 m 山	S	600	150	4.0	200	40	3.0				
30 169 m 山	T R	1200	20	60.0	1000	40	1.2				
31 新 滞 池	T R	600	30	20.0	500	30	1.2				
32 (新 鼻)	T R	400	20	20.0	180	20	2.2	au-hyA	53.65	A D 1983	藤井ほか(1984) 早川ほか(1984)
33	S	350	40	8.6	200	10	1.8				
34	S	400	40	10.0	130	10	3.1				
35	S	350	50	7.0	150	40	2.3				
36	T R	750	30	25.0	700	50	1.1				
37	S	400	30	13.3	220	20	1.8				
38	T R	650	0	—	650	100	1.0				
39	S	400	60	6.7	150	50	2.7	B	51.80	A D 1643	一色(1960)
40	S	350	40	8.6	100	5	3.5				
41	S	300	40	7.5	—	—	—				
42	M	270	0	—	270	20	1.0				
43	M	300	0	—	300	30	1.0				
44	M	300	0	—	300	40	1.0				
45	M	200	0	—	200	10	1.0				
46	M	200	0	—	200	20	1.0				
47	M	350	0	—	350	90	1.0				
48	M	220	0	—	220	60	1.0				

火山 名・火砕丘名	型	底径 (m)	比高 (m)	底径/比高	火口径 (m)	火口深 (m)	底径/火口径	岩 質	SiO ₂	年 代	文 献
三宅島 49	M	150	0	—	150	30	1.0				
50	M	100	0	—	100	15	1.0				
51	M	180	0	—	180	20	1.0	ol-B	52.96 53.35	A D 1874	一色(1960)
52	M	100	0	—	100	20	1.0				
53	M	230	0	5.6	230	20	1.0				
54	S	500	90	8.0	—	—	—				
55	S	320	40	12.5	—	—	—				
56	S	250	20	10.0	—	—	—				
伊豆新島・大峰山	P	2000	200	7.1	1500	90	1.3	bi-R	76.65	A D 886	一色(1973)
田倉・宝 山	S	1000	140	5.7	250	40	4.0	au-ol-B	49.90		田倉研グループ(1984)
神鍋・神 鍋	S	800	140	7.0	300	30	2.7	ol-B	48-49		古山(1976)
大 机	S	700	100	5.0	—	—	—	ol-A	50.00		古山(1976)
山 宮	S	600	120	10.0	—	—	—	ol-A	51.26		古山(1976)
隠岐島・空 港 南	S	500	50	10.0	250	30	2.1				
空 港 北	S	400	40	18.0	200	30	2.0				
大 床 山	T	900	50	6.3	500	10	1.8				
阿武・物 見 岳	S	250	40	6.7	60	10	4.2				
イラ尾山 南	S	400	60	4.0	100	10	4.0				
西 台	S	400	100	7.9	200	10	2.0	au-A	55.9		
西 台 北 西	S	550	70	6.4	150	10	3.7				
権 現 山	S	900	140	7.0	250	40	3.6				
権 現 山 西	S	700	100	6.3	250	20	2.8				
権 現 山 東	S	500	80	6.7	100	20	5.0				
権 現 山 北	S	400	60	6.0	150	20	2.7				
伏 馬 山 西	S	600	100	8.0	150	20	4.0	au-olB	49.98		倉沢・高橋(1960)
笠 山	S	400	50	11.7	50	10	8.0	hy-ol-au-A	54.36		倉沢・高橋(1960)
五島・黄 島 番 岳	S	700	60	5.0	350	30	2.0	ol-B	48.14		倉沢・松井(1964)
黒島 I (内輪)	S	300	60	13.3	200	20	1.5				
黒島 II (外輪)	S	800	60	5.0	550	10	1.5	ol-B	47.30		倉沢・松井(1964)
富江, 只狩山	S	500	100	5.0	200	50	2.5	au-olB	49.88		倉沢・松井(1964)
福江, 鬼ヶ岳	S	1000	200	9.0	350	100	2.9				
火ノ岳	S	900	100	8.0	200	20	4.5				
鬼ヶ岳北東	S	500	40	6.0	170	30	2.9	ol-TrachyB	47.18		倉沢・高橋(1962)
箕 岳	S	600	100	7.9	200	50	3.0	ol-TrachyB	48.46		倉沢・高橋(1962)
白 岳	S	550	70	15.0	200	40	2.8	ol-TrachyB	48.16		倉沢・高橋(1962)
鬼ヶ岳西北	S	450	30	15.0	300	30	1.5				
鬼ヶ岳西南	S	450	30	10.0	300	30	1.5				
宇久島・平港53m山	S	500	50	7.4	230	20	2.2				
168 m 山	S	370	50	10.0	—	—	—	Qz-A	49.94		倉沢・高橋(1961)
168m山 南西	S	400	40	10.0	—	—	—	Qz-A	51.96		
五島・六島 73m山	S	700	40	17.5	350	40	2.0				
納 島	S	300	40	7.5	—	—	—				
斑 島	S	700	100	7.0	250	40	2.8	Qz-olB au-olB	48.32 48.03		倉沢・高橋(1961)
藪 路 木 島	S	500	60	8.3	250	30	2.0				
大 島	S	650	60	10.8	250	20	2.6				
小値賀島・本 城 島	S	600	100	6.0	200	20	3.0	Qz-olB	47.88		倉沢・高橋(1961)

火 山 名・火砕丘名	型	底径 (m)	比高 (m)	底径/比高	火口径 (m)	火口深 (m)	底径/火口深	岩 質	SiO ₂	年 代	文 献
小値賀島・愛宕山	S	450	80	5.6	200	10	2.3				
殿崎	S	400	60	6.7	150	20	2.7	Qz-ol	48.24		倉沢・高橋(1961)
81 m 山	S	500	60	8.3	100	10	5.0				
柳	M	450	0	—	450	60	1.0				
宮脇	S	430	40	10.8	250	20	1.7				
浜津北	S	400	60	8.7	150	20	2.7				
浜津南	S	600	60	10.0	250	40	2.4				
林田	S	560	40	14.0	200	40	2.8	Qz-ol-B	48.02		倉沢・高橋(1961)
平田北西	S	300	40	7.5	100	10	3.0	Qz-au-olB	47.80		倉沢・高橋(1961)
平田西南	S	500	80	6.3	150	10	3.3	Qz-ol-B	48.66		倉沢・高橋(1961)
阿蘇・米塚	S	350	80	4.4	100	20	3.5	ol-auA	50.45		Matsumoto(1963)
蛇尾	S	700	60	11.7	400	50	1.8	ol-auA	49.60		
中岳北西	S	250	40	6.3	80	20	3.1				
中岳南西	S	350	40	8.6	50	10	7.0	hy-auA	55.60		小野・渡辺(1985)
烏帽子西	S	550	60	9.2	120	20	4.6	hy-auA	56.95		
湯谷 I	S	150	20	7.5	50	10	3.0				
湯谷 II	S	150	20	7.5	50	10	3.0				
高塚	S	400	50	8.0	—	—	—				
高塚北西	S	500	30	16.7	250	20	2.0				
霧島・飯盛山	T	700	200	3.5	120	15	5.0	au-hyA	57.26		進野(1966)
白鳥北西	T	1250	100	12.5	750	30	1.7				
白鳥山	T	1000	80	12.5	500	100	2.0	ol-hy-auA	53.98	4~5万年前より	進野(1966) 長岡(1984)
白鳥御池	T	1000	60	16.7	750	100	1.3				
不動池	T	450	40	11.3	250	30	1.8				
不動池東	T	400	30	13.3	200	10	2.0				
1292m山	P C	1400	140	10.0	600	60	2.3				
甑岳	P C	1500	300	5.0	400	20	3.8				
韓国岳	P C	3000	500	6.0	800	280	3.8	au-hyA	56.66		沢村・松井(1957)
大浪池	P C	2500	400	6.3	1000	140	2.5	ol-au-hyA	55.51		進野(1966)
新燃岳	P C	2000	250	8.0	700	200	2.9	au-hyA	59.32		沢村・松井(1957)
中岳	T	950	200	4.8	320	40	3.0				
中岳北西	T	750	150	5.0	320	20	2.3				
1327m山	T	850	130	6.5	240	15	3.5				
大幡池	M	500	0	—	500	30	1.0				
大幡山	T	650	40	16.3	450	40	1.4	au-hyA	57.43		進野(1966)
御鉢	P C	1200	250	4.8	400	200	3.0	au-hyA	56.80		沢村・松井(1957)
小池	M	500	0	—	500	70	1.0				
御池	M	1300	30	43.3	1100	50	1.2	au-hyA	66.89		沢村・松井(1957)
桜島・鍋山	P	1200	140	8.6	800	100	1.5	au-hyA	61.81		山口(1927)
122 m 山	T	300	30	10.0	100	10	3.0				
住吉池	M	600	0	—	600	40	1.0				
大迫	M	1100	0	—	1100	60	1.0				

S:スコリア丘 TR:タフリング M:マール P:軽石丘 PC:複成火砕丘 T:火山灰丘

ol:橄欖石 au:普通輝石 hy:紫蘇輝石 ho:角閃石 bi:黒雲母 Qz:石英

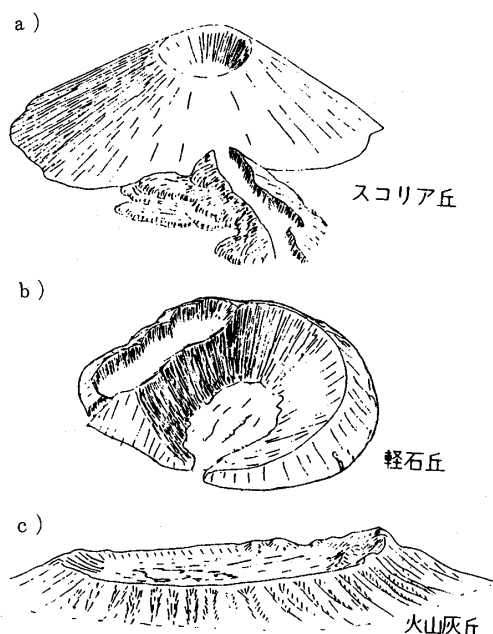
A:安山岩 B:玄武岩 R:流紋岩 trachyB:粗面玄武岩

富士山, 三宅島の火砕丘の番号は Fig. 2, 4 中の番号に対応する。

2. 火砕丘の分類

火砕丘の分類は何人かの研究者によってなされている。Heiken (1971)は最終氷期に存在した湖の周辺に噴出した火砕丘が陸上、湖岸周辺、湖中でそれぞれ cinder cone, tuff cone, tuff ring が形成されることを明らかにした。それぞれが地形的、構造的に特徴をもち、相互に密接に関連していることを指摘している。

中村 (1979, 174p)は火砕丘を単成と複成に分け、単成火山の中に爆裂火口、マール、火砕丘を挙げ、火砕丘は火山灰丘、軽石丘、スコリア丘に細分した。



(Fig.1) Classification of pyroclastic cones.
a. Scoria cone b. Pumice cone c. Tuff cone

(Table2) Classification of pyroclastic cones.

Pyroclastic cone	Monogenetic pyroclastic cone	—	Scoria cone
			Tuff cone — { Tuff cone in strict sense Tuff ring Maar
	Polygenetic pyroclastic cone	—	Pumice cone
			P.G.Scoria cone
			P.G.Tuff cone
			P.G.Pumice cone
			Mixture of above three cones

Macdonald (1972, 183p) は、火砕丘にあたる総称を tephra cone とよび、それを cinder cone, tuff cone, ash cone (tuff ringにあたる)に細分した。守屋 (1984, 88p) はそれらをもとに、火砕丘をスコリア丘、軽石丘、火山灰丘に細分し、火山灰丘の中にタフリング、マールを含める分類を提唱した(Fig.1)。ここでは以上の考えをまとめてTable 2 のような分類を行った。

火砕丘を単成か複成かでまず大きく二分し、各々を構成物質の種類の相違から、スコリア丘、軽石丘、火山灰丘に細分する。火山灰丘に関しては、その形態、内部構造、形成環境などの相違から狭義の火山灰丘、タフリング、マールにさらに細分した。複成火砕丘の中にはこれら細分されたものが様々な比率で混合したものが考えうるが、その実態(例えば、スコリア丘と軽石丘が重なっている複成火砕丘が存在するか否かなど)はまだ明らかでない。

複成火砕丘と成層火山の区別について問題がある。成層火山は溶岩と火砕岩が互層した火山体と定義される (Green&Short, 1971, 501p)が火砕丘も多くの場合、溶岩流を伴うので、複数回その形成活動が行なわれれば溶岩と火砕岩が互層することになり、成層火山と区別しにくくなる。

伊豆大島三原山はここ数100年の間に、少なくとも4回の噴火をくり返し成長した比較的大きな複成スコリア丘である(Nakamura, 1964)。渡島大島の中央火口に形成されたスコリア丘も、1741年の成

層火山体大崩壊の跡の馬蹄形凹地に形成されたもので、1741年以後現在まで何回かくり返された噴火で成長してきた。(勝井ほか, 1977)。霧島火山の韓国岳、大浪池、新燃岳などの大型火砕丘も、複成であるらしい。このようなものは成層火山と厳密にどのようにに区別するか大変むずかしい。両者は連続的に漸移するものらしい。メキシコ中央部の地溝内にある火山地域やUSAのCascade火山地域南部には、玄武岩質の溶岩原の中にスコリア丘と安山岩質の成層火山とが共存し、その中間の規模をもつ円錐火山体も少なからず存在し、スコリア丘が複成火砕丘に、やがて成層火山へと連続的に移化する可能性を示唆する。

上記のようなことが事実なら、複成火砕丘と成層火山を区別するためには、人為的に境界を設ける必要がある。しかし、それが4輪廻が適当なのか5輪廻が適当なのかわからない。それならむしろ、複成火砕丘という名称をなくし、2輪廻以上はすべて成層火山とする、複成火砕丘は複輪廻の活動で火砕岩だけが累積したものに限る、という定義にした方がよいかもしれない。しかしスコリア丘で溶岩流出を伴わないものは皆無といってよく、このような定義は現実的でないようにみえる。

このような混乱はまだ数輪廻程度の活動で形成された小火山体の内部構造、形成史が詳細にわかっているものが非常に少ないことに起因すると考えられ、今後の調査の進展が待たれる。

3. 火砕丘の規模・形態

日本の第四紀火山の225個の火砕丘の規模・形態について2.5万分の1地形図、空中写真などを用いて計測した。これにもれた火砕丘もあり、今後これらを加えて再検討するつもりであるが、その数は少く、全体の結論に変わりはないものと思われる。

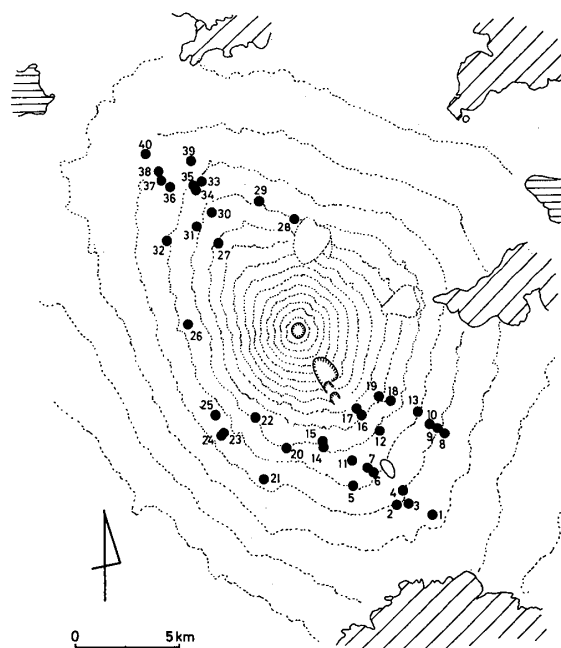
火砕丘の規模は底径と比高で表わす。その底径は $(\text{長径} + \text{短径}) / 2$ 、比高は $[(\text{最高高度} - \text{最低高度})]$

$+ (\text{最高高度} - \text{基盤岩の最高高度})] / 2$ で代表される。またほとんどの火砕丘は頂部に火口をもつので、その火口径、火口深の計測も行なった。しかし火口深については地形図の精度の限界から相対誤差が大きく、あまり細かい議論はできない。

形態すなわち扁平か急尖かは底径/比高で表わした。また火口径の大小も火砕丘の形態に大きく影響する。それは底径/火口径で表わした。

底径

スコリア丘146個のうち、最大底径をもつのは、富士山北西麓の大室山 (Fig.2) で1500あり、飛び抜けている。次は羊蹄火山北麓の394 m山の1250



(Fig.2) Parasitic pyroclastic cones of Fuji volcano. The numbers correspond those of the pyroclastic cones of Fuji volcano in Table 1.

mであるが、これは3~4個の小火口があり、いくつかの火砕丘が複合した疑いがある。大きくみてスコリア丘の底径は1000m以下で、300~500mのものが、全体の60%以上を占める。規模別の度数分布は (Table 3, Fig. 3) に示されるが、1000m以下では一見正規分布に似た分布形態を示すが、1000m以上の大きい火砕丘の存在が正規分布としての対照

(Table3) Basal width of pyroclastic cones.

Type B.W	S	TR.M	T	P	PC	
100~ ^(m)	5	4	0	0	0	9
200~	15	9	1	0	0	25
300~	27	3	2	0	0	32
400~	33	6	4	0	0	43
500~	30	3	1	0	0	34
600~	14	6	3	0	0	23
700~	10	4	3	0	0	17
800~	4	0	1	0	0	5
900~	2	0	2	0	1	5
1000~	3	2	4	0	0	9
1100~	1	1	0	0	1	3
1200~	1	2	2	1	2	8
1300~	0	1	0	0	0	1
1400~	0	1	0	0	1	2
1500~	1	0	1	0	2	4
2000~	0	0	0	1	1	2
2200~	0	0	0	0	1	1
2500~	0	0	0	0	1	1
3000~	0	0	0	0	1	1
Total	146	42	24	2	11	225

S : Scoria cone

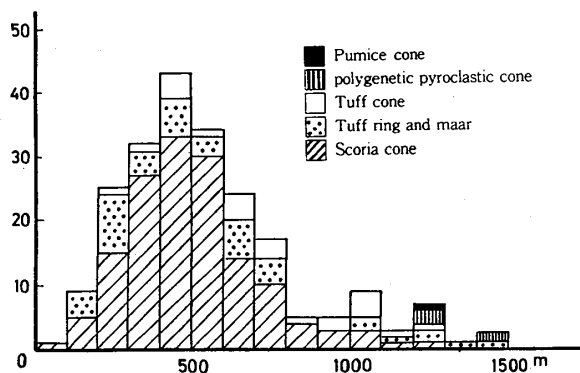
TR : Tuff ring

M : Maar

T : Tuff cone

P : Pumice cone

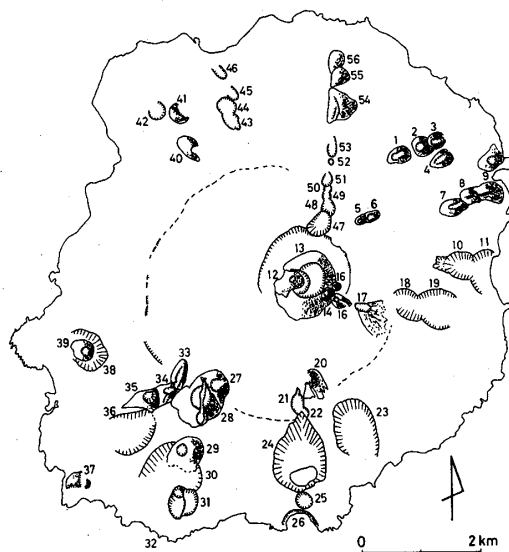
PC : Polygenetic Pyroclastic cone



(Fig.3) Histogram of basal width.

性を失わせている。これは単成火砕丘の度数分布が正規分布で、大きい火砕丘は複数であることを暗示しているのかも知れない。しかし浸食が進まず、内部構造が全くわからない大室山などの大型火砕丘が複成か単成かを判断することは現在のところ不可能である。

タフリングとマールは42個あるが、底径が100~800mの間と1000~1500mの間の大小二つのグループに分けられる。前者の方が圧倒的に多く5/6を占める。両者とも値は比較的ばらついていて、爆発の強さ、爆発が起こる深さ、水とマグマの量比など、多くの要因がこの種の火砕丘の規模決定にからんでいると考えられる。爆発の規模が大きかったと思われる底径が1000m~1500mのグループは利尻、三宅島 (Fig.4) など海に面した特に低い部分に形成されていて、マグマと接触する水の量が十分であったことを暗示する。



(Fig.4) Pyroclastic cones of Miyakejima volcano. The numbers correspond with those of the pyroclastic cones of Miyakejima volcano in Table 1.

火山灰丘は固化しかけた火口底の溶岩がガスで吹き飛ばされて火口周囲に堆積した結果生ずるが、これもタフリングやマールと同じように、底径1000m以下のものが全体24個のうち21個を占める。これらは200~1000mの間に平均的にばらついていて、最

大の底径をもつのは恐山カルデラ中に形成された剣山火砕丘の1500mである。

軽石丘はここでは桜島東麓の鍋山と伊豆新島の大峰山の2つだけである。渡島駒ヶ岳、樽前山（曾屋、1978）は複成の巨大な軽石丘とされているがここでは扱わない。大峰山はいくつかの軽石丘が複合して一個の大きな軽石丘になったように見えるが、半分以上新たな溶岩流出で破壊され、よくわからなくなっている。

複成火砕丘は10個存在するがいずれも底径が1000mを超える大型のものばかりで、最大は、韓国岳の3000mで、火砕丘というより、むしろ成層火山とよんだ方がよいのかも知れない。

比高

スコリア丘の比高は最大が天城火山南西麓の鉢山の300mであるが、大部分が100m以下で全体の80%を占める。特に40~50mのものが多く、全体の1/3を占める（Table 4, Fig. 5）。

タフリングの比高は数10m以下で、ほとんど火口周囲の高まりが認められないタフリング即ちマール

(Table4) Relative height.

R.H. \ Type	S	TRM	T	P	PC	
0~ ^(m)	2	34	0	0	0	36
20~	21	7	7	0	0	35
40~	50	1	6	0	0	57
60~	28	0	2	0	0	30
80~	15	0	3	0	0	18
100~	15	0	1	0	1	17
120~	5	0	2	0	1	8
140~	3	0	1	1	1	6
160~	1	0	1	0	0	2
180~	0	0	0	0	0	0
200~	2	0	2	1	0	5
220~	1	0	0	0	0	1
240~	0	0	0	0	2	2
260~	0	0	0	0	1	1
300~	1	0	0	0	2	3
400~	0	0	0	0	1	1
500~	0	0	0	0	1	1
Total	144	42	25	2	10	223



(Fig.5) Histogram of relative heights.
Legend is same to that in Fig. 3.

は、25を数える。火山灰丘は似たように100m以下のものが、全体25個のうち、18個みられ、72%に達する。

複成火砕丘の比高はやはり当然のことながら単成火砕丘にくらべ大きく、いずれも100mをこし、最大は500m（霧島火山韓国岳）に達する。

火口径

スコリア丘の火口の直径は1個をのぞいてすべて500m以下に限られる。その1個の五島列島黒島外輪火砕丘（火口径550m）は火山灰丘である可能性もある（Table 5）。

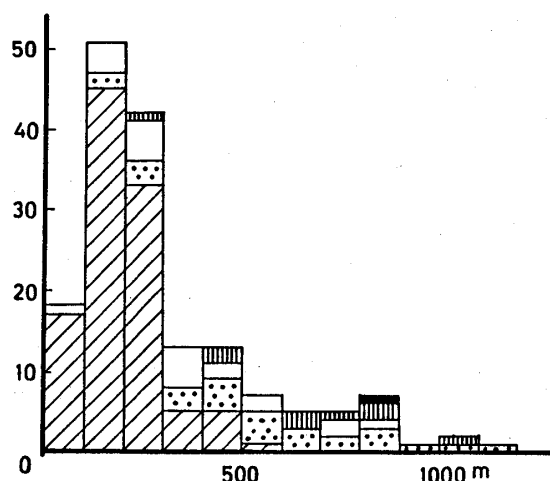
(Table5) Crater width.

Type C.W.	S	TRM	TC	P	PC	
0~(m)	16	0	1	0	1	18
100~	46	3	4	0	0	53
200~	33	3	5	0	1	42
300~	5	3	6	0	0	14
400~	5	5	2	0	2	14
500~	1	4	2	0	0	7
600~	0	5	0	0	2	7
700~	0	3	2	0	1	6
800~	0	3	1	1	2	7
900~	0	1	0	0	0	1
1000~	0	1	0	0	1	2
1100~	0	2	0	0	0	2
Total	106	33	23	1	10	173

100m~300mの大きさの火口が全体の $\frac{1}{4}$ を占める。一方タフリング、マールは100~1100mの直径のものが1~5個ずつ存在し、変化が大きく、ばらついている。火山灰丘は両者の中間的特徴をもち、0~900mの間にばらつくが、100~400mの間のものが全体の $\frac{2}{3}$ 近くを占める（Fig. 6）。

火口深

有珠火山1977年噴火で形成された第四火口は当時、50mの深さがあり、垂直な壁をもっていたが、数年でルーズな火砕岩からなる壁の崩壊、浸食谷からの



(Fig.6) Histogram of crater width.

Legend is same to that in Fig. 3.

岩屑の流入でほとんど埋め立てられてしまった。一方富士山頂の火口は噴火後数100年経過していながら、いまだに150mの深さと、垂直な壁を保持している。このことから火口の深さが火口の新旧を必ずしも表わしていないことがわかる。むしろ火口壁をつくる噴出物、堅硬な溶岩、溶結火砕岩の有無が深さを左右しているようにみえる。

火口の深さが爆発が起こった深さ、爆発の大きさなどを推定するための手掛りになるのではないかと考えを起こさせるが、有珠火山の例のように、形成後の変化が意外に大きく速い場合があるので安易な推測はできない。

また火口の深さは数mのものが多いため等高線が10m間隔の2.5万分の1地形図からの計測では相対誤差が大きく詳細な議論はしにくい。

以上のことからここでは火口の深さの単なる記載にとどめる。

もっとも深い火口は伊豆大島三原山の300mであるが、これは火口底に赤熱マグマが存在し、その表面の昇降によって顕著な火口の深さの変化が生ずる。その他霧島火山韓国岳の280m、燃岳の200mが主な深い火口である。これらはいずれも複成火砕丘で、火口壁には堅硬な溶岩、溶結火砕岩が露出している。

スコリア丘の中には神鍋火山大机山のように頂部

(Table6) Crater depth.

C.D. Type	S	T	TR.M	P	PC	
0~ ^(m)	7	0	0	0	0	7
10~	41	5	5	0	0	51
20~	38	3	9	0	2	52
30~	18	5	4	0	0	27
40~	19	5	5	0	0	29
50~	7	0	6	0	0	13
60~	2	1	4	0	2	9
70~	1	1	1	0	1	4
80~	0	1	2	0	1	4
90~	0	1	1	1	0	3
100~	2	2	3	1	0	8
110~	0	0	1	0	0	1
120~	0	0	0	0	0	0
130~	0	1	0	0	0	1
140~	0	0	0	0	1	1
200~	0	0	0	0	2	2
280~	0	0	0	0	1	1
300~	0	0	0	0	1	1
Total	135	25	41	2	11	214

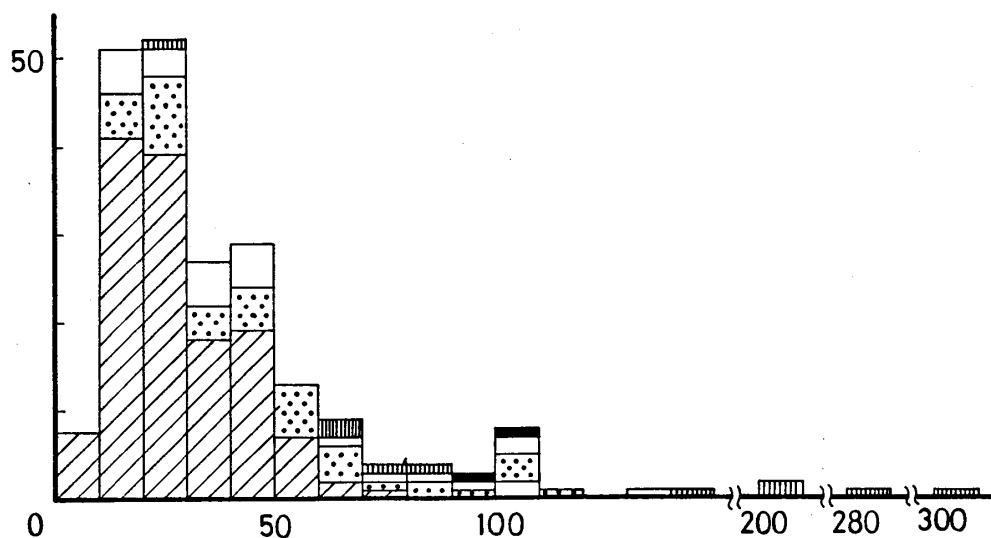
に火口が見あらず、一見溶岩円頂丘に見えるものや、三宅島の三七山のように裂目や滑落崖はあるが火口が存在しないものがある。これらは火口縁まで上昇した赤熱マグマと、その周辺に堆積した溶結火

砕岩の存在によるものと思われる。これらをのぞいた135個のスコリア丘のうち、10~30mの深さのものが、80個と60%近くを占め、50m以上のものは、わずか12個、全体の1割にも満たない (Table 6, Fig. 7).

火山灰丘もほぼ同様の傾向をもつが、タフリングやマールはそれより深く、100 mを超すものも少ない。

(Table7) Basal width/relative height.

Type BW/RH	S	TR.H	T	P	PC	
0~ ^(m)	8	0	2	1	2	13
5~	97	0	9	1	4	111
10~	33	0	5	1	3	42
15~	5	1	4	0	0	10
20~	0	4	1	0	0	5
25~	2	4	2	0	0	8
30~	0	0	1	0	0	1
35~	0	0	0	0	0	0
40~	0	1	0	0	0	1
45~	0	1	0	0	0	1
50~	0	0	1	0	0	1
60~	0	1	0	0	0	1
70~	0	1	0	0	0	1
100~	0	2	0	0	0	2
Total	145	15	25	3	9	197



(Fig.7) Histogram of crater depth.

Legend is same to that in Fig. 3.

底径／比高

火砕丘の形態を特徴づけるもののひとつに扁平であるか、急で尖っているかがある。それを底径と比高の比で表わす。

スコリア丘は大部分すなわち全体の2/3が比高の5～10倍の底径をもつ。一方、タフリング・マールは底径が比高の20～30倍のものが半分以上を占めるのが一般的である (Table 7, Fig. 8)。

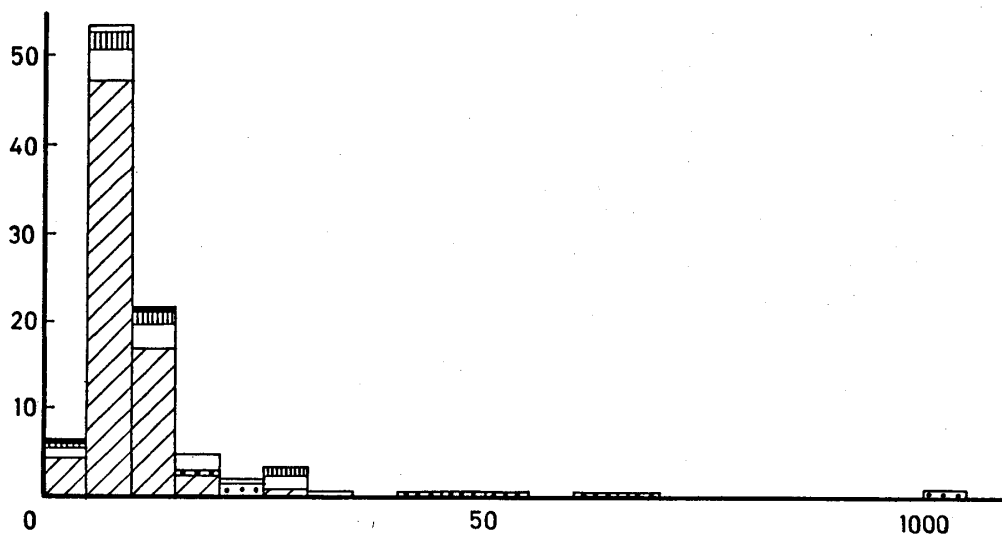
火山灰丘も5～10倍にピークがありスコリア丘に似ている点がある反面、30倍あるいは50倍以上の底

径をもつものもあって、急なスコリア丘と扁平なタフリングとの中間の地形特性をもつ。

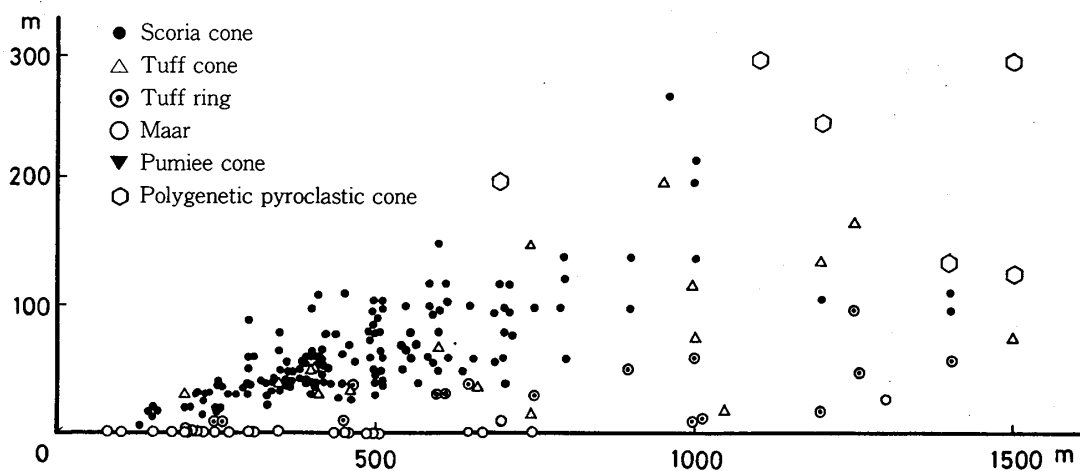
軽石丘、複成火砕丘とも底径が比高の15倍以下で、スコリア丘と同様の比較的急な山体を持つ。

底径と比高の関係をプロットしたのがFig. 9で、スコリア丘、タフリング・マールなどの分布領域がかなり明瞭に分けられ、タフリング、マールの比高が相対的に小さく、火山灰丘とスコリア丘はほぼ同じであることがわかる。

複合火砕丘はスコリア丘の領域に入るように見え、



(Fig.8) Histogram of basal width/relative height.
Legend is same to that in Fig. 3.



(Fig.9) Relationship between basal width (horizontal) and relative height (vertical).

これらはスコリア丘の複合体であることを示唆する。またいずれの火砕丘も比高=0.2底径の直線より上にはプロットされない。これは火砕丘が急になる限界があり、それ以上高くなるためには底径も広がらなければならないことを示している。

底径／火口径

火山体の大きさに対する火口の大小はその山体の形態を大きく左右する。一般にスコリア丘は山体の大きさにくらべ火口径は小さく、タフリングは大きいと考えられているが、日本の火砕丘についてもあてはまる。スコリア丘は火口径が底径の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ のものが50%を超え、大部分は $\frac{1}{3}$ より大きい。それに対し、タフリング、マール、火山灰丘、軽石丘、複成火砕丘はいずれもスコリア丘より扁平で、大部分が全体の $\frac{1}{2}$ 以上の火口径をもつ (Table 8, Fig.10)。

マールの大部分は周辺の堆積物が高くその高まりがほとんど認められないので、結果として底径と火口径が等しくなる (Fig.11)。

4. 火砕丘の地形と噴出物の岩質との関係

鉱物化学組成

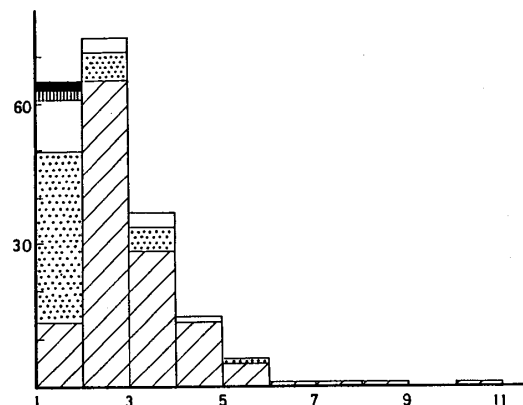
火砕丘の地形とそれを構成する物質の鉱物・化学組成との関係を知ることは重要である。しかし、火砕丘の堆積物は大小の溶岩の碎片からなり、孔隙が多いため風化が甚しい場合が多く、従来、岩石学的研究の試料として採取、分析されることが溶岩に比べ非常に少なかった。そこで火砕丘が形成される際、ほぼ平行して流出したと思われる溶岩流の分析値で代用できるかどうか、2, 3の例で検討した。

三宅島1983年の噴火の際に噴出した火山弾、スコリアの4試料の SiO_2 は52.80%から53.09%の間にあり、溶岩22試料は52.69～54.40%の間にあり、有意の差は認められない(曾屋ほか, 1984)。

秋田駒1970年～71年噴火で放出された火山岩塊の SiO_2 は3試料で58.56～59.12%の間にあり、流出した溶岩の SiO_2 は58.95%でその間にある(荒牧,

(Table8) Basal width/crater width.

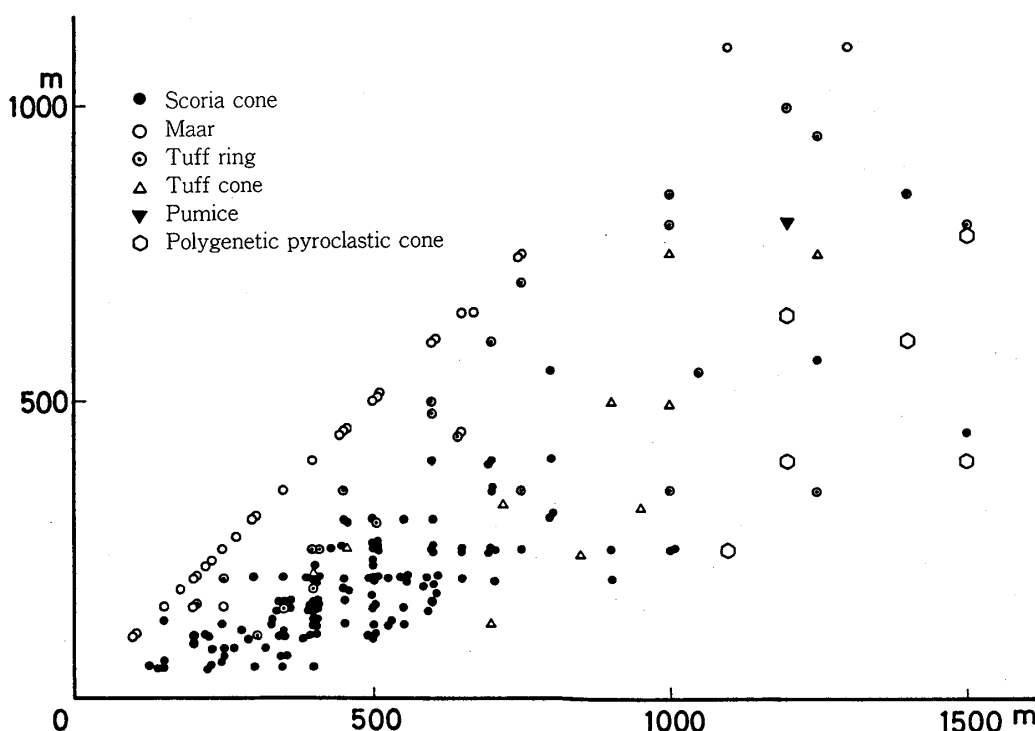
Type B.W./C.W.	S	TRM	T	P	PC	
1～	14	41	12	2	2	71
2～	65	1	6	0	3	75
3～	30	0	5	0	3	38
4～	14	0	0	0	1	15
5～	5	0	1	0	0	6
6～	1	0	0	0	0	1
7～	1	0	0	0	0	1
8～	1	0	0	0	0	1
9～	0	0	0	0	0	0
10～	0	0	0	0	1	1
Total	131	42	24	2	10	209



(Fig.10) Histogram of basal width/crater width.

1971)。1926年10月伊豆大島三原山から噴出したスコリアの SiO_2 は51.32%，同時期に流出した溶岩の SiO_2 は51.13%であった。同じ三原山の噴火で1950年9月18日に流出した溶岩と同月23日に噴出した火山弾の SiO_2 はともに52.25%であった(岩崎ほか, 1958)。以上から、火砕丘構成物とそれと平行して流出した溶岩の間には化学組成の点でそれほど大きな差異は認められないとしてよい。

そこで、火砕丘堆積物の鉱物・化学組成が知られておらず、平行して流出した溶岩のみが分析されている場合、溶岩の値を火砕丘堆積物の鉱物・化学組



(Fig.11) Relationship between basal width(horizontal) and crater width(vertical).

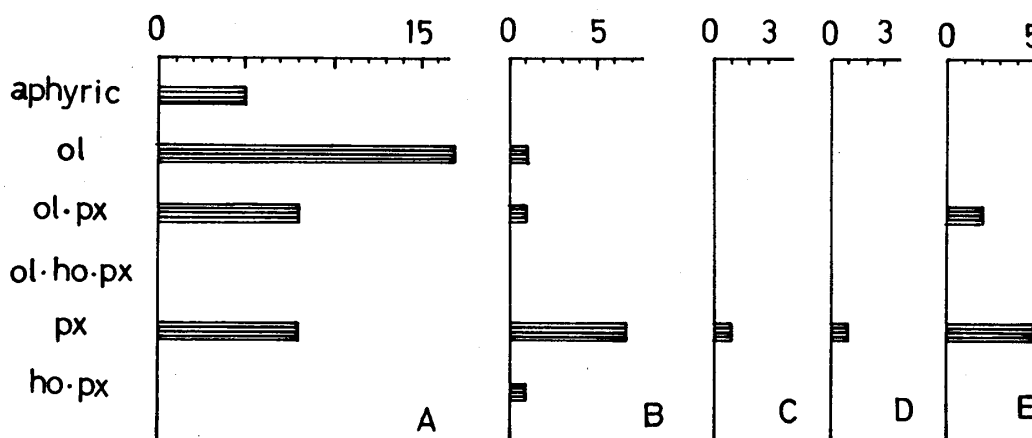
成と見なして議論を進める。

火砕丘の種類別に、それらを構成する岩石中の苦鉄質斑晶鉱物の組合わせの関係をまとめたのが Fig. 12である。

得られたデータが不完全で、それらがいくつかの火山に偏在しているため、日本の火砕丘の鉱物組成の特徴を代表しているとはいいがたい。今後なおデータを集め再検討すべきであるが、とりあえず集め

られた57個のデータについてのべる。

スコリア丘を構成する物質中に含まれる苦鉄質斑晶鉱物は、橄欖石、輝石だけで、角閃石や黒雲母が含まれない。橄欖石だけを含む苦鉄質のものが40%以上を占める。スコリア丘が玄武岩質マグマによって形成されることを反映している。それに対し、火山灰丘は橄欖石より輝石を含むものが多く、角閃石を含むものも1例認められ、安山岩質マグマによっ



(Fig.12) Histograms of mafic mineral phenocrysts in materials composing pyroclastic cones.

ol: Olivine px: Pyroxene ho: Hornblende

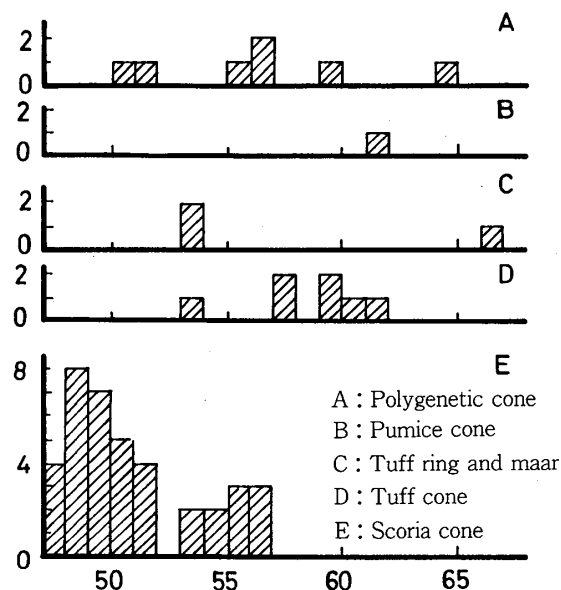
A: Scoria cone B: Tuff cone C: Tuff ring and maar D: Pumice cone

E: Polygenetic pyroclastic cone

て形成されることを示している。

軽石丘は2例にすぎないが桜島火山鍋山火砕丘は複輝石安山岩質で、伊豆諸島大峰火砕丘(向山溶岩)は黒雲母流紋岩で、中性〜珪長質マグマに由来することがわかる。

複合火砕丘は橄欖石と輝石の組合わせのものが2



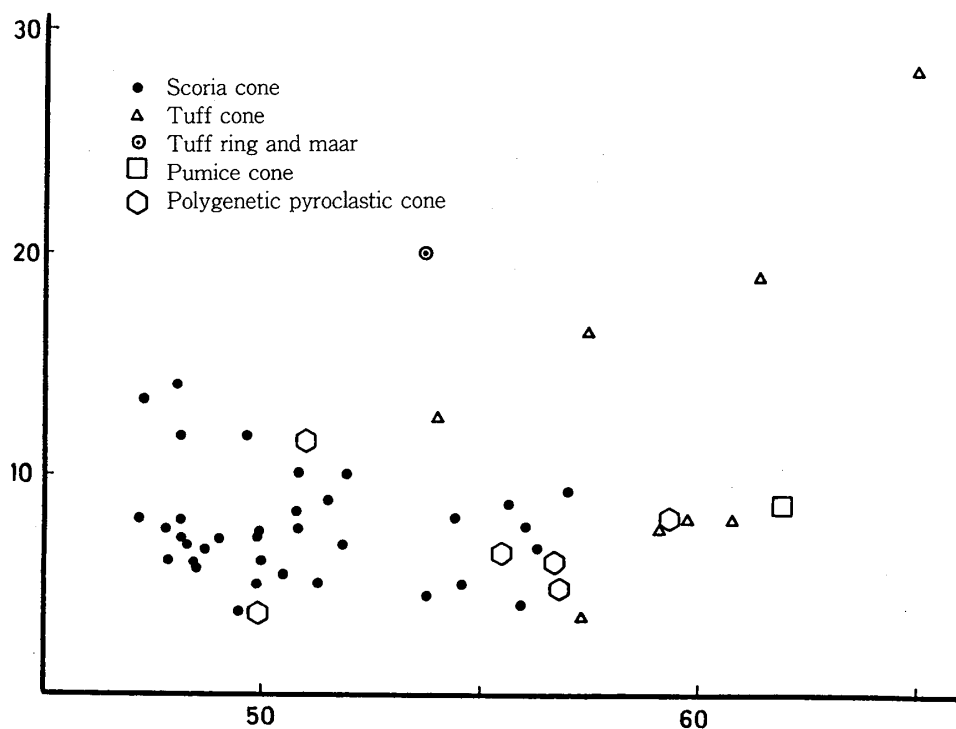
(Fig.13) Histogram of SiO_2 of the materials of pyroclastic cones.

例、輝石のみのものが5例で、全体として安山岩質で、火山灰丘と似ている。形態的にスコリア丘に似ていることと調和しない。

火砕丘をつくる噴出物の化学組成をその SiO_2 %で代表させてのべる。Fig.13は火砕丘の種類別に SiO_2 %のヒストグラムを並べたものである。スコリア丘は SiO_2 が55%以下に限られ、苦鉄質マグマに由来することが、鉱物組成とともによく示される。その他の火砕丘は、やや珪長質の組成すなわち安山岩質であることが多いことを示す。複合火砕丘の化学組成は50~65%まで広範囲にわたり、様々な火砕丘の複合体であることを示している。

底径/比高と SiO_2 との関係

火砕丘の扁平度を示す指標である底径/比高と化学組成を表わす代表値としての SiO_2 の関係がプロットされた(Fig.14)。全体的にみて、 SiO_2 と火砕丘の形態との間には顕著な相関は見られない。39個のスコリア丘についてみると、底径/比高 (W/C) と SiO_2 との間には、 $W/C = 0.06\text{SiO}_2 + 4.9$ の回帰直線で示される関係があるが、相関係数 $r =$



(Fig.14) Relationship between SiO_2 % (horizontal) and basal width/relative height (vertical).

0.14で両者の間にほとんど相関はないと見なされる。 SiO_2 が少ないほどマグマは流動的になり爆発的活動は弱くなるので、火口は小さく、噴出物も遠くへ飛散せず、火口周辺に堆積して、急峻な火砕丘が形成されるようになることが期待される。しかし、この結果は、予想を裏切り、 SiO_2 以外に火砕丘の形態を左右する大きな要因があることを示唆している。

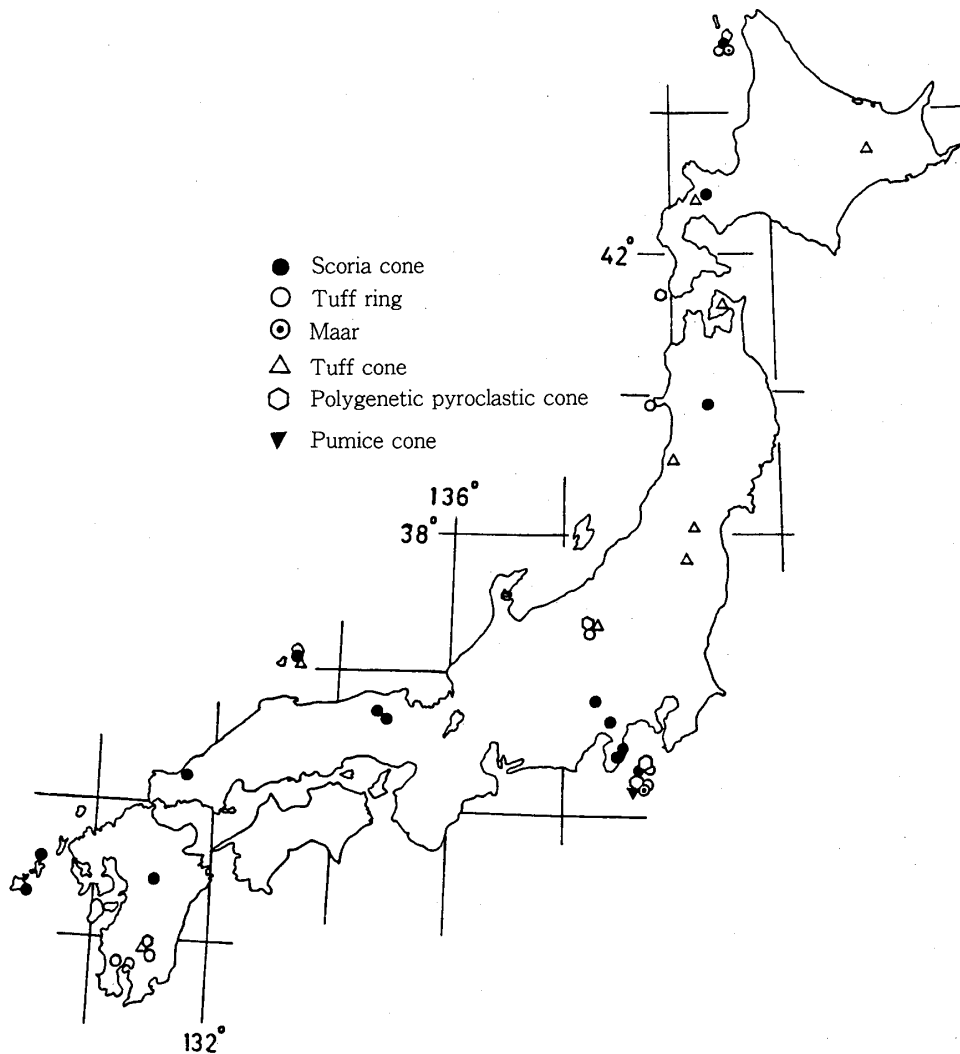
複成火成丘についても底径/比高 $=-0.1 \text{SiO}_2 + 12$ 、相関係数 $r = -0.13$ でありあまり相関はないことが知られる。火山灰丘についても SiO_2 が増加するにつれ、マグマの粘性が増し、爆発の程度が大きくなって火道から噴出物が遠方へ飛散して扁平な山体に

なる、つまり正の相関があることが期待されるが、恐山火山剣山火砕丘など8個の回帰直線が $W/C = 1.4 \text{SiO}_2 - 70$ 、相関係数 $r = 0.5740$ で、相関は認められない。

5. 火砕丘の形成年代

火砕丘は一般にルーズな火砕物からなるため、日本のような多雨地域では容易に消失してしまうと考えられている(守屋, 1983, 101p)が、それがどの程度の年数で消失するかは具体的にわかっていない。

地形が明瞭に残っている火砕丘のうち年代のわかっているものはほとんどが1~2万年以内に形成さ



(Fig.15) Distribution of pyroclastic cones in Japan

れている。富士火山長尾山のAD864年(町田, 1977, 50p), 伊豆大島火山波浮港マールのAD838年, 伊うに歴史時代のもの, 天城火山伊雄山3000年以新(荒牧・葉室, 1977)のような新しい時代のものが, 198)のような新しい時代のものが多い。東伊多い。東伊豆単成火山群のうち比較的古く, 地形もかなり不鮮明になっている地久保火砕丘は30,000年前に生じている(荒牧・葉室, 1977)。霧島火山の複合火砕丘群は4万~5万年前から活動を始めたと考えられている(長岡, 1984)。

以上のようないくつかの例から, 地形を保持している火砕丘の大部分はここ数万年に生じたものと考えるのが妥当と思われる。スコリア丘は雨水が内部に滲透するため流水による浸食を受けにくい(中村, 1979, 176p)ことを考慮に入れても, ルーズな構成物質, 小規模な山体, 急斜面からなる, などの点でその存在時間はかなり短いと思われる。

6. 火砕丘の地理的分布

火砕丘の分布をFig.15に示す。この図を見るかぎり, 火砕丘の著しい偏在は認められず, 日本のような島弧でも火砕丘はどの火山にも生じうることを示しているようにみえる。ただ種類別にみてスコリア丘は日本側と伊豆-小笠原弧の火山に, 火山灰丘は東北日本弧の火山フロント側に多い, といえるようである。

前者が比較的玄武岩質マグマから, 後者が安山岩質マグマに由来していることと調和的ではある。しかし, 短絡的に関係づけることが危険であることをFig.14が示唆しているので, 今後さらに検討が必要であろう。

文 献

荒牧重雄(1971): 秋田駒ヶ岳1970-71年噴火の噴出物-岩石の化学組成と造岩鉱物。火山, 2集,

16, 184-201.

荒牧重雄, 葉室和親(1977): 東伊豆単成火山群の地質。震研彙報, 52, 235-278.

Fisher, R.V. and Waters, A.C. (1970): Base surge bed forms in maar volcanoes. *Ame. Jour. Sci.*, 268, 157-180.

藤井敏嗣, 荒牧重雄, 福岡孝昭, 千葉達朗(1984): 三宅島1983年噴火噴出物の岩石学的特徴。火山, 2集, 29, S266-S282.

古山勝彦(1976): 神鍋火山群の岩石学的研究。地質雑, 82, 327-336.

Green, J. and Short, N.M. (1971): *Volcanic landforms and surface features*. Springer-Verlag, New York, 519p.

葉室和親(1978): 大室山火山群の地質。地質雑, 84, 433-444.

Hasenaka, T. and Carmichael, I.S.E. (1985): The cinder cones of Michoacan-Guanajuato, central Mexico: Their age, volume and distribution, and magma discharge rate. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 25, 105-124.

早川由紀夫, 荒牧重雄, 白尾元理, 小林哲夫, 徳田安伸, 津久井雅志, 加藤隆, 高田亮, 小尾口剛博, 小山真人, 藤井敏嗣, 大島治, 曾屋竜典, 宇都浩三(1984): 1983年10月3・4日三宅島火山噴火の降下火砕堆積物。火山, 2集, 29, S208-S220.

Heiken, G. (1971): Tuff-rings: examples from the Fort Rock-Christmas Lake Valley Basin, south central Oregon. *Jour. Geophys. Res.*, 76, 5615-5626.

Higgins, M. W. (1973): Petrology of Newberry volcano, central Oregon. *Geol. Soc. Ame. Bull.*, 84, 455-587.

一色直記(1960): 5万分の1地質図幅「三宅島」及び説明書。地調, 85p.

一色直記(1973): 伊豆新島向山火山の¹⁴C年代。火山, 2集, 18, 169-170.

岩崎岩次, 桂敬, 下島光, 小沢正二郎, 樽谷俊雄, 佐藤京子(1958): 伊豆大島火山の地球化学的研究。火山, 2集, 3, 70-97.

勝井義雄(1956): 羊蹄火山の地質と岩石。5万分の1地質図幅説明書「留寿都」附録, 北海道開発庁, 1-14.

勝井義雄, 横山泉, 江原幸雄, 山下濟, 新井田清信,

- 山元正継 (1977) : 渡島大島. 北海道防災会議, 82p.
- Kawano, Y., Yagi, K. and Aoki, K. (1961) : Petrography and petrochemistry of the volcanic rocks of Quaternary volcanoes of northeastern Japan. Sci. Rept., Tohoku Univ., Ser. 3, 7, 1-46.
- 倉沢一, 高橋清 (1960) : 山陰西部, 新生代火山岩類の化学的性質. 火山, 2集, 5, 110-127.
- 倉沢一, 高橋清 (1961) : 長崎県, 上五島の火山岩類の化学的性質. 火山, 2集, 6, 86-101.
- 倉沢一, 高橋清 (1962) : 長崎県五島列島福江島玄武岩類の化学的性質. 地調月報, 13, 195-210.
- 倉沢一, 松井和典 (1964) : 長崎県五島列島福江島の南東に散在する島々の玄武岩類. 地調月報, 15, 775-782.
- Lyell, C. (1830) : Principles of geology. John Murray. London, 621p.
- Macdonald, G.A. (1972) : Volcanoes. Prentice Hall, Inc., New Jersey, 510p.
- 町田洋 (1977) : 火山灰は語る. 蒼樹書房, 324p.
- Matsumoto, H. (1963) : Petrological study on rocks from Aso volcano. Kumamoto Jour. Sci., Ser. B, Sec. 1, Geology, 5, 1-67.
- McGetchin, T.R., Settle, M. and Chouet, B.A. (1974) : Cinder cone growth modeled after northeast crater, Mount Etna, Sicily. Jour. Geophys. Res., 79, 3257-3272.
- 宮島宏, 吉田武義, 青木謙一郎 (1985) : 東伊豆単成火山群の地球化学的研究. 核理研報, 18, 158-174.
- 守屋以智雄 (1978) : 空中写真による火山の地形判読. 火山, 2集, 23, 199-214.
- 守屋以智雄 (1983) : 日本の火山地形. 東大出版会, 135p.
- 守屋以智雄 (1984) : 空中写真による日本の火山地形. 日本火山学会編, 東大出版会, 192p.
- 長岡信治 (1984) : 南九州における後期更新世のテフラ層序. 火山, 2集, 29, 150.
- Nakamura, K. (1964) : Volcano-stratigraphic study of Oshima volcano, Izu. Bull. Earthq. Res. Inst., 42, 649-728.
- 中村一明 (1979) : 火山の構造. 横山泉, 荒牧重雄, 中村一明編, 岩波地球科学講座7「火山」, 岩波書店, 294p.
- Ollier, C.D. (1967) : Maars, their characteristics, varieties and definition. Bull. Volcanol., 31, 45-73.
- 小野晃司, 渡辺一徳 (1985) : 阿蘇火山地質図. 地調.
- Sapper, K. (1927) : Vulkankunde. J. Engelhorn's Nachf., Stuttgart, 424p.
- 沢村孝之助, 松井和典 (1957) : 5万分の1地質図幅「霧島山」及び同説明書. 地調, 58p.
- Schneider, K. (1911) : Die vulkanischen Erscheinungen der Erde. Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin, 272p.
- Scrope, G.P. (1862) : Volcanoes, the character of their phenomena. Longman, Green and Co., Patternoster Row, London, 490p.
- 進野勇 (1966) : 霧島火山の岩石学的研究. 岩鉱, 56, 56-74.
- 曾屋竜典 (1978) : 樽前火山の形成史. 火山, 2集.
- 曾屋竜典, 宇都浩之, 牧本博, 鎌田浩毅, 奥村公男, 須藤茂 (1984) : 三宅島火山1983年噴出物の化学組成および鉱物組成. 火山, 2集, 29, S 283-S 296.
- 田倉山団体研究グループ (1984) : 近畿地方北部, 田倉山火山の地質と岩石. 地球科学, 38, 143-160.
- 富樫茂子 (1977) : 恐山火山の岩石学的研究. 岩鉱, 72, 45-60.
- Tsuya, H. (1937) : On the Volcanism of the Huzi volcanic zone, with special reference to the geology and petrology of Idu and the southern Islands. Bull. Earthq. Res. Inst., 15, 217-357.
- 宇都浩三, 早川由紀夫, 荒牧重雄, 小坂丈子 (1983) : 草津白根火山地質図, 地調.
- Wood, C.A. (1980) : Morphometric evolution of cinder cones. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 7, 387-413.
- Wood, C.A. (1980) : Morphometric analysis of cinder cone degradation. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 8, 137-160.
- 山口鎌次 (1927) : 桜島火山溶岩類の化学的研究. 地質雑, 34, 1-28.
- 横山泉, 勝井義雄, 江原幸雄, 小出潔 (1976) : 雌阿寒岳. 北海道防災会議, 138p.