

# フィリピン諸島火山の地形発達と分類

守屋 以智雄\*

## Evolution and Classification of Volcanic Edifices on the Philippine Islands

Ichio MORIYA\*

[Received 27 January, 2013; Accepted 27 May, 2013]

### Abstract

The evolution of 84 volcanoes in the Philippines is outlined geomorphologically on the basis of interpretations of volcanic landforms using aerial photographs, topographic maps, satellite images, and geomorphological and geological field surveys. Fifty-six stratovolcanoes, three caldera, three lava domes, four scoria cones, four lava fields, and 10 shield volcanoes are identified. Large basaltic volcanoes such as lava fields and shield volcanoes were found unexpectedly in subduction zones. No lava field or shield volcano has been discovered on the Japanese Islands. Among the 34 subduction zones in the world, 19 do not have lava fields or shield volcanoes. Two oblique subduction zones form the Philippine Fault Zone. The fault zone mostly coincides with the eastern volcanic zone. At the southwestern part of Mindanao Island, a volcanic chain, consisting of Bulibu, Basilan, and Cagayan Sulu lava fields, Balatukan, Mangabon, Katangrad, Kalatungan, Makaturing, Bacolod, and Pagayawan shield volcanoes, and Pagadian lava domes (monogenetic volcanoes) trends northeast-southwest, in parallel with the trenches and main arcs. The association of the volcanoes with the trenches and arcs suggests that the volcanic chain is a marginal sea ridge between Sulu Sea and Celebes Sea and that the back-arc basin ridge might have extended under Mindanao Island from Moro Gulf to the northern part of Mindanao Island.

**Key words** : Philippines, volcanic landforms, back-arc basin ridge, lava field, shield volcano

キーワード : フィリピン, 火山地形, 背弧海盆海嶺, 溶岩原, 楯状火山

### I. はじめに

インド大陸とユーラシア大陸の衝突で東に押し出された (Tapponnier *et al.*, 1986), ブルネイ・セレベスの諸島とそれらを取り巻く海域を含んだユーラシア・プレートは, 東に大きく突出した。そのユーラシア・プレートと, 太平洋プレート, インド-オーストラリア・プレート 3 者の衝突・沈み込みにより, 複雑に入り組んだ島弧・海溝・火山帯・地震帯が, フィリピン諸島からインドネシア諸島にかけての地域一帯に形成された (Allen,

1962; Seno and Eguchi, 1983)。

フィリピン諸島は, 5 個の背弧海盆フィリピン海・南シナ海・スル海・セレベス海・モルッカ海に囲まれ, これらマイクロ・プレートの沈み込み・拡大などにより複雑なテクトニクスが展開されている。フィリピンの火山もそれに影響され, 沈み込み帯に多い成層火山・カルデラ火山だけでなく, 拡大軸・ホットスポットなどにみられる溶岩原・楯状火山など, 多様な火山が形成されている (図 1, 表 1)。

一部の火山については, 地形・地質・構造・

\* 金沢大学名誉教授

\* Emeritus Professor, Kanazawa University, Kanazawa, 920-0942, Japan

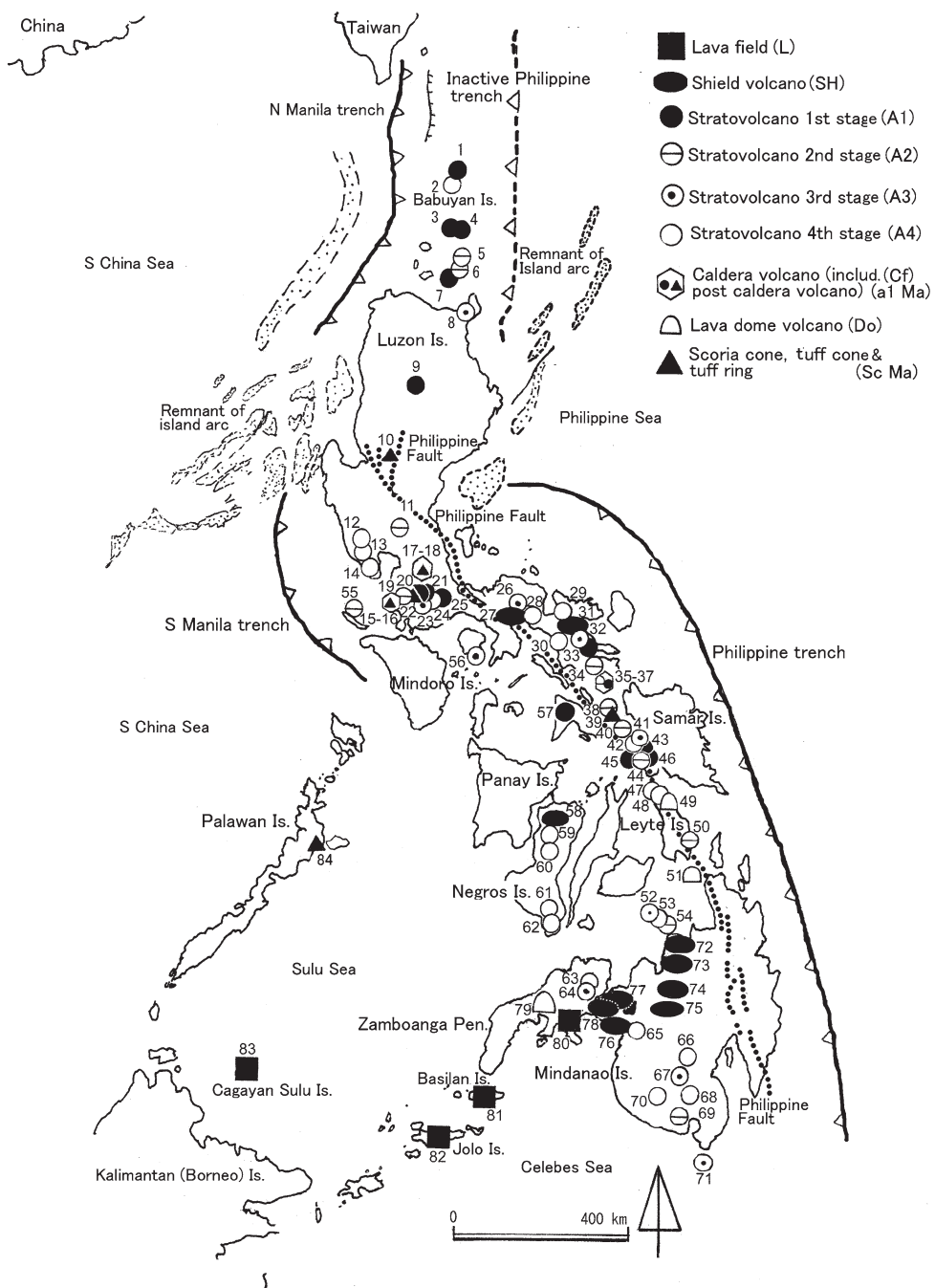


図1 フィリピン諸島別火山分布.

図1～26は Board of Technical Surveys and Maps (フィリピン) 刊行の5万分の1の地形図およびグーグルアースをもとに作成.

Fig. 1 Distribution of Philippine volcanoes classified according to edifice type.

Figs.1-26 were constructed, interpreted from 1/50,000 Topographic maps published from the Board of Technical Surveys and Maps, Republic of the Philippines, and from Google Earth images.

表 1 フィリピン諸島の火山一覧.

Table 1 List of volcanic edifices in the Philippines.

VN	Volcano Name (VNm)	VT	RH	BW	VN	Volcano Name (VNm)	VT	RH	BW
1	Iraya	A1	1009	6000	43	Camalobagoan	A1	1048	8000
2	Matarem	A4	500	12000	44	Biliran	A2	1015	13000
3	Smith	A1	688	5000	45	Caraycaray	A1	437	5000
4	Babuyan Claro	A1	1080	10000	46	Caibiran	A2	1266	8000
5	Minabui (Camiguin Is, Babuyan)	A2	828	11000	47	Janagdan (Leyte Is)	A4	1120	25000
6	Nagtapulan	A2	671	10001	48	Lobi	A4	1300	17000
7	Camiguin de Babuyanes (Calayan Is)	A1	712	7000	49	Mahagnao	Do	400	6000
8	Cagua (Luzon Is)	A3	1120	15000	50	Cabalian	A2	920	10000
9	Binuluan	A1	410	4000	51	Nelangcapan (Panaon Is)	Do	687	5000
10	Amorong	Sc	150	5000	52	Hibok-hibok (Camiguin Is)	A3	1300	10000
11	Arayat	A1	1026	10000	53	Mambajao	A4	1525	15000
12	Pinatubo	A4	1740	35000	54	Ginsiliban	A2	679	14000
13	Natib	A4	1273	34000	55	Ambalatangan (Is)	A2	645	5000
14	Mariveles	A4	1362	25000	56	Malindig (Marinduque Is)	A1	1157	9000
15	Taal caldera	Cf	100	25000	57	Maanahao (Masbate Is)	A1	697	12000
16	Volcano (Is)	Ma	400	7000	58	Silay (Negros Is)	SH	2440	40000
17	Laguna caldera	Cf			59	Mandalagan	A4	1856	23000
18	Balibago	Ma	60	1000	60	Kanlaon	A4	2500	39000
19	Makiling	A2	900	10000	61	Lake Balinsasayao	A4	1780	20000
20	Nagcarlang	A1	600	4000	62	Cuernos de Negros	A4	1820	13000
21	Atimba	A1	654	3000	63	Lake Duminagat (Mindanao Is)	A4	1700	38000
22	San Pablo	Ma	100	8000	64	Malindang	A3	2000	35000
23	San Cristobal	A4	1400	14000	65	Ragang	A4	2815	27000
24	Banahaw	A4	1140	30000	66	Talomo	A4	2500	43000
25	Banahaw de Lucban	A1	1450	8000	67	Apo	A3	2938	15000
26	Labo	A3	1544	23000	68	Sibulan	A2	1392	20000
27	South Labo	SH	1109	28000	69	Matutum	A2	1800	30000
28	Culasi	A4	959	22000	70	Parker	A4	1100	9000
29	Isarog	A4	1936	34000	71	Balut (Is)	A3	862	9000
30	Iriga	A4	1050	9000	72	Balatukan (Mindanao Is)	SH	2440	40000
31	Malinao	SH	1500	27000	73	Mangabon	SH	2480	35000
32	Masaraga	A3	1326	10000	74	Katanglad	SH	2983	55000
33	Mayon	A1	2462	25000	75	Kalatungan (including Musuan)	SH	2842	46000
34	Juban	A2	730	10000	76	Makaturing	SH	2316	25000
35	Irosin caldera	Cf	490	25000	77	Bacolod	SH	1300	29000
36	Bulusan	a1	1565	10000	78	Pagayawan	SH	1226	18000
37	Jormajan	Do	550	3000	79	Pagadian	Do	1532	15800
38	Camandag (Is)	A2	432	4000	80	Bulibu	L	400	77740
39	Santo Nino (Is)	Sc	453	6000	81	Basilan (Is)	L	519	36000
40	Maripipi (Is)	A2	924	7000	82	Bud Dajo (Jolo Is)	L	448	33300
41	Panamao (Biliran Is)	A3	1066	9000	83	Cagayan Sulu (Is)	L	236	16850
42	Guluausan	A4	1320	14000	84	Taytay (Palawan Is)	Sc	180	6000

VN: Volcano Number; VNm: Volcano Name; VT: Volcano Type; RT: Relative Height (m); BW: Basal Width (m).

L: Lava field; SH: Shield volcano; A1: Stratovolcano in the 1<sup>st</sup> stage; A2: Stratovolcano in the 2<sup>nd</sup> stage; A3: Stratovolcano in the 3<sup>rd</sup> stage; A4: Stratovolcano in the 4<sup>th</sup> stage; Cf: Funnel-type caldera volcano (including post caldera volcanoes "a1"); Do: Lava dome volcano; Sc: Scoria cone, tuff cone; Ma: tuff ring, Maar.

岩石・噴火史年代などが明らかにされているが (Meijer *et al.*, 1983; Defant *et al.*, 1991; 宇井・Geronimo-Catane, 1993; Listanco, 1994; Andal

*et al.*, 2005; Catane *et al.*, 2005; Mirabueno *et al.*, 2006, 2011 など), その他の多くの火山は実態が不明のまま残されている。本論では空中写真・

衛星写真・地形図・文献 (Neumann van Padang, 1963; Simkin *et al.*, 1989; Simkin and Siebert, 1994) に加え, Google Earth 画像などを利用して, 地形判読を主体として作成した地形分類図を基本データとして得られた結果を報告する。ただし, この観察結果は, 地質調査を踏まえない予察的なものであり, 完成されたものではない。今後, フィリピン諸島火山の詳細を明らかにするために, 現地調査などにより速やかに補われる必要がある。

## II. フィリピン諸島の地形・地質概要

フィリピン諸島は, 太平洋プレートとは南のミンダナオ島の南東で接近するが, すべて周囲は縁海プレートに囲まれている。フィリピン諸島は, 大きくみると時代的に異なった時期に活動した海溝に東西両側から挟まれて, ほぼ同じ幅で S 字状に屈曲しながら北北西-南南東方向に密集する大小の島々の集合体である。

ルソン島北部で東西両側から古海嶺群 (島弧起源?) が衝突, 会合部を形成している。ここではフィリピン海溝とマニラ海溝がともに南北に分断されている。はさまれたルソン島北部は顕著な少火山地帯となっている。

またフィリピン諸島中央部をほぼ縦断するフィリピン断層系が存在する。これは南東からのフィリピン海プレートが平面的に斜め方向に沈み込むことで, フィリピン諸島東岸側が北方へ, 西岸側が相対的に南方へ引きずられることで生じた左横ずれ断層系と考えられている (Allen, 1962; Acharya, 1980; 平野ほか, 1986; 中田・堤, 1990 など)。フィリピン諸島中東部ではとくにこの断層系に近い場所を火山が並列する。後述するレイテ島 Janagdan 火山はこの断層系により火山体中央部を分断され, 5 km 水平変位し, 山頂には諏訪湖に似た菱形の断層凹地が形成されている。

フィリピン諸島の大部分の火山は沈み込み帯と関連して生じているが, ルソン島-台湾島間に形成されたバブヤン諸島の火山列は西方の北マニラ海溝からの南シナ海プレートの沈み込みによって生じていると考えられている (Cardwell *et al.*,

1980; Hamburger *et al.*, 1983)。ルソン島北部では両側から古海嶺 (古島弧) が衝突し, フィリピン・マニラ両海溝を分断, 東側では会合部が生じ, より北側の海溝 (古フィリピン海溝) は非活動的になった。ルソン島北部では両側から古海嶺 (古島弧) が衝突したためか, 火山の数・規模が極端に少なく, 小さい。

マニラ湾西沖の南マニラ海溝は, 地形も明瞭で活動的であり, その沈み込みに関連して Pinatubo, Natib, Mariveles などのルソン島南西部の火山列を形成している。その南の Taal や Banahaw などの火山列は東に向きを変え, 火山は屈曲点から約 200 km で途絶える (図 2)。そして, 150 km ほどの無火山地域をはさんで, その東に Labo, Culasi, Isorog 火山が東西に並ぶが, Iri-ga, Mayon 火山と南西に向きを変える。これら無火山地域の東に出現する火山はフィリピン海溝から約 300 km の距離を保ち, 両者はミンダナオ島までほぼ並列している。東火山列はフィリピン海溝の沈み込みと対応していることを示す。

マニラ海溝の南端がミンドロ島とパラワン島の間で不明瞭になるあたりと, フィリピン海溝北端の会合点付近を結ぶ北東-南西方向に沿って, トランスフォーム断層が想定されるが, これに沿ってマクロード回廊と呼ばれる地溝状の凹地が連続し, Taal, Laguna, Banahaw の火山列が北東方向に余分にのびている (図 2)。西側のマニラ海溝からの沈み込みで生じている Pinatubo, Natib, Mariveles などの火山列は Taal, Banahaw など東火山列に連なる火山と分かれて, マリンドゥク島の Marlanga 火山, マスバテ島の Maanahao 火山, ネグロス島の Kanlaon 火山を経てミンダナオ島西北部の Malindan 火山へと続く西火山列が並行する。

以上で述べてきた火山は大部分が成層火山で, それに数個のカルデラ火山・楯状火山が点在する。それに対してミンダナオ島中北部の Balatukan 火山からはじまり, 西部のサンボアンガ半島基部からバシラン諸島・ホロ諸島にのび, カリマンタン島北東部まで達する長さ 640 km, 幅 110 km, 深さ 4000 ~ 4500 m の背弧海盆から聳

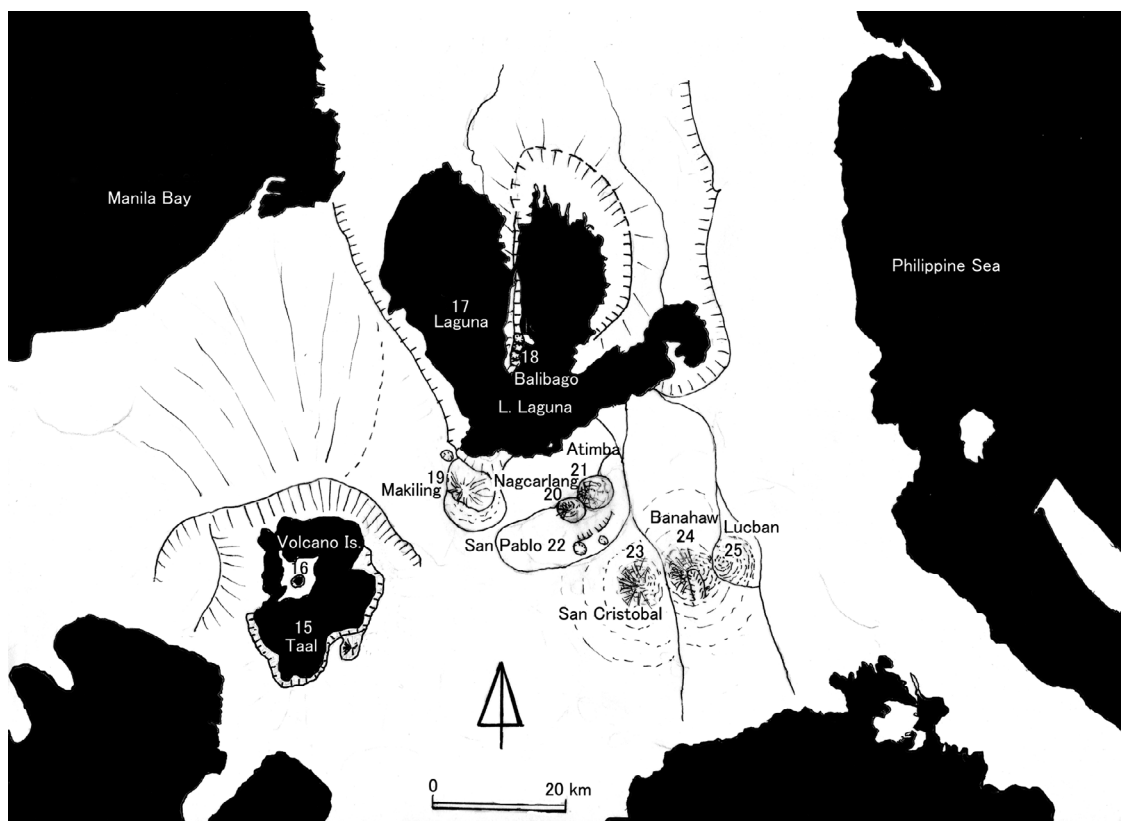


図 2 ルソン島中部 Macolod Corridor 構造帯沿いの火山分布。  
番号 15 ~ 25 は図 1・表中の火山番号に対応。

Fig. 2 Distribution of volcanoes in the Macolod Corridor tectonic zone, central Luzon Is.  
No. 15-25 correspond to volcano numbers (VN) in Fig. 1 and Table 1.

える海嶺上に、玄武岩質の溶岩原・楯状火山・単成火山群が混在し、安山岩質成層火山・流紋岩質カルデラ火山が全く認められない火山列が存在する。

### III. フィリピン火山の記載

フィリピン諸島の 84 火山のうち、主要な火山の地形・構造・発達について北から順に略述する(図 1, 表 1)。

- 1) **Iraya** 火山 (バブヤン諸島バタン島 図 1・表 1 中の火山番号 1 以下「図 1・表 1 中」を省略)

バタン島は北東-南西方向 (19 km) にのびた“ダンベル状平面形”をもつ火山島で、西から東

シナ海プレートが沈み込むことによって生じた。島の中央部はダンベルの取手部分にあたる幅 2 km の地峡をなし、その北東側の膨らんだ部分は Iraya 火山が、南西側の膨らんだ部分は Matarrem 火山が占める (図 3)。

Iraya 火山は標高・比高 1009 m、底径 5 km の成層火山で、その円錐火山体頂部は 5 方向からの谷頭侵食でカルデラ状に低くなり、それを埋めるように新たな小火山体、スコリア丘が 2 個形成されている。山頂部にスコリア丘が形成されていること、成層火山原面上に厚さ 50 m を超える安山岩デイサイト質溶岩流の地形が認められないことから発達段階“第 1 期の成層火山”(守屋, 1979, 1983)と判定した。

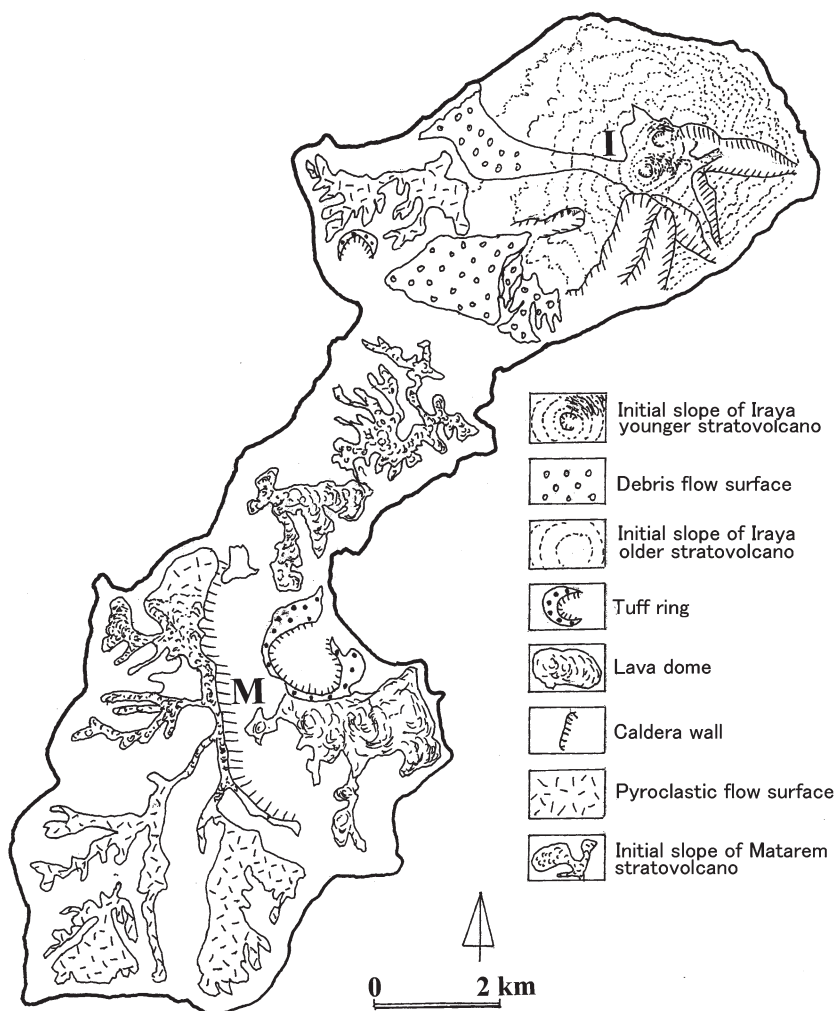


図 3 バブヤン諸島バタン島 Iraya (I) および Matarem (M) 火山の地形分類図。

Fig. 3 Geomorphological map of Iraya (I) and Matarem (M) volcanoes on Batan Island, Babuyan Islands.

## 2) Matarem 火山 (火山番号 2)

Matarem 火山はダンベル状バタン島の南の膨らんだ部分を占める。その中央部にはほぼ南北方向にのびるカルデラ壁と、その西に放射状に広がり、溶岩流と火砕流とからなると考えられる侵食外輪山斜面が広がる。カルデラ壁の東、すなわちカルデラ内に新たに形成されたドーム状の溶岩流、径約 1 km の火口をもつマールが後カルデラ火山として存在する (図 3)。南北方向にのびる

カルデラ壁の南北両端を東に同じ曲率で延長すると、半径 5 ~ 6 km の円形カルデラが描かれる。カルデラ壁西の外輪山斜面が溶岩流・火砕流堆積面から構成されることは、カルデラ形成以前に成層火山が存在したことを意味し、カルデラ半径 5 ~ 6 km という事実をあわせると、Matarem 火山はカルデラ火山ではなく発達段階第 4 期まで進んだ成層火山とみなしたほうがよさそうである。

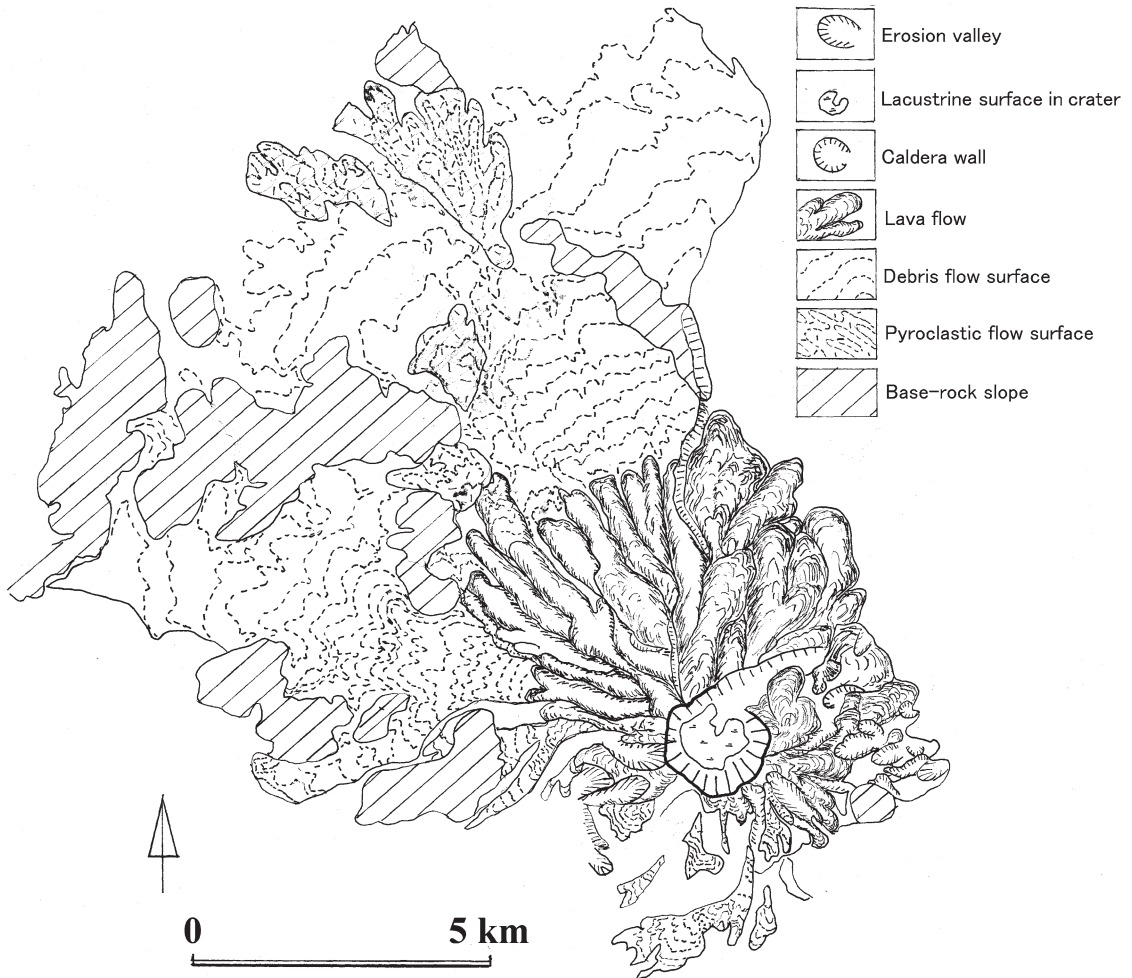


図 4 ルソン島北東部 Cagua 火山の地形分類図。

Fig. 4 Geomorphological map of Cagua volcano at the northeast part of Luzon Island.

### 3) Cagua 火山 (ルソン島 火山番号 8)

この火山はルソン島の北東部にある成層火山で、マニラ海溝からルソン島下に沈み込むユーラシア・プレートの動きに関連して生じたと考えられる。標高 1136 m、底径 15 km の中型成層火山で、標高 1000 m 前後のシエラマドレ山脈とその西を流れるカガヤン川がつくる平野の境界線上に噴出した。

火山体の中心は南東部に偏在する比高約 800 m の成層火山で、その表層部はほぼ厚さ 50 ~ 100 m、

長さ 4 ~ 5 km の安山岩質溶岩流から構成される。山頂には径 1.7 km のカルデラが存在し、底には平坦な湖成面が残されている。溶岩流は北東の新鮮な地形を残すものと、西・南・東斜面を占める若干の侵食を受け、火砕流に薄く覆われた古いものに 2 大別される。北東部の新鮮な地形を残す溶岩流は、古い溶岩流を切った幅約 2.5 km の広い谷を埋め、山頂カルデラ壁にその根元を断ち切られている (図 4)。これらの事実から次のような火山体発達のシナリオが描ける。①古い安山岩

質溶岩流で表層部が構成された発達第2期段階の古期成層火山の形成, ②古期成層火山北東部に広い谷形成(火山体大崩壊・岩屑なだれ発生・馬蹄形凹地形成を意味する), ③北東部新时期溶岩流が広い谷を埋積する, ④山頂部から火砕流噴出, 山頂カルデラ形成。

南東に偏在する成層火山体中心部から北西に長さ8~9 kmの扇状の緩斜面が広がる。この火山麓扇状地のなかに、面積にしてその約1/3にあたる地域がシエラマドレ山脈の一部が基盤山地として頭をだしている。したがって火山麓扇状地をつくる土石流・火砕流堆積物の厚さは100 m超す場所は稀であろう。厚い安山岩質溶岩が流出する火山体を経て火砕流の噴出, カルデラの形成を行ったCagua成層火山は、第3期から第4期の発達段階にあるとみなされよう。

#### 4) Binuluan 火山 (火山番号 9)

ルソン島北西部の標高1500~2000 m, 起伏が500~600 mの中央山脈中に標高2329 m, 比高340 m, 底径約4 kmの小型成層火山が存在する。この地域は、急峻な基盤地形と多雨気候により、侵食量は非常に大きく、噴出物の大部分が運び去られ、火山体は大きく成長できなかったと推定される。山頂部には西に開いた馬蹄形凹地が存在し、火山体の大崩壊が発生したことを示唆するが、岩屑なだれ堆積物の存在は急峻山地内であるため明らかでない。成層火山斜面は平滑で溶岩流の末端崖などの地形は認められない(図5)。浅い放射谷が数少なく刻まれている。この平滑斜面の表層部はスコリア・スパターなどで構成されているものと推定される。そこでこの火山は発達段階第1期の成層火山と考えられる。

#### 5) Amorong 単成火山群 (火山番号 10)

ルソン島北部Pinatubo火山から北東約90 kmのアグノ川とタルラック川がつくる平野にAmorong小型単成火山群が存在する。平野の北東部を限るリングアイエンディンガラン断層系に近いサンホセ市の西北西約20 km付近に西北西方向20 km, 北北東方向12 kmの長方形内に存在する8個の火山を総称してAmorong単成火山群と呼ぶ(図6)。その一つが標高376 m, 底径約

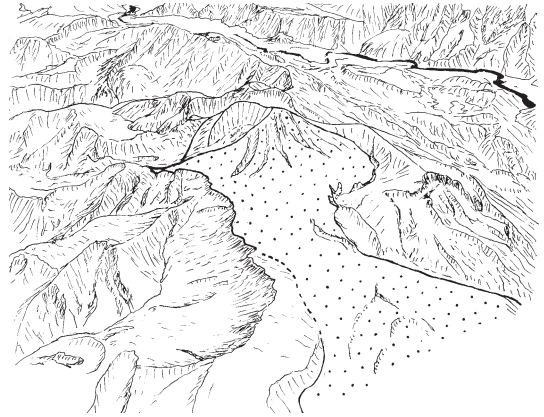


図5 Binuluan成層火山を南上空からみる。

Fig. 5 Bird's eye view of Binuluan stratovolcano from the south.

5 kmのAmorong単成火山で(図7), 中心に比高120 m, 径700 m, 深さ150 mのタフコーンがあり, そこから南北2方向に厚さ30~40 m, 幅約1 kmの溶岩流が流出している(図7)。タフコーンのすぐ北にスコリア丘が形成されている。このAmorongタフコーンとスコリア丘の西6.5 kmには径2.1 km, 深さ120 mのPaitanタフリングが存在する。またAmorong単成火山の西9.4 kmにはスコリア丘と溶岩流からなるBalungaoが存在する。

#### 6) Pinatubo 火山 (火山番号 12)

ルソン島西岸から約80~110 km沖合い西に、南北に560 km連なるマニラ海溝から、ルソン島下に南シナ海プレートが沈み込んでいる。Pinatubo火山はこの沈み込みに関連して、海溝から約45~150 km離れた地点に噴出したと考えられている(Cardwell *et al.*, 1980; Hamburger *et al.*, 1983)。Pinatubo火山の南に相接するように形成されたNatibやMariveles火山も同様の機構で形成されたと推定される。

火山体中央部周辺に、侵食で原形を失い、いくつかのブロックに分かれて点在する急な高まり(多分、成層火山, 溶岩ドーム)が存在し, その内側が湾曲していることから, 古い成層火山あるいは溶岩ドームの山頂部に径4~5 kmのカルデ



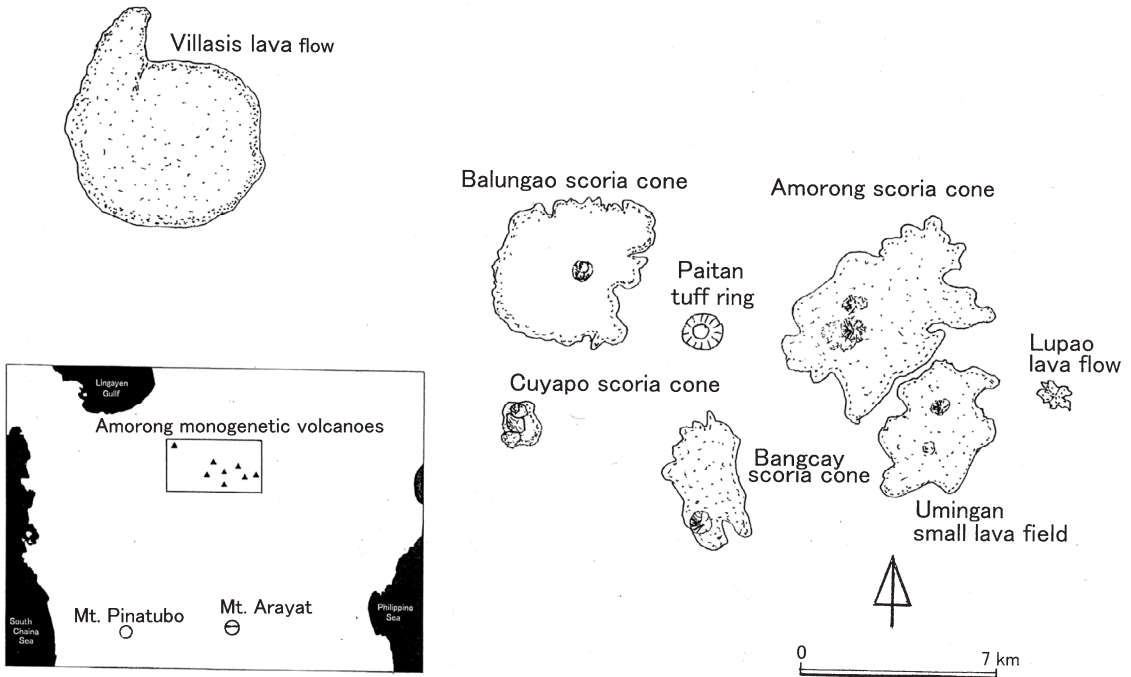


図 6 Amorong 単成火山群の地形分類図.

Fig. 6 Geomorphological map of Amorong monogenetic volcanoes.

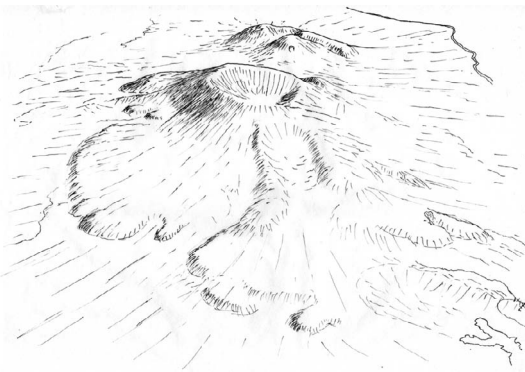


図 7 Amorong スコリア丘単成火山を南上空からみる.

Fig. 7 Bird's eye view of Amorong scoria cone volcano from the south.

ラが存在していたことを示唆する。その後古いカルデラ内に溶岩ドームが形成され、1991～1992年噴火まで存在した。現在はその時のプリニアン噴火・火砕流噴火で跡形もなくなり、径2kmの

新カルデラが形成されている。火山体中央部の急斜面の外側は火砕流・土石流などの堆積物から構成される広く緩やかな斜面が山麓まで広がる (Punongbayan *et al.*, 1996; 広瀬・井上, 1999) が、放射谷の侵食で、丘陵状に変化している (図8)。火山体中腹・山麓の火山性丘陵地には複数の火砕流・土石流堆積物に深い谷が刻まれ、形成された峡谷を埋めて新しい火砕流・土石流が堆積し、さらにそれを新しい谷が深く掘り下げるといった作用が繰り返し行われ、複雑な構造が生まれている (Newhall *et al.*, 1992; 小橋・原, 1993)。Newhall *et al.* (1996) は山頂に古いカルデラが形成された35,000 BP以降、火砕流・土石流の堆積と侵食が少なくとも6回繰り返され、1991～1992年噴火の一つ前の火砕流噴火は500 BP以前であることを明らかにしている。

#### 7) Natib 火山 (火山番号 13)

北の Pinatubo, 南の Mariveles 火山と相接するこの火山は、標高 1273 m, 底径東西 35 km,



図 8 南上空からみた Pinatubo 火山の山頂周辺の地形。  
Fig. 8 Bird's eye view of Pinatubo volcano around the summit from the south.

南北 30 km の規模をもつ成層火山である。その火山体の中心部に東西 5 km、南北 7 km のカルデラが形成されている。そのまわりに平均標高 1000 ~ 1100 m の外輪山が存在、山麓に広がる緩斜面はカルデラ形成時に噴出した火砕流堆積物が土石流堆積物とともに構成していると推定される。カルデラの大きさからみて、火砕流堆積物の体積は 5 km<sup>3</sup> 以上に及んだと考えられる。このカルデラの東縁で再び噴火が起こり比高 600 m、底径 7 km の小型成層火山が成長、西斜面はカルデラ床を埋め、カルデラ西縁まで達した。その最盛期には標高 1500 m を超えていた可能性が高い。その後小型成層火山頂から火砕流噴火が起こり、径 3 km のカルデラが生まれ、さらにその新期カルデラ中に径 1 ~ 2 km の溶岩ドームが形成された。上記の火山体形成史から、Natib 火山は第 4 期まで発達した成層火山と考えられる。その後、噴火活動は少なくとも数 10 万年間起こらず、侵食作用が火山体に強く働き、山麓以外は原形を失い、現在の姿となった。

なお Natib 成層火山南麓に、南に開いた幅 7 km、長さ 8 km の半円形の凹地が存在する。そしてそのなかにドーム状の高まりが存在する。この地形は Natib 成層火山と別の独立したカルデラ火山にもみえる。しかし凹地内の高まりは溶岩ドームというより火山麓扇状地の形態を示し、高まりと上方の外輪山斜面とも直線に近い一線として連続

する。したがってこの地形は Natib 成層火山の外輪山斜面の下部がわずかに地すべりを起こした結果生じた地形と解釈される。

#### 8) Mariveles 火山 (火山番号 14)

この火山は標高・比高 1362 m、底径 25 km と、Pinatubo、Natib 火山とほぼ同規模の成層火山体をもち、山頂部に径 3.5 km のカルデラが形成されている。その火山体斜面は侵食谷に刻まれ、ここ 10 万年間ほどは噴火活動を休んでいると推定される。カルデラ形成に関連して火砕流が発生していることが、火山麓扇状地の形態などから推定される。しかし、一方では、50 m 以上の厚さをもち、末端では 2 ~ 3 km の幅をもつ安山岩質溶岩流を 15 km 離れた海岸線まで流下させ、溶岩流が火山体全体のなかで主要な構成要素となっている。この点は Pinatubo、Natib 火山とは異なる。また山頂カルデラを南北に通過する深く大きな谷の存在も、構造的に、中心噴火だけでなく割れ目噴火の性格も多分に保持していたことを物語っているのかもしれない。以上の事実から Mariveles 火山は成層火山発達の第 4 期に入ったばかりの段階にあるとみなされよう。

#### 9) Taal カルデラ火山 (ルソン島中部 火山番号 15 含 Volcano Island 後カルデラ火山 火山番号 16)

マニラ首都圏の南約 30 km に、一辺が約 20 km の歪んだ正方形のカルデラをもつ Taal 火山が存在する (Catane *et al.*, 2005)。Taal 火山は、このカルデラの周囲に広がる火砕流堆積面とカルデラ湖中に生じたマール・タフコーン・スコリア丘が多数存在する小島からなる後カルデラ火山とからなる (図 9)。しかしこのカルデラとその周辺の地形を 1/50,000 地形図で判読すると、1 回の火砕流噴火で形成された単純なカルデラ地形ではなく、複数回の大規模火砕流の噴出、カルデラの形成があったことがわかる。たとえばカルデラ壁にはいたるところで火砕流が流下して緩斜面を形成しており、最新の火砕流が噴出したときには、すでに以前の火砕流噴火に伴って生じたカルデラ壁が存在していたことを明示する。地質調査からは Taal カルデラの形成に関連して 4 枚の火砕流

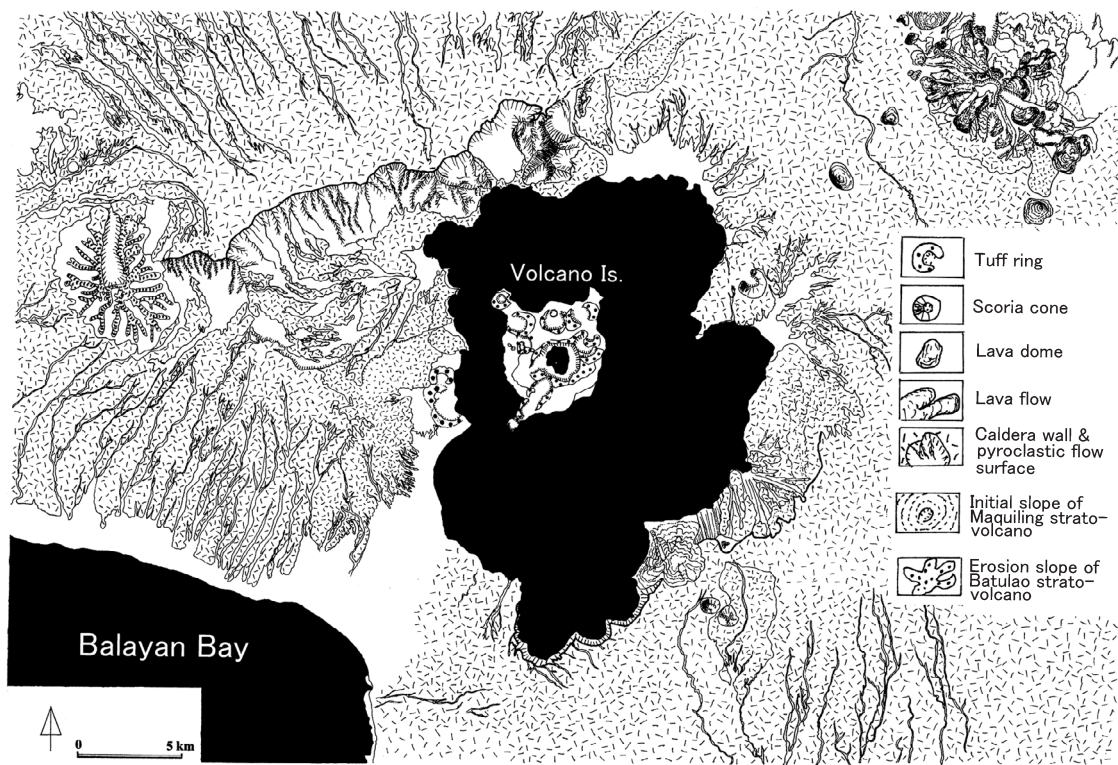


図 9 Taal カルデラ火山の地形分類図。

Fig. 9 Geomorphological map of Taal caldera volcano.

が認識されており，最新の火砕流は約 5500 BP で噴出量は約  $50 \text{ km}^3$  と推定されている (Newhall and Dzurisin, 1988; Catane *et al.*, 2005)。

カルデラ北壁は標高 600 m を超え，東北東西南西方向に直線的に 20 km 連続し，南壁東壁も湾曲しながら標高 300 ~ 400 m で約 14 km 連続する。一方両者間のカルデラ北東と南西側は顕著なカルデラ壁はなく，火砕流堆積面がカルデラ中心に向かって緩やかに傾斜している。これらの火砕流堆積物に覆われて，数個の成層火山が認められる (図 9)。

1965 年噴火は Taal 湖中の Volcano Island で起こり，ベースサージが発生，約 190 名が犠牲となった (Moore *et al.*, 1966; 中村, 1966; Moore, 1967)。大きくみると Taal カルデラは北東-南西方向にのびる構造線に沿った火山性地溝と考えて

よい。この構造線はフィリピン海溝北端とマニラ海溝南端を結ぶトランスフォーム断層の陸上における一つの表現と考えられている (Hamburger *et al.*, 1983)。

#### 10) Laguna 火山 (火山番号 17, 含 Baribago 後カルデラ火山 火山番号 18)

「3 本指グローブ」ともいふべき平面形をもつラグナ湾 (湖) は Macolod (Corridor) 地溝帯の底に形成された面積  $922 \text{ km}^2$  の巨大な湖で，複数回にわたる火砕流噴火の結果，大量の軽石が地溝帯を埋め，平坦化した低地に形成されたものである (Wolfe and Self, 1983; Catane *et al.*, 2005)。地形的にはそれらの巨大火砕流噴火の痕跡をたどることは困難である。そのためこれまでは Laguna 湖周辺凹地を火山として認知してこなかった (守屋, 2012)。しかし地質学的に，ラグナ湖周辺

地域のボーリング調査結果では、20枚以上の火砕流堆積物の存在が明らかにされ (Catane *et al.*, 2005), 地形的にも最大で径 30 km に達するカルデラが存在したと推定される。ラグナ湖の北岸から南にのびる 2 本の半島とタリム島は、その巨大カルデラ湖中に形成された後カルデラ期の成層火山の残骸で、その中央に径約 15 km のカルデラをもち、巨大火砕流を発生させたことが推定される (図 2)。タリム島の南半部に 7 個の明瞭なタフリング地形が残り、1 個の後カルデラ火山として認定、Baribago 火山 (火山番号 18) とした。

これら火砕流堆積物の年代も 5000, 27,000, 29,000, >42,000 BP という若い火砕流の噴出時期が <sup>14</sup>C 年代測定により明らかにされている。古い年代値は K-Ar 年代測定などにより 1.0, 1.7, 2.3, 2.24, 1.67 ~ 2.19 Ma などの値がだされているが、試料の風化度など問題を抱え、大部分は 100 万年前より若いと考えられているものの (Catane *et al.*, 2005), 検討の余地が多数残されている。また噴出源が Taal 火山か Laguna 湖周辺であるかについてもさらなる検討が待たれる。

#### 11) Banahaw 火山 (ルソン島中部 火山番号 24)

この火山はマニラ市南東約 100 km にある標高・比高 2140 m, 底径 30 km の成層火山である。山頂に南にのびる深さ 750 m, 幅 2 km の谷がある。これは火口が侵食で拡大したものを考えられる。長さ 4 ~ 6 km, 幅 400 m ~ 1 km, 厚さ 50 ~ 200 m の溶岩流の 50 本近くが火山体の表面の大部分を覆うが、それらの溶岩流の一部は火砕流らしい堆積物によってさらに覆われている。山麓は長さ 20 km に達する広大な火山麓扇状地で占められている (図 10-B)。

北東山頂から山腹斜面にかけては、深さ 100 m, 幅 1 ~ 2 km の馬蹄形凹地がある。東麓には流れ山地形が明瞭に存在し、両者をあわせ考えると、火山体頂部の大崩壊が起こり、岩屑なだれが東麓に流下したと推定される。これらの火山体大崩壊で形成された一連の地形は Banahaw de Luchan (ルソン島中部, 標高 1875 m, 火山番号 25, 図

10-L) 成層火山が Banahaw 成層火山の北東中腹斜面に新たな噴火で生じたため、わかりにくくなっている (Geronimo-Catane, 1994)。その山頂には底径 1 km, 比高 375 m の溶岩ドームがあり、山麓に長さ 5 km の火山麓扇状地が発達している (図 10-L)。

Banahaw 火山の西麓に、標高 1470 m の San Cristobal 火山 (火山番号 23, 図 10-C) がある。山頂部に火口はなく溶岩ドームで占められ、中腹にも 20 本近い厚さ 50 ~ 100 m の溶岩流が認められる。また火砕流堆積面らしき地形も認められ Banahaw 火山と似た地形的特徴をもつ火山である。西麓には長さ 10 km の火山麓扇状地が広がる。

San Cristobal 火山の北西麓には San Pablo 小火山列 (火山番号 22, 図 10-P) とがある。これは 20 ~ 30 個のスコリア丘、マール群が、3 ~ 4 本の断層崖と平行して東北東-西南西に並ぶ小型単成火山列である。さらにその東北東端には底径 4 km, 比高 400 ~ 500 m の二つの小火山錐 Atimba (火山番号 21, 図 10-A), Nagcarlang (火山番号 20, 図 10-N) がある。

#### 12) Labo 火山 (ルソン島東部 火山番号 26)

Labo 火山はその南限近くに山頂カルデラが存在し、南隣の South Labo 楯状火山の山頂部と近接する。そのため両者は一つの火山に見えるが、火山体を構成する地形が互いにあまりにも異なるので別の火山として扱った。

Labo 火山は標高 1544 m, 比高 1500 m, 底径 20 km の北に広がる成層火山であるが、主成層火山体は比高 800 m, 底径 8 ~ 9 km の小型ながら急峻な山容を示す。山頂付近は 4 本の深い谷が刻まれ、原形をかなり失ってはいるものの、径 1.5 km 以下のカルデラとそのなかに比高約 100 m を超す溶岩ドームが形成された様子がかがえる。

成層火山体斜面は急峻であるが平滑で、厚い溶岩流の上に火砕物が被覆していることを示唆する。北中腹斜面上には比高 300 ~ 400 m, 底径 2 ~ 3 km のデイサイト質とみられる溶岩ドームが突き出ているが、その基部から末端崖比高 40 ~ 60 m

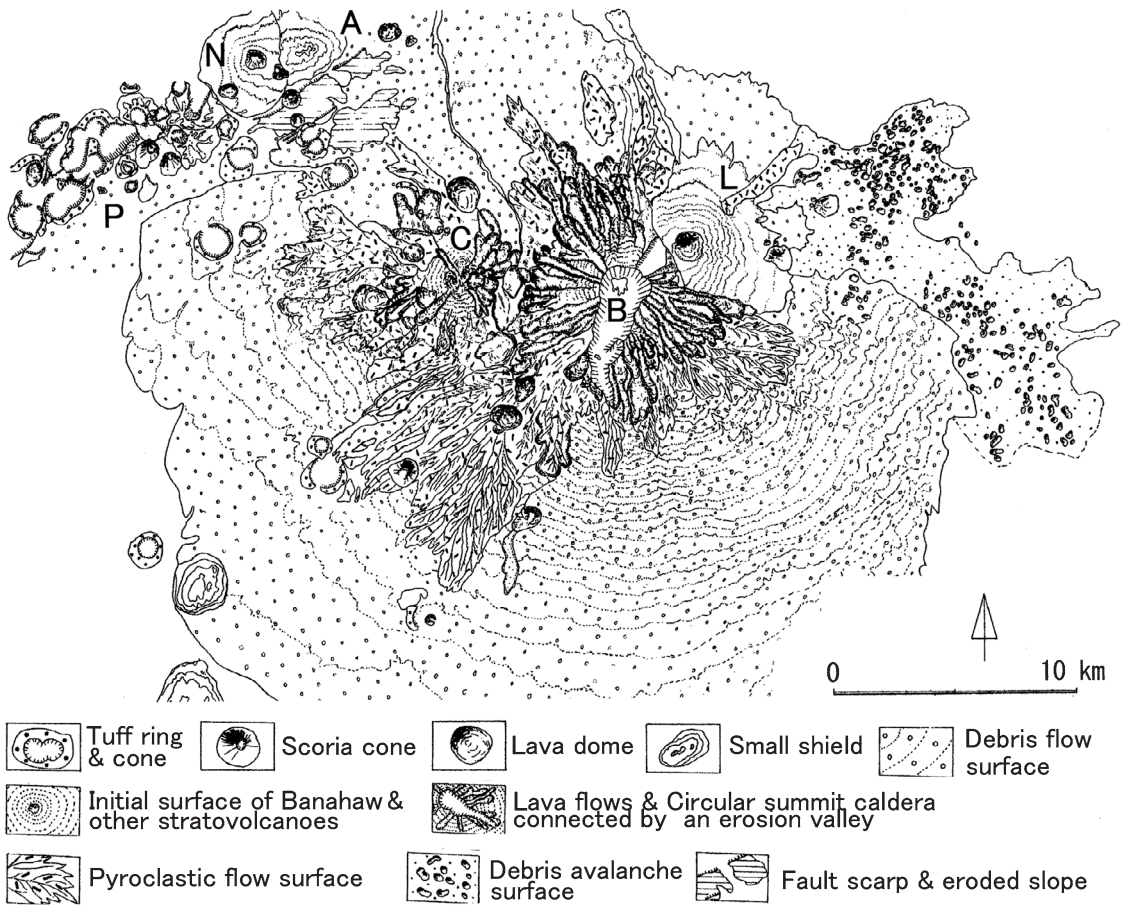


図 10 San Pablo, Nagcarlang, Atimba, San Cristobal, Banahaw, Banahaw de Lucban 火山の地形分類図。

Fig. 10 Geomorphological map of San Pablo, Nagcarlang, Atimba, San Cristobal, Banahaw, and Banahaw de Lucban volcanoes.

の厚い溶岩流が 16 枚流下している (図 11-L)。

この溶岩ドームとはほぼ同規模の高まりが、その周辺から東中腹・南中腹にかけて存在する。これは溶岩ドームが侵食され、原形を失ったものか、基盤山地の峰々が火山体に被覆され切れずに突出しているものか判別できない。

火山体北部では山麓の緩斜面 (火山麓扇状地) が広がるが、等高線のパターンから次の 3 種類の地形面に分けられる。等高線のパターンが整った扇状を示し土石流堆積面であることを示唆する北斜面、竹ぼうき状に進行方向に広がる等高線パターンを示し火砕流堆積面であることを示唆する

北北東麓斜面、不規則な出入りの多く、小丘を表す閉曲線も数多く現われる等高線パターンを示し、岩屑なだれ堆積面であることを示唆する北東斜面に分類され、山頂部・中腹で発生した種々の事件が山麓の地形に明瞭に表現されることを物語る。

これらを総合して Labo 火山は第 3 期まで発達した成層火山とみなした。

### 13) South Labo 火山 (火山番号 27)

Labo 火山の南に接して South Labo 火山が存在する。この火山は北縁部に山頂が存在、標高 1109 m、底径 30 km、東・南・西に向かって

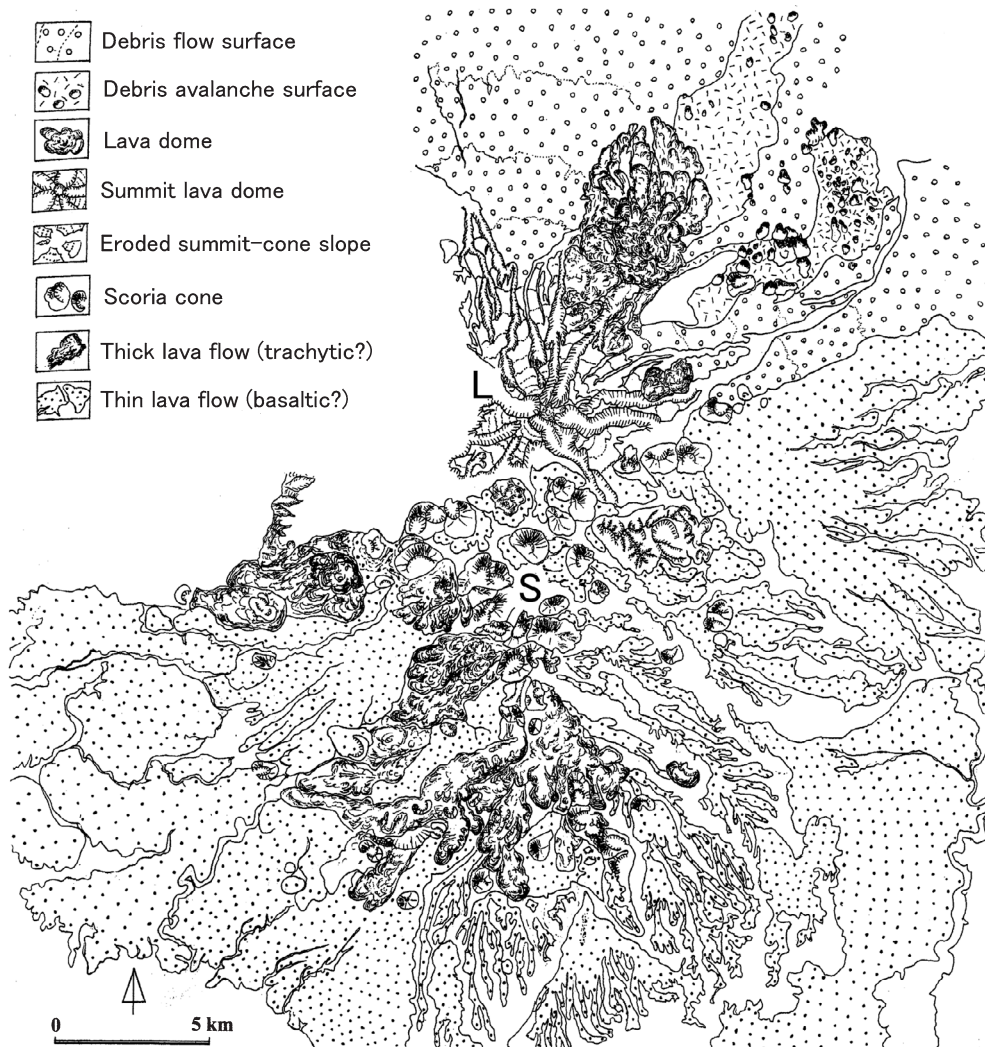


図 11 Labo 成層火山と南 Labo 楯状火山の地形分類図。

Fig. 11 Geomorphological map of Labo stratovolcano and South Labo shield volcano.

徐々に高度を減ずる楯状火山で、山頂部に 20 個前後集中して分布する径 2～3 km、比高 300～400 m のやや大きめのスコリア丘群、その南に放射状に流下する侵食の進んだ厚い安山岩質溶岩流、中北部から東、西へと流下する玄武岩安山岩質溶岩流の 3 種に分けられる。山頂部に集中したスコリア丘群から約 10 km 離れて、それらを取り巻くようにやや小さめのスコリア丘が 20 個ほど分布する (図 11-S)。

#### 14) Culasi 火山 (ルソン島 火山番号 28)

Culasi 火山は、South Labo 楯状火山に接して、すぐ東に噴出した、標高 959 m、底径 18～24 km の成層火山である。山頂に径 4～5 km のカルデラをもち、そのなかに溶岩ドームが 4 個形成された。カルデラをとり巻く外輪山は厚い安山岩質からなり、カルデラ形成以前には急傾斜の標高 1300 m に達する成層火山体を形成していた。その成層火山が大量の軽石を放出、成層火山頂部が

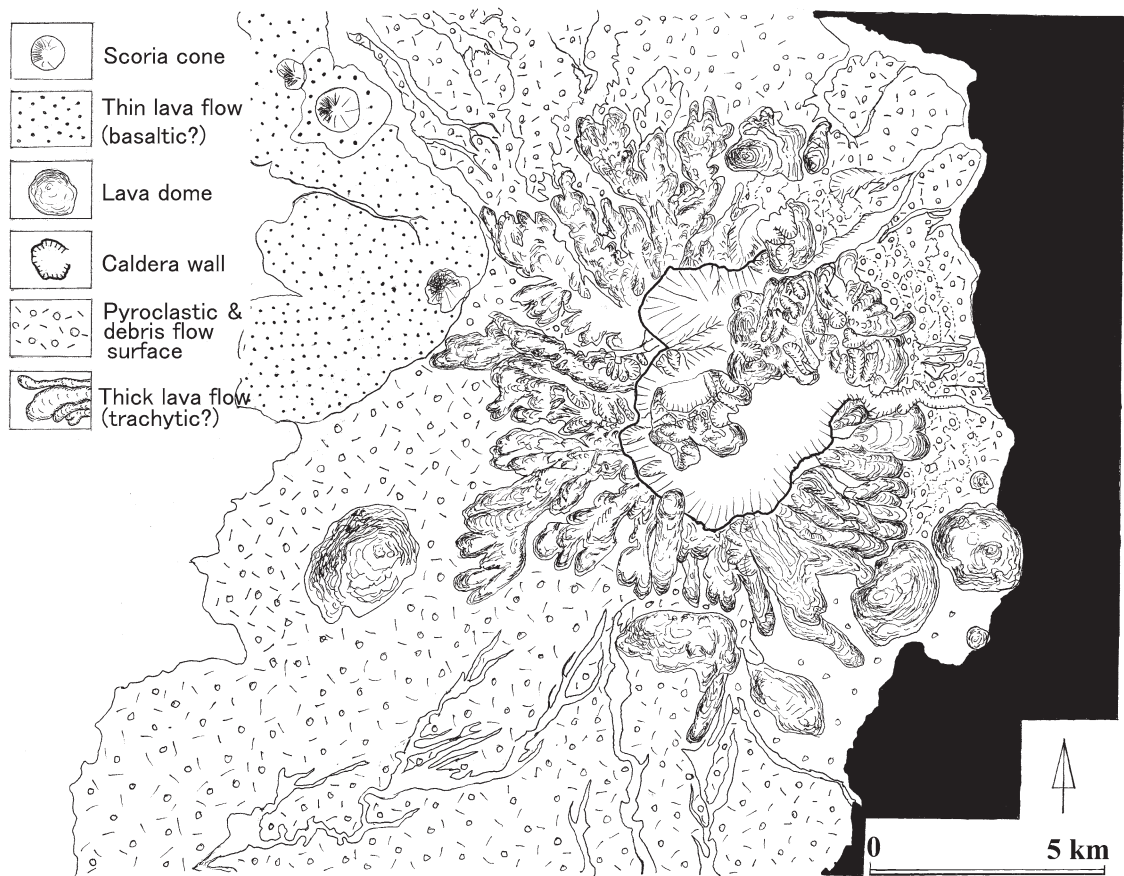


図 12 Culasi 成層火山の地形分類図。

Fig. 12 Geomorphological map of Culasi stratovolcano.

陥没してカルデラが生じ、軽石は火砕流となって山麓を厚く覆った。その後、新しい溶岩ドームが 8 個山麓に形成された (図 12)。

以上から Culasi 火山は第 4 期の発達段階まで進んだ成層火山と認定される。

#### 15) Isarog 火山 (ルソン島 火山番号 29)

ルソン島南東部火山列の中部に位置するこの火山は、標高・比高 1966 m、底径 34 km の大成層火山である。火山体中央部では、末端崖の比高が 100 m を超し、山頂から 5 ~ 6 km の距離まで全方位に流下する安山岩質溶岩流が 68 本は数えられる。この溶岩流を主体とする成層火山体はカルデラ壁の存在、侵食度の差などから古期・中期・

新期の 3 つの時期に分けられる。火山体中央北東部に古期の成層火山体の一部が、外側から新期成層火山体を囲むように存在する。山頂から南半部には中期の成層火山体が広く分布、その一部を覆って、新期溶岩流が流下、火山麓緩斜面との間には火砕流堆積面と考えられる浅く細かい谷に刻まれた斜面が見いだされる。南中腹斜面では中期成層火山斜面より 100 m 前後高い古期成層火山体が認められ、その斜面を流下した溶岩流も判読される。

山頂には径 2 km、深さ 900 m を超す円形カルデラが存在し、カルデラ底に径 700 m、比高 400 m の溶岩ドームが認められる。カルデラ東

壁は幅 1 km, 長さ 3 km の火口瀬によって削られ、失われている。その東方には、火口瀬を流下した土石流が、長さ 7 km, 扇頂角 70° の火山麓扇状地を形成している。これらは新期成層火山形成期の産物で、新期溶岩流の流出中心は明らかに新期カルデラ内にあり、新期溶岩流の根元は新期カルデラ壁に断ち切られている。これは新期溶岩流の流出後にカルデラが形成されたことを意味し、カルデラ形成時には大規模なプリニー式噴火・火砕流が発生したと考えられる。3 期にわたる溶岩流出にはさまれて、火砕流噴出も複数回起こったと考えられる。このような火砕流の堆積面は山麓緩斜面上に上部に数か所で見いだされ、広い火山麓扇状地の構成物の一つとして火砕流堆積物が土石流堆積物に挟まれていると推察される。Isarog 成層火山の北麓には流れ山が数多く認められ、火山体大崩壊・岩屑なだれが発生したことがわかる。これらの事実から Isarog 火山は第 4 期の発達段階に到達した成層火山と考えられる。

#### 16) Iriga 火山 (ルソン島 火山番号 30)

ルソン島中部にある Iriga 成層火山 (標高・比高 1145 m, 底径 10 余 km) の発達史は大きくみて、古・中・新の 3 期に分けられる。古期成層火山体は北～西に、中期成層火山体は西～南に一部のみ残存している。新期成層火山体はおもに東半部を占めているが、この時の火道は古・中期の火道に対して 1 km ならず東に寄っていたらしい。新期成層火山体上には、溶岩流の地形がよく残る。その長さは 4～5 km, 幅 200～1000 m, 厚さは 50 m 前後である。この成層火山は発達段階第 2 期に山体大崩壊を起こし、南東に開く馬蹄形カルデラ (幅 2 km, 長さ 4 km, 最大深 400 m) とその前方に広がる流れ山をもつ岩屑なだれ堆積面を形成した。馬蹄形カルデラ内にはその前後の活動で溶岩ドーム (厚さ 100 m)・火砕丘・爆裂火口がつけられている (図 13)。

流れ山は南東麓に広がるものとは別に南西麓にも広く認められ、別の山体大崩壊が起こったことを示唆する。これに対応する馬蹄形カルデラは認められないが、馬蹄形カルデラ壁の一部と思われる東西方向にのび、南落ちの比高 100 m ならず

の急崖が西斜面上に見いだされる。この崖は古期成層火山体を切って形成され、中期成層火山体に埋められていて、両者を分ける事変であったと考えられる。一方新しい山体大崩壊は新期成層火山をも切っていて、前記のように最新の事変であると考えられる。なお東麓ブヒ湖岸には 3 つのマールが形成されていて、側火山の活動でマグマが湖水と接触してマグマ水蒸気爆発が起こったことを示している。火山麓扇状地は南・西・北麓にあるが、長さ 2 km ならず、基盤の起伏を埋め切れず、十分に発達しているとはいえず、この火山がまだ若いことを示している。

#### 17) Mayon 火山 (ルソン島 火山番号 33)

この火山 (標高・比高 2462 m, 底径 25 km) は完全に近い円錐形成層火山でしばしば噴火する活火山でもある。大きくみて火山斜面は平滑で溶岩流や流れ山などの起伏に富む地形は認められないが、詳しく観察すると、幅数 10 m, 長さ 3～5 km の溶岩流の地形や、火砕流・土石流の地形が、中腹斜面上に数 10 本見いだされる。また爆発飛散角礫層や厚さ 10 m 以下の火砕流堆積物がつくる地形の下に溶岩流が存在すると推定される場合もある (たとえば南北中腹斜面)、中腹以下の斜面には火砕流堆積面が広がり、山麓の緩斜面の大部分は土石流扇状地であることが多いと推定される (図 14)。1968 年噴火では火砕流の先端部が山麓で土石流に変化したとの報告がある (Moore and Melson, 1969)。

筆者が使用した地形図は 1961 年刊行されたもので、山頂火口は存在せず溶岩ドームが火道をふさいでいる。しかし噴火のたびに新しい火口が開き、ヴルカノ式噴火・ストロンボリ式噴火が発生、プリニー式の噴出物・火砕流・溶岩流が放出される。マグマの化学組成のうち SiO<sub>2</sub> の含有量は 51～58% で玄武岩-安山岩質である。噴火記録からは 19 世紀以降、平均 4 年に 1 回のペースで噴火が起こっており (Catane *et al.*, 2005)、多雨気候地域・急斜面にもかかわらず、火山体を深く刻む放射谷が形成されていない理由がわかる。山麓の扇状地はかなり広い範囲に発達しているが、基盤山地が火山麓扇状地上に数か所で突出



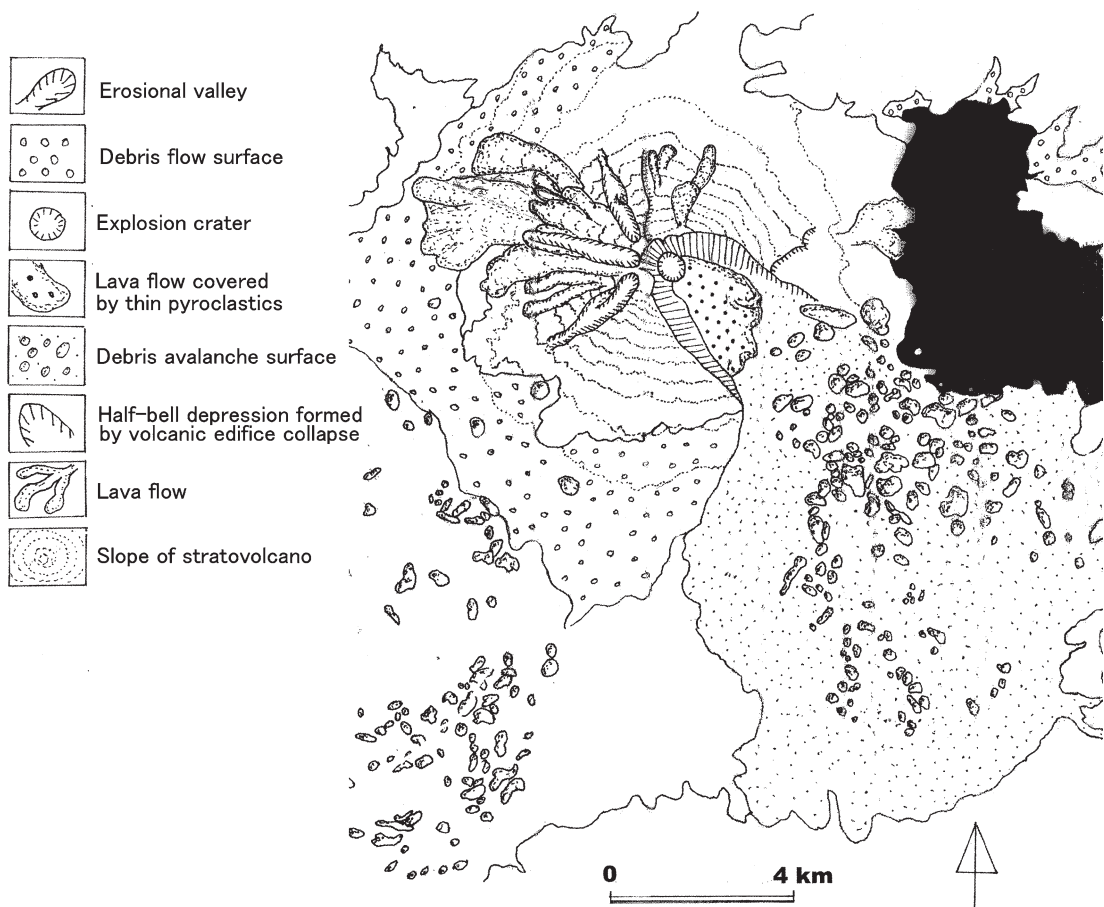


図 13 Iriga 成層火山の地形分類図。

Fig. 13 Geomorphological map of Iriga stratovolcano.

することから、火山麓扇状地をつくる土石流堆積物の厚さは 100 m を超していないと推定される。また土石流堆積物中には何枚もの火砕流堆積物が挟まっていると考えられる。以上から Mayon 火山は成層火山第 1 期の発達段階にあると考えてよい。

**18) Irosin カルデラ火山 (ルソン島南東部火山番号 35, 含 Bulusan 後カルデラ火山火山番号 36)**

Irosin 火山はルソン島南西端に形成されたカルデラ火山で、径 11 km の Irosin カルデラ (図 15-I)、その周囲に広がる約 41 cal kBP (Mirabueno *et al.*, 2007) に噴出したデイサイト流紋

岩質 Irosin 火砕流堆積物がつくる台地、カルデラ内に形成された Bulusan 成層火山・溶岩ドーム群によって構成される。

Irosin カルデラが形成される以前、200 万年以上前からこの周辺には中小規模の成層火山・溶岩ドームが形成しはじめていたことが地形的に観察されるし、地質学的にも明らかにされている (Delfin *et al.*, 1993)。

Irosin 火砕流台地はかなり侵食され、海岸も近いことから、陸上に残された Irosin 火砕流堆積物の体積 (DRE) は 10.4 km<sup>3</sup> 以上とされてきたが、カルデラの直径などから、実際には 60 km<sup>3</sup> (DRE) の軽石が放出されたと推定されている

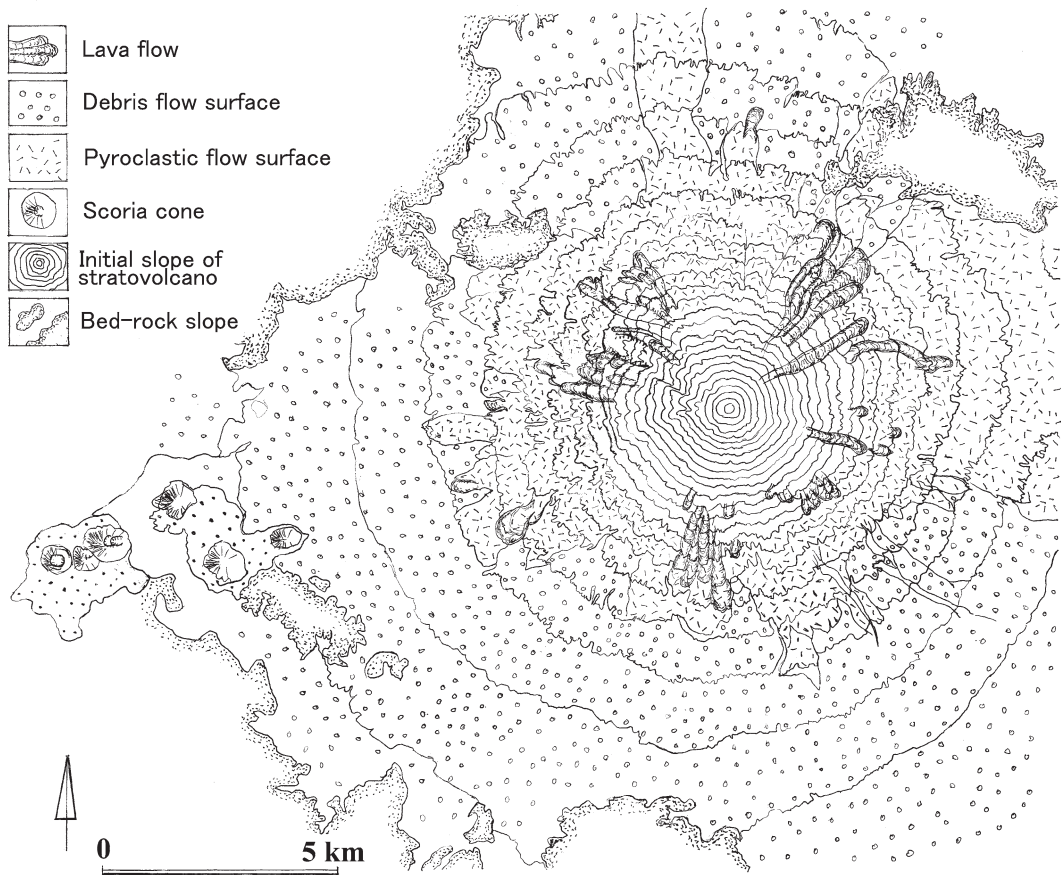


図 14 Mayon 成層火山の地形分類図.

Fig. 14 Geomorphological map of Mayon stratovolcano.  
Topographic maps published in 1961 were used.

(Delfin *et al.*, 1993)。Irosin カルデラ内には、2 万年ほど前から形成されはじめた Bulusan 成層火山 (火山番号 36, 図 15-B) が安山岩質溶岩流を流出させ、比高 1500 m, 底径 10 km の中型成層火山をカルデラのやや北よりに築き、一部の溶岩流は北東カルデラ壁を超え、Irosin 火砕流台地上を流れた。Bulusan 後カルデラ火山のすぐ西麓には 2 個の溶岩ドームが形成されている。Bulusan 成層火山の東北東麓には Irosin 火砕流堆積面を覆い、Bulusan 成層火山の溶岩流に覆われた、より平滑な火砕流堆積面が存在する。その噴出時期がカルデラ形成より前か後かについて

は、地形からは判断できない。

#### 19) Janagdan 火山 (レイテ島 火山番号 47)

レイテ島中部に位置するこの火山は、フィリピン断層系の上に噴出した標高 1120 m, 底径 25 km の成層火山である。フィリピン断層系はほぼ北西-南東方向に走りほぼ円形の火山体の中央部を切っている。山頂近くでは断層は 2 列に分かれ、一辺が約 5 km, 幅が 2.5 km の菱形断層凹地を形成している (図 16)。これは折れ曲がっていた断層が隆起しつつ、左横ずれ運動を繰り返すうちに形成されたものである。断層凹地の内部には大小 5 個の溶岩ドームが生じ、ダナオ

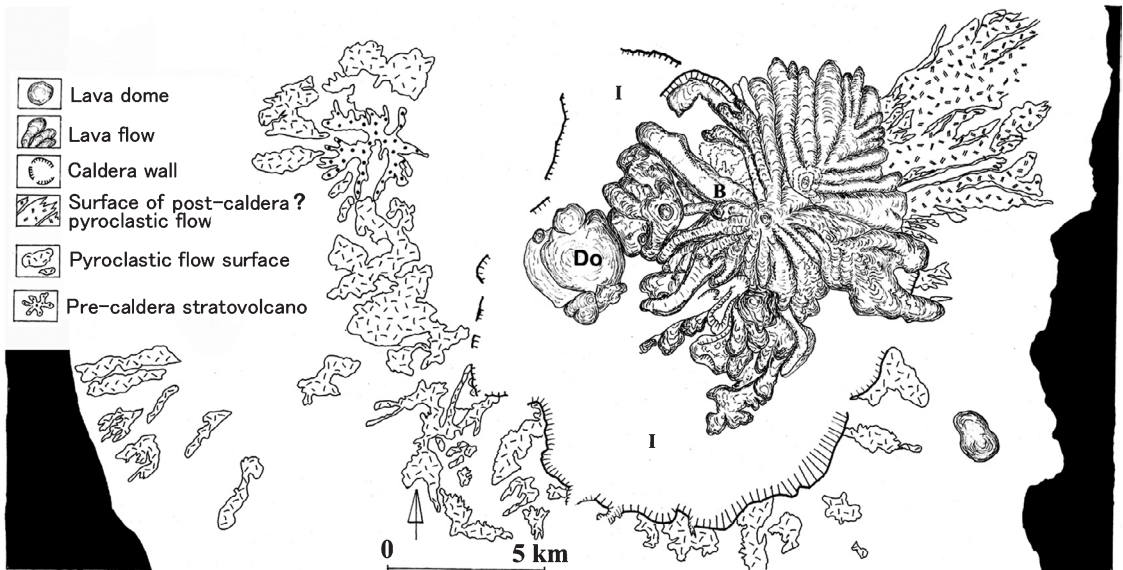


図 15 Irosin カルデラ火山の地形分類図。

B: Bulusan 成層火山; Do: Jormajan 溶岩ドーム; I: イロシンカルデラ。

Fig. 15 Geomorphological map of Irosin caldera volcano.

B: Bulusan stratovolcano; Do: Jormajan lava dome; I: Irosin caldera.

湖が形成されている。断層崖の西南側は菱形凹地を中心に同心円状の等高線が示す火山麓扇状地が広がる。その上部、断層崖に近い標高 500 m 以上では火山体中心の急斜面に変化する。この急斜面の等高線の走り具合から断層系西南側の最高地点を求めると菱形凹地の中央屈曲点付近になる。一方、断層系北東側の地塊を断層線に沿って南東側へ 5 km 水平移動し、菱形凹地形成以前に戻すと、Janagdan 火山の中心とみられる径 2 km のカルデラが南西側最高地点と最短距離にくる。ただ 1990 年地震などで推定される断層の平均水平移動距離 2 ~ 6 m、平均断層活動周期 1600 ~ 5000 年 (平野ほか, 1986; 中田・堤, 1990) を適用して、最速で 1600 年ごとに 6 m 変位するとすれば、5 km 移動するために 136 万年かかることになる。日本列島より侵食作用が激しいフィリピンで現在の Janagdan 火山の地形を維持するためにはせいぜい 10 数万年より若い値が妥当と思われる。136 万年という値は古すぎる。火山地域は断層変位速度が大きいということか。

## 20) Hibok-hibok 火山 (カミグイン島 火山 番号 52)

ミンダナオ島北端沖 15 km にあるカミグイン島はほぼ全島が安山岩質溶岩ドームまたは厚い溶岩流、ドーム崩壊型火砕流堆積物で構成されている。大きくみて北西-南東方向に Hibok-hibok (標高・比高 1386 m、底径 11 km、図 17-H)、Mambajao (標高・比高 1770 m、底径 12 km、図 17-M)、Butay and Ginsiliban (標高・比高 758 m、底径 7 km、図 17-G) の 3 個の火山が相接して並ぶ。南東端の Ginsiliban 火山 (標高・比高 590 m、底径 3 km) は一見溶岩ドーム火山でなく、富士山型の成層火山にみえるが厚い溶岩流に覆われているため、発達段階第 2 期の成層火山と考えられる (図 17)。

1948 ~ 1953 年に Hibok-hibok 火山頂で溶岩ドーム形成とその破壊によって火砕流が発生した。とくに 1951 年 12 月 4、6 日の火砕流では 500 名の死者が出た。その噴火様式・経過は雲仙火山 1990 ~ 1995 年噴火とほぼ同じであった

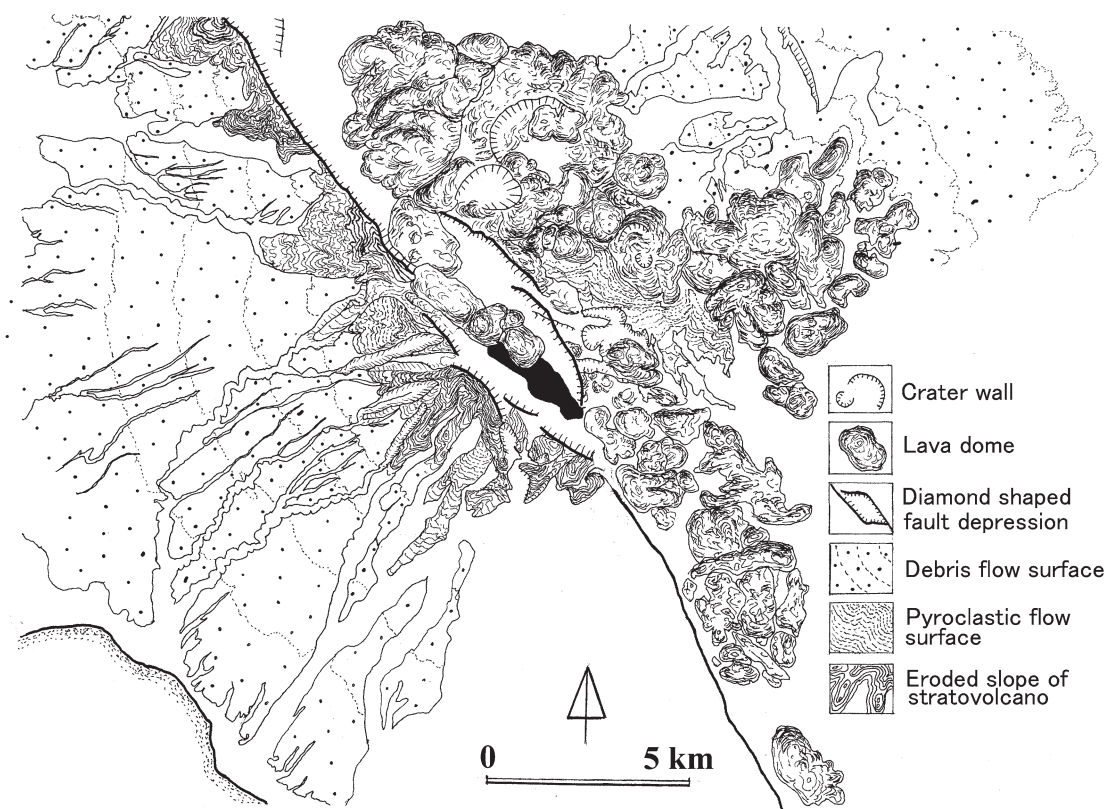


図 16 Janagdan 成層火山の地形分類図。

Fig. 16 Geomorphological map of Janagdan stratovolcano.

(Alcaraz *et al.*, 1952; Macdonald and Alcaraz, 1956)。

**21) Kanlaon 火山 (ネグロス島中部 火山番号 60)**

ネグロス島中央部を占める Kanlaon 火山は標高・比高 2435 m, 底径 39 km の大型成層火山で, 20 世紀に入って 17 回以上の噴火を行っている活火山でもある (Simkin and Siebert, 1994)。北には Mandalagan 成層火山 (火山番号 59), さらにその北に Silay 楕状火山 (火山番号 58) の 2 大型火山が裾を接して南北一線上に並ぶ。ネグロス島南部には Lake Balinsasayao (火山番号 61), Magaso 成層火山 (火山番号 62) が南北に並び, ミンダナオ島西部の Lake Duminagat (火山番号 63), Malindang 成層火山 (火山番号 64) へ

と続く。Kanlaon 火山を含め, これらの火山は, 西方のマニラ海溝南延長部からネグロス島下への沈み込むスル海プレートの運動によって形成されたと考えられる (Evans *et al.*, 1983) が, ネグロス島とミンダナオ島の間にはかなり顕著な東西方向の断層線が走るなど, 海底地形はより複雑で, より詳しいデータの収集が必要である。

Kanlaon 成層火山の頂部は, 南北に約 5 km の長さでのびる稜線が走り, その上に長径 1.5 km, 短径 700 m, 深さ 300 m, 溶岩の地下への逆流で生じたと考えられる楕円形の陥没火口・円形火口が認められる。これは山頂稜線直下まで長さ 5 km の割れ目が形成されていて, 最近の噴火がおもに山頂稜線で発生したことを示唆している。山頂稜線の西直下の斜面には径 3 km のカルデラ

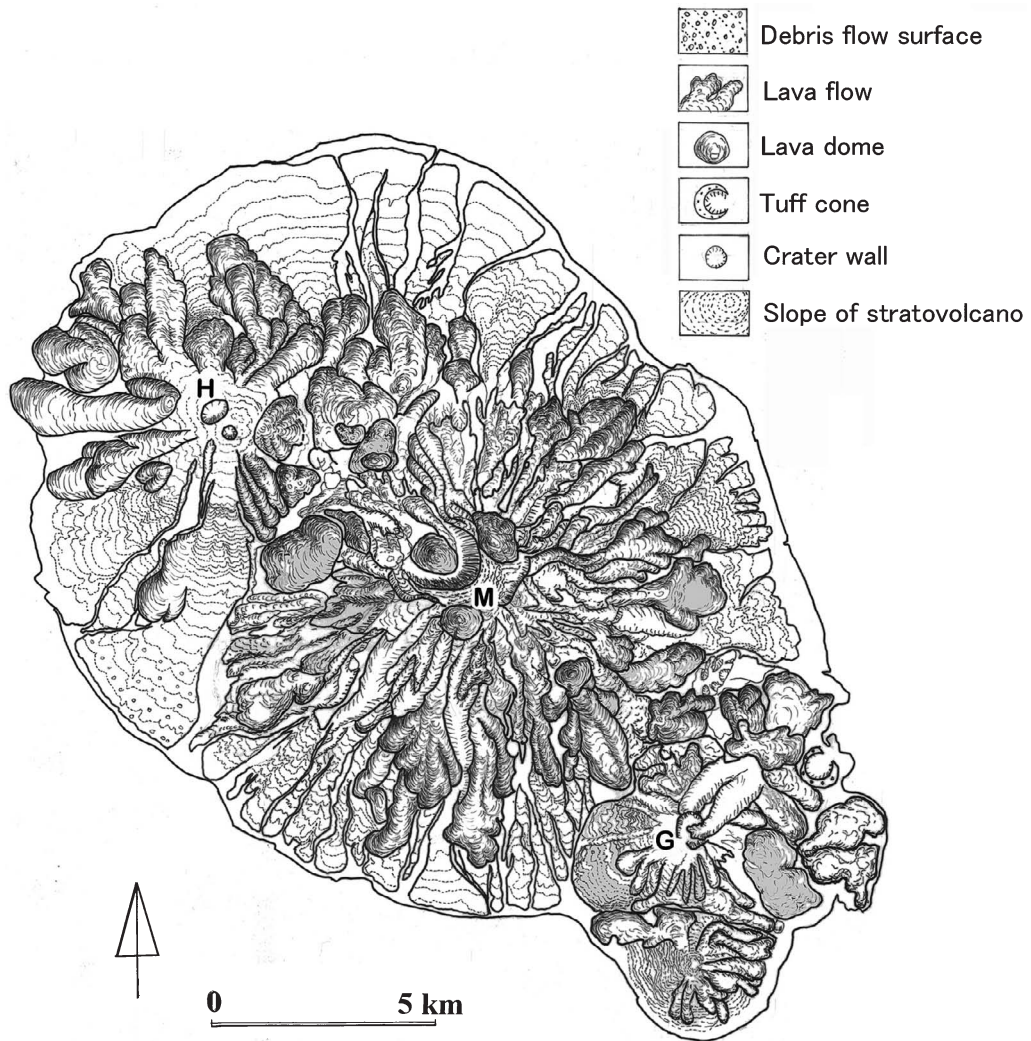


図 17 Hibok-hibok (H), Mambajao (M) and Ginsiliban (G) 成層火山の地形分類図.

Fig. 17 Geomorphological map of Hibok-hibok (H), Mambajao (M), and Ginsiliban (G) stratovolcanoes.

状地形が3個形成されているが、侵食作用で形成された可能性が高い。中腹・山麓には火砕流・土石流などから形成された緩斜面の面積は比較的小さく、火山体の大部分は末端崖の比高が70～80 m、長さ5～10 km 前後の溶岩流が多い。しかし、古い溶岩流では比高30～40 mと薄く、長さが17 km、幅も5 kmと広い。これは時間経過とともに溶岩流は玄武岩質から安山岩質のものに変化してきたことを示す。これらの溶岩流を覆っ

て、火砕流が山麓に流下し、火砕流堆積面を形成した。前後して土石流も頻繁に発生した。岩屑なだれも古い時期に発生、北西麓に堆積、流れ山地形を形成した(図18)。薄く長い溶岩流は第1期を、厚く短い溶岩流・岩屑なだれは第2期を、火砕流は第3期の発達時期を示し、この火山は当分火砕流放出など危険な種類の噴火を行う浅間火山に似た、危険な時期にさしかかっている火山であると判断できる。

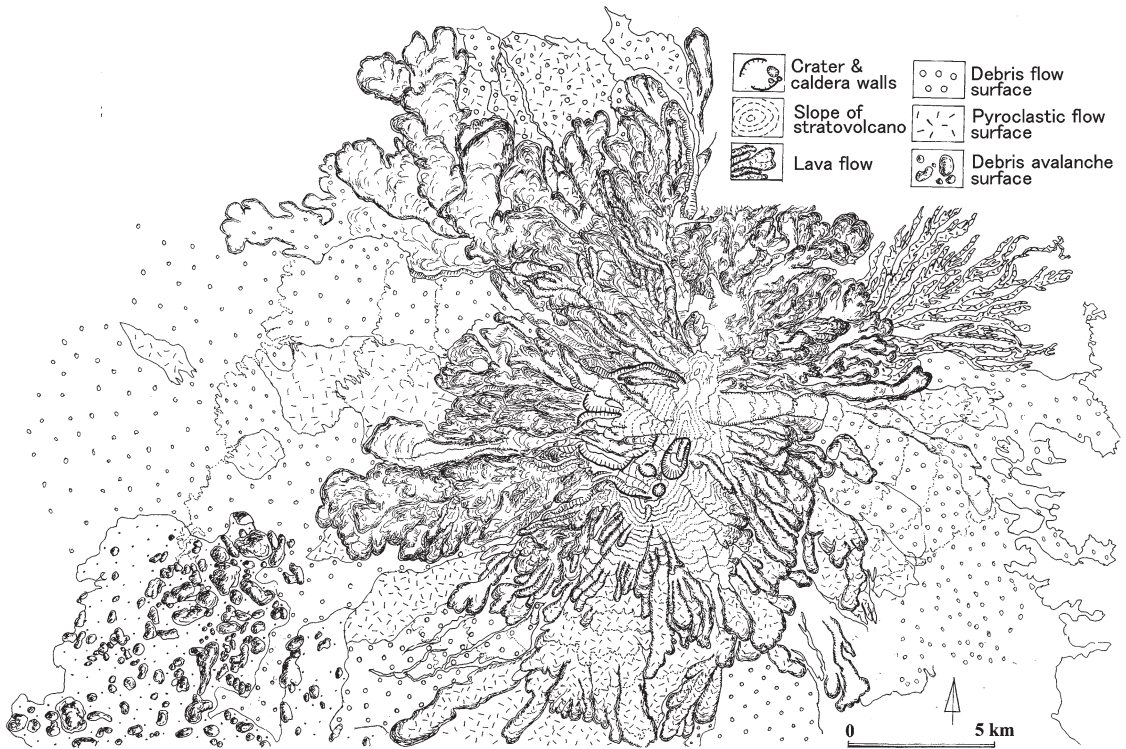


図 18 Kanlaon 成層火山の地形分類図。

Fig. 18 Geomorphological map of Kanlaon stratovolcano.

**22) Balatukan 火山 (ミンダナオ島 火山番号 72)**

ミンダナオ島の北部を占める Balatukan 火山は、標高・比高 2440 m、底径 40 km の楕状火山で全山緩斜面からなる。その上には 32 個のスコリア丘がみられ、そこから玄武岩質溶岩流が流出した跡が認識可能なものもある。山頂部周辺にカルデラ状の深い陥没地形が認められ、それをさらに刻んで深い侵食谷が形成されている。その過程で数段の平坦面が残されているが、上位 1、2 段は古溶岩湖面である可能性が高い (図 19)。

このようなハワイやアフリカ東縁地溝帯などでみられる楕状火山に酷似する火山が沈み込み帯であるフィリピン諸島の南部に位置するミンダナオ島で形成されている事実は、スル海とセレベス海の境界に形成された縁海起源の海嶺がミンダナオ島下に沈み込んでいることによると考えられる。

**23) Makaturing 楕状火山 (ミンダナオ島 火山番号 76)**

ミンダナオ島のほぼ中央部、ラナオ湖の南には、東西 72 km、南北 40 km の広がりを持ち、標高 2000 m を超える Makaturing 楕状火山が存在する。その長軸に沿う東西稜線上には約 50 個のスコリア丘・タフコーンが並び、地下浅所の割れ目の存在を示唆する。これら火山列をつくるスコリア丘・タフコーンからそれぞれ薄い玄武岩、玄武岩-安山岩質の溶岩流が南北両側に流下している (図 20)。溶岩流はそれぞれ幅 2 km 以下、長さ 5 km 以下、厚さ 80 m 以下 (平均約 30 m) で、一対の火砕丘と溶岩流の噴出量は最大で 2 km<sup>3</sup> 程度である。Makaturing 楕状火山の東には Ragang 成層火山 (火山番号 65) がのっけていて、両者あわせて異種の複成火山が重なる重複成火山と呼ぶこともできる。



図 19 Balatukan 楯状火山の地形分類図.

Fig. 19 Geomorphological map of Balatukan shield volcano.

**24) Matutum 火山 (ミンダナオ島 火山番号 69)**

Matutum 火山は、ミンダナオ島中南部の標高 1400 m、比高 700 m 前後の起伏をもつ山地内に形成された、標高 2286 m、東西径約 10 km、南北径 23 km の成層火山である。南麓は海岸平野に連なり、広い火山麓扇状地が発達する。山頂には径 1 km の円形火口があり、それをほぼスコリア丘が埋め、その東基部からは長さ 4 km 弱と

2 km 弱の溶岩流が 2 枚重なって成層火山斜面を流下している。北・西・南の成層火山斜面の主体は厚さ 50 ~ 100 m の溶岩流からなり、火口から 5 ~ 6 km 付近まで到達している。東に流下する溶岩流を除いて、残りの溶岩流は、火砕流・爆発飛散角礫とその斜面転動物質からなると考えられる火砕物に覆われているらしく、末端崖・溶岩じわなどの溶岩微地形が不明瞭になっていることが多い (図 21)。このように火山体の大部

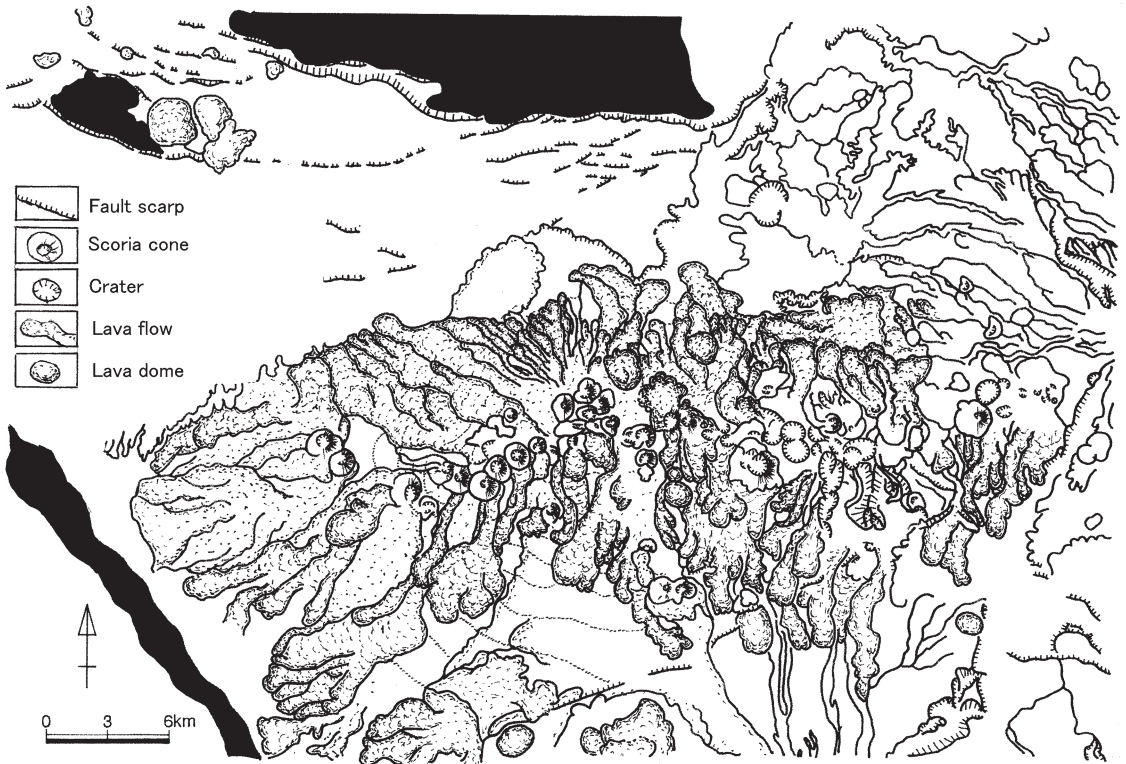


図 20 Makaturing 楯状火山の地形分類図。

Fig. 20 Geomorphological map of Makaturing shield volcano.

分が厚い溶岩流に覆われ、山頂カルデラや火砕流堆積面も認められないことから、Matutum 火山は成層火山発達段階第 2 期末にあると考えられる。

#### 25) Parker 火山 (ミンダナオ島 火山番号 70)

ミンダナオ島中南部には、標高 1500 ~ 1600 m、稜線部と谷底の比高が 600 ~ 800 m の起伏に富むティヌンコプ山地がある。標高 1800 m の Parker 火山は、この山地で 200 ~ 300 m 抜きんでている。その頂部には直径 3 km のカルデラが存在し、モーガン湖が湛えられている。Parker 火山は厚い溶岩流を主体とする底径約 10 km の急峻な成層火山 (図 22) で、Delfin *et al.* (1997) によれば角閃石を含む安山岩質溶岩が主体をなす。山頂カルデラはデイサイト質の火砕流噴出が 4 回

起こって形成された。放出された火砕流の噴出物は起伏ある山地の凹部を埋め、平坦面・緩斜面をつくり、20 km 流れて山麓平野に広く堆積した。その  $^{14}\text{C}$  年代は 27 ~ 23 kBP, 3800 BP, 600 BP, 300 BP である。最後の噴火 (300 BP) は 1641 年に相当すると考えられている (Delfin *et al.*, 1997)。1995 年に火口湖が決壊して、大洪水が発生して多くの犠牲者をだした。地すべりによる天然ダムが形成されたが、2002 年に起こった  $M6.8$  のパリンバン地震で決壊した (Catane *et al.*, 2005)。これらから Parker 火山は第 4 期の発達段階に達した成層火山と考えられる。

#### 26) Talomo 火山 (ミンダナオ島 火山番号 66)

山地と平野の境界に噴出した Talomo 成層火山 (標高 2670 m, 比高約 1000 m, 底径 16 km) の



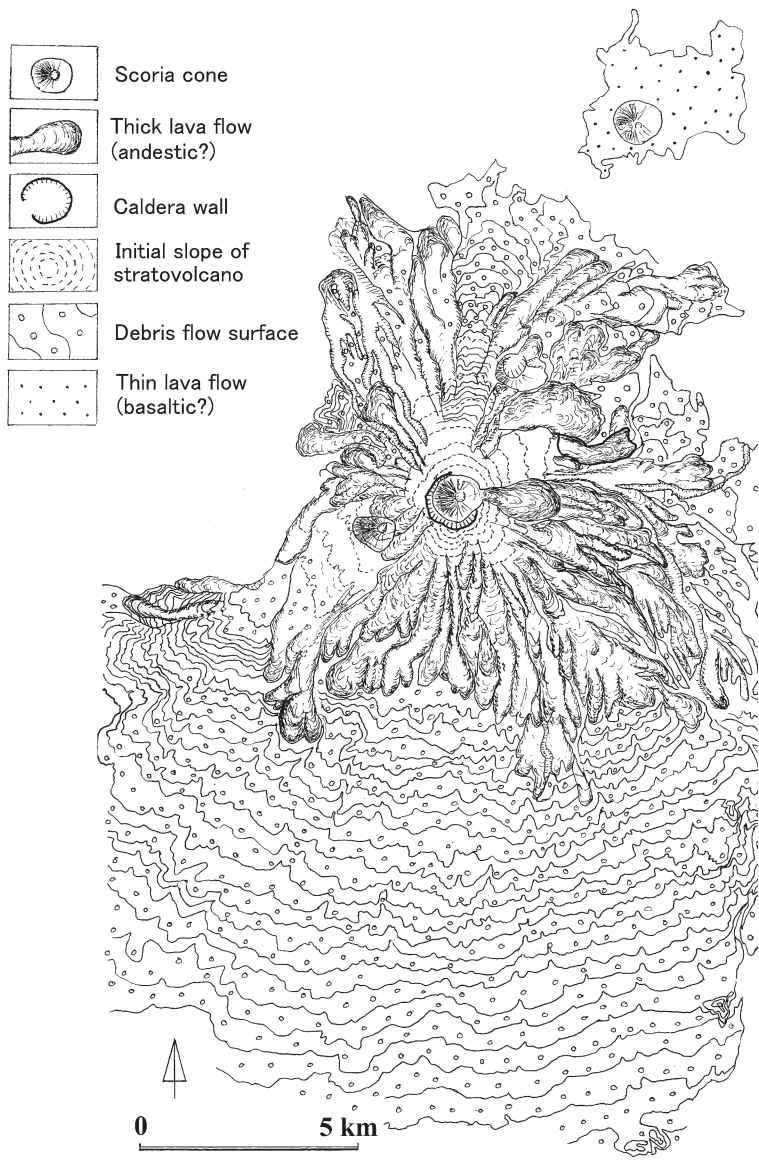


図 21 Matutum 成層火山の地形分類図.

Fig. 21 Geomorphological map of Matutum stratovolcano.

主体は円錐形火山体で、山頂部に直径 3 ~ 4 km の円形カルデラがあり、北東の深い火口瀬と連続し、おたまじゃくし状の平面形を呈する。火口が侵食で拡大したものにしては大きすぎ、形も整った円形をもつので、かなりの規模の軽石噴火を行った結果で生じた小カルデラと考えられる。山

頂から約 1 km 北の山腹には外側に凸の長さ 4 km、比高 20 m の断層崖またはカルデラ壁状の崖が存在する。これは既存の溶岩流を切っていて、小カルデラ形成時の山頂部陥没のひとつの表現であるかもしれない。

溶岩流は山頂のカルデラ壁から 3 ~ 5 km の距

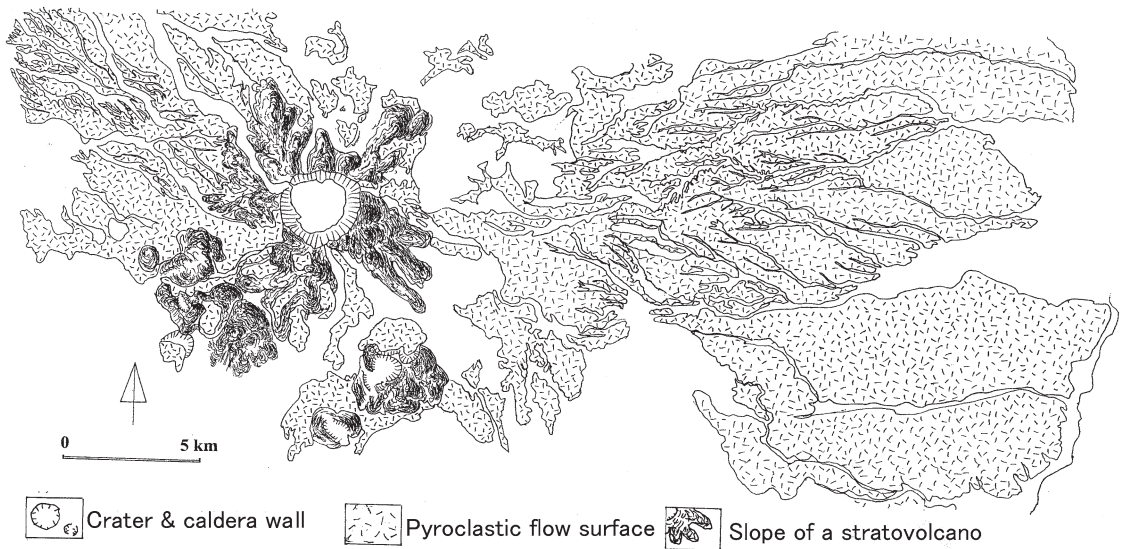


図 22 Parker 成層火山の地形分類図。

Fig. 22 Geomorphological map of Parker stratovolcano.

離を流下しているが、比高 50 ~ 100 m の末端崖が地形的に識別できる程度で、溶岩じわ・堤防などの微地形はなく、その上を薄い火砕流堆積物に覆われているようにみえる。東麓には長さ 10 km 以上の火山麓扇状地が広がる。また海岸から 5 km の低平地では 5 個のスコリア丘、3 個のマルが形成されている。

### 27) Sibulan 火山 (ミンダナオ島 火山番号 68)

Talomo 火山のすぐ南に Sibulan 火山がある。これは標高・比高 1292 m、底径 14 ~ 20 km の成層火山で、その発達史のなかで古期・新期のそれぞれ 2 個づつ成層火山・カルデラが形成された。古期成層火山体は Sibulan 火山の西半部を占め、東半部は海蝕により消失している。中央部に直径 7 km、深さ 800 m の古期カルデラがあり、東に開いている。古期カルデラ壁は西側にのみ残っている。古期カルデラをとり巻く外輪山斜面は長さ 3 ~ 5 km、比高 400 ~ 500 m の厚い溶岩流などから構成される成層火山原面である。この古期外輪山斜面は下部で火砕流・土石流堆積面と推定される平坦面・緩斜面に連なる。Sibulan 成

層火山の古期カルデラ内から Sibulan 成層火山の東半部にかけて、新期成層火山（標高・比高 1380 m、底径 11 km）が後カルデラ火山として形成される。この新期成層火山は標高 1800 m を超える富士山・Mayon 火山に似た秀麗な火山体を誇ったがプリニー式噴火・火砕流噴火に伴ったカルデラ（4 km 径）陥没により現在の形となった。

以上の発達史をもつ Sibulan 火山は、成層火山発達第 4 期にあると考えられる。

### 28) Lake Duminagat 火山 (火山番号 63)

標高 2183 m、底径 38 km のこの火山は、南に位置する Malindang 火山と接し、山頂同士の距離は 10 km、鞍部の標高は約 1800 m で、一つの火山として扱うことも不可能ではないが、発達史が異なることから別火山とした。主体をなす成層火山体は新期と古期に分かれ、その間に径 10 km を超すカルデラが形成された。そのなかには厚さ 300 ~ 400 m、径 2 km の溶岩ドームとカルデラ南壁から流出した 6 ~ 7 本の溶岩流群が存在する。カルデラのすぐ西外輪山斜面上にも径 4 km 以下のカルデラが 3 個形成され、溶岩ドームも 2

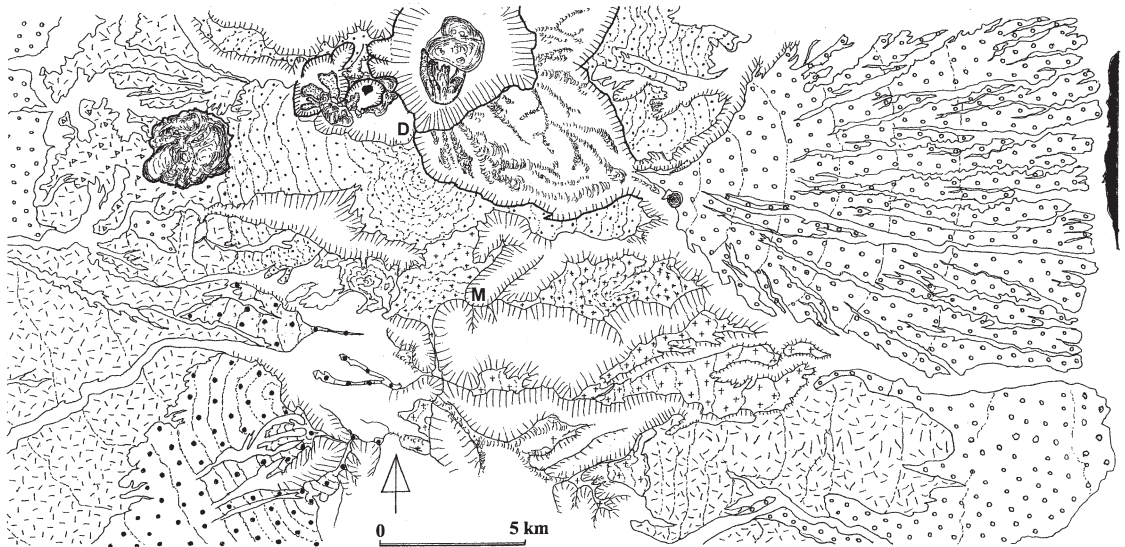
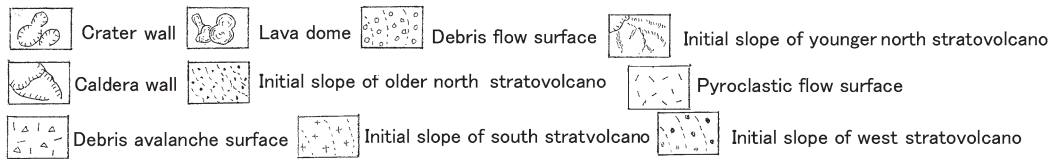


図 23 Lake Duminagat (D, VN63)・Malindang (M, VN64) 成層火山の地形分類図。

Fig. 23 Geomorphological map of Lake Duminagat (D, VN63) and Malindang (M, VN64) stratovolcanoes.

個認められる。上記のカルデラから大量の火砕流が噴出，東西両山麓に流下したと考えられ，広い山麓緩斜面が形成されている（図 23-D）。

### 29) Malindang 火山（ミンダナオ島 火山番号 64）

Malindang 火山（標高・比高 2404 m，底径 33 km）は，北で接する Lake Duminagat 火山より侵食作用が進んだ古い火山と考えられ，火山体中心部では，深い谷に侵食され，原面はほとんど残されていない。しかし南北に走る稜線とそれから東西にのびる分岐尾根の存在は，この火山の中心部にカルデラが形成されなかったことを示す。中腹から山麓にかけての地形はかなりよく残されていて，多数回噴出した火砕流と休止期に頻発した土石流の堆積が，東・西麓に広い火山麓扇状地をつくりあげた（図 23-M）。

上記の地形から Malindang 火山は成層火山第

3 期の発達段階まで達したと推定される。

### 30) Bulibu 溶岩原（ミンダナオ島 火山番号 80）

フィリピン・ミンダナオ島南部のドゥマンキラス湾周辺には溶岩ドームと小楯状火山が散在する。これらの小型単成火山をまとめて Bulibu 溶岩原とした。その名の由来となる湾奥北東部にある Bulibu 火山は標高 566 m，底径 7 km の小楯状火山で山頂に比高 200 m のスコリア丘が 2 個東西に並ぶ。Bulibu 火山のすぐ南東に隣接して Imbing 小楯状火山がある。底径 7 km，比高 400 m，山頂部に比高 200 m のスコリア丘が数個南東北西に相接して並び，細長い高まりを形成する。この小楯状火山の南西斜面には 2 個のマルと 1 個の複合スコリア丘がある。Imbing 火山の北方 6～13 km にかけて大小 7 個の溶岩ドームが点在する。これはいずれも頂部の凹地など形

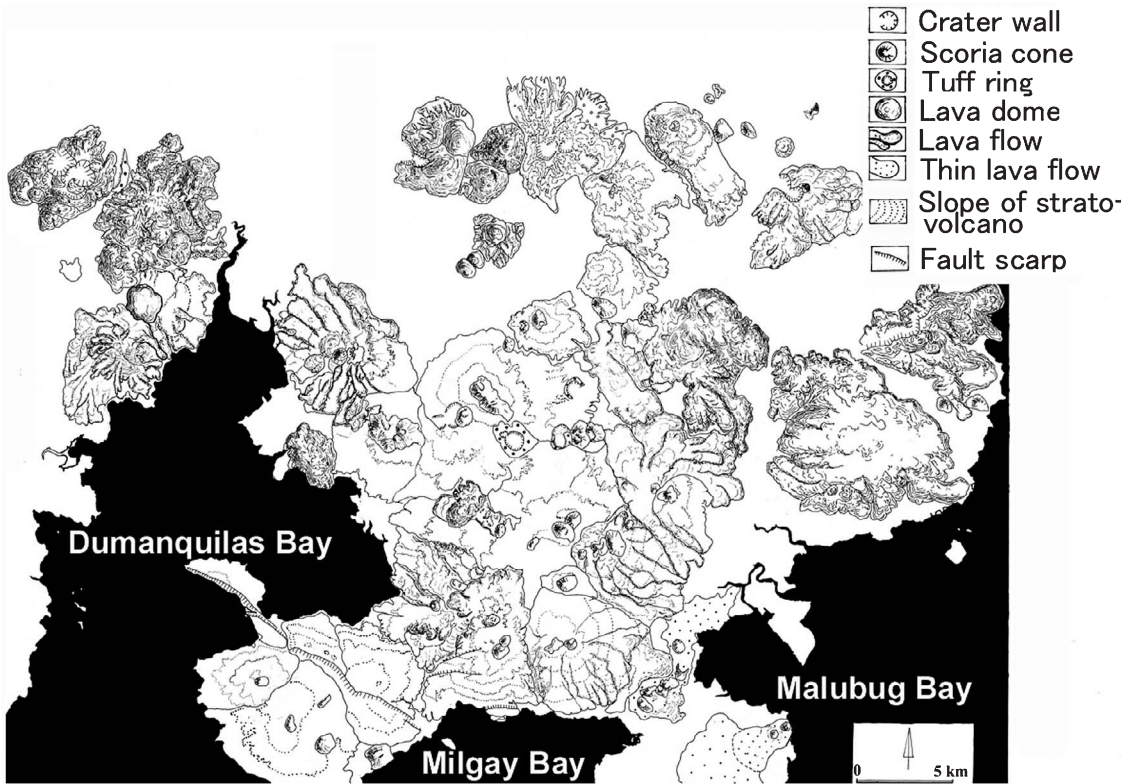


図 24 Bulibu 溶岩原の地形分類図。

Fig. 24 Geomorphological map of Bulibu lava field.

成当時の原地形をそのまま残す新しいもので、おそらくここ1万年以内に形成された可能性が高い。

ドゥマンキラス湾の西岸には Palug 火山がある。これも底径 6 km、比高 360 m の似たような形態をもつ小楯状火山であるが、山頂にスコリア丘は存在しない。かなり表面は侵食が進んでいるのでスコリア丘は削剥されたのであろう。

Palug 火山の北東に隣接して原地形を保持する底径 2 km、比高 100 m の頂部が平坦な溶岩ドーム Parang Parang がある。その基部にはそこから東方に広がる底径 4 km の古い小楯状火山があるが、侵食が進んでいてスコリア丘も認められず原地形はよくわからない。

Palug 火山の北西から西にかけて南北 12 km、東西 8 km の小起伏面が広がる。その北東部には

侵食が進んだスコリア丘と思われる高まりが存在し、そこから流出した玄武岩質マグマの小溶岩原であると推定される。

これらの北には2個の比較的大きく（底径 4～8 km、3.5～5 km、比高 400 m、400 m）、侵食が進んだ溶岩ドームがみられる。北西側の溶岩ドームには頂部に直径 1.5 km、深さ 120～130 m の爆裂火口が2個相接して並んでいる（図 24）。

溶岩ドームと小楯状火山がせまい範囲に共存することは日本では例がない。

### 31) カガヤン・スル島の溶岩原（火山番号 83）

Cagayan Sulu 島は4つの小楯状火山が接合した小火山島で、7つのタフリング、15のスコリア丘を伴う（図 25）。北東端の小楯状火山 Ledon は底径 4～5 km、標高 312 m のほぼ円形の平面形をもつ典型的な小楯状火山で山頂に径 200 m

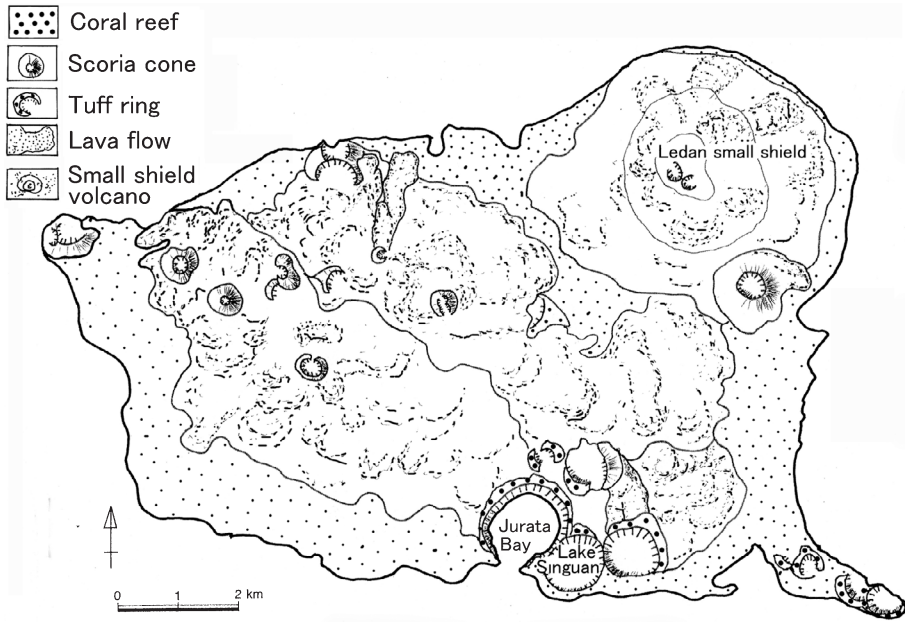


図 25 カガヤン・スル島 Cagayan Sulu 溶岩原の地形分類図.

Fig. 25 Geomorphological map of Cagayan Sulu lava field, Cagayan Sulu Island.

の火口が2個ある。

Ledon 火山のすぐ西に東西 5 km, 幅 2 km の楕円形の小楯状火山 (標高 247 m) があり, 北西-南東に長さ 5 km, 幅 2 km で薄い玄武岩質と思われる小溶岩原が形成されている。その西に北西-南東 7 km, 北東-南西 3 km の細長い小楯状火山というより溶岩原ともいえる低平な火山 (標高 70 m) がある。その上に5個のスコリア丘がある。

カガヤン・スル島の南端には Jurata Bay, Lake Singuan など, 3 個の直径 1 km 前後のタフリングが相接して並ぶ。すぐ北には2個のスコリア丘があり, 玄武岩質マグマが海水と接触してマグマ水蒸気爆発を起こしたと考えられる。

### 32) Taytay 火山 (パラワン島 火山番号 84)

パラワン島には火山の存在は報告されていないが, 地形図判読からはパラワン島中北部スル海沿岸に, 小円形火口が山頂に存在するスコリア丘を中心部にもつ, 玄武岩質溶岩流からなる径 7 km の小楯状火山の地形が明瞭に認められる。現地

調査が待たれる。

## IV. 地形発達・分類・分布

フィリピン諸島は, 5 個の背弧海盆-フィリピン海・南シナ海・スル海・セレベス海・モルッカ海に囲まれ, 縁海プレートの沈み込みや拡大などにより複雑なテクトニクスが展開されている。火山もそれを反映して, 沈み込み帯に多い成層火山・カルデラ火山だけでなく, 拡大軸・ホットスポットなどにみられる溶岩原・楯状火山など, 多様な火山が形成されている (図 26, 図 1, 表 1)。

### 1) 火山体の地形発達と分類

日本列島の複成火山が成層火山とカルデラ火山に分けられ, それらがそれぞれ独自に定まった経過をたどって, 発達し終末を迎えることが明らかになっている (守屋, 1979, 1983)。フィリピン諸島の成層火山・カルデラ火山も, 調査がまだ不十分な地形調査に限られている段階にすぎないが, ほぼ日本列島の成層火山・カルデラ火山の場合と同様の判読法で, 似たような結果が得られた。溶

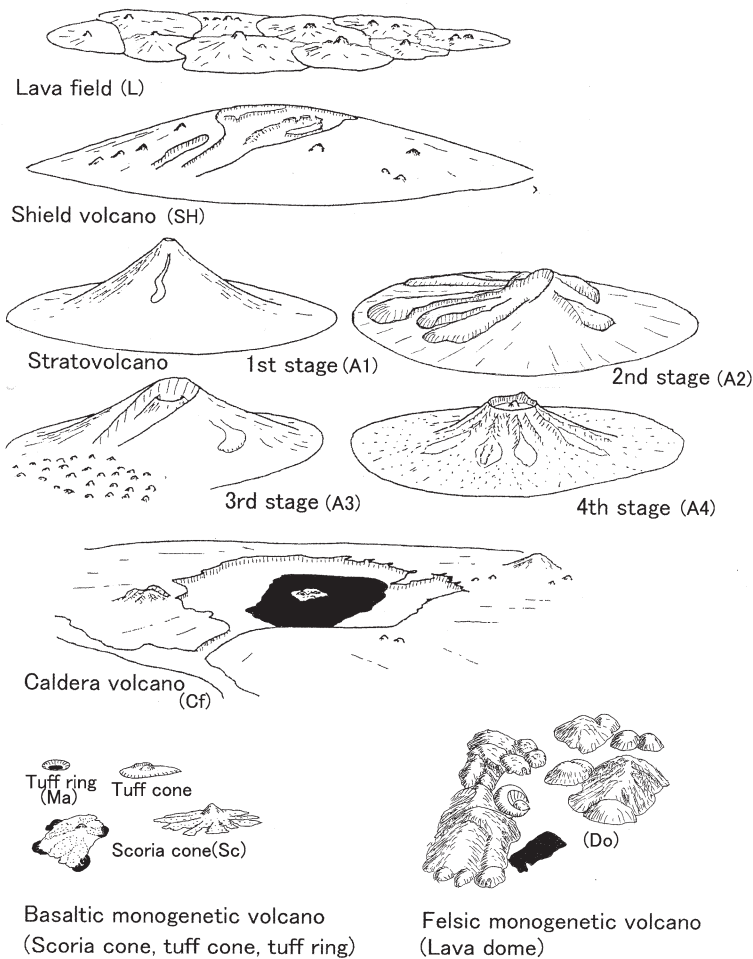


図 26 フィリピン諸島火山体の分類。

Fig. 26 Classification of volcanic edifices in the Philippines.

岩原と楯状火山は日本列島に存在せず、その発達についてのデータは皆無に近かったので、アメリカ合衆国・アイスランドなどで現地調査を行うと同時に、東アフリカ地溝帯の火山、アラビア半島の溶岩原、ハワイ諸島・大西洋・インド洋などの海洋火山島の楯状火山・溶岩原の地形を空中写真・地形図判読によって、発達史に関する情報を得て、その一般化を試みた（守屋，1990，2012）。まだ溶岩原・楯状火山の発達史の一般化については試案の段階であるため、ここではフィリピン諸島の一例として扱うにとどめる。

### 1-1) 成層火山の発達

日本列島で火山発達史を知るために使用した地形図判読法を用いて、フィリピン諸島の成層火山について調査した結果、日本列島で得られた結果とほぼ同様の結果が得られた。つまりフィリピン諸島の成層火山は日本列島と同じ発達をしていると考えてよいことを示唆する。発達第1段階の Mayon, Banahaw de Lucban, Atimba, Nagcarlang 成層火山は、富士山と似た円錐形の形態、玄武岩-玄武岩質安山岩の薄い溶岩流を流出させる噴火様式などで酷似する。発達第2段

階の Arayat (火山番号 11), Biliran (火山番号 44), Sibulan, Matutum などの成層火山は急な斜面をもち、厚い溶岩流が表面を覆っていて、火山麓扇状地の発達が悪い、火砕流堆積面が存在しないなどの地形的特徴を備えている。この時期には急峻な山頂部が噴火や地震で大崩壊、岩屑なだれが山麓を直撃することがしばしば起こる。発達第 3 段階の Cagua, San Cristobal, Labo, Malindang, Apo (火山番号 67) などの成層火山は、径 1 km 近い山頂火口をもち、厚い溶岩流を覆って火砕流が流下して、山麓に広い火砕流堆積面を形成する。現在が火砕流噴出期であるため、噴火のたびに火砕流が山麓を襲う危険性がつねにつきまとう。発達第 4 段階の Pinatubo, Banahaw, Janagdan, Lobi, Kanlaon, Isarog, Iriga, Talomo, Parker などの成層火山はカルデラの形成、それに先立つ火砕流を発生させる危険な存在である。

### 1-2) カルデラ火山の発達

フィリピン諸島にはカルデラ火山は Laguna, Taal, Irosin の 3 つしか存在しない。Laguna カルデラ火山はその地形の全貌が明らかでないで、ここでは割愛し、Taal, Irosin カルデラ火山の発達について述べる。Taal, Irosin 両カルデラ火山はここ数万年の間に数回の火砕流大噴火を行った。その数回の火砕流噴火の間の、いずれの時期にも後カルデラ火山の形成があったか否かについては明らかでない。Taal, Irosin 両カルデラ火山ともに、最新の火砕流噴火に続いて後カルデラ火山が形成されているが、Taal カルデラ火山ではカルデラ底に湛えられた湖水面上に顔をだした Volcano Island 火山が後カルデラ火山で、玄武岩質スコリア丘を 1 個、タフコーン・タフリングを 11 個もつ発達段階第 1 期の小型単成火山群とみなされる。Irosin カルデラ火山ではカルデラ北半部を埋めるように溶岩ドーム、厚い安山岩質溶岩流を主体とした発達段階第 2 期の Bulusan 成層火山が成長している。両カルデラ火山はともに、大陸に多いバイアス型カルデラ火山でなく、沈み込み帯に多い漏斗型カルデラ火山と理解してよい。

### 1-3) 溶岩原の発達

フィリピン諸島南部のミンダナオ島西部からブルネイ島北東部に至るスル海・セレベス海境界をなす高まりと、スル海西部カガヤン・スル島に、Bulibu, Basilan, Bud Dajo, Cagayan Sulu 溶岩原が存在する。これらは比高 230 ~ 520 m, 底径 16 ~ 78 km の中規模溶岩原で、多くは小型楕状火山、あるいはスコリア丘と溶岩流の集合体、ときには流紋岩質溶岩ドームが混在することがある。Bulibu 溶岩原がその典型で (図 24), 残りはスコリア丘と薄い玄武岩質溶岩流と海水との接触によるマグマ水蒸気噴火で形成されたマール (タフリング) の集合体である。4 溶岩原とも上記のように小型の単成火山しかのせておらず、成層火山・カルデラ火山・楕状火山をのせた重複成火山に当てはまるものは存在しない。すなわち溶岩原は 4 個すべて発達段階第 1 期の溶岩原と考えられ、溶岩原の上に異種の複成火山がのる重複成火山は認められない。

### 1-4) 楕状火山の発達

フィリピン諸島には、ルソン島南東部の South Labo と Malinao の 2 火山、ネグロス島北部の Silay 火山、ミンダナオ島中部の Balatukan, Makaturing など 7 火山の、計 10 個の楕状火山が存在する。これらの楕状火山のうち South Labo, Katanglad など 7 火山は薄い玄武岩質溶岩流の上にスコリア丘・溶岩ドームなど単成火山のみが認められる発達段階第 1 期の楕状火山で、ミンダナオ島南部の Kalatungan (火山番号 75), Makaturing, Bacolod (火山番号 77) 火山はその上に成層火山体をのせた発達段階第 2 期の楕状火山である。

## 2) 火山分布

フィリピン諸島の主要火山の地形の特徴を略述したが、これらを含めてフィリピン諸島火山の分布は、大きくみて東・西・南の 3 列に分けられる。東列はルソン島中部 Labo 火山からビラン島・レイテ島を経てミンダナオ島の南の Balut 島火山に至る約 1050 km にわたり、フィリピン海プレートの沈み込みにより生じた成層火山が主体をなす。西列は北のバタン・カミグインデバブ

ヤン諸島の火山からルソン島南西部の Pinatubo, Taal などの成層火山・カルデラ火山, さらにネグロス島からミンダナオ島北西部に至る, マニラ海溝からの南シナ海プレートの沈み込みに関連して形成されたと考えられる火山列である。南列はミンダナオ島中北部から南西のサンボアンガ半島・Basilan (火山番号 81)・Bud Dajo (火山番号 82) を経てカリマンタン島に至る溶岩原・楯状火山・単成火山群からなる。

東列・西列の主体となる火山は成層火山で, それにカルデラ火山・楯状火山が各 1~2 個存在する例はほかの沈み込み帯でも数多くあるが, 南列ではすべて溶岩原・楯状火山・単成火山群に限られ, このような例はほかの沈み込み帯には認められない。

Cardwell *et al.* (1980) や Divis (1980) は, スル海とセレベス海を分けるミンダナオ島南西部のサンボアンガ半島・バシラン・ホロ諸島を経てカリマンタン島に至る地域を島弧性の高まりと考え, その西側に東へ沈み込むプレートを想定している。しかし島弧性の高まり上には成層火山・カルデラ火山はなく, 溶岩原・楯状火山・単成火山群のみであること, その下にはベニオフ帯が認められないこと, 島弧性の高まりの西沖には海溝らしき割れ目・凹地が存在しない, という事実がある。これらを考えあわせると, この高まりは島弧ではなく拡大軸をもつ海嶺であると考えたほうがわかりやすい。またこの海嶺はミンダナオ島下に沈み込み, Makaturing, Balatukan などの大型楯状火山列形成の源となったとも考えられよう。

## V. おわりに

フィリピン諸島の主要火山について, 地形図・空中写真・衛星写真などの判読をもとにそれらの地形・地質構造・発達史について略述したが, 情報の収集・分析がなおひとつ不十分であるため, 噴出量・活動年代・活動度・岩質などのデータも加えて, 今後詳しく検討する必要がある。

## 謝 辞

本稿を書く機会を与えられた奥野 充教授 (福岡大),

多くの情報をご提供いただいた Christopher G. Newhall (元 USGS, 現 The Earth Observatory of Singapore), Tom Simkin, Lee Siebert (Smithsonian Inst.), 井上公夫ほか日本工営 (株) の諸氏, 英文を校閲いただいた Ma. Hannah T. Mirabueno 博士 (Christchurch City Council), 適切な助言を下された匿名の査読者には深い感謝の意を表する。なお, この研究には, 科学研究費補助金 (課題番号: 21401005) の一部を使用した。

## 文 献

- Acharya, H.K. (1980): Seismic slip on the Philippine fault and its tectonic implications. *Geology*, **8**, 40-42.
- Alcaraz, A., Abad, L.F. and Quema, J.C. (1952): Hibok-Hibok volcano, Philippine Islands, and its activity since 1948. *The Volcano Letter*, **516**, 1-6.
- Allen, C.R. (1962): Circum-Pacific faulting in the Philippines-Taiwan region. *Journal of Geophysical Research*, **67**, 4795-4810.
- Andal, E.S., Yumut, Jr. G.P., Listanco, E.L., Tamayo, Jr. R.A., Dimalanta, G.B. and Ishii, T. (2005): Characterization of the Pleistocene volcanic chain of the Bicol Arc, Philippines: Implications for geohazard assessment. *Tao*, **16**, 865-883.
- Cardwell, R.K., Isacks, B.L. and Karig, D.E. (1980): The spatial distribution of earthquakes, focal mechanism solutions, and subducted lithosphere in the Philippine and northeastern Indonesian islands. in *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeastern Asian Seas and Islands* edited by Hayes, D.E., *AGU Geophysical Monograph*, **23**, 1-35.
- Catane, S.G., Taniguchi, H., Goto, A., Givero, A.P. and Mandanas, A.A. (2005): Explosive volcanism in the Philippines. *CNEAS Monograph Series*, **18**, 146p.
- Defant, M.J., Maury, R.C., Ripley, E.M., Feigenson, M.D. and Jacques, D. (1991): An example of island-arc petrogenesis: Geochemistry and petrology of the southern Luzon arc, Philippines. *Journal of Petrology*, **32**, 455-500.
- Delfin, F.G., Panem, C.C. and Defant, M.J. (1993): Eruptive history and petrochemistry of the Bulusan volcanic complex: Implication for the hydrothermal system and volcanic hazards of Mt. Bulusan, Philippines. *Geothermics*, **22**, 417-434.
- Delfin, F.G. Jr., Newhall, C.G., Martinez, M.L., Salonga, M.D., Bayon, F.B., Trimble, D. and Solidaum, R. (1997):  $^{14}\text{C}$ , and historical evidence for 17<sup>th</sup> century eruption of Parker Volcano, Mindanao, Philippine. *Journal of Geological Society of Philippine*, **3** (1), 25-42.
- Divis, A.F. (1980): The petrology and tectonics of recent volcanism in the Central Philippine Islands. in *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeastern Asian Seas and Islands* edited by Hayes,



- D.E., *AGU Geophysical Monograph*, **23**, 127-144.
- Evans, C.A., Hawkins, J.W. and Moore, G.F. (1983): Petrology and geochemistry of ophiolitic and associated volcanic rocks on the Talaud Islands, Molucca Sea collision zone, Northeast Indonesia. in *Geodynamics of the Western Pacific-Indonesian Region* edited by Hilde, T.W.C. and Uyeda, S., *American Geophysical Union and Geological Society of America Geodynamics Series*, **11**, 159-172.
- Geronimo-Catane, S. (1994): Mode of emplacement of two debris-avalanche deposits at Banahao Volcano, southern Luzon, Philippines. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan*, **39**, 113-127.
- Hamburger, M.W., Cardwell, R.K. and Isacks, B.L. (1983): Seismotectonics of the Northern Philippine Island arc. in *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeastern Asian Seas and Islands, Part 2* edited by Hayes, D.E., *AGU Geophysical Monograph*, **27**, 1-22.
- 平野信一・中田 高・寒川 旭 (1986): ルソン島中部におけるフィリピン断層の第四紀後期の断層運動. 地学雑誌, **95**, 1-23. [Hirano, S., Nakata, T. and Sangawa, A. (1986): Fault topography and Quaternary faulting along the Philippine fault zone, central Luzon, the Philippine. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **95**, 1-23. (in Japanese with English abstract)]
- 広瀬典昭・井上公夫 (1999): ピナツボ火山噴火後の地形変化と土砂災害. 地形, **20**, 431-448. [Hirose, N. and Inoue, K. (1999): Geomorphological changes and disaster after the eruption in the eastern slopes of Mt. Pinatubo, in central Luzon, Philippines. *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, **20**, 431-448. (in Japanese with English abstract)]
- 小橋澄治・原 義文 (1993): ピナツボ噴火後の土砂流出 (その2). 砂防, **46**(2), 30-38. [Kobashi, S. and Hara, Y. (1993): Sediment runoff after Mt. Pinatubo eruption (II). *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*, **46**(2), 30-38. (in Japanese with English abstract)]
- Listanco, E.L. (1994): *Space-time Patterns in the Geologic and Magmatic Evolution of Calderas: A Case Study at Taal Volcano, Philippine*. D. Sc. Dissertation, Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 184p.
- Macdonald, G.A. and Alcaraz, A. (1956): Nuees ardentes of the 1948-1953 eruption of Hibok-Hibok. *Bulletin of Volcanology*, **28**, 169-178.
- Meijer, A., Reagan, M., Ekkis, H., Shafiqullah, M., Sutter, J., Damon, P. and Kling, S. (1983): Chronology of volcanic events in the Eastern Philippine Sea. in *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeastern Asian Seas and Islands, Part 2* edited by Hayes, D.E., *AGU Geophysical Monograph*, **27**, 349-359.
- Mirabueno, M.H.T., Okuno, M., Nakamura, T., Newhall C.G. and Kobayashi, T. (2006): AMS radiocarbon dating of paleosols intercalated with tephra layers from Mayon Volcano, Southeastern Luzon, Philippines: A preliminary report. *Fukuoka University Science Reports*, **36**(2), 23-28.
- Mirabueno, M.H.T., Okuno, M., Nakamura, T., Laguereta, E.P., Newhall, C.G. and Kobayashi, T. (2007): AMS Radiocarbon dating of charcoal fragment from the Irosin ignimbrite, Sorsogon Province, Southeastern Luzon, Philippines. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan*, **52**, 241-244.
- Mirabueno, M.H.T., Okuno, M., Torii, M., Danhara, T., Laguereta, E.P., Newhall, C.G. and Kobayashi, T. (2011): The Irosin co-ignimbrite ash-fall deposit: A wide spread tephra marker in the Bicol arc, south Luzon, Philippines. *Quaternary International*, **246**, 389-395.
- Moore, J.G. (1967): Base surge in recent volcanic eruptions. *Bulletin of Volcanology*, **30**, 337-363.
- Moore, J.G. and Melson, W.G. (1969): Nuees ardentes of the 1968 eruption of Mayon Volcano, Philippines. *Bulletin of Volcanology*, **33**, 600-620.
- Moore, J.G., Nakamura, K. and Alcaraz, A. (1966): The 1965 eruption of Taal Volcano. *Science*, **151**, 955-960.
- 守屋以智雄 (1979): 日本の第四紀火山の地形発達と分類. 地理学評論, **52**, 479-501. [Moriya, I. (1979): Geomorphological developments and classification of the Quaternary volcanoes in Japan. *Geographical Review of Japan*, **52**, 479-501. (in Japanese with English abstract)]
- 守屋以智雄 (1983): 日本の火山地形. 東京大学出版会, 135p. [Moriya, I. (1983): *Volcanic Landform of Japan*. The University of Tokyo Press, 135p. (in Japanese)]
- 守屋以智雄 (1990): 火山の地形・構造・発達に関する問題点. 火山, S145-S156. [Moriya, I. (1990): Some problems on geomorphology, structure and evolution of volcanoes. *Bulletin of Volcanological Society of Japan*, **34**, S145-S156. (in Japanese with English abstract)]
- 守屋以智雄 (2012): 世界の火山地形. 東京大学出版会, 299p. [Moriya, I. (2012): *Volcanic Landforms of the World*. The University of Tokyo Press, 299p. (in Japanese)]
- 中田 高・堤 浩之 (1990): 1990年フィリピン地震の地震断層. 地学雑誌, **99**, 95-112. [Nakada, T. and Tsutsumi, H. (1990): Surface faulting associated with the Philippine earthquake of 1990. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **99**, 95-112. (in Japanese with English abstract)]
- 中村一明 (1966): 低温・横なぐりの噴煙—フィリピン, タール火山の水蒸気爆発. 科学, **36**, 85-87. [Nakamura, K. (1966): Low-temperature horizontal eruption cloud: Phreatic eruption of Taal volcano, Philippines. *Science Journal (Kagaku)*, **36**, 85-87. (in Japanese)\*]
- Neumann van Padang, M.N. (1963): *Catalogue of the*

- Active Volcanoes of the World Including Solfatarata Fields, Part II, Philippine Islands and Cochin China*. International Volcanological Association, Napoli, 49p.
- Newhall, C.G. and Dzurisin, D. (1988): *Historical Unrest at Large Calderas of the World, Vol. 1. U.S. Geological Survey Bulletin*, 1855, 598p.
- Newhall, C.G. and Punongbayan, R.S., Pierson, T.C., Janda, R.J., Umbal, J.V. and Daag, A.S. (1992): Immediate and long-term hazards from lahars and excess sedimentation in rivers drainage Mt. Pinatubo, Philippines. *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report*, **92-4039**, 35p.
- Newhall, C.G., Daag, A.S., Delfin, Jr. F.G., Hoblitt, R.P., McGeehin, J., Pallister, S., Regalado, Ma.T.M., Rubin, M., Tubianosa, B.S., Tamayo, Jr. R.A. and Umbal, J.V. (1996): Eruptive history of Mount Pinatubo. in *Fire and Mud, Philippines* edited by Newhall, C.G. and Punongbayan, R.S., The University of Washington Press, Seattle, 165-195.
- Punongbayan, R.S., Newhall, C.G. and Hoblitt, R.P. (1996): Photographic record of rapid geomorphic change at Mount Pinatubo, 1991-1994. in *Fire and Mud, Philippines* edited by Newhall, C.G. and Punongbayan, R.S., The University of Washington Press, Seattle, 3-20.
- Seno, T. and Eguchi, T. (1983): Seismotectonics of the western Pacific region. in *Geodynamics of the Western Pacific-Indonesian Region* edited by Hilde, T. W.C. and Uyeda, S., American Geophysical Union and Geological Society of America, Washington, D.C., 5-40.
- Simkin, T. and Siebert, L. (1994): *Volcanoes of the World*. Smithsonian Institution, Geoscience Press, Tucson, 349p.
- Simkin, T., Tilling, R.I., Taggart, J.N., Jones, W.J. and Spall, H. (1989): *This Dynamic Planet: World Map of Volcanoes, Earthquakes, and Plate Tectonics*. Smithsonian Institution and U.S. Geological Survey.
- Tapponnier, P., Peltzer, G. and Armijo, R. (1986): On the mechanics of the collision between India and Asia. *Geological Society Special Publication*, **19**, 115-157.
- 宇井忠英・Geronimo-Catane, S. (1993): フィリピン火山. 月刊地球, **15**, 755-761. [Ui, T. and Geronimo-Catane, S. (1993): Volcanoes in Philippines. *Chikyū Monthly Symposium*, **15**, 755-761. (in Japanese)\*]
- Wolfe, J.A. and Self, S. (1983): Structural lineaments and Neogene volcanism in southwestern Luzon. in *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeastern Asian Seas and Islands, Part 2* edited by Hayes, D.E., *AGU Geophysical Monograph*, **27**, 157-172.

\* Title etc. translated by I.M.