

火山島地形の変遷[†]

渡辺一樹*

Topographic evolution of volcanic islands[†]

Kazuki WATANABE*

Abstract

The topography of volcanic islands evolves, as follows. Initially, volcanic islands grow up to be cone-shaped body after repeated eruptions. Then, waning of volcanic eruptions allows gradual erosion around the islands by waves, making the islands trapezoid body surrounded by steep cliffs. Finally, volcanic islands become rock pillar-like body after intensive erosions. Because of this temporal evolution of volcanic islands, in addition to the state of vegetation that covers the islands, the rough age and history of volcanic islands can be presumed.

1 はじめに

海域に孤立して存在する火山島は、海底火山が海底で噴火し、その頂部が海面に達して、火山体が恒久的に海面の上に露出したものである。海底火山の火山体の頂部が噴火により海面に達した後は、火山島は海面の波浪による浸食を受け、内陸地域で出現し河川や土石流により浸食されて谷地形が発達する火山体とは異なる形状に浸食されていく。海面では、火山噴火による溶岩・火山岩の噴出量が波浪による浸食量を上回ると、火山体が恒久的に海面の上に露出した島となり、同時に周囲から波浪による浸食を受けて、火山島には海食崖が発達するようになる。

日本近海には多くの海底火山が存在し、西之島新島、明神礁、福德岡ノ場のように、噴火時に一旦は新島を形成するような火山島誕生の間際にあるものから、伊豆大島のように長期間の噴火活動

の結果、火山島が大きく成長し、周囲に海食崖が発達している火山島まで、多様な形状の火山島が存在している。

東京工業大学名誉教授、故小坂丈予先生は、1952年の明神礁の噴火の様子を東京水産大学神鷹丸から観察し（平林・野上，2012）、1973年の西之島の噴火により形成された新島の地形を海上保安庁の航空機から観察し、西之島新島の地形の詳細なスケッチを残している（小坂，1978，Fig.1）。その後も西之島新島の地形・海岸線の変化を記録し、火山島形成時の噴火様式と海食による地形変化について報告している（小坂，2004）。小坂先生は晩年、海上保安庁の航空機に搭乗した際に、火山島の地形変化について筆者に語りかけてくれることも多かった。この報告では、故小坂先生の機上での指導・助言をもとに、主に南方諸島と南西諸島を例にして、海底火山の頂部が海面に達し

[†] Received November 14, 2012 ; Accepted January 24, 2013

* 海上保安大学校 海事工学講座

Academic Department of Maritime Science and Technology, Japan Coast Guard Academy

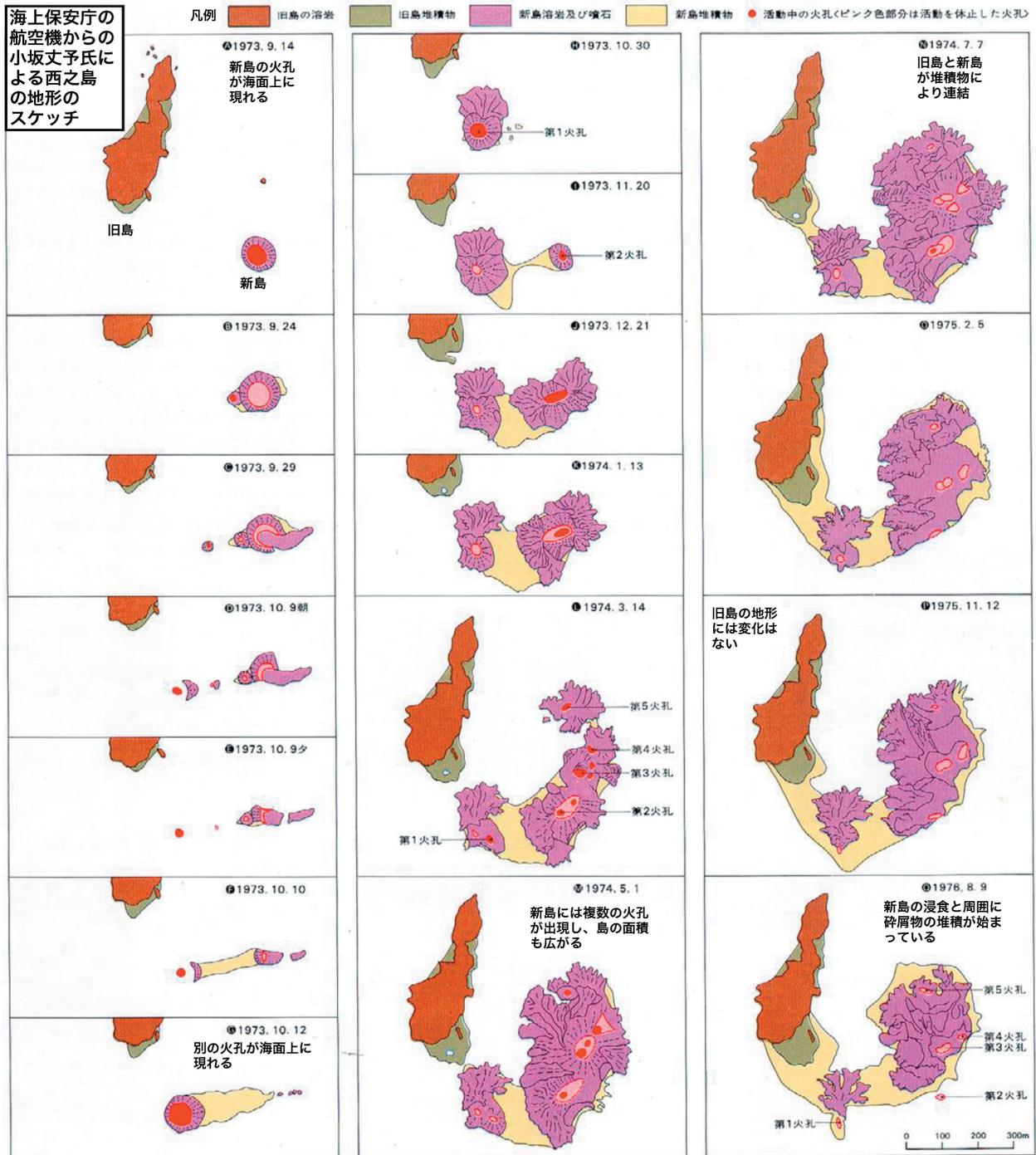


Fig. 1 Sketch of temporal snapshots of topographic evolution of the Nishi-no-Shima Island (after Osaka, 1978).

た状態以降の火山島の噴火活動の経過と、海食により浸食される火山島とその周辺の浅海域の地形の変遷についてまとめる。

2 火山島の地形

南方諸島、南西諸島の火山島では、海上保安庁の航空機からの観測により近年の噴火活動の詳細

な記録が残っている。また、海上保安庁の測量船を用いた調査により、火山島周辺の浅海域の詳細な海底地形も明らかになってきている。これらの観測・調査の結果は海上保安庁海洋情報部ホームページの「海域火山データベース」、海上保安庁水路部（当時）刊行の「沿岸の海の基本図」、管区海上保安本部（海洋情報部）作成の「沿岸防災

Table 1 List of parameters used in this study.

地域	火山島名	火山島			火山島周辺の浅海域の平坦面		
		山頂標高m	平均半径m	平均勾配	水深m	平均半径m	平均勾配
北海道西方	利尻島	1719	8000	0.21	不明	不明	不明
	渡島大島 (松前大島)	737	1850	0.40	50	2175	0.15
南方諸島	伊豆大島	764	6250	0.12	50	6950	0.07
	利島	508	1125	0.45	50	2000	0.06
	新島	429	3625	0.12	50	6550	0.02
	神津島	572	2800	0.20	50	4150	0.04
	三宅島	814	4650	0.18	50	5375	0.07
	御蔵島	851	2750	0.31	50	3325	0.09
	八丈島	854	5750	0.15	50	6675	0.05
	青ヶ島	423	1500	0.28	70	2325	0.08
	須美寿島	136	113	1.21	20	675	0.04
	伊豆鳥島	394	1350	0.29	50	1800	0.11
	そう婦岩	100	37.5	2.67	100	1125	0.09
	西之島	25	350	0.07	50	1400	0.05
	北硫黄島	792	1350	0.59	50	2175	0.06
	硫黄島	168	3325	0.05	50	4700	0.04
南硫黄島	916	1175	0.78	50	1800	0.08	
南西諸島	桜島	1117	5125	0.22	不明	不明	不明
	薩摩硫黄島	704	2250	0.31	20	2600	0.06
	口永良部島	657	4750	0.14	150	5950	0.13
	口之島	628	2450	0.26	50	3300	0.06
	中之島	978	3900	0.25	50	4275	0.13
	諏訪之瀬島	799	3600	0.22	50	4200	0.08
	横当島	495	1200	0.41	10	1325	0.08
	硫黄鳥島	212	1050	0.20	40	1875	0.05
	大正島	79	188	0.42	100	2500	0.04
久場島	117	650	0.18	100	2050	0.07	

情報図」に掲載されている。ここでは南方諸島、南西諸島、北海道西方の島嶼について、これらに掲載されている火山島の地形の情報を読み取った。なお、火山島であっても、海上保安庁の航空機による観測記録が少ないもの、測量船などの調査による浅海域の詳細な海底地形データが無いものは、調査対象から除いた。ベヨネース列岩に関しては、明神礁カルデラの外輪山の一部として現在も活動的な火山体として扱えるのか、外輪山の反対側の頂に位置する活動的な明神礁からはおよそ10 kmの距離が離れ、今後、島の地形に大きな変化をもたらすような噴火が起こりえるか不明である。ベヨネース列岩を含む頂には火口状の地形も存在しないことから、島単独で噴火活動の経

過と地形の変遷について論じることが困難であるので、この報告ではベヨネース列岩を調査対象から除いた。

Table 1に、調査対象とした地域、火山島名と山頂標高、島の平均半径と平均勾配、火山島周辺の浅海域の平坦面の水深・平均半径・平均勾配を示す。Table 1の値は「5万分の1沿岸の海の基本図」及び「3万5千分の1沿岸防災情報図」から読み取っている。島の「平均半径」と浅海域の平坦面の「平均半径」は、島の海岸線、浅海域の平坦面の外側の等深線をそれぞれ楕円に近似し、その長半径と短半径を平均して求めた。島に複数の頂が存在する場合には、山頂標高は最高点の値を採用し、島の平均半径で除して島の平均勾配を

算出した。そのため、島に複数の頂が存在する場合、個々の頂付近の実際の勾配はここで求めた島の平均勾配よりも急になる。ここでいう「火山島周辺の浅海域の平坦面」は、堆積学的には「ウェーブベース」又は「波浪作用限界深度」といわれる、現在の海水準での海食により島や浅海域の岩石・地層が浸食されてその砕せつ物が堆積して形成された水深 50 m 前後の平坦面を意識して、抽出した。利尻島、桜島では、浅海域の平坦面が明瞭ではないため、平坦面を抽出できなかった。これは、利尻島、桜島が北海道、九州の地塊に近接していて、これらの地塊の堆積層も周辺海域に分布するため、他の孤立した火山島のように現世の波浪作用限界深度が海底地形に明瞭に表れないことが原因として考えられる。そう婦岩、口永良部島、大正島、久場島の 4 つの島では、水深 50 m 前後の平坦面が明瞭ではなく、水深 100~150 m 前後の海底の平坦面を採用したが、これらは氷河期の海水準低下時に形成された海底の平坦面を含んでいる可能性がある。

それぞれの火山島は、山頂標高、島の大きさ(半径)が大きく異なるので、山頂標高と島の大きさだけから火山島特有の地形的な特徴を論じることは困難である。火山島の地形的な特徴を抽出するために、火山島と浅海域の地形の平均勾配を用いて比較した。Fig. 2 に火山島の平均勾配と浅海域の平坦面の平均勾配の散布図を示す。これによると、火山島の平均勾配は 0.05~0.40、浅海域の平坦面の平均勾配は 0.03~0.09 の範囲にほとんどがプロットされ、一部の火山島のプロットが、火山島の平均勾配は他と大差ないが、浅海域の平坦面の平均勾配が急なグループと、浅海域の平坦面の平均勾配は他と大差ないが火山島の平均勾配が、急なグループがあることが分かる。

3 火山島の外観地形の分類

「海域火山データベース」に掲載された全景写真、海底地形図、鳥瞰図を参照し、南方諸島、南西諸島、北海道西方の島嶼について、火山島の外観地形の分類を試みる。ここでは火山島の全体的

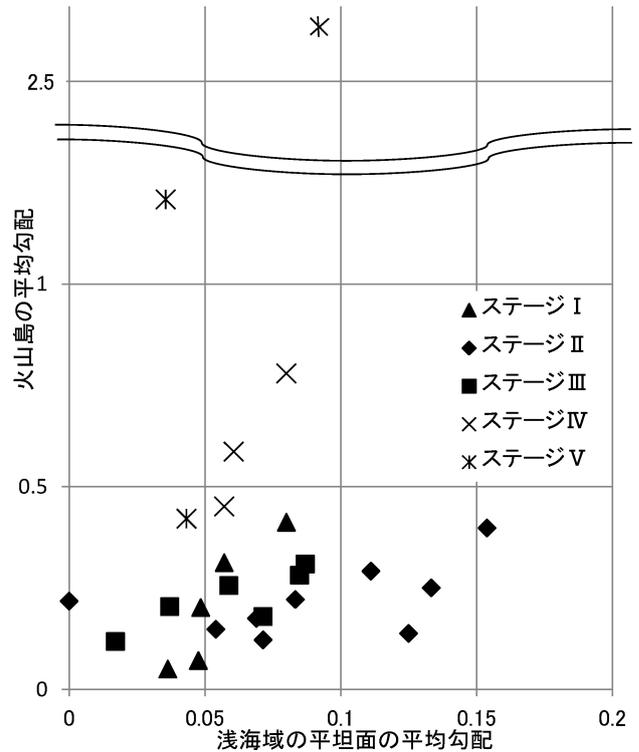


Fig. 2 Relationship between mean gradients of shallow terrace and slope of volcanic body.

な外観及び火山島周囲の海底地形の形状をもとに、後述する火山島の噴火活動の経過も考慮して、次の通り分類した。

ステージ 0 (誕生期)：海底火山の頂部が海面に達し、平坦な頂部の一部が海面上に露出した状態。短時間で水没し、植生は皆無の状態。

ステージ I (成長期)：海水面よりも高い位置に火口が存在し、短い山腹に溶岩流や側火口が分布する状態。周囲から波浪による浸食を受け、低い海食崖が見られる。植生は少ない。

ステージ II (最大期)：海面上の火山島が大きく成長し、円錐状の火山島が形成されている状態。海岸には砂浜や低い海食崖が見られる。山麓部には植生が豊富だが、活動中の山頂火口部周辺には植生が少ない。

ステージ III (海食初期)：大きく成長した火山島が海食により周囲から浸食を受け、落差の大きい海食崖が形成され始め、全体的に台形

状の地形になった状態。噴火活動が植物の生育を妨げないため、島全体にわたり植生が豊富に見られる。

ステージⅣ（海食中期）：海食が進み、火山島内部の火道・岩脈が露出し、急峻な山体がそそり立っている状態。山頂部に植生があり、海食崖付近には植生が無い状態。

ステージⅤ（海食末期）：海食が進み、急峻な山体がさらに削られて、火山岩脈の岩の柱が残り、海面付近に平坦な岩海岸と平坦な浅海底が形成されている状態。植生はほとんど見られなくなる。

4 火山島の外観地形と噴火活動の経過との関係
「海域火山データベース」に掲載された噴火活動の記録をもとに、海底火山の頂部が海面に達した状態以降の火山島の噴火活動について、火山島の外観地形の時系列変化に基づき次の通り分類を試みた。

ステージ0（誕生期）：海底火山の頂部が海面に達し、海面付近でマグマと海水が接して、水蒸気爆発が起こる。発泡した脆い岩石（軽石、スコリア）が形成される。

ステージⅠ（成長期）：火口が海水面よりも高い位置で安定すると、火口から噴出した溶岩が海水に接する前に固結し、陸上に固い溶岩（火山岩）が形成される。個々の噴火が休止してしばらくすると、火山岩が周囲から波浪による浸食を受ける。

ステージⅡ（最大期）：山頂部からの噴火活動が継続すると、火山噴出物の堆積により火山島が大きく成長する。火口と海岸線の距離が遠くなり、陸上では広範な溶岩流による地形、溶岩ドームなどの火山地形が形成・維持される。

ステージⅢ（海食初期）：噴火活動が衰退し、火山噴出物の噴出量が少なくなり、海食が進むと、火山島の周囲の海食崖が発達し始める。

ステージⅣ（海食中期）：噴火活動が終了し、

火山噴出物の供給が無くなると、さらに海食が進み、火山島内部の火道・岩脈が露出し、急峻な火山体となる。

ステージⅤ（海食末期）：さらに海食が進み、急峻な山体は浸食されて、火山島中心部の固い火山岩脈が残り、海面付近には浸食された火山岩が積み重なった平坦な岩海岸とその碎せつ物からできた平坦な浅海底が形成される。

5 考察

火山島の外観地形に基づき、火山島地形の変遷について考察を行う。なお、ステージ0誕生期は、火山島が短時間で水没して、島として存在しない期間が長いステージであるため、本考察の対象とはしない。誕生期の火山島が恒久的に海上に存在できるか否かには、噴出するマグマの性質、マグマの噴出量、噴火活動期間の長さ、噴火口の標高、単成・複成火山における噴火様式の差など、多くの条件が関係しているであろう。

Table 2 に火山島の外観地形と噴火活動の経過ステージ、当てはまる火山島名、島の平均勾配、浅海域の平坦面の平均勾配、浅海域の平坦面の平均勾配に対する島の平均勾配の比とそのステージ毎の平均値、噴火活動の記録を示す（Table 2 中の平均勾配の値は小数第3位を四捨五入しているので、表中に表記されている数値のみの計算は合致していない）。ここでは、火山島の地形に大きな変化をもたらさない「噴気」、「変色水」、「地震活動」などを主体とする活動は、「噴火活動」に含めていない。硫黄島の浅海域の平坦面の平均勾配に対する島の平均勾配の比が1.39と小さくなっている原因は、島を成長させる地質プロセスが噴火活動による火山噴出物の噴出と堆積ではなく、山頂部の隆起運動によるためである。硫黄島では海食により平坦化された土地が隆起して陸化しているため、島の平均勾配が例外的に緩やかで、島の平均勾配は浅海域の平坦面の平均勾配とほとんど同じ値になっている。この点は西之島と類似しており、ステージⅠ成長期に分類した。

Table 2 Summary of topographic evolution of volcanic islands.

外観地形と噴火活動のステージ	火山島名	島の平均勾配	浅海域の平坦面の平均勾配	島の平均勾配 ÷浅海域の平坦面の平均勾配	島の平均勾配 ÷浅海域の平坦面の平均勾配の平均	有史以降の噴火活動記録 西暦 (カッコ内、地質時代の噴火活動)	噴火活動に関する文献
ステージⅠ 成長期	西之島	0.07	0.05	1.50	3.54	1973~1974年	小坂(1978)
	硫黄島	0.05	0.04	1.39		1889~2012年 (3千年前から)	東京都(1979)
	薩摩硫黄島	0.31	0.06	5.48		1934~2005年 (7千3百年前から)	田中館(1935) 伊藤・他(2012)
	横当島	0.41	0.08	5.16		不明(上部更新世から現世)	松本(1966)
	硫黄島島	0.20	0.05	4.16		1664~1968年 (後期更新世以降)	木下(1935) 松本(1983)
ステージⅡ 最大期	利尻島	0.21	不明	不明	2.23	不明(20万年前から2千年前)	小林(1987)
	渡島大島	0.40	0.15	2.59		1741~1790年	北海道防災会議(1977)
	伊豆大島	0.12	0.07	1.71		684~1987年 (1万年前から)	小山・早川(1996)
	三宅島	0.18	0.07	2.54		1085~2000年 (7千3百年前から)	宮崎(1984) 伊藤・他(2012)
	八丈島	0.15	0.05	2.75		1487~1606年 (82万年前から)	気象庁(2005)
	伊豆鳥島	0.29	0.11	2.63		1869~2002年 (更新世以降)	神保(1903) 伊藤・他(2003)
	桜島	0.22	不明	不明		708~2012年 (2万3千年前から)	小林・溜池(2002)
	口永良部島	0.14	0.13	1.11		1841~1987年 (更新世以降)	気象庁(2005) 井口・他(2007)
	中之島	0.25	0.13	1.88		1914~1991年	鹿児島県(2005)
	諏訪之瀬島	0.22	0.08	2.66		1813~2006年	嶋野・小屋口(2001)
ステージⅢ 海食初期	新島	0.12	0.02	6.92	4.37	886年 (数万年以降)	稲山・谷口(2007)
	神津島	0.20	0.04	5.52		832~838年	杉原・他(2001)
	御蔵島	0.31	0.09	3.56		不明 (7千年前まで)	一色(1955)
	青ヶ島	0.28	0.08	3.32		1652~1785年 (更新世末以降)	東京都防災会議(1990)
	口之島	0.26	0.06	4.36		不明 (後期更新世以降)	下司・中野(2007)
	久場島	0.18	0.07	2.52		不明	
ステージⅣ 海食中期	利島	0.45	0.06	7.90	9.11	不明	
	北硫黄島	0.59	0.06	9.68		不明	
	南硫黄島	0.78	0.08	9.74		不明 (数十万年以降)	福山(1983) 渡辺(1994)
ステージⅤ 海食末期	須美寿島	1.21	0.04	34.00	24.25	不明	
	そう婦岩	2.67	0.09	29.00		不明	
	大正島	0.42	0.04	9.74		不明	

Fig. 2 と Table 2 をもとに各ステージの島の平均勾配と浅海域の平坦面の平均勾配について考察する。火山島はステージⅠ成長期では山頂火口が海面より上に安定して存在し、山頂噴火と溶岩流

の流出が起こり、低い海食崖が見られる期間で、島の平均勾配は 0.05~0.41、浅海域の平坦面の平均勾配は 0.04~0.08 程度である。ステージⅡ最大期では、円錐状の大きな火山島となり、島の

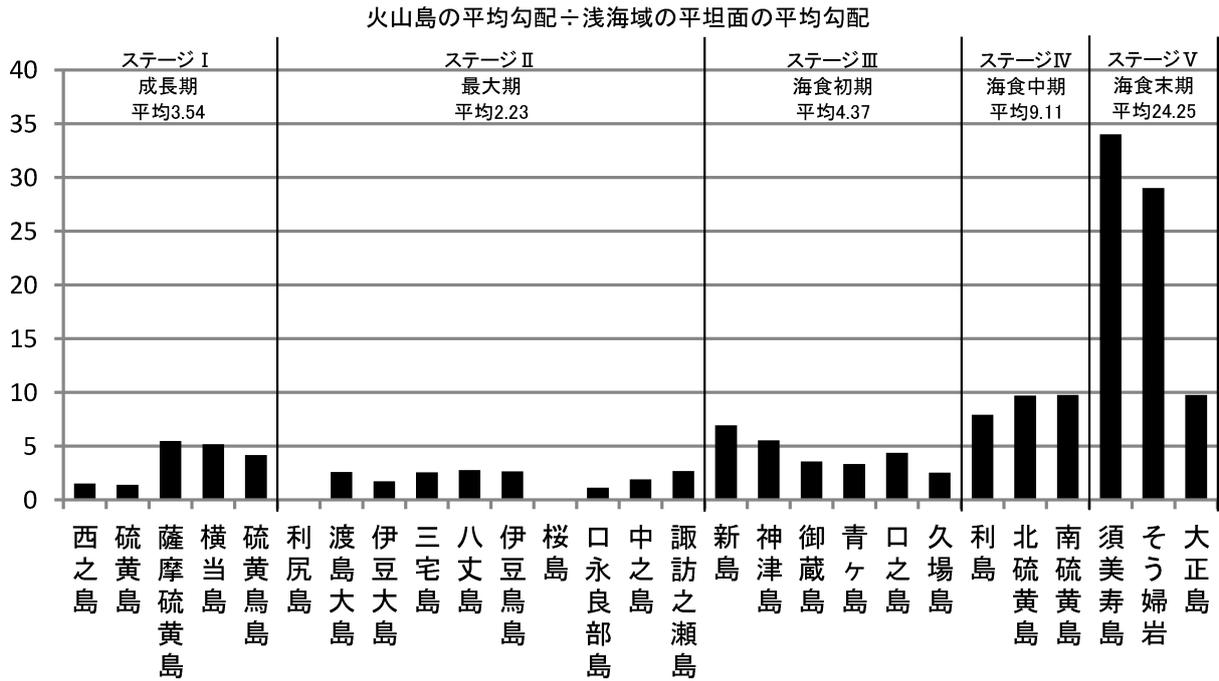


Fig. 3 Relationship between the ratio of mean gradient of volcanic body to mean gradient of shallow terrace and the stages of topographic evolution of volcanic islands.

平均勾配は大きく変化しないが、広がった裾野からの多量の砕せつ物が浅海へ供給されるため、浅海域の平坦面の平均勾配は0.05~0.15と少し急になることが分かる。ステージⅢ海食初期では、海食崖が発達して、台形状の火山島となり、島の平均勾配は0.12~0.31と少し急になる。海食崖から供給される多量の砕せつ物が浅海域の広範囲に広がるため、浅海域の平坦面の平均勾配が0.02~0.09と少し緩やかになり、島の平均勾配と浅海域の平坦面の平均勾配はステージⅠ成長期に近くなる。ステージⅣ海食中期では、山体浸食が進み、海食崖がさらに発達して、地層内の岩脈が露出した急峻な火山体となる。島の平均勾配は0.45~0.78と急になり、海食崖からの砕せつ物の供給が減るので、浅海域の平坦面の平均勾配は大きく変化しない。ステージⅤ海食末期では、山体浸食がさらに進み、火山体中心部の固い岩脈が残り、外見は岩の柱のような山体となる。島の平均勾配は0.42~2.67と極めて急になるものの、海食崖からの砕せつ物の供給がほとんどないので、浅海域の平坦面の平均勾配は大きく変化しない状態となる。

Fig. 3 に火山島の外観地形のステージの順に配列した浅海域の平坦面の平均勾配に対する島の平均勾配の比の棒グラフを示す。浅海域の平坦面の平均勾配に対する島の平均勾配の比が大きいほど、火山島は海食崖が発達し、より急峻な山体になっていると考えられる。Table 2 と Fig. 3 によると、ステージⅠ成長期で、島が上方に成長していく状態では、浅海域の平坦面の平均勾配に対する島の平均勾配は平均3.54という値を示す。ステージⅡ最大期では、陸上では火山の裾野が広がり、広がった裾野からの砕せつ物が浅海へ供給される。それにより、浅海域の平坦面の平均勾配が少し急になるため、浅海域の平坦面の平均勾配に対する島の平均勾配はステージⅠ成長期より小さい平均2.23という値を示す。ステージⅢ海食初期からⅣ海食中期では、海食崖が発達し、島の平均勾配が少しずつ急になるため、浅海域の平坦面の平均勾配に対する島の平均勾配は平均で4.37~9.11という値を示す。ステージⅤ海食末期では、島の外見が岩の柱のような山体となり、島の平均勾配が極めて急になるため、浅海域の平坦面の平均勾配に対する島の平均勾配は平均24.25と

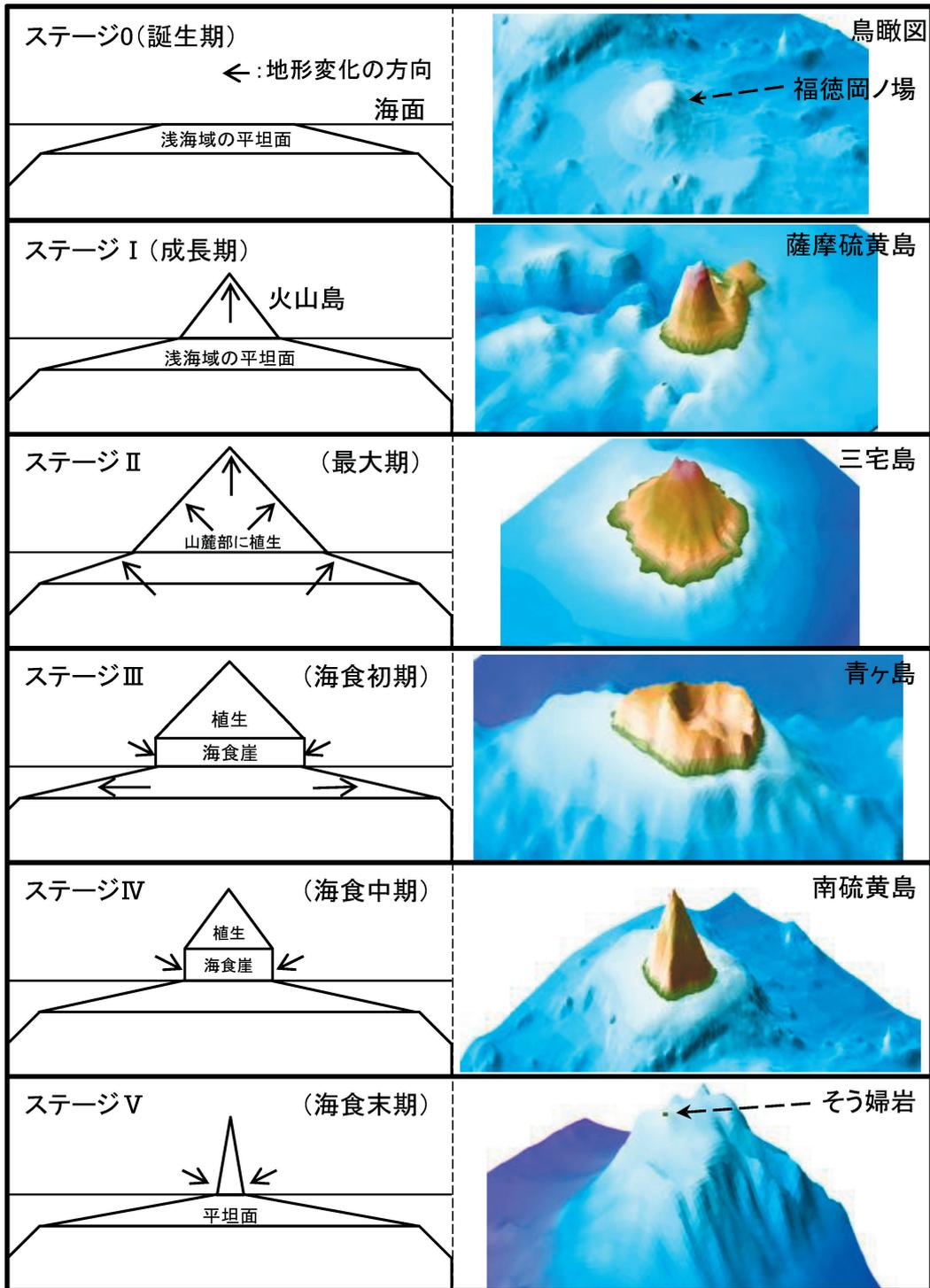


Fig. 4 Diagram showing the stages of topographic evolution of volcanic islands accompanied by representative examples of island.

いう大きな値を示す。

Fig. 4に火山島のステージ0 誕生期からステージV 海食末期, それぞれのステージを模した地形断面のモデルと, 「海域火山データベース」に掲載されている火山島の内, 浅海域の地形的な特徴

が比較的明瞭に表れている鳥瞰図を示す。火山島のステージ0 誕生期では, 鳥瞰図に示した福徳岡ノ場のように浅海域に平坦面が広がった状態である。火山島の地形は, ステージI 成長期とステージII 最大期には島は上方に成長して概ね円錐形の

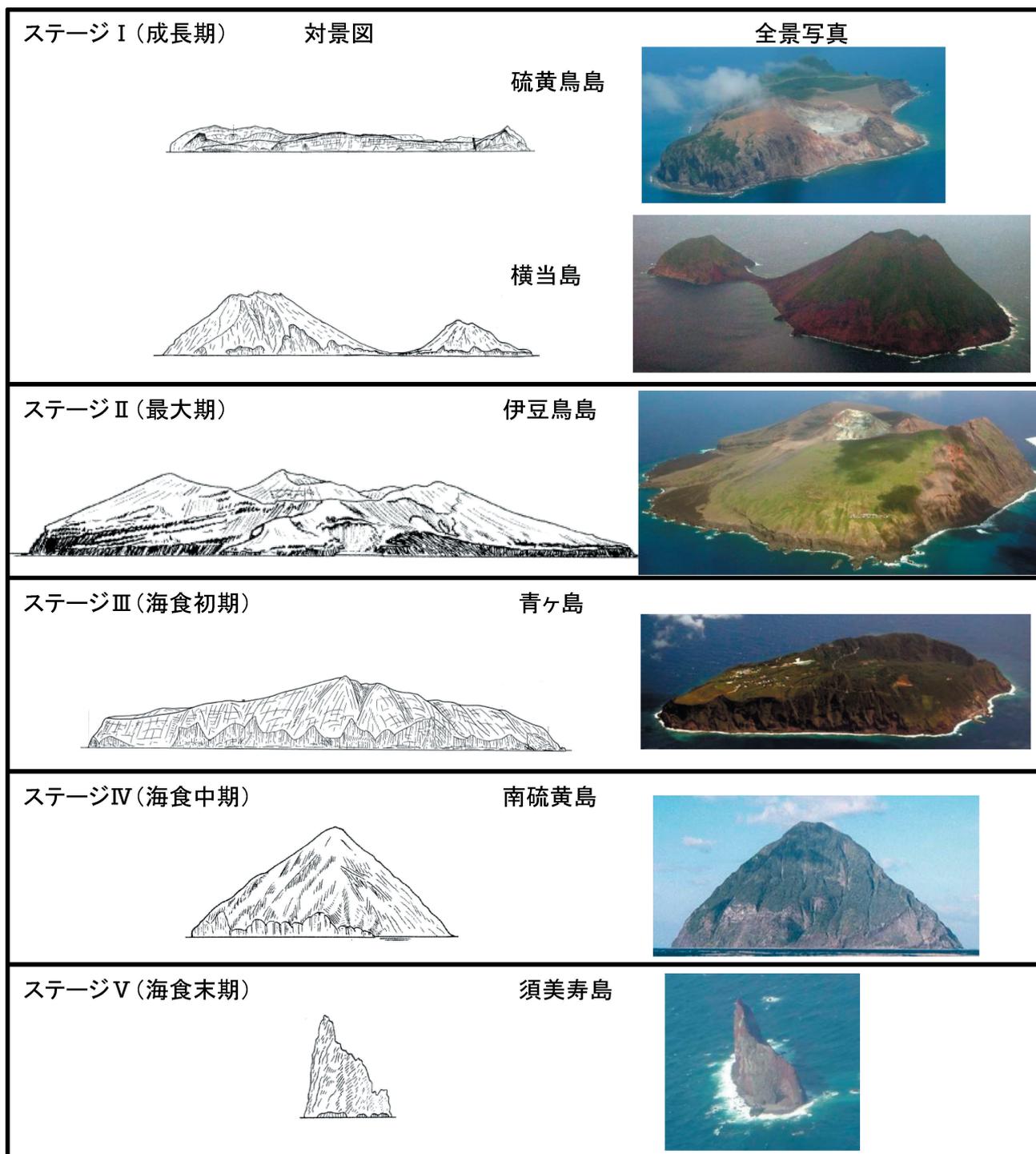


Fig. 5 Views and photographs of volcanic islands arranged by the stages topographic evolution.

山体となり、浅海域の平坦面は鳥瞰図からはあまり広がりを感じない。ステージ I 成長期では島の面積に対する火口の面積が広く、火口に近い地域では植物が育たないため、植生に覆われる面積は狭いが、ステージ II 最大期では植生が山麓部中心に広がり、噴火間もない地域での草原から、噴火

から時間を経過して形成された森林まで多様である。ステージ III 海食初期からステージ IV 海食中期には海食崖が発達して島は次第に台形状の急峻な山体となる。植生は海食崖よりも上の斜面に豊富で、樹木の生い茂る森林が分布している。鳥瞰図からは、島の周囲に発達した海食崖の様子と島周

辺の浅海域の平坦面の広がりがよく分かる。ステージV海食末期には島の外見が岩の柱のような山体へと遷移していく。このステージでは植生はほとんど見られなくなっている。そう婦岩の鳥瞰図からは、岩の柱のような火山島の周辺の浅海域に広い平坦面が広がっていることが分かる。

Table 2の有史以降の噴火活動記録及び地質時代の噴火活動から、ステージI成長期からII最大期の火山島は西暦600年以降現在までに噴火活動が確認されている活動的な火山であることが分かる。ステージIII海食初期の火山島は有史以降の噴火活動が記録されていないか、活動していても西暦1800年以降に噴火活動が確認されていない火山である。ステージIV海食中期からV海食末期の火山島は有史以降の噴火活動の記録が無い古い火山であることが分かる。

6 まとめ

Fig. 5に沿岸の海の基本図に記載されている火山島の対景図と、「海域火山データベース」に掲載されている火山島の全景写真を、火山島の外観地形のステージの順に配列して示す。Fig. 5に示すように、火山島の外観地形の変遷は対景図にもよく表れており、全景写真では植生の様子が噴火活動の頻度と経過をよく反映していることが分かる。このように、火山島は噴火により成長し、波浪による浸食作用を受けながら、地形とそれを覆う植生の状態を遷移させていく。一方、火山島の地形の変遷に関する知識から、火山島の外観地形とそれを覆う植生の状態を観察すれば、Table 2に示すように火山島のおおよその噴火活動の年代、あるいは火山島が海面上に形成されてからどの程度の年代を経過しているかを推測することができる。

謝 辞

東京工業大学名誉教授、故小坂丈予先生の機上でのご指導・ご助言に感謝いたします。この報告に対して適切な助言を頂いた査読者の方々に感謝申し上げます。

参考文献

- 第十管区海上保安本部 (2000), 3万5千分の1沿岸防災情報図「薩摩硫黄島及口永良部島」, 第十管区海上保安本部, 鹿児島。
- 第十管区海上保安本部 (2001), 3万5千分の1沿岸防災情報図「トカラ群島」「口之島」「中之島」「諏訪之瀬島」, 第十管区海上保安本部, 鹿児島。
- 第三管区海上保安本部 (2002), 3万5千分の1沿岸防災情報図「神津島及御蔵島」「神津島」「御蔵島」, 第三管区海上保安本部, 横浜。
- 第三管区海上保安本部 (2003), 3万5千分の1沿岸防災情報図「新島及付近」「新島及式根島」「利島」, 第三管区海上保安本部, 横浜。
- 福山博之 (1983), 火山列島, 南硫黄火山の地質, *地学雑誌*, **92**, 55-67.
- 下司信夫・中野俊 (2007), 鹿児島県トカラ列島口之島火山の形成史と噴火活動履歴, *地質調査研究報告*, **58**, 105-116.
- 平林順一・野上健治 (2012), 小坂丈予先生のご逝去を悼む, *火山*, **57**, 109-110.
- 北海道防災会議 (1977), 渡島大島: 火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策, 北海道における火山に関する研究報告書 (第6編), 北海道, 札幌。
- 井口正人・為栗健・斎藤英二・鈴木敦生・高山鉄朗・山崎友也・米田格・神田径・駒澤正夫・中村佳重郎・山本圭吾・赤松純平・平林順一・野上健治・大島弘光・森健彦・下司信夫・小林哲夫 (2007), 口永良部島の水蒸気爆発発生とその後の推移の予測のための実践的研究, 防災研究推進特別事業報告書, 73 pp., 京都大学防災研究所, 宇治。
- 稲山尚利・谷口宏充 (2007), 伊豆新島向山火山886年噴火の火山地質, *東北アジア研究*, **11**, 137-158.
- 一色直記 (1955), 御蔵島・蘭灘波島及び銭州地域の地質・地域地質研究報告 (5万分の1図幅), 33 pp., 地質調査所, つくば。

- 伊藤弘志・堀内大嗣・芝田厚・鈴木晃・小山薫 (2012), 日本周辺海域火山通覧 (第4版), **海洋情報部研究報告**, 48, 41-73.
- 伊藤弘志・大谷康夫・小野智三・大島治・成田学・山野寛之・佐藤勝彦・渡邊健志・小河原秀水 (2003), 鳥島火山2002年噴火の経緯, **火山**, 48, 235-239.
- 神保小虎 (1903), 明治三十五年八月鳥島噴火後ノ地勢調査報文, **震災予防調査会報告**, 43, 43-48.
- 鹿児島県 (2005), 第四章中之島, 第五部薩南諸島, 鹿児島県地域防災計画火山災害対策編, 鹿児島県, 鹿児島島.
- 海上保安庁海洋情報部 (2012), 海域火山データベース, 海上保安庁海洋情報部 Web Site (<http://www.1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKO/KUSAI/kaiikiDB/list-2.htm>), 東京.
- 海上保安庁水路部 (1978), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「松前大島」, 33 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1981), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「屋久島北西部」, 31 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1982), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「薩摩硫黄島」, 35 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1987), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「硫黄島」, 63 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1987), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「横当島」, 61 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1987), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形図「伊豆大島」, 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1990), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形図「鹿児島湾北部」, 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1991), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「利尻島」, 58 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1992), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「硫黄島」, 52 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1993), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「南硫黄島」, 52 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1993), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「西之島」, 47 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1994), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「北硫黄島」, 56 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1995), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「嬬婦岩」, 33 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1995), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形図「久場島」, 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1996), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「三宅島」, 56 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1996), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「鳥島」, 36 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1996), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形図「大正島」, 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1997), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「須美寿島」, 34 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (1999), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「八丈島」, 60 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 海上保安庁水路部 (2000), 5万分の1沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告「青ヶ島」, 36 pp., 海上保安庁水路部, 東京.
- 木下亀城 (1935), 沖縄県硫黄島火山, **火山**, 2, 132-136.
- 気象庁 (2005), **日本活火山総覧 (第3版)**, 635

- pp., 財団法人気象業務支援センター, 東京.
- 小林哲夫 (1987), 利尻火山の地質, *地質學雜誌*, **93**, 749-760.
- 小林哲夫・溜池俊彦 (2002), 桜島火山の噴火史と火山災害の歴史, *第四紀研究*, **41**, 269-278.
- 小山真人・早川由紀夫 (1996), 伊豆大島火山カルデラ形成以降の噴火史, *地学雜誌*, **105**, 133-162.
- 松本徭夫 (1966), 鹿児島県トカラ列島横当島の火山地質 (I), *火山*, **11**, 72-83.
- 松本徭夫 (1983), 琉球列島における新生代火山活動, *地質学論集*, **22**, 81-91.
- 宮崎務 (1984), 歴史時代における三宅島噴火の特徴, *火山*, **29**, 1-15.
- 小坂丈予 (1978), 日本の火山—7 西之島新島—, *アーバンクボタ*, **15**, 18-21, 久保田鉄工.
- 小坂丈予 (2004), 海底火山調査にまつわる話 (5) ~新島生成後の西之島~, *季刊水路*, **128**, 34-39.
- 嶋野岳人・小屋口剛博 (2001), 諏訪之瀬島火山1813年噴火 (文化噴火) の噴火様式とマグマの脱水過程火山, *火山*, **46**, 53-70.
- 杉原重夫・福岡孝昭・大川原竜一 (2001), 伊豆諸島, 神津島天上山と新島向山の噴火活動, *地学雜誌*, **110**, 94-105.
- 田中館秀三 (1935), 鹿児島県下硫黄島噴火概報, *火山*, **2**, 188-209.
- 東京都 (1979), 小笠原硫黄島火山活動調査報告書 (第Ⅲ報), 89 pp., 東京都, 東京.
- 東京都防災会議 (1990), 伊豆諸島における火山噴火の特質等に関する調査・報告書 (青ヶ島編), 89 pp., 東京都, 東京.
- 渡辺一樹 (1994), 火山列島周辺の海底地形・地質構造, *水路部研究報告*, **30**, 19-35.

は次第に台形状の急峻な山体となり, 遂には, 島の外見が岩の柱のような山体となる. 火山島の外観地形とそれを覆う植生の状態を観察すれば, 火山島のおおよその噴火活動の年代と経過を推測することができる.

要 旨

火山島の地形は次のように変遷していく. 火山島は, 最初, 噴火により島が成長して円錐形の山体となる. 波浪による浸食で海食崖が発達し, 島