硫黄島の面積の長期変動

重 村 利 幸*

Long-term Variation of the Area of Iwo Jima

Toshiyuki SHIGEMURA *

Abstract

Iwo Jima is small volcanic island located isolate in the Western Pacific Ocean about 1,250 km south of Tokyo. The island with the area about 23 km^2 is covered with considerably dense vegetation and no rivers exist in this island. Thus, the source of sediments to nourish the beach seems to be quite limited in this island. Further, the coast is always subjected to rough seas because it is fully exposed to the open sea. Nevertheless, the coast is mostly rimmed by sandy beaches with about 200 m in width and the shoreline is still advancing toward the sea which increases the beach area year by year. Many scientists have pointed out that this increase might be caused by an unusual upheaval of this island exceeding 30 cm per year. However, no quantitative analyses have been done yet on this unique phenomenon that prevents from constructing any port facilities in this island. Thus, the author intends to investigate the features of the long-term variation of the area which have occurred in Iwo Jima during the past seven decades and to examine its variation mechanism.

To investigate the features of the long-term variation, analyses are conducted on the seven maps and charts of Iwo Jima which have been published in the period from 1911 to 1981. The analysis reveals that the island has kept increasing its area over the past seven decades although the increasing rate has changed drastically in 1952 from $30,000\text{ m}^2$ to $90,000\text{ m}^2$ per year and that the increased area has reached roughly 4.3 km^2 in total during the seven decades. This change of the increasing rate well corresponds to the fact that the upheaval rate of the island has changed in 1952 from roughly 10 cm to 30 cm per year which has been found by Kosaka *et al.* in 1979.

To examine the effect of the upheaval on the features of the long-term variation of the area, calculation is carried out by giving the various values of imaginary upheaval to the bathymetric data shown on the chart covering the sea around Iwo Jima published by the Hydrographic Department of Japan Maritime Safety Agency in 1981. The result of the calculation indicates that the upheaval of 10 cm per year corresponds to the increasing rate of the beach area roughly $43,000\text{ m}^2$ per year and the upheaval of 30 cm per year corresponds to the increasing rate of the beach area roughly $130,000\text{ m}^2$ per year when the foreshore slope is assumed to be $1/20$. These values are surely the ones before the beach is transformed by the action of the ocean waves. However, comparison of these values with the ones found through

* 防衛大学校土木工学教室

* Department of Civil Engineering, National Defense Academy

the former analyses indicates that the calculation has provided quite a reasonable estimation of the increase of the beach area. These findings clearly indicate that the continuous upheaval is the governing factor to cause the increase of the beach area in Iwo Jima.

Key words : Iwo Jima, volcanic island, long-term variation of shoreline, unusual upheaval, tombolo

キーワード：硫黄島，火山島，汀線の長期変動，異常隆起，トンボロ

I. はじめに

硫黄島は東京から南へ約 1,250 km 下った西太平洋 ($24^{\circ}45'N \sim 24^{\circ}49'N$, $141^{\circ}17'E \sim 141^{\circ}21'E$) に位置する面積約 23 km^2 ，周長約 24 km の孤島である。同島は伊豆半島から僅かに東方に向かいながら緩やかな弧を描いて南下している伊豆・マリアナ島弧上にある火山島の一つであり，島の北方約 75 km のところにある北硫黄島と，南方約 58 km の位置にある南硫黄島と共に火山列島とも呼ばれている。この島名からもわかるとおり，硫黄島ならびにその周辺海域は古くから火山活動が極めて活発なところである。図 1 は硫黄島の位置を示す。

硫黄島の沿革については東京都から出されている硫黄島基本調査報告書（東京都，1975）や熊谷（1979）の論文，ならびに本誌 94 巻 6 号（東京地学協会，1985）に詳しく紹介されているので，本稿では重複を避けたい。ただし，94 巻 6 号そのものについては本研究を始めた動機とも関連するので簡単に触れておく。同号は 1968 年に硫黄島がわが国に返還されてより，各省庁，東京都ならびに大学等によって同島で行なわれてきた種々の学術調査や研究の成果を集大成し，「硫黄島の地学」として本誌上に組まれた硫黄島の特集である。この特集には「硫黄島の地形・地質，地震・火山活動，地殻変動，地磁気，重力，地熱，地下構造，ならびに地球化学」の 8 つの分野にまたがる 16 編の代表的な論文が収録されているが，これら一連の研究は主として地球物理学的な視点に立って行なわれた研究であり，海浜の消長等を扱う工学的な視点に立った研究は，含まれていない。

さて，写真 1 は 1992 年に撮影された硫黄島の航空写真である。この写真から，島は平坦で小川等も存在せず，しかも表層の大部分は濃い植生で覆われていること，海岸線は島の北部を除いて豊かな砂浜に囲まれており，特に西部の海岸には巨大なトンボロが形成されていること等が読み取れる。島の地形特性等から判断して，島内から海岸に供給される土砂量は極めて少ないと思われる。また，海岸線は常時，外洋性の暴浪にさらされており，豊かな砂浜を維持し続けることは難しいはずである。にもかかわらず，硫黄島の砂浜は年々増え続けていることが早くから指摘されていた。

図 1 硫黄島の位置。

Fig. 1 Location of Iwo Jima.

そこで、本稿では1911年から1982年までの間に発行された硫黄島に関する7枚の資料を入念に解析することにより、約70年の間に生じた硫黄島における面積の変動特性を明らかにすると共に変動の機構についても検討することにする。ただ

写真 1 硫黄島の航空写真 (1992 年 1 月 30 日撮影).

Photo 1 Aerial photograph of Iwo Jima (taken in January 30, 1992).

し、本稿では著者およびその共同研究者がこれまでに著してきた報論文 (例えば, Shigemura *et al.*, 1984 ; Shigemura, 1985 など) で報告した内容も一部, 含めることにする。

II. 基礎資料の収集および処理

本研究では硫黄島に関する既刊の地形図や海図を基礎資料として用いる。表1は、これら資料を一覧表にまとめたものである。

さて、表中の各資料はそれぞれ異なった縮尺を持っており、解析に不便である。そこで、陸上自衛隊中央地理隊 (旧 101 測量大隊) に依頼して全てを縮尺1万分の1に拡大し、ポジフィルム上に焼き付けた。このようにして編集し直した7枚の全島図から、それぞれの汀線位置を大型デジタイザーを用いて1mm 間隔 (現地間隔 10 m) で読み取り、データ化した。さらに、これらデータには原図を保存中に生じた誤差ならびに拡大作業の過程で生じたと思われる誤差を除去するための修正を施した。

表 1 解析に用いた硫黄島の地形図および海図.

Table 1 Geographic maps and nautical charts of Iwo Jima used for the analysis.

No.	資料の種類	資料の名称	測量実施年	発行年	発行者	縮 尺	備 考
1	地形図	硫 黄 嶋	1911	1914	陸 地 測量部	1/50,000	陸軍参謀本部陸地測量部が測量・発行.
2	海 図	硫 黄 島	1934	1935	海 軍 水路部	1/30,000	海軍水路部が測量・発行. 硫黄島の地形図を含む.
3	海 図	IŌ JIMA	1945	1945	DMAHC U S A	1/20,000	米海軍が測量. 硫黄島の地形図を含む. Defense Mapping Agency Hydrographic Center が発行. NO. 97BHA97562.
4	地形図	IWO-JIMA	1952	1953	US Army Corps of Engineers	1/25,000	米陸軍が測量. 周辺海域の等深線図を含む. Army Map Service, Corps of Engineers が発行. Sheet 6321 II NW Series W813.
5	地形図	硫 黄 島	1968	1971	国 土 地理院	1/25,000	建設省国土地理院が測量・発行. NG 54-17-12-3.
6	地形図	硫 黄 島	1979	1982	国 土 地理院	1/25,000	建設省国土地理院が測量・発行. NG 54-17-12-1, 2, 3.
7	海 図	硫黄島周 辺水深図	1981	1982	水路部	1/25,000	海上保安庁水路部が測量・発行.

図 2 硫黄島における汀線の経時変化。
Fig. 2 Time-course variation of shoreline in Iwo Jima.

図 3 海岸線に沿って設けた 5 本の共通基線。
Fig. 3 Five reference lines provided along the coast of Iwo Jima.

III. 汀線の経時変化

それではまず、1911 年以降に生じた汀線の経時変化について調べてみよう。図 2 は、II 章で述べた 7 種の汀線データを点線で示した 1981 年の汀線と対比させて時系列的に示したものである。この図から、硫黄島の汀線は 1911 年以降、島のほぼ全域において前進を続けたが、特に北東部、北部および西部の各海岸において著しく前進したことがわかる。次に、これら汀線の場所的かつ時間的な変化について定量的に調べてみよう。図 3 はこのような目的のため、海岸線に沿って設けた 5 本の共通基線を示す。

次いで、図 4 に示すような座標系を設定し、基準年 (1911 年) および比較年 (1911 年以外の任意年) の各汀線上にある i 番目のデータ ($X_{so}(i)$, $Y_{so}(i)$) および ($X_{sx}(i)$, $Y_{sx}(i)$) から基線上に垂線を下ろす。これら各垂線の足の座標値 ($X_{bo}(i)$, $Y_{bo}(i)$) および ($X_{bx}(i)$, $Y_{bx}(i)$) を定めた後、それらを次に示す (1)~(4) 式に代入し、垂線の長さ $L_o(i)$ および $L_x(i)$ ならびに垂線間の間隔 $\Delta B_o(i)$ および $\Delta B_x(i)$ 等をそれぞれ算定する。

$$L_o(i) = \sqrt{\{X_{so}(i) - X_{bo}(i)\}^2 + \{Y_{so}(i) - Y_{bo}(i)\}^2} \quad (1)$$

$$L_x(i) = \sqrt{\{X_{sx}(i) - X_{bx}(i)\}^2 + \{Y_{sx}(i) - Y_{bx}(i)\}^2} \quad (2)$$

$$\Delta B_o(i) = \sqrt{\{X_{bo}(i+1) - X_{bo}(i)\}^2 + \{Y_{bo}(i+1) - Y_{bo}(i)\}^2} \quad (3)$$

$$\Delta B_x(i) = \sqrt{\{X_{bx}(i+1) - X_{bx}(i)\}^2 + \{Y_{bx}(i+1) - Y_{bx}(i)\}^2} \quad (4)$$

これらの値を下に示す (5) および (6) 式に代入すれば、各海岸毎、基準年の汀線と基線に囲まれた面積 S_{so} と比較年の面積 S_{sx} がそれぞれ算定できる。なお、式中の m は汀線データの総数である。

$$S_{so} = \sum_{i=1}^m \{L_o(i) + L_o(i+1)\} \cdot \Delta B_o(i) / 2 \quad (5)$$

$$S_{sx} = \sum_{i=1}^m \{L_x(i) + L_x(i+1)\} \cdot \Delta B_x(i) / 2 \quad (6)$$

実際の計算では、まず図 5 に示すように海浜を

図 4 汀線および海浜面積の変動量算定用座標系.

Fig. 4 Coordinate system provided for calculating variation of shoreline and beach area.

基線に沿って点①から矢印の方向に 500 m 間隔で区分し、基線端の交点近傍に生じる区分長が 500 m に満たない隅角部 a ~ e を除いて総計 32 個の区分海浜を設けた。次いで、これら各区分海浜に対して、(5) および (6) 式を用いて基線と 2 本の汀線に囲まれた面積 $S_{so}(k)$ および $S_{sx}(k)$ を算出した。また、基準年から比較年までの間に生じた各区分海浜での面積の変化量 $\Delta S(k)$ 、汀線の平均変動量 $\Delta L(k)$ ならびに汀線の変動速度 $V_{sl}(k)$ も下に示す (7)~(9) の各式を用いて同時に算定した。なお、上記各式に含まれている k は基線上の始点から数えて k 番目の区分海浜であることを意味し、(9) 式中の N は基準年から比較年までの経過年数を意味する。

$$\Delta S(k) = S_{sx}(k) - S_{so}(k) \quad (7)$$

$$\Delta L(k) = \Delta S(k) / 500.0 \quad (8)$$

$$V_{sl}(k) = \Delta L(k) / N \quad (9)$$

図 5 基線上に設けた区分海浜と計算順序.

Fig. 5 Subdivided beach provided along the reference line and the calculation order.

図 6 (a) はこのようにして求めた各区分海浜における基準年以降の面積の変化量 $\Delta S(k)$ と汀線の移動量 $\Delta L(k)$ の、また図 6 (b) は汀線の平均変動速度 $V_{sl}(k)$ の場所的な経時変化を示す。ただし各横軸の丸印を付した番号は図 5 に示した基点の番号に対応するものであり、各刻み幅は 500 m である。これらの図から、1979 年には西海岸の北端の点①より 3.0 km あたりのところで面積が最も顕著に増大し、汀線もおおよそ 1,200 m 前進したことがわかる。また、この地点での汀線の平均変動速度は年率約 18 m と最も速くなったこともわかる。

次に、硫黄島の海岸を図 5 に示した 5 本の基線に沿って西部 (①~②)、南東部 (②~③~④)、北東部 (④~⑤) および北部 (⑤~①) の 4 つの海岸に区分し、各区分海岸において基準年以降に生じた面積や汀線の累加変動量について調べてみよう。

図 7 (a) は各区分海岸における面積の累加変動量 S_{cm} の、また図 7 (b) は汀線の累加変動距離 L_{cm} の経時変化を示す。図 7 (a) は 1911 年以降約 70 年の間に硫黄島の面積が西部海岸では約 1.8 km²、他の 3 つの海岸では 0.4~0.6 km² 程度増大したことを示している。また、図 7 (b) は硫黄島の汀線

図 6 区分海浜における海浜特性の場所的経時変化。
(a) 面積および汀線, (b) 汀線の平均変動速度

Fig. 6 Spatial and time-course variation of shore features in subdivided beach.
(a) beach area and shoreline, (b) mean variation rate of shoreline

が南東部海岸では約 80 m, 北東部海岸では約 220 m 前進し, 北部および西部海岸ではおよそ 300 m 前進したことを示している。

IV. 西部海岸におけるトンボロの成長

前章で示したように, 1911 年以降, 西部海岸では汀線が絶えず前進を続け, 1968 年にはその先端が沖合 1,200 m にあった釜岩に到達して一大トンボロが形成された。本章では, このトンボロの形成ならびに発達過程についてより定量的に調べてみよう。

表 2 はトンボロの形成および成長過程に関するデータ, すなわち, 1911 年から 1968 年までの間における西部海岸の汀線突出部と釜岩までの距離,

D (m), 汀線突出部が釜岩に接続した後でのトンボロ頸部の最狭幅 B (m), ならびに 1911 年から 1981 年までの間に生じた西部海岸の面積変化量 S_{cm} (km²) 等の各経年データをまとめたものである。なお表中, 無印のデータは表 1 に示した各資料から読み取ったものであり, 上付き添字を付したデータは, 同表の備考欄に記してある各資料から読み取ったものである。

図 8 は表 2 に示した諸量をプロットしたものである。この図から以下の諸点が読み取れる。

(1) 汀線の突出部は 1945 年頃までは年率 6 m 程度の比較的緩やかな速度で前進を続けたが, 1952 年頃を境にして突如, 年率約 60 m に速度を増して前進し, 1968 年には釜岩に到達した。

図 7 区分海岸における海浜特性の経時変化.

(a) 面積, (b) 汀線

Fig. 7 Time-course variation of shore features in subdivided coast.

(a) beach area, (b) shoreline

図 8 西部海岸におけるトンボロの成長過程.

Fig. 8 Growing process of tombolo in the west coast of Iwo Jima.

(2) トンボロ頸部の最狭幅は1968年から1972年の4年間は年率約45 mの割合で急速に成長したが、1972年以降は年率約6 m弱の比較的緩や

かな割合で成長を続け、1980年の初頭にはほぼ200 mにまで成長し安定状態に達した。

(3) 面積は1911年より1952年頃までの間は年率約17,000 m²程度の緩やかな割合で増大を続けたが、1952年から1968年頃までの間は年率約50,000 m²の割合で増大した。なお、1911年から1981年までの70年間では面積はおよそ1.8 km²増大した。この間、島全体では約4.3 km²増大したので西部海岸における面積の増大は全体の約42%に相当する。

V. 全島面積の経時変化

硫黄島の汀線が年々沖合に前進を続けていることは、同島への入植が本格化した明治30年代の当初から指摘されていた。言うまでもなく、汀線が前進すれば必然的に島の面積も増大することになる。そこで、先に示した7種の汀線データをそ

表 2 トンボロの形成および成長過程.

Table 2 Formation and growing process of tombolo.

観測年	D (m)	Scm (km ²)	B (m)	備 考
1991	1,160 (約1,200 ¹⁾)	0.000	—	左欄の各データの出典は以下の通りである. 無印: 表 1 の各資料. 1 ¹⁾ : 小笠原硫黄島火山活動調査報告書 I (東京都総務局三多摩島しょ対策室, 1972). 2 ²⁾ : 小笠原硫黄島火山活動調査報告書 II (東京都総務局三多摩島しょ対策室, 1975). 3 ³⁾ : 小笠原硫黄島火山活動調査報告書 III (東京都総務局三多摩島しょ対策室, 1979). 4 ⁴⁾ : 火山列島硫黄島の火山現象調査図 (高橋・熊谷, 1976). 5 ⁵⁾ : 米国陸軍航空隊撮影の航空写真 (1954).
1934	1,000	0.074	—	
1944	— (約1,000 ¹⁾)	—	—	
1945	970	0.058	—	
1952	910 (約 800 ¹⁾)	0.069	—	
1954. 3	880 ⁵⁾	—	—	
1654. 9	730 ⁵⁾	—	—	
1968	80	0.149	—	
1968. 2	— (約 400 ¹⁾)	—	—	
1968. 5	渡渉可能 ¹⁾	—	—	
1968. 6	—	—	3.0 ³⁾	
1968. 7	—	—	10.0 ¹⁾	
1970	—	—	55.0 ⁴⁾	
1972. 6	—	—	166.0 ¹⁾	
1975. 3	—	—	186.0 ²⁾	
1978. 8	—	—	205.0 ³⁾	
1979	—	0.181	180.0	
1981	—	0.176	190.0	

れぞれ (10) 式

$$S_{tx} = \sum_{i=1}^m \{Y_{sx}(i) + Y_{sx}(i+1)\} \cdot \{X_{sx}(i) - X_{sx}(i+1)\} / 2 \quad (10)$$

に代入して硫黄島の全島面積 S_{tx} を算出した。ここに、 m は各資料における汀線データの総数から 1 を引いたデータ数である。

図 9 はこのようにして算定した硫黄島の全島面積の経時変化を示す。なお、図中の一点鎖線は経時変化のトレンド線である。この図から硫黄島の面積は、一部、トレンド線からかけ離れて不規則な変動を示している時期もあるが、全般的には過去 70 年間、増え続けてきたことがわかる。さらに、面積の増大率は 1950 年代の初頭を境にして年率 30,000 m² から 90,000 m² へと大きく変化したこともわかる。

次に、図 9 に示したような面積の増大がどのようなメカニズムで発生したかについて検討してみよう。先にも述べたように、硫黄島は表面を濃い植生に覆われた小さな島であり、島内には小川す

図 9 硫黄島の全島面積の経時変化.

Fig. 9 Time-course variation of total area of Iwo Jima.

図 10 硫黄島の隆起特性.

(a) 等隆起線図 (辻ほか, 1969).

(b) 平均隆起速度と累加隆起量 (小坂ほか, 1979).

Fig. 10 Upheaval characteristics of Iwo Jima.

(a) iso-upheaval lines (after Tsuji *et al.*, 1969).

(b) mean upheaval rate and cumulative upheaval height (after Kosaka *et al.*, 1979).

図 11 仮想隆起量に伴う前浜面積の増大量.

Fig. 11 Increased amount of foreshore area due to imaginary rise.

ら存在しない。また、同島は西太平洋に位置する孤島であり、近くに土砂を生産または供給する大きな河川も存在しない。このため、島内およびその近傍には豊かな砂浜の形成に寄与しうる漂砂源が存在するとは考えにくい。ただし、硫黄島は今から約 2,700~2,800 年前頃に浅海域で形成され、波食を受けながら不断の隆起によって 500~800 年前頃海面上に姿を現わし、今日の地形が形成されたことが大八木・熊谷 (1977) や貝塚ほか (1983) の研究で明らかにされている。したがって硫黄島における面積の増大は、同島の異常隆起が大きく寄与していると考えるのが最も自然であ

ろう。そこで、これらの関係を実測データの揃っている 1911 年以降に限ってもう少し詳しく調べてみよう。

辻ほか (1969) は 1952 年に米陸軍工兵隊が測量・作製した硫黄島の地形図から三角点および水準点の標高を読み取り、1968 年に彼等自身で行なった水準測量のデータと比較することによって図 10 (a) に示すような等隆起曲線図を作成した。その結果、1952 年から 1968 年までの 16 年間に南端の摺鉢山近傍では約 1 m (年率約 6 cm) の隆起が起り、千鳥ヶ原を經由して北へ進むにつれて隆起量が増大し元山台の外縁部、特に北部および北東

部の海岸では9 m 程度（年率 50 cm 強）隆起したことを見出している。

一方、小坂ほか（1979）は、1911 年から 1968 年までの間に発行された 5 枚の地形図や海図から三角点や水準点の標高を読み取り、これらに 1968 年から 1978 年までの 10 年間に 4 度にわたって行なった水準測量のデータを加えて解析した。その結果、硫黄島の年平均隆起速度および累加隆起量は 1911 年より約 70 年の間に、図 10（b）に示すように変化したことを明らかにした。この図から、年平均隆起速度は 1952 年を境にして年率 11 cm から約 30 cm まで急激に増大したことがはっきりと読み取れる。隆起速度のこの変動パターンを図 9 に示した面積の変動パターンと比べると、両者が酷似していることに気づく。この事実、硫黄島における汀線の前進や面積の増大が同島の隆起によるものであることをはっきりと裏付けているものと思われる。

それでは隆起によってどの程度前浜の面積が増大するか、小坂らの研究成果を参考にして試算してみよう。

図 11 は 1981 年に海上保安庁水路部が測量・発行した硫黄島周辺水深図に示されている水深データを利用し、これらに 35 cm まで、5 cm ずつ一様に仮想隆起を与えて前浜面積の増大量 ΔS を試算したものである。ただし、前浜勾配 I_{fs} は 1/5 から 1/25 まで 5 段階に変えて試算した。この図から、 I_{fs} の値として現地前浜での観測値に近い 1/20 を仮定すると、 ΔS は隆起速度が年率 11 cm の場合には約 47,000 m^2 となり、年率 30 cm の場合には約 130,000 m^2 となることがわかる。もっとも、これらの値は島を均等に隆起させた場合の増大量であり、しかも波浪による浸食作用を受ける前の値である。しかしながら、これらの推定値はオーダー的には図 9 に示した全島面積の増大率と極めて近い値になっている。このことは硫黄島における汀線の前進や面積の増大が同島の異常隆起によって引き起こされて来たものであることを十分に裏付けているものと思われる。

VI. おわりに

1911 年から 1982 年までの間に発行された硫黄島の地形図および海図 7 枚を入念に解析することにより、約 70 年の間に生じた硫黄島の汀線や面積の変動特性を調べた。また、それらの変動機構についても検討を加えた。その結果、以下のようなことが明らかになった。

(1) 汀線は南東部海岸で約 80 m、北東部海岸で約 220 m 前進し、北部および西部海岸で約 300 m 前進した。特に、西部海岸では 1952 年頃から汀線の一部が急速に伸長を始め、1968 年には約 1,200 m 沖合にあった離岩（釜岩）と接続して一大トンボロを形成した。

(2) 面積は西部海岸で約 1.8 km^2 、南東部海岸で約 0.4 km^2 増大し、北東部および北部海岸ではそれぞれ 0.6 km^2 程度増大した。

(3) 面積の増大率は 1952 年を境にして年約 30,000 m^2 から 90,000 m^2 へと急増したが、その変動パターンは小坂らが報告している隆起速度の変動パターン（1952 年を境にして年率 11 cm から 30 cm へと急増）と酷似したものであった。

(4) 島を均等に隆起させた際に生じる前浜面積の増大量 ΔS は、前浜勾配を 1/20 と仮定すると、隆起量が 11 cm の場合には約 47,000 m^2 、30 cm の場合には約 130,000 m^2 と試算された。これらの値は地形図や海図の解析から明らかになった面積の増大量とオーダー的に近い値であり、汀線や面積の変動が隆起によって引き起こされものであることを十分に裏付けることとなった。

これらの知見は硫黄島の面積変動を長期的かつ巨視的な視点に立って調べた結果得られたものであるが、面積変動の長期トレンドとそれに対する支配的要因はほぼ明らかにできたと考えている。ただし、本研究では硫黄島における隆起現象の場所的な相違や漂砂現象等の影響は検討していない。これらの要因を取り込んで硫黄島の海浜変形機構を解明することは容易なことではない。しかし、今後はより短期的かつ微視的な視点に立ってこれらの要因を取り込んだ研究を続けて行くことが必要であろう。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、科学技術庁国立防災科学技術センターの熊谷貞治氏からは貴重な資料をいただいた。また、東京都立大学の貝塚爽平名誉教授からは研究に対する有益なご助言をいただいた。さらに陸上自衛隊中央地理隊には資料の調製で種々ご支援をいただいた。ここに記して謝意を表す。

文 献

- 貝塚爽平・宮内崇裕・長岡信治 (1983): 硫黄島の海成段丘・活断層と変動史. 小笠原研究, **9**, 東京都立大学小笠原研究委員会, 13-45.
- 小坂丈予ほか (1979): 小笠原硫黄島火山活動調査報告書 (第Ⅲ報). 東京都総務局三多摩島しょ対策室. p.10.
- 熊谷貞治 (1979): 小笠原硫黄島の火山現象 1. 防災科学技術, **34**, 6-8.
- 大八木則夫・熊谷貞治 (1977): 火山列島硫黄島の ^{14}C 年代. 国立防災科学技術センター研究速報, **25**, 5-17.
- Shigemura, T. (1985): Beach evolution along the coast of Iwo Jima. *Shore & Beach*, **53**-3, 15-20.
- Shigemura, T., Takasugi, J. and Komiya, Y. (1984): Formation of tombolo at the west coast of Iwo Jima. *Proc. 19th International Conference on Coastal Engineering, ASCE*, 1403-1415.
- 高橋 博・熊谷貞治 (1976): 火山列島硫黄島の火山現象調査図. 国立防災科学技術センター研究速報, **23**, 付図.
- 東京地学協会 (1985): 特集 硫黄島の地学. 地学雑誌, **94**-6, 403-572.
- 東京都 (1975): 硫黄島基本調査報告書 (昭和 49 年 10 月～昭和 50 年 2 月). 181p.
- 東京都総務局三多摩島しょ対策室 (1972): 小笠原硫黄島火山活動調査報告書. 38p.
- 東京都総務局三多摩島しょ対策室 (1975): 小笠原硫黄島火山活動調査報告書 (第Ⅱ報). 89p.
- 東京都総務局三多摩島しょ対策室 (1979): 小笠原硫黄島火山活動調査報告書 (第Ⅲ報). 91p.
- 辻昭次郎・栗山 稔・鶴見英策 (1969): 小笠原諸島調査報告書. 国土地理院時報, **37**, 1-18.
- (1996 年 1 月 22 日受付, 1996 年 4 月 15 日受理)