

## 東伊豆沖海底地形と手石海丘周辺の地質構造†

渡辺一樹\*・大島章一\*・菊池真一\*・大久保秀一\*

### THE SUBMARINE TOPOGRAPHY OFF THE EASTERN IZU PENINSULA AND SUB-BOTTOM STRUCTURE AROUND TEISI KNOLL†

Kazuki Watanabe\*, Shoichi Oshima\*, Shinichi Kikuchi\* and Hidekazu Ohkubo\*

#### Abstract

Three months after the submarine eruption of Teisi Knoll on July 13 1989, survey vessel "Tenyo" surveyed the southwestern part of Sagami Bay by her narrow multi-beam echo sounder (Hydrochart II) and sparker (for seismic reflection) in detail. From April 27 to May 1 1990, dredge hauls were recovered from the top parts of the Higasi-Izu-Oki Submarine Volcanoes by her. Most of the dredged rock samples are fresh. The NW-SE linear arrangements of these volcanoes are clearly identified by the detailed submarine topographic map. The direction of these arrangements agrees with that of the lateral faults that should occur as a result of the subduction of the Philippine Sea Plate. For several ten thousand years, producing these faults with the subduction of the plate, the submarine eruptions have occurred over and over along their cracks. The last event of those is the submarine eruption of Teisi Knoll.

#### 1. はじめに

伊豆半島東部には70余の単成火山が分布し、その大多数の火山は過去4万年以降に噴火したもので、東伊豆単成火山群と呼ばれている(荒牧・葉室1977, 葉室1978)。この東伊豆単成火山群の東方沖の海底にも大小多数の火山が認められ、葉室ほか(1980)はこれらの火山群を東伊豆沖海底火山群と呼んでいる。東京大学海洋研究所の淡青丸KT-78-10次研究航海に於て、これらの海底火山群から採取された火山岩は一部を除いて新鮮であり、この火山岩に対応する海底火山の活動時期は、大島火山や東伊豆単成火山群のそれとほぼ等しく、数万年前以降であろうと考えられる(葉室ほか1980)。気象庁は第53回火山噴火予知連絡会においてこの地域の火山群を陸部、海部合わせて「伊豆東部火山群」と呼ぶことを提案した(気象庁1990)。

伊豆半島付近では1978年以降、いわゆる伊豆半島東方沖群発地震が断続しており、1989年までの12年間に12回の群発地震が発生した。この間伊豆半島では地殻の隆起が続き、1982年まで隆起の中心は伊豆半島中部にあり、1983年から伊豆半島東岸に移り、1987年以降はそれ以前よりも活発となった(大島ほか1990)。この隆起の原因は地下深部からのマグマの上昇であり、伊豆半島東方沖では地殻が脆性的であるため地震が発生し、半島中部では地殻が高温で延性的なため地震が起きないと解釈されている(茂木1989)。伊豆半島東方沖

† Received 30th November 1990

\* 沿岸調査課 Coastal Surveys and Cartography Division

群発地震に伴い、伊東市の東方に北西—南東方向に伸びる開口割れ目が形成されたとの解釈がなされ(多田・橋本1989a)、さらに1989年5月から7月までの群発地震活動の期間にも、初島と伊豆半島の間マグマの貫入による東西方向に伸びる開口割れ目が形成されたと考えられている(多田・橋本1989b,c, 岡田・山本1989)。恒石(1989)は1989年6月30日から7月13日までに、伊東～初島間の距離が20cm以上伸びていた事を観察した。7月11日以後断続的に火山性微動が発生し、7月13日18時33分頃、音響測深、3.5KHz表層探査を実施していた測量船「拓洋」(2600トン 福田泰介船長)の至近距離で、手石海丘の海底噴火が始まった(大島ほか1990)。

一方、溝上(1987)は1974年の伊豆半島沖地震の発生から1987年までの伊豆半島周辺、つまりフィリピン海プレート北東端部における広域地震活動の震源の時空分布を詳細に検討し、その震央分布からこの地域の断層系を推定した。その結果によると、この断層系は横ずれの共役断層系をなしている。一つは東西ないし北西—南東方向の走向をもつ右横ずれ断層であり、他の一つは南北ないし南南西—北北東方向の走向をもつ左横ずれ断層である。この共役な断層系はフィリピン海プレートの沈み込みに伴う北北東方向の圧縮応力の存在を仮定し、応力場の平衡条件、せん断応力に対する塑性限界および境界条件を与えた時の塑性体のすべり線と類似した配列を示している。また、石橋(1988a,b)は本地域の過去の大地震の震源域から、相模湾西部から箱根東麓の地下に「西相模湾断裂」の存在を指摘し、今世紀末から来世紀初めにマグニチュード7級の大地震が発生する可能性が高いとしている。

水路部は昭和62年度から、科学技術振興調整費「マグニチュード7級の内陸地震の予知に関する研究」の一環として相模湾西部の調査を行っている。この研究の目的は、①西相模湾断裂が存在すると思われる海域において海底変動地形調査を行い、断層に沿って形成された構造地形の分布を把握すること、②海底地形の特徴を明らかにし、西相模湾断裂等の地殻活動史を解明すること、③西相模湾断裂に関連するプレート運動の特性、地震発生メカニズムを解明するための基礎資料を整備すること、④これらに基づきマグニチュード7級の内陸地震の予知に寄与することである。上記の研究では相模湾西部において、昭和62年度にナローマルチビーム測深機(ハイドロチャートII)による精密海底地形調査、63年度にサイドスキャンソナーによる海底微地形調査、平成元年度にサイドスキャンソナーのデータの計算機処理及びROVによる目視観測を行った。さらに手石海丘噴火前後には、伊東沖において測量船「明洋」(450トン、田島修船長)による海底微地形調査(サイドスキャンソナー)、測量船「拓洋」による海底地形調査及び3.5KHz表層探査、測量船「昭洋」(1900トン、山本賢一船長)搭載の自航式ブイ「マンボウ」により、海底噴火で形成された火山体の地形調査が行われた。海底噴火から三ヶ月後、測量船「天洋」(430トン、湯山典重船長)搭載のハイドロチャートIIによる海底地形の精査、スーパーカーによる音波探査が行われた。これらの成果をまとめて、相模湾南西部における詳細な海底地形図「相模湾南西部海底地形図」(1/50000, 第1図)と「伊東沖海底地形図」(1/10000, 第2図)を作成した。また、平成2年5月には「天洋」により、東伊豆沖海底火山群の山体の頂部付近でのドレッジを行った(第3図, 第1表)。

手石海丘噴火の詳細な経緯についての報告は、既に大島ほか(1990)、加藤ほか(1990)がある。本論では、主に測量船「天洋」により精査された海底地形を詳細に紹介し、この海底地形と過去の地震活動や噴火活動との関係について論じたい。

## 2. 相模湾南西部の海底地形

1988年と1989年の海底地形調査を合わせた測量船「天洋」の航跡図を第4図に示す。測線は水深によりそ

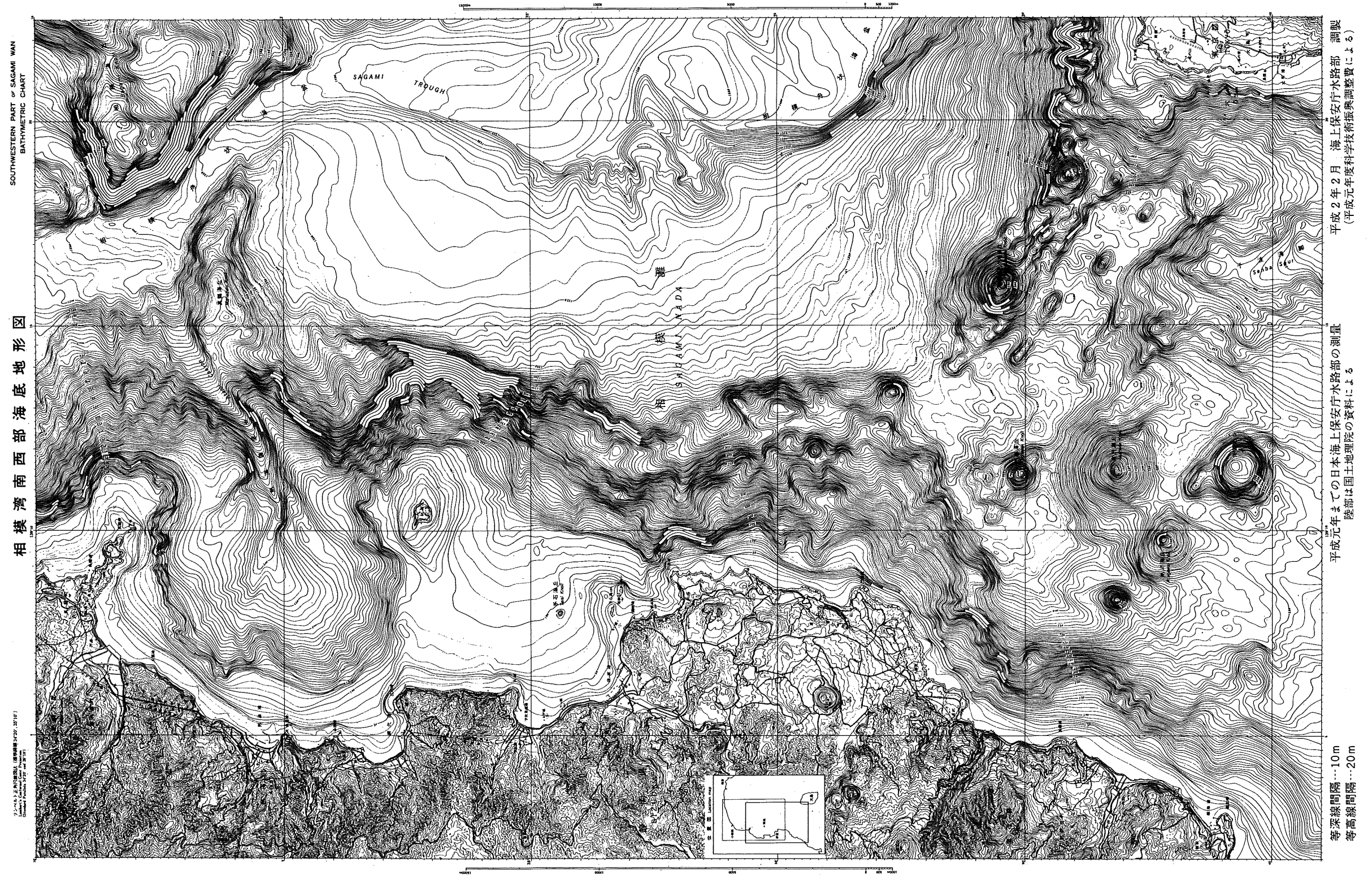


Figure 1. Submarine topographic map of the southwestern part of Sagami Bay based on the result of a survey by survey vessel "Tenyo", measured by her narrow multi-beam echo sounder (Hydrochart II). (original scale 1:50,000, contour interval 10m)

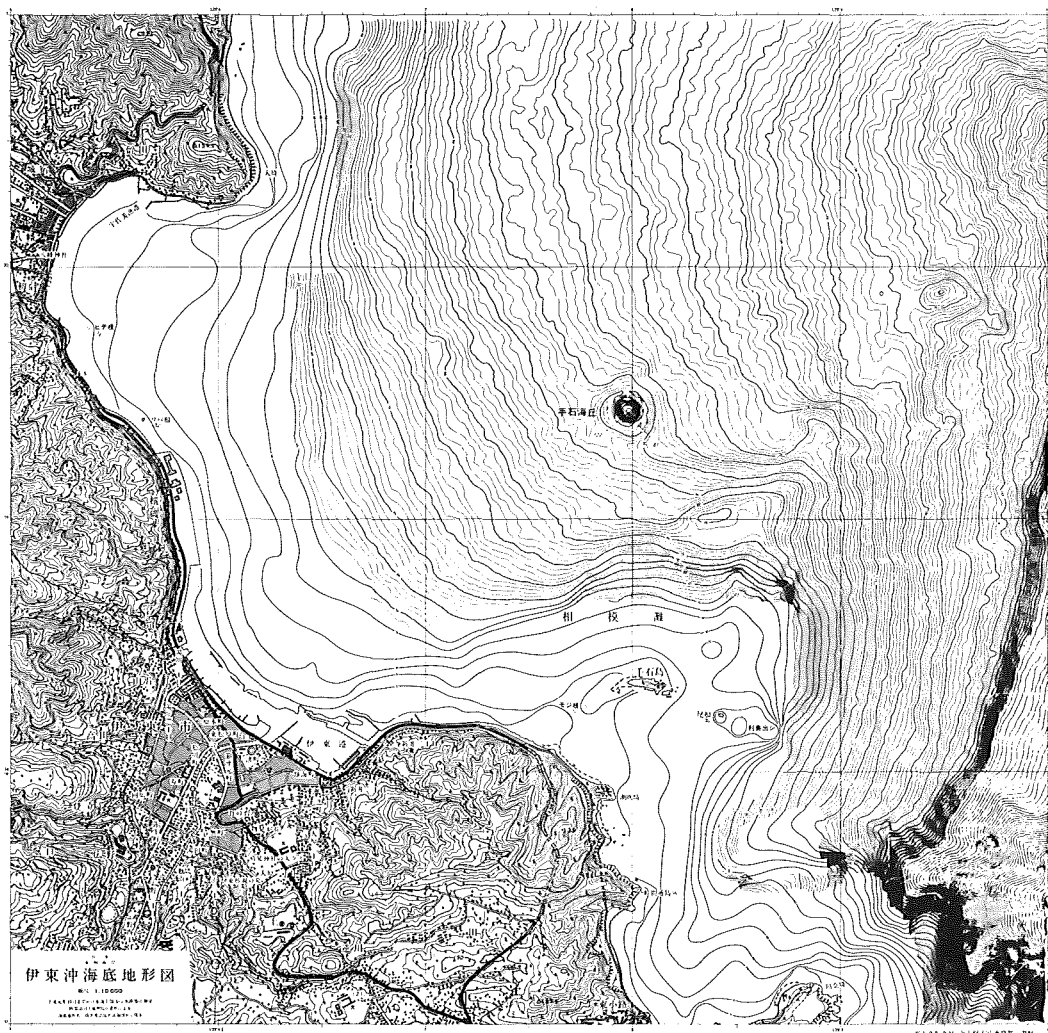


Figure 2. Submarine topographic map off Ito city based on the result of a survey on October 16–17 1989 by survey vessel “Tenyo”, measured by her narrow multi-beam echo sounder (Hydrochart II). (original scale 1:10,000, contour interval 1m)

の間隔を変えて、効率よくしかもほぼ末測域が無いように調査した。第1図に示したように伊豆半島と伊豆大島との間の円錐状の高まりのうち大規模なものはかなり以前から知られており、「乳ヶ崎海丘」「西乳ヶ崎海丘」「門脇海丘」「赤沢海丘」「熱川海丘」「矢筈出し」と名づけられているが、多くはまだ無名である。淡青丸KT-78-10次研究航海に於いて行われたドレッジや、第3図と第1図に示したように「天洋」のドレッジによりこれらの山体の頂部からは、いずれも新鮮な火山岩片が採取されているので、地質学的に比較的若い火山体であることはまちがいない。また、伊豆半島側の斜面にもいくつかの小規模な高まりが確認されている。ドレッジにより得られた試料から判断すると、これらを噴出岩と基盤岩（おそらく湯が島層群、白浜層群相当層）の高まりとに分類することができる（第3図、第1表）。川奈崎東方沖水深900m付近の舌状の高まりからはスコリアが採取されており、その地形はしかも溶岩流のようである。第2図の手石海丘の東北東2.5kmの高まりは、既に昭和5年（1930年）に海軍水路部測量艦「膠州」が伊東群発地震の調査時に測得しているのと同じ高まりであると思われるが、この地点からも人頭大の火山岩角レキが採取されている。つまり、昭

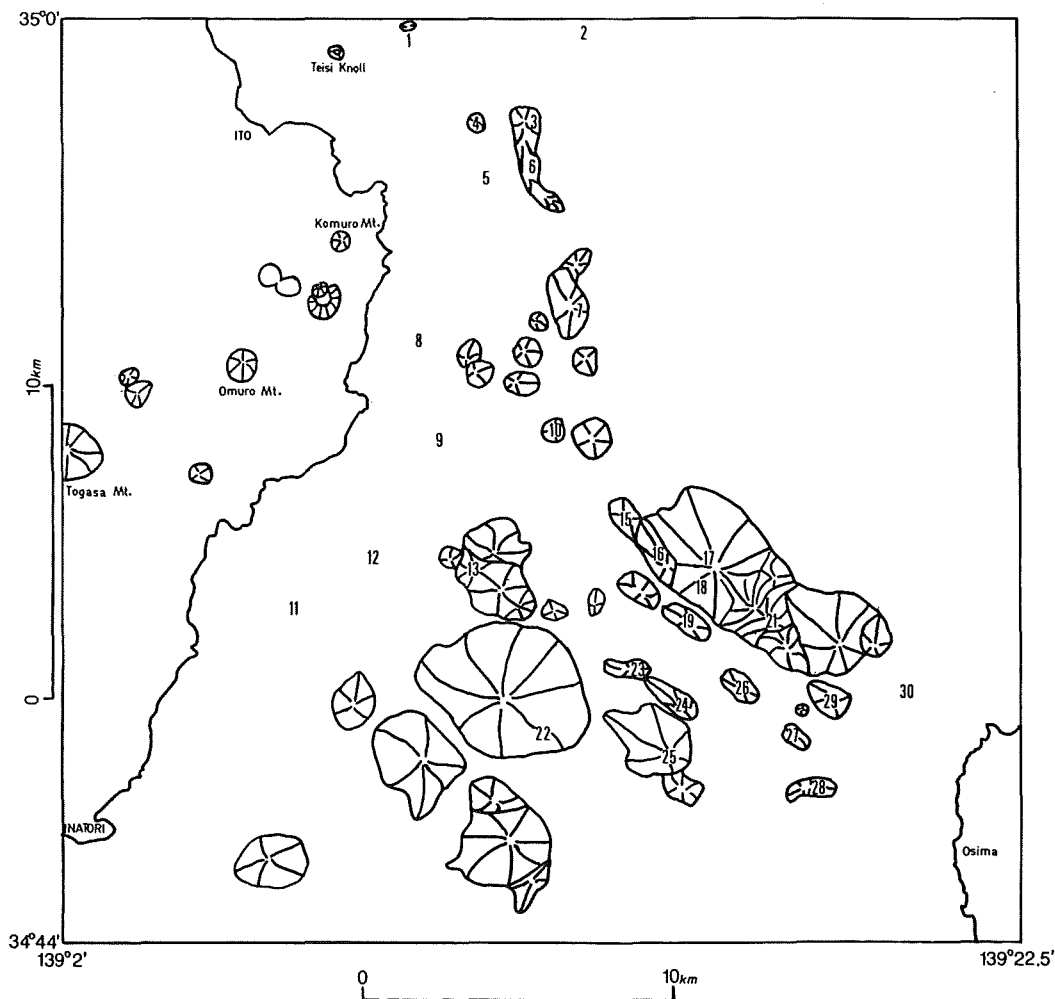


Figure 3. Map indicating the sizu and distribution of the volcanic bodies and the location of the dredge stations.

和5年以前にも伊東市沖数kmで海底噴火が起こっていた事が想定できる。

火山体は南のものほど規模が大きくなる傾向があり、さらにその地形的特徴から大きく二つに分類することができる。一つは比較的規模の大きい円錐状の山体であり、もう一つは北西—南東方向に伸びた馬の背状の山体である。さらに、これらを連ねると北西—南東方向に配列している事がわかる。特に際だった配列としては、①伊豆半島の矢筈山、伊雄山から熱川海丘、矢筈出しに連なる配列、②大室山から門脇海丘、千波海脚の北端部に連なる配列、③小室山から西乳ヶ崎海丘、乳ヶ崎海丘に連なる配列が挙げられる。大島ほか(1990)のサイドスキャンソナー記録によると、手石海丘と川奈崎東方沖水深900m付近の舌状の高まりの間には北東—南西方向に伸びる露岩地帯が存在する。これが火山岩(溶岩流)ならば、④手石海丘から南東に伸びる配列が存在するかも知れないが、残念ながらこの露岩地帯からのトレッジ試料はない。

これらの火山体の配列方向は、溝上(1987)が指摘したフィリピン海プレートの沈み込みに伴い形成された北西—南東方向の走向をもつ右横ずれ断層とよく一致している(第5図)。つまり、伊豆半島東方沖では過去数万年以降現在まで、プレートの沈み込みに伴い同様な右ずれ断層が形成され続け、この断層及びそれに

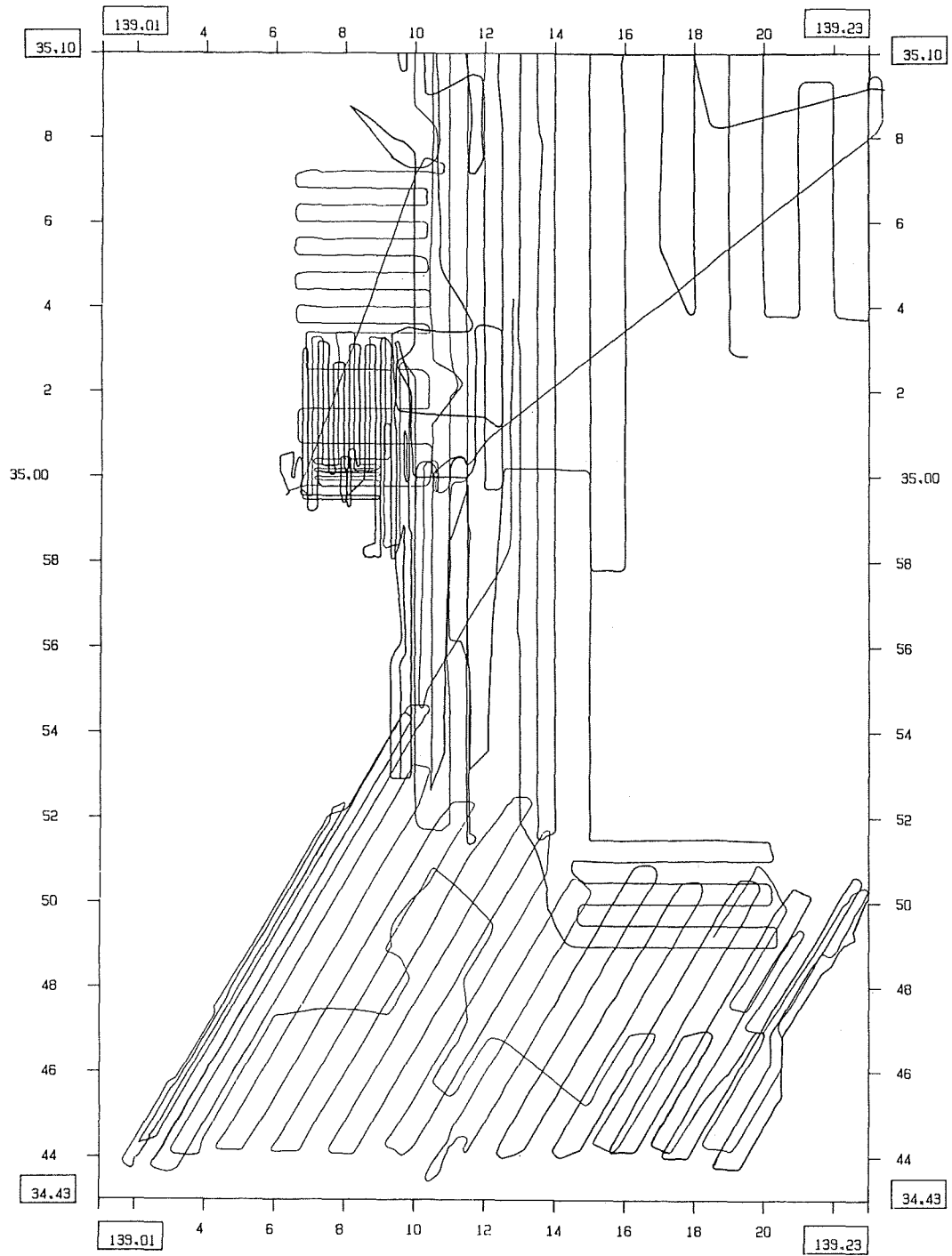


Figure 4. Survey tracks of "Tenyo" in the survey area of the southwestern Sagami Bay for the detailed submarine topographic maps.

Table 1. Macroscopic description of the dredged rock samples.

採取地点	水深	緯度	経度	岩石試料記載
No 1	129m	34°59.9'	139° 9.6'	砂泥とともに火山岩角レキ (20cm) 2個採取 安山岩か
2	895	34°59.5'	139°13.2'	スコリア
3	747	34°54.0'	139°12.3'	スコリア (最大3cm) 火山岩片 (5cm)
4	554	34°58.2'	139°11.0'	スコリア (最大5cm) 多数 (スコリア丘ではないか)
(5)	733	34°57.0'	139°11.3'	湯ヶ島層相当層と思われる火山レキ凝灰岩
6	881	34°57.3'	139°11.8'	黒色砂 スコリア小片とパミスを含む
7	817	34°55.0'	139°12.9'	火山岩角レキ (10cm, 5cm) 数個 緑色化している 比較的古い火山岩か
(8)	205	34°54.7'	139°10.0'	湯ヶ島層相当層と思われる円レキ (12cm) 2個 火山レキ凝灰岩 地滑り堆積物か
9	460	34°52.3'	139° 9.9'	泥質堆積物 極少量の岩片
10	768	34°53.1	139°12.5'	火山岩角レキ (5cm) 数個 茶色 灰色のものあり
11	584	34°49.9'	139° 7.2'	泥質砂 岩片なし
(12)	722	34°50.8'	139° 9.0'	湯ヶ島層あるいは白浜層相当層と思われる岩片 貝殻片が石灰分で固結した塊 スコリア片が固結した塊
13	785	34°50.5'	139°10.9'	火山岩角レキ (最大12cm) 数個 火山岩小片数個
15	879	34°51.5'	139°14.0'	板状20cmの火山岩レキ 火山岩レキ (5cm) 数個
16	859	34°51.0'	139°14.9'	火山岩角レキ多数 (最大15cm)
17	383	34°50.7'	139°15.8'	火山岩角レキ (最大25cm) (西乳ヶ崎海丘の北西側斜面)
18	554	34°50.1'	139°15.7'	火山岩の垂角レキ (最大20cm) (西乳ヶ崎海丘の南側斜面) 変質 (海底風化) が進んでいるようである。
19	669	34°49.5'	139°15.5'	火山岩片 (7cm) 数個 スコリア
21	503	34°49.5'	139°17.2'	火山岩角レキ (最大4cm)
22	641	34°48.1'	139°15.0'	火山岩 (玄武岩 最大8cm) 多数 (赤沢海丘南東部より 採取)
23	794	34°48.7'	139°14.3'	火山岩 (玄武岩 最大8cm) 数十個 ガラス質で発泡している物もあり
24	641	34°48.1'	139°15.0'	スコリア小片多数
25	474	34°47.4'	139°14.9'	玄武岩レキ数十個
26	594	34°48.4'	139°16.5'	黒色火山岩片 (4cm) 剥離面有り
27	673	34°47.7'	139°17.7'	スコリア (最大1cm) 数個
28	555	34°46.8'	139°18.5'	火山岩レキ (最大10cm) 数個 比較的新鮮 表面赤茶
29	474	34°48.3'	139°18.7'	小粒の黒色火山岩片
30	188	34°47.5'	139°20.2'	円磨された火山岩レキ (5cm)

\*注: 採取予定地点No.14, 20ではドレッジは行わなかった。(採取地点)は第三紀層と考えられる。

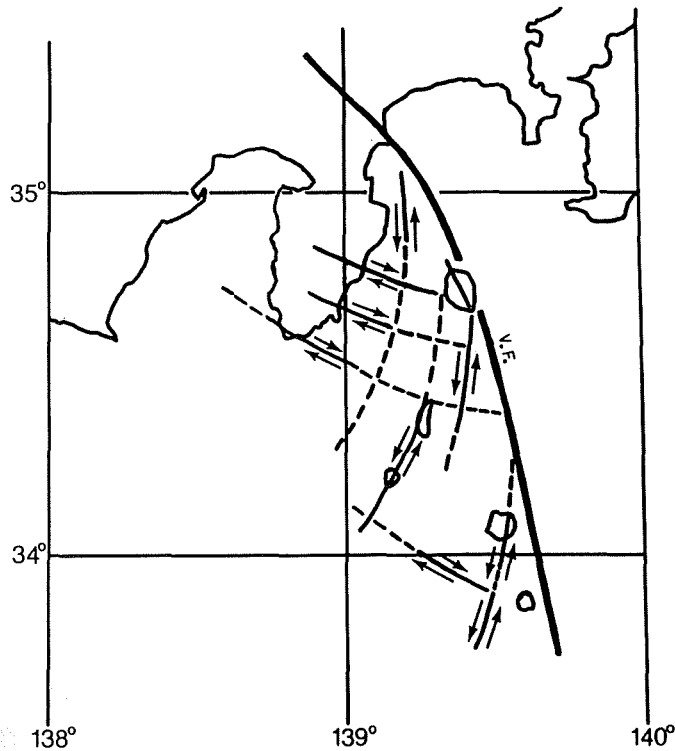


Figure 5. The distribution of the theoretical slip lines with the subduction of the Philippine Sea Plate. V. F. is a volcanic front. (after Mizoue 1987)

伴うフィッシャーに沿って海底火山噴火が繰り返し起こってきたと考えられる。

溝上 (1987) が指摘したもう一つの南北方向の横ずれ断層に対応する海底火山列としては、伊豆半島門脇崎東方沖の水深900mの大陸斜面から北方へ連なる火山列が挙げられるが、いずれの山体も小規模でありはっきりした配列とは言えない。マグニチュード7級の内陸地震の予知に関する研究で作成された川奈崎東方沖の精密音響写真図 (第6図) によると、南北及び東北-南西方向に伸びる地溝状の地形や溶岩流が見られるが、概して小規模なものである (菊池ほか1990)。

### 3. 手石海丘周辺の地質構造

手石海丘周辺でスパーカーによる音波探査を行った「天洋」の航跡図を第7図に、海底地質構造図を第8図に示す。調査測線のうち代表的な音波探査記録 a-b, c-d, e-f とその解釈図を第9図に示す。調査区域の堆積層はA層, B層, C層, D層の4層に区分でき、各層の層厚及び音響的層相を第2表に示した。第10図に示した1976年のユニブームによる調査記録によると、上層から厚さ約5mの平行層理の発達したI層, 厚さ約15mの散乱層理を示すII層, その下位に音響的に透明なIII層が識別できる。II層にはいかにも氷期の海面低下時に形成されたような斜層理が見られることから、II層以下が更新世、I層が最終氷期最大海退期以降の堆積層であると考えられる。よって、伊東沖の沖積層の厚さはせいぜい10m以内と考えられ、スパーカーによる音波探査記録では沖積層は明瞭に現れないので、A-C層はいずれも更新世の堆積層であると考えられる。



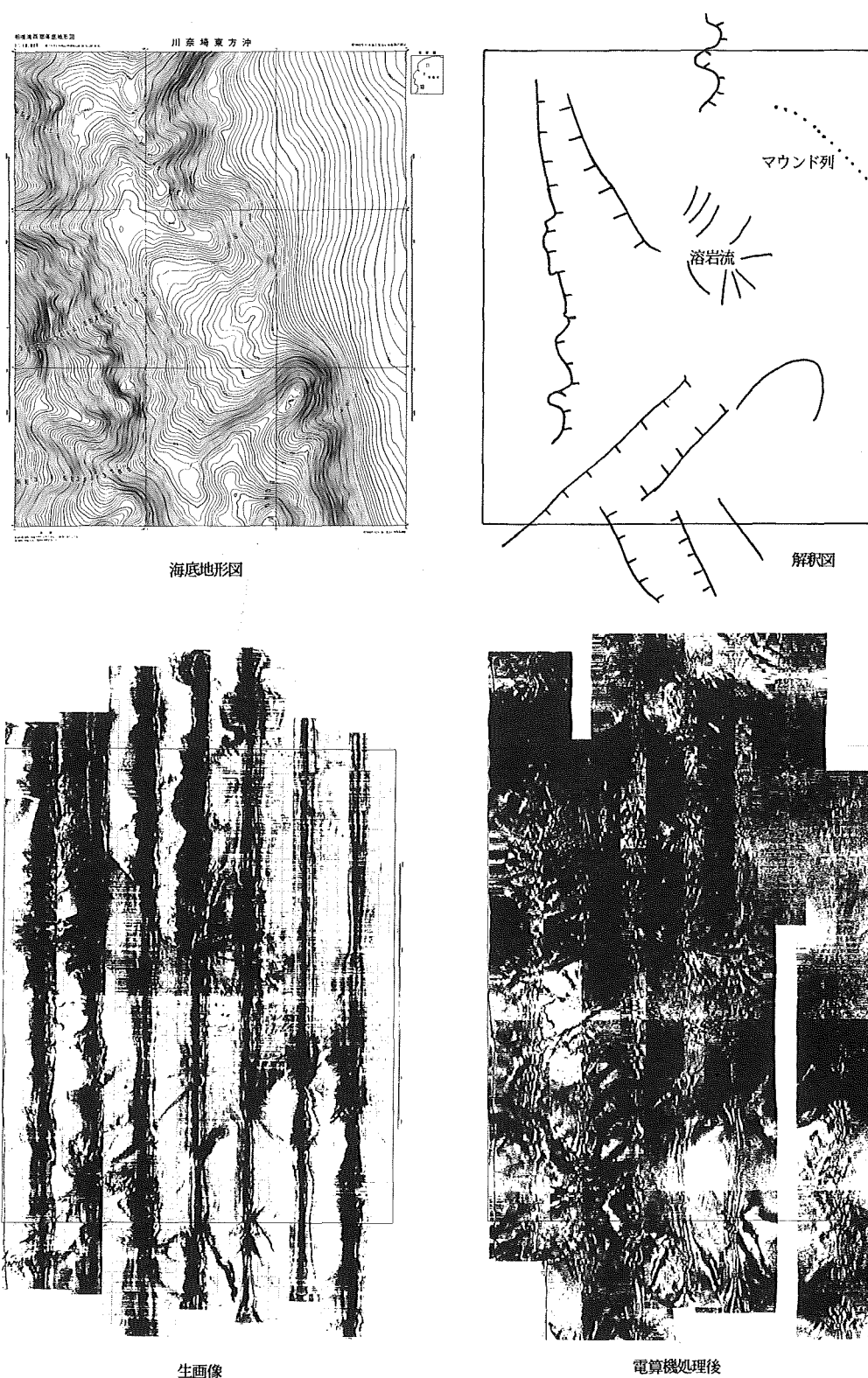


Figure 6. Side scan sonar image of the sea bottom off Kawana-Saki.

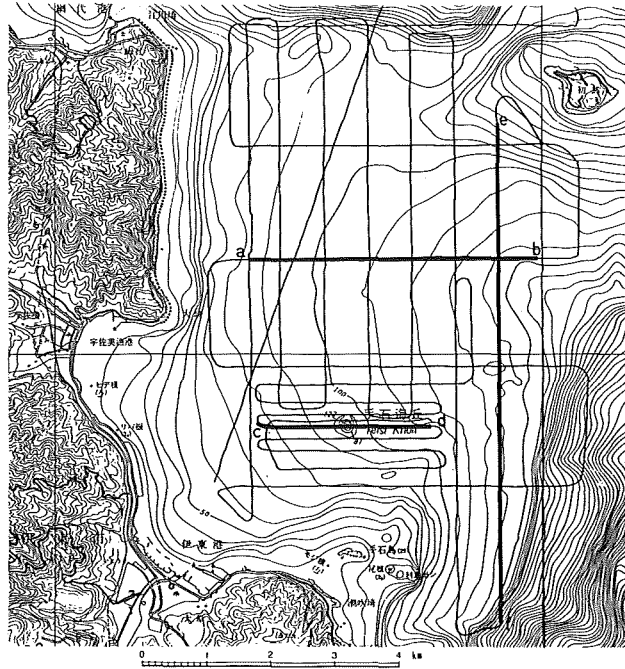


Figure 7. Survey tracks of "Tenyo" off Ito city for seismic reflection by sparker.

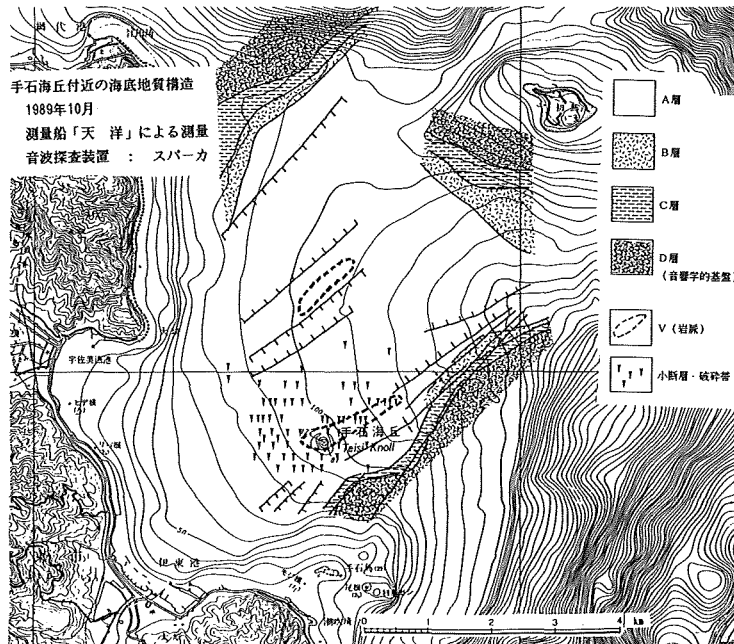


Figure 8. Sub-bottom structure around Teisi Knoll based on the seismic reflection survey by sparker on October 16—17 1989. This figure shows the structure with the NE-SW direction of faults and dikes, and horizontal distribution of small faults related to the magmatic intrusion or the earthquake swarm.

第8図に示したように伊東—初島間にはC層を切る多数の伏在断層が存在し、いずれも北東—南西方向に伸びており、この区域のC層以深ではこの構造が卓越している。B層はこの構造の影響を受けているが、A層はその影響を受けていないし、この断層の影響を受けた海底地形も出現していない。つまり、この構造はA層堆積以前に形成された古い構造である。手石海丘の北約2kmには北東—南西方向に伸びる長さ1km程の貫入岩体が存在する。この岩体はC層を切りB層には影響を与えているが、A層には影響を与えていないので、C層以後A層以前に貫入したものであると考えられる。川奈崎東方沖の精密音響写真（第6図）にも、南北及び東北—南西方向に伸びる地溝状の地形が見られるので、伊豆半島東方沖では過去（更新世）において、東北—南西方向に伸びる地溝帯を形成するような構造運動があったと考えられる。この古い構造運動により手石海丘の北約2kmを中心に基盤層が陥没し、この地溝状の盆地を埋めるようにA層とB層が堆積している。

手石海丘を横切る地質断面とその解釈図（第9図）から、手石海丘直下には堆積層を下から上へ貫く音響的に透明な岩体が認められる。この貫入岩体は手石海丘から東北東へ約1.5kmまで細長く分布している。手石

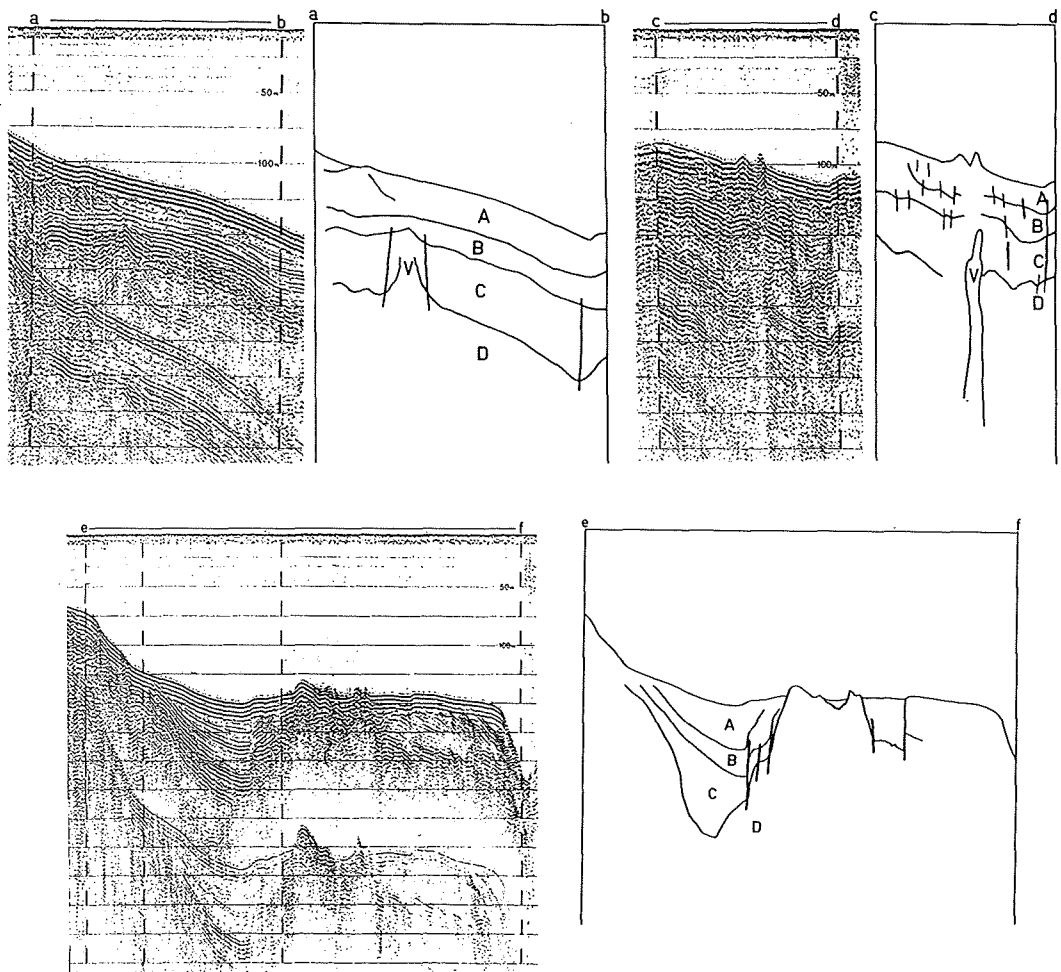


Figure 9. Seismic reflection profiles and interpretation diagrams at and around Teisi Knoll.

Table 2. The thickness and seismic characterization of the sedimentary layers.

	層厚	音響的層相
A層	50m <sup>+</sup>	全体的には現在の海底面と平行な反射面（層理面）が見られる。岸よりの部分に前置層的な層相を示す。B層上面の平坦な地形面を覆うように堆積している。
B層	30m <sup>+</sup>	緩やかに沖合に傾斜する平行な反射面（層理面）が見られる。C層上面の起伏を埋めるように堆積し、沖合方向に厚くなる傾向がある。層厚はC層上面の凹凸に支配される。
C層	120m <sup>+</sup>	上面は強い反射を示す。下部は透明層である。断層によって切られ、変動を受けている。
D層		音響的基盤

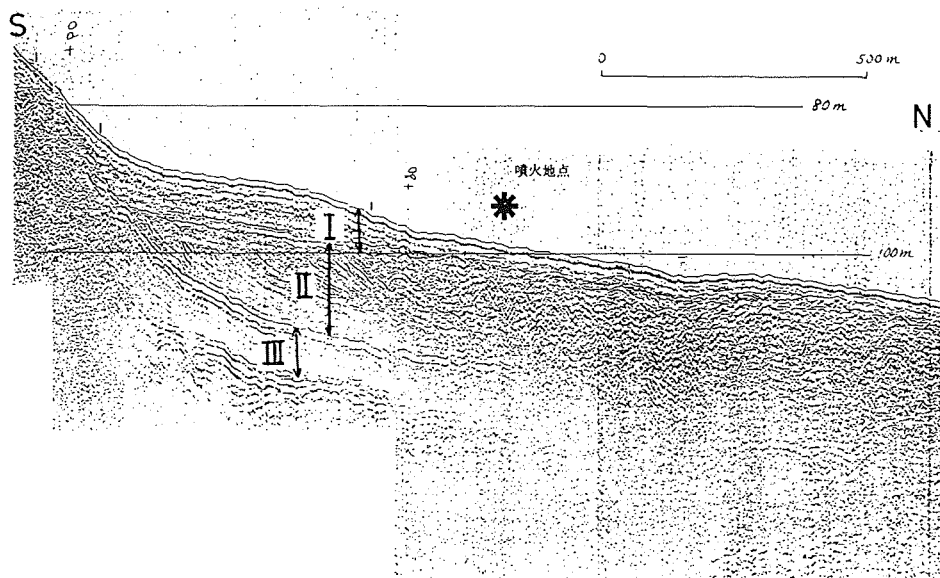


Figure 10. High resolution sub-bottom profile by Uniboom recorded in 1976 across the sea bottom where the eruption of Teisi Knoll happen in 1989. Track of the record is running from south to north. (after Kato et. al. 1990)

海丘から1 km以内にはA層に達する多数の小断層（破碎帯と呼ぶべきか）が分布している。手石海丘直下の貫入岩体は今回の噴火時に貫入したもので、海底下表層（せいぜい200m程度）では既存の北東—南西方向の構造に制約されながら上昇してきたもので、現在の地殻変動による北西—南東又は東西の断層系と異なる方向に分布したと考えられる。

#### 4. 考 察

東伊豆沖海底火山群に見いだされた北西—南東方向の配列は、フィリピン海プレートの沈み込みに伴い形成された右横ずれ断層とよく一致している。伊豆半島東方沖では過去数万年以降現在まで、プレートの沈み込みに伴い同様な右横ずれ断層が形成され続け、この断層及びそれに伴うフィッシャーに沿って海底火山噴火が繰り返し起こってきたと考えられる。このように伊豆半島東方沖において、プレートの沈み込みに伴う応力によって予想されるとおりの断層運動（つまり地震活動）が発生し、この割れ目に沿ってマグマが貫入、

噴火し、明瞭な火山列を形成したということは、プレートの沈み込み帯における地震活動と火山活動の関係を示した典型的な事象であり、今後の火山噴火予知に一石を投じるものであろう。手石海丘の噴火はこの一連の活動の中で、一番最近の小規模な活動にすぎない。

東伊豆沖海底火山群の噴火年代はいつなのか、また、比較的規模の大きい円錐状の火山体と北西—南東方向に伸びる馬の背状の山体とでは、何か成因的に違いがあるのか、と言う問題が残る。山体を構成する岩石の鉱物組成や化学組成を調べる事により、これらの疑問が解明される可能性がある。「天洋」によりドレッジされた試料の全岩分析は東京大学地震研究所の手で行われているので、その結果を待ちたい。

## 5. おわりに

伊東市の目前で起こった1989年7月の手石海丘の噴火は、まさにショッキングな出来事であったが、海底のどこで噴火が起こるのかは最後まで特定できなかった。もし噴火が陸上で起こったならば何らかの前兆現象が肉眼で観察された可能性はあるが、海底噴火の前兆現象を見極めるのは難しい。幸いにも手石海丘の噴火は小規模なもので、伊東の市街地や調査中の測量船は噴出物や津波の発生による被害を受けずに済んだが、伊豆半島周辺では今後も噴火予知のための観測網の強化を勧めるべきであり、また海域では海底地震計の設置や、噴火直前には噴火音収録のためのハイドロホンの設置も必要である。噴火活動の監視にむかう当庁の航空機や測量船の安全のためにも、高層域からの航空機観測が可能な観測機器の開発や、測量船からの遠隔操作の可能な新型無人観測船の開発、航空機や測量船と地震観測所との通信網の確立が望まれる。

本論中の調査に従事して頂いた測量船「天洋」の船長以下乗組員諸氏の格段の御努力に心より感謝いたします。沿岸調査課の上野重範氏、楠勝浩氏には資料の提供と多くの助言を頂いた。また、噴火前後の緊急調査、データ解析に携われた「水路部伊東沖地震火山調査班」の成果も使わせて頂いた。ここに明記して謝意を表します。

### 「水路部伊東沖地震火山調査班」

大島章一、菊池真一、土出昌一、加藤茂、近藤忠、浜本文隆、岩淵洋、吉岡真一、浅田昭、岩永義幸、江上亮、高梨政雄、林田政和、長岡信治、山内明彦、本間憲治、深江邦一、谷田仁、桑木野文章、塚本徹、福島秀生、坂本政則、小田巻実、下平保直、神道子、谷伸、小沢幸雄

## 参 考 文 献

- 荒牧重雄・葉室和親：東伊豆単成火山群の地質，地震研究所集報，52，p.235—278. (1977)
- 葉室和親：大室山火山群の地質，地質学雑誌，84，p.433—444. (1978)
- 葉室和親・荒牧重雄・加賀美英雄・藤岡換太郎：東伊豆沖海底火山群，—その1—55，p.259—297. (1980)
- 石橋克彦：“神奈川県西部地震”と地震予知I，科学，58，p.537—547. (1988a)
- 石橋克彦：“神奈川県西部地震”と地震予知II，科学，58，p.771—780. (1988b)
- 加藤茂・土出昌一ほか水路部伊東沖地震火山調査班：伊東沖海底火山（手石海丘）の噴火（1989.7.13）と海底地形変化，地学雑誌，99，p.132—141.
- 菊池真一・穀田昇一・楠勝浩：マグネチュード7級の内地地震の予知に関する研究—海域の変動地形に関する研究—，平成元年度研究成果報告書，海上保安庁，p.72—78. (1990)
- 気象庁：伊豆東部火山群について，第53回火山噴火予知連絡会資料，p.5—6. (1990)
- 溝上 恵：1986年伊豆大島噴火と広域地震活動，月刊地球，9，p.467—474. (1987)

- 茂木清夫：伊豆半島の地殻異常隆起と群発地震の関係，月刊地球，11，p.195—198. (1989)
- 岡田義光・山本英二：1989年伊東沖の群発地震・火山活動の一解釈，地震学会講演予稿集（1989年度秋季大会），(1989)
- 大島章一ほか水路部伊東沖地震火山調査班・小坂丈予・工藤一嘉・坂上実：東伊豆沖手石海丘の海底噴火，水路部研究報告，26，p.1—43. (1990)
- 多田・橋本学：伊豆半島北東部異常地殻活動の原因について(3)，地震学会講演予稿集（1989年度春季大会），(1989a)
- 多田・橋本学：伊豆半島北東部地殻活動と海底噴火，日本火山学会講演予稿集(1989年度秋季大会)，(1989b)
- 多田・橋本学：伊豆半島北東部の異常地殻活動の原因について(4)，地震学会講演予稿集(1989年度秋季大会)，(1989c)
- 恒石幸正：1989年伊豆半島伊東沖群発地震による伊東一初島測線の変位，地震学会講演予稿集（1989年度秋季大会），(1989)