

**REPORT**  
**OF**  
**HYDROGRAPHIC RESEARCHES**

**No. 26, March, 1990**

---

**東伊豆沖手石海丘の海底噴火†**

大島章一\*ほか水路部伊東沖地震火山調査班  
小坂丈子\*\*・工藤一嘉\*\*\*・坂上 実\*\*\*

**SUBMARINE VOLCANIC ERUPTION OF TEISI KNOLL  
OFF EASTERN PART OF IZU PENINSULA†**

Shoichi Oshima\* and Hydrographic Department Survey Team of Earthquake  
and Volcano Off Ito

Joyo Ossaka\*\*, Kazuyoshi Kudo\*\*\* and Minoru Sakaue\*\*\*

**Abstract**

Since 1978, a series of frequent earthquake swarm have occurred at the sea east of Izu Peninsula, while Japan Meteorological Agency (JMA) observed 12 swarms for the period of 12 years up to 1989. The 12th earthquake swarm began on June 30, 1989. Seismic foci of the swarm were plotted in the sea only a few km north/east of downtown Ito City and its coastal area.

At about 18h 33m (JST) of July 13 1989, a submarine volcanic eruption spontaneously occurred at sea about 4 km northeast of downtown Ito. Japan Hydrographic Department (JHD) Survey Vessel TAKUYO was just around the point of the eruption and was surveying the seismic active area. TAKUYO was hit by frequent very strong shocks of water waves of the eruption at distances of 800m to few km

---

† Received 25th January 1990

\* 水路部 Hydrographic Department

\*\* 岡山大学理学部 Faculty of Science, Okayama University

\*\*\* 東京大学地震研究所 Earthquake Research Institute, University of Tokyo

from the newly born volcano. Surveyors and crew members of the vessel took photo, video tape record and audio record of the shock noise caused by the very strong water waves, while the positioning was done by GPS. Water mass gushing phenomena (water dome and/or water jet) occurred five times, and the top of the biggest one was measured 113m high above sea. Estimated time of beginning of the water mass gushing phenomena were 18h 35m 57s, 18h 39m 57s, 18h 40m 40s, 18h 41m 25s and 18h 43m 37s of July 13 1989.

HDJ conducted sea bottom surveys of the area four times. On July 9, a echo sounder and a side scan sonar of S/V MEIYO confirmed sedimented flat bottom at and around the forthcoming eruption point. At 18h 28m of July 13, or only 5 minutes before the eruption, S/V TAKUYO found a knoll of 25m relative height, of about 500m diameter at the base. JMA observed very large amplitude tremor from July 11 through July 13 without any remarkable surface phenomena, which suggest shallow magmatic intrusion beneath the knoll. On July 15, or two days after the eruption, unmanned automated survey craft MANBOU surveyed the knoll and found an about 200m diameter crater in the center of the knoll, which reduced height of the knoll to only 10m. MANBOU's echo sounder recorded a big vertical cloud of volcanic gas welling up from the crater. On October 16 and 17, S/V TENYO surveyed the details of the newly born volcano (the knoll) and the vicinity with her narrow multi-beam echo sounder (Hydrochart). The result shows shallowest water depth 81m of the knoll on its southeast part of the crater rim, and deepest water depth 122m at the southern part of the crater.

## 1. はじめに

東伊豆には70余の単成火山が分布し、東伊豆単成火山群と呼ばれている。大多数の火山は過去4万年に噴火したもので、これまでほぼ500年に1つの割合で噴火し、噴出量は1000年あたり  $6 \times 10^7 \text{ m}^3$  と推定されている(荒牧・葉室 1977, 葉室 1978)。陸上の東伊豆単成火山群の東方沖の海底にも数十の火山が認められる。本論では、これら陸域と海域の火山群をまとめて、伊豆東部火山群と呼ぶ。

伊豆東部火山群の活動は、陸上ではほぼ二千年前までと推定されており、その後の有史時代の活動の記録は見当たらない。陸上の同群の火山の噴出量は  $2.5 \text{ km}^3$ 、そのうち約  $0.93 \text{ km}^3$  は大室山の噴出物であると見積もられている(荒牧・葉室 1977)。第1図に伊豆東部火山群とその周辺を示す。

伊豆東部火山群付近では、1870年及び1930年に群発地震活動があった(気象庁 1984)。1930年の活動は伊東群発地震と呼ばれている。伊東群発地震の震源はNasu et al.(1931)が5台の地震計で観測し決定している。その結果によれば、震源は川奈付近からその北方沖に分布し、鉛直断面内では上下に細長い分布を示した。Kuno(1954)はこの群発地震を大室山火山群のマグマ活動によるものと考えた。大室山火山群には、有史時代の噴火は知られていなかったが、活火山と考えられている(気象庁 1984)。

近年の伊豆半島付近のおもな被害地震は、北伊豆地震(1930年, M7.3), 伊豆半島沖地震(1974年, M6.9), 伊豆大島近海地震(1978年, M7.0), 伊豆半島東方沖地震(1980年, M6.7) などである。1975年には伊豆半島中部で微小地震が群発し、冷川峠(第1図のHK)を中心にドーム状の隆起が見られ、中心部の隆起量(1976年—1967年)は15cmに達した。1978年以後は、いわゆる伊豆半島東方沖群発地震(震源域は第1図TG)が断続しており、気象庁の資料によれば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、隆起の中心は1982年6月までは伊豆半島中部にあったが、1983年から伊豆半島東岸の富戸(第1図のFT)付近に移り、1987年以後の隆起はそれ以前より活発となった(石井 1989)。1974年か

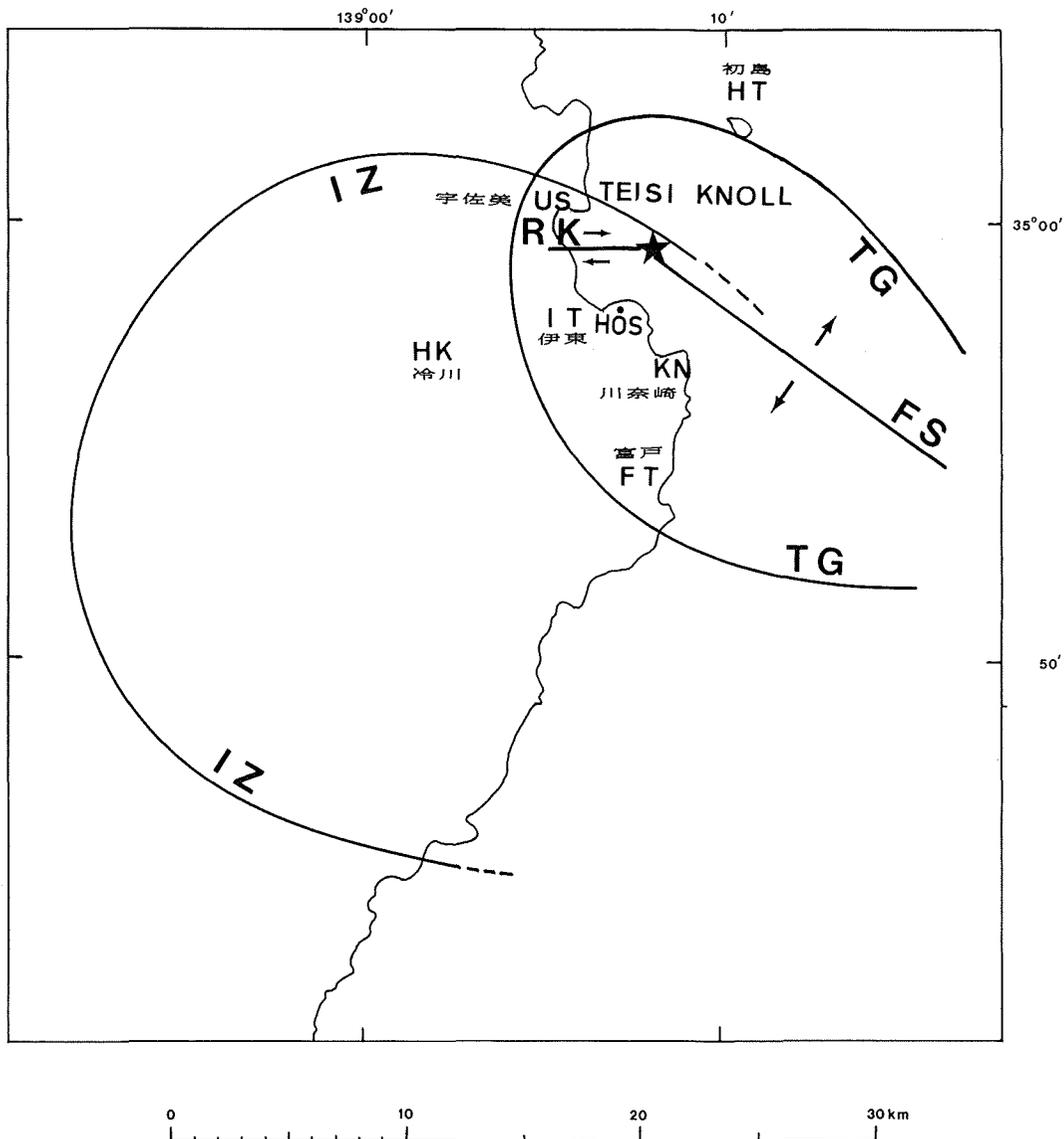


Figure 1. Izu-Tobu Volcano Group and its adjacent area. IZ : Approximate area of Izu-Tobu volcano group, TG : Active area of Izuhanto Tohooiki Earthquake swarm since 1978, FS : Fissure by magmatic intrusion suggested by Tada and Hashimoto (1989a~c), RF : Right-Slip Fault associated with M5.5 earthquake of July 9, 1989 After Tada and Hashimoto (1989c), HT : Hatsu sima, US : Usami, HK : Hiekawa, IT : Downtown of Ito City, HOS : Strong motion observation station at Hosenji, KN : Kawana, FT : Futo

ら1989年までの隆起量は、中心部（FT）付近で約50cmに達している。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おきない（茂木 1989）と解釈されている。伊豆半島東部では、浅発地震の記録に顕著な後続波が見られる。これらの後続波は深さ12~15km程度の反射面による反射波（SxP及びSxS波）であり、地殻内部に溶融体が存在すると解釈され、その分布はかなり広範囲に及んでいると推定されている（溝上ほか 1989a）。

すでに伊豆半島東方沖群発地震に伴い、開口割れ目（第1図FS）が形成されたとの解釈がなされていたが（多田・橋本 1989a）、さらに1989年5月から7月までの一連の群発地震活動の期間にも、初島と伊豆半島の間にはマグマの貫入による開口割れ目及び断層（第1図RF）の形成があったものと考えられている（多田・橋本 1989b, c, 岡田・山本 1989）。岡田・山本（1989）は川奈（第1図のKN）での地殻傾斜連続観測データから、同期間の開口割れ目と断層の形成過程について詳細なモデルを構築した。すなわち、I（5月21日～26日）川奈沖2kmで開口50cm相当のマグマ貫入（長さ3km、深さ10～3km）、II（6月30日～7月4日8時）伊東港沖約2kmで開口50cm相当のマグマ貫入（長さ3km、深さ8～6km）、III（7月4日8時～7月9日11時）前者IIの深部で開口50cm相当、浅部（長さ3km、深さ6～1km）で開口110cm相当のマグマ貫入、IV（7月9日11時09分）M5.5の地震に伴い、宇佐美（第1図US）の沖合いに断層発生（走向N102°E, dip79°, 長さ6km、深さ6～1km、右ずれ成分20cm, 逆断層成分10cm）、V（7月9日11時～7月10日）前出IIの深部に開口50cm相当、浅部に開口20cm相当のマグマ貫入、VI（7月11日～）断層の活動は停止、小規模の表面的な火山活動のみが出現、などである。恒石（1989）は、1989年6月30日から7月13日の噴火前までに、伊東～初島（第1図IT～HT）間の距離が20cm以上伸びていた事を観測した。また国土地理院の観測により、7月13日の噴火直前の10日間に伊東市中心部（第1図IT）で9cmの急激な隆起が認められた。

気象庁の観測によれば、同年6月30日からの群発地震活動は7月4日に活発化して有感地震も発生し始め、3時間ごとの地震回数も1,000回を超えた。その後ある程度の消長はあったものの活動度は8日昼頃まで低下したが、8日午後から再び活発化し、9日11時09分に群発地震中最大のM5.5の地震が発生した。その後3時間ごとの地震回数は指数関数的に低下したが、7月11日20時38分に大振巾の微動が発生して1時間程継続、その後も断続的に微動が観測された。7月13日には、大振巾の微動とともに18時33分頃から海底噴火が発生した。

溝上ほか（1989b）は群発地震の震源の時空分布を詳しく検討し、7月4日06時30分頃から震源が北西に移動し、同日21時46分～22時20分にかけてのM4.1, M4.7, M4.3の地震発生とともに震源の移動が停止したこと、震源の移動距離は約2.5kmで停止した位置のちに手石海丘が形成される位置であること、震源移動に伴い震源の深さが約8kmから4kmに浅くなったこと、震源移動停止後の5日01時55分から低周波地震（卓越周期約1秒）が発生している事などから、この期間の開口割れ目の生成とマグマ貫入を強く示唆するものと報告している。また、その後の5日10時から9日11時にいたる10分毎の地震回数に7つのバーストのピークが見られ、溝上ほか（1989c）はその時空分布の詳細な検討結果から、バーストの間隔は17～18時間とほぼ一定であること、それぞれのバーストの震央域は狭い範囲（直径1km前後）に集中すること、それら各バーストの震央域がのちの噴火点周辺に規則的に配列すること等から、噴火地点ほぼ直下に存在するマグマ溜りから周期的にマグマが貫入し、それらが既存の開口割れ目と噴火点近傍に集中し、手石海丘の形成に至ったと推察している。これらは前述の岡田・山本（1989）の報告とも調和的である。

植木ほか（1989）は震源域を囲む7点で噴火後の7月16日から高感度地震観測を実施した。8月6日までのデータによれば、主要な地震活動域が3か所あり、それらは手石海丘付近、その南東の手石島付近、及び宇佐美付近である。前二者の震源の深さは1～5kmで活動度は時間と共に低下したが、宇佐美付近のものは観測期間を通じ活動的であった。

水路部では、7月8日～9日に測量船「明洋」（450トン、田島修船長）による音響測深、サイドスキャンソナーによる微地形調査及び海底地震計による観測を震源域で実施した。7月13日には測量船「拓洋」（2,600トン、福田泰介船長）による音響測深、3.5kHz表層探査を実施した。18時33分頃からの海底噴火は「拓洋」

の至近距離で発生し、「拓洋」から噴火の目視観察、カメラ、ビデオ撮影、衝撃音の録音等が行われた。噴火後の7月15日には測量船「昭洋」(1,800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。さらに10月16日~17日に測量船「天洋」(430トン、湯山典重船長)による海底地形の精査、スパーカーによる音波探査、プロトン磁力計による全磁力測定が行われた。また、これらの測量船と航空機(第三管区海上保安本部)による気泡、変色水の分布調査、投下式水深水温計(XBT又はAXBT)による水温の測定、海潮流、海上風の観測等が行われた。海底噴火により形成された海丘は、7月20日に手石海丘と命名された。本論では、これらの測量船等による調査結果を整理し、海底噴火の経過とともに記載しておく。

## 2. 1989年7月13日の海底噴火

### 2-1 噴火の観測

測量船「拓洋」は7月13日午前から伊豆半島東方沖群発地震の震源域の調査を行っていた。測線は0.2海里(約370m)おきに格子状に設定され、夕刻に調査を終了する予定であったが進行が遅れ、18時28分に噴火直前の手石海丘の直上を西航しながらシービームによりその地形をとらえた。しかしその時点では特段の注意は払われなかった。西航を続けて岸線まで1海里(約1.85km)の地点で左に回頭し、船首を南から東に向けて次の予定測線にのった。ちょうどその頃(18時33分頃)から船底をノックするような「トン」という音が2度聞こえ、その数秒後「ドーン」という「とてつもなく大きなハンマーで船体を叩いたような震動音」が聞こえ、ほんの数秒おいてまた「ドーン」という音がして船体がやや激しく震動した。それから数秒間でさらに音は強く、音の間隔は急速に短くなり、衝撃音が間断なく「ドーン、ドーン」と船底を突き上げ、乗組員は船体及び機器類を破壊されるという恐れを感じた。「拓洋」は予定測線をそのまま東航し続け、乗組員は海面を注意深く観察した。1分間以上海面に何らの異常も認められなかったが衝撃音は間断なく船体を突き上げ続けた。次いで船首左前方数百メートルに、一瞬横一線の白い波頭が見え、さらに白い波頭の両端に青黒い筋が見えた。さらに同じ位置にエアガンを海中で発破させた時のような海面のザワつきと波立ち、あるいは海中で爆雷が爆発した時の海面のしわ立ちのようなものが見られた。船長はただちに右(南)寄りに変針、速力を一杯に上げ、時刻、噴火位置の測定、噴火事象の観測を乗組員に命じた。(以上、主に「拓洋」小沢幸雄観測長による。)

右寄りに変針して舵が効き始めた18時36分頃、同位置に灰黒色のウォータードームが出現した。以後「拓洋」は各種観測を続けながらほぼ南東方向に航走し、18時37分には噴火点に最接近(約800m)し、18時40分に手石島付近を経て18時50分に川奈東方沖の安全な海域に達した。噴火による衝撃音が発生してから安全な海域に至るまでの間、以下の観測が行われた。

イ、GPSによる精密測位

ロ、多くの乗組員による目視観測及び噴火位置の測定

ハ、写真撮影(18時37分頃から。小沢幸雄観測長、吉岡真一海洋調査官)

ニ、ビデオ撮影(18時39分33秒~18時42分35秒及び18時43分14秒~18時44分57秒、小林郁也航海士)

ホ、衝撃音の録音(18時36分05秒~18時44分頃、早水元功機関長、水野公男航海士)

これらのうち、早水機関長の録音は、機関長室の床(海面上約5m)の上に、マイクが下を向くようにカセットテープレコーダーを置いて録音したものである。また、この間の観察内容、操船その他の作業に関する記憶等については、福田泰介船長、宇賀那清二郎業務管理官、佐藤義人航海長、伊藤一美通信長、高梨政

雄主任大陸棚調査官，その他多数の乗組員から詳しく聞き取ってメモを作成した。

これらとは全く別に，東京大学地震研究所では伊東市の3か所の観測点で加速度型の強震計による地震観測を行っている。そのうち伊東市宝専寺観測点（第1図のHOS）における強震計の記録と「拓洋」で録音された衝撃音の記録を並べたものを第2図に示す。図で明らかなように，地震と衝撃音の両事象が，小振巾のものまで1対1に対応している。強震計の記録には正確なタイムマークもあり，従って衝撃音の時刻は秒単位で決定可能である。以上の各種の資料，データから以下の手順で噴火現象の時刻を推定した。

- ① 「拓洋」の航跡をGPS測位のデータにもとずき縮尺35,000分の1の図にプロットした。
- ② 写真に噴火点（独特の白波や灰黒色水柱）と背景の初島や伊豆半島の岬，山が写っている。噴火点と背景の見直し線と航跡の交点の時刻を求め，それを撮影時刻とした（誤差±30秒程度）。
- ③ ビデオの画像の中に上記②の写真と同一の画像をとらえているところが何か所かあり，ビデオ記録の概略の時刻を決定した。
- ④ ビデオテープに撮影者が灰黒色水柱の出現時刻を音声で録音してある。1分単位で40分，42分，44分の3か所が確認できる。また，灰黒色水柱が出現すると「アーッ，あがったあがった」などと独特の喚声があがるのが録音されている。それらによりビデオ記録の時刻を確認した。
- ⑤ 衝撃音の録音テープにもかすかに乗組員の喚声が収録されている。また録音テープの時刻は前述のように強震計の記録と対応させ，秒単位で決定できる。録音テープとビデオテープを対応させ，灰黒色水柱の出現時刻等を決定した。
- ⑥ ビデオテープ（1秒間30コマ）の時間間隔は正確なので，最後にビデオテープをテープ編集機で再生し，各事象の時間間隔をチェックした。

なお，噴火点～宝専寺間約3kmのうち，約2.7kmが海であり，噴火の震動は水中音響として地震計に達したとすると，伝ばんに要した時間は約2秒である。また，灰黒色水柱の上昇速度をビデオ画像で測定したところ，約50m/secであったので，水深約100mの噴火点海底から噴出した水塊が海面に達するまでの時間は約2秒である。

以上の事から，灰黒色水柱又はウォータードームを噴出させる活動は，大別すると5回認められた。各回の噴出活動の継続時間は数秒～30秒弱であり，1回の噴出活動の間に数秒おきのいくつかの水柱が出現する場合もある。それらをまとめて第1表に示す。ただし，第1回目の噴出活動（ウォータードーム）については写真もビデオの記録も無い。しかし船長はじめ乗組員の詳しい証言や記憶にもとづくスケッチなどから，操船の経緯、航跡，強震計の記録等を勘案のうえ確認したものである。

## 2-2 海面現象及び水柱の噴出

海面上の諸現象について，写真，ビデオ記録，乗組員の証言等を整理した結果を記載する。水柱の大きさ等については，写真フィルム上の像の大きさ，カメラの焦点距離，カメラから対象物までの距離などから算出した。

一連の海面上の現象のうち，最初に現われたのは一筋の白い波紋とその両端の青黒い筋，あるいは海中で爆雷が爆発したような海面のザワつき等である。類似の現象は活動全期間を通じ，ひんぱんに見られた。写真1に，18時37分頃の例を示す。背景の島は初島である。中央の白い筋とその両端の青黒い筋は，同心円状に分布しているもので，船上からはこれを横から望見する形となり，筋のように見えるのであろう。青黒い部分の直径は約250m，中央の白い部分の直径は約100mである。青黒い部分は海底の砂泥（及び岩石？）が噴き上げられ，海面付近まで混濁している範囲，白い部分は噴出の衝撃で海面が波立っている範囲であらう。

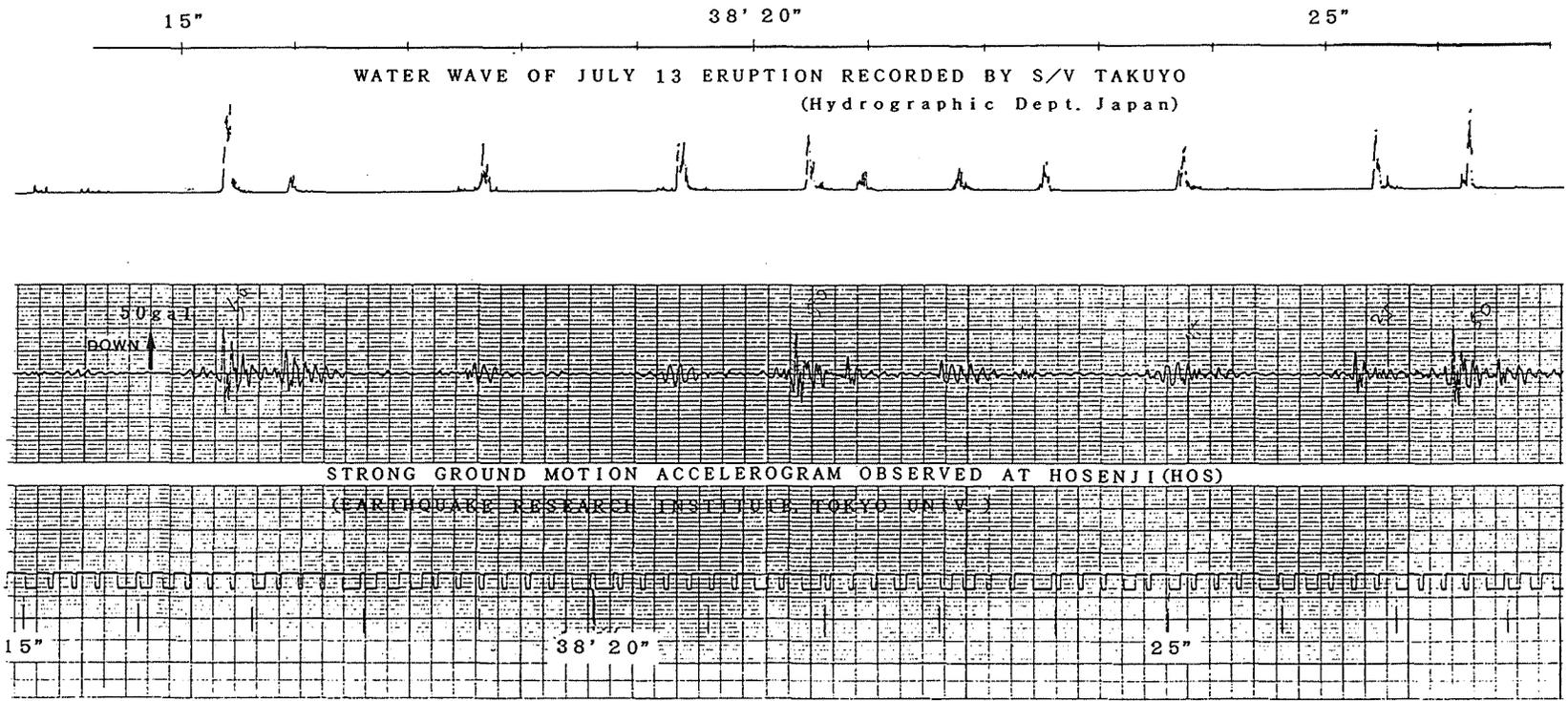


Figure 2. Record of water wave observed in the survey vessel "Takuyo" (upper) and vertical strong motion observed at Hosenji (lower). Location of Hosenji is given in Figure 1. The figure shows an example only for about 13 seconds.

No.	Start Time at sea surface	Duration of a series of gushing (sec)	Size of Water Jet or Dome	
			Height (m)	Width (m)
1	18 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup> 57 <sup>s</sup>	————	——	——
2	18 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> 57 <sup>s</sup>	25	18	51
3	18 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 40 <sup>s</sup>	15	——	——
4	18 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup> 25 <sup>s</sup>	25	113	230
5	18 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup> 37 <sup>s</sup>	20	36	92

Table 1. Water jet phenomena, its time and dimensions.  
(July 13 1989 eruption of Teisi Knoll)

また乗組員の証言で、海面が「ビシッ、ビシッ」とザワつくのと「ドーン」と船底を突き上げる衝撃音が同期していたという事と、後述するように水柱噴出に伴って白煙（水蒸気）が相当量海面に漂うこと、海底に形成された火山体（手石海丘）が堆積物の隆起を主体とし（藤井ほか 1989）本質物の噴出量が少ないことなどから、海底での活動は水蒸気を主とするガスの噴射であったものと推定される。

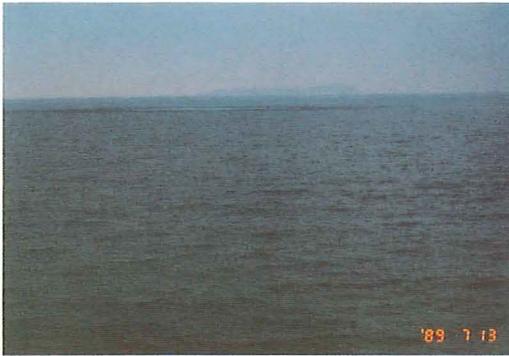
写真2a～2eにはウォータードームを形成した2回目の噴出現象を示す。海面に灰黒色の部分が出現して3秒で写真2aの姿になった。高さ18m、巾51mである。ウォータードームの両側には青黒い筋が見える。さらに3秒後には形が崩れ、海面に白煙（水蒸気）が漂う（写真2b）。さらに白煙の中央、次いで右端、そして左端から別々の細い灰黒色水柱が噴出し（写真2c, 2d）、ウォータードーム出現から19秒後には白煙のみとなった（写真2e）。

18時40分40秒に3回目の噴出現象が見られた。白煙のたちこめた中に出現し、3秒後（40分43秒）に写真3aのようになった。白煙のため水柱の大きさは測定できない。約15秒間にわたり、間欠的な灰黒色水柱の噴出が見られた後、白煙のみが漂うようになった（41分04秒、写真3b）。

18時41分25秒に4回目の噴出現象が始まり、海面から「ミッキーマウスのような」灰黒色水柱がぬっと立上がり、その3秒後の18時41分28秒に写真4aのようになった。高さ94m、巾150mである。ビデオ画像を詳しく検討したところ、海面から急速に立上がる灰黒色水柱が写真4aとほぼ同じ姿になるまでの時間は約2秒間であり、水柱の上昇速度は約50m/sec程度であったものと考えられる。写真4aでは水柱の上面、側面にギザギザと鋭角なトゲが多数認められる。岩石を先頭に上方、測方に水柱が拡大中であることを示す。次いで2秒後の41分30秒に写真4bの姿になった。この時点での水柱の高さは113m、巾230mで水柱の上面は丸みを帯びて降下が始まったことを示し、側面には鋭角なトゲが斜め下方に向いているように見え、岩石を先頭に水塊が降下していることを示している。また水柱の周囲に白煙が見え始めている。41分37秒には灰黒色のものはほとんど海面下に没し、白煙のみになりかかっている（写真4c）。

5回目の噴出現象は18時43分37秒に始まった。この瞬間のビデオ画像はピントが合っておらず不鮮明であるが、乗組員の「アーッ、あがったあがった」という喚声がビデオテープに収録されている。水柱はその3秒後の43分40秒に高さ36m、巾92mになった（写真5）。その後も何回かの低い水柱の噴出をくり返し、出現から約20秒で白煙が漂うのみとなった。

1



2 a



2 b



2 c



2 d



2 e



3 a



3 b



4 a



4 b



4 c



5



Photo 1

A surface phenomena above the submarine eruption of Teisi Knoll, taken from survey vessel "Takuyo", at 18<sup>h</sup>37<sup>m</sup>, July 13. A dark colored stripe is muddy water (about 250m diameter), and white surface in the center is ripple caused by shock of the eruption. (Photo. by Sachio Ozawa)

Photo 2a

18<sup>h</sup>40<sup>m</sup>00<sup>s</sup>. Water dome. Hight 18m, width 51m at the base. (Photo 2a through Photo 5 were taken by Shinichi Yoshioka)

Photo 2b

18<sup>h</sup>40<sup>m</sup>02<sup>s</sup>. Falling water dome, with whie vapor around it.

Photo 2c

18<sup>h</sup>40<sup>m</sup>09<sup>s</sup>. The other water jets coming up in the center and right of the vapor.

Photo 2d

18<sup>h</sup>40<sup>m</sup>13<sup>s</sup>. The other water jet coming up in the left end of the vapor.

Photo 2e

18<sup>h</sup>40<sup>m</sup>16<sup>s</sup>. About 20 second from the beginning of a series of water jet phenomena. Only white cloud (vapor) was recognized.

Photo 3a

18<sup>h</sup>40<sup>m</sup>43<sup>s</sup>. Water jet appeared in the right of the white cloud, followed by a series of frequent water jets.

Photo 3b

18<sup>h</sup>41<sup>m</sup>04<sup>s</sup>. White cloud (vapor) remained after a series of water jet phenomena.

Photo 4a

18<sup>h</sup>41<sup>m</sup>28<sup>s</sup>. Water jet. Hight 94m, width 150m.

Photo 4b

18<sup>h</sup>41<sup>m</sup>30<sup>s</sup>. Falling water jet. Hight 113m, width 230m.

Photo 4c

18<sup>h</sup>41<sup>m</sup>37<sup>s</sup>. White cloud afoer the water jet phenomena.

Photo 5

18<sup>h</sup>43<sup>m</sup>40<sup>s</sup>. Water dome. Hight 36m, width 92m at the base.

## 2-3 衝撃音と地震

測量船「拓洋」の船内で録音した衝撃音のスペクトル分析を行った。スペクトル分布は数十～1kHzにわたりかなり平坦で、200, 300, 400, 500Hzあたりにわずかなピークを示す。録音された5分余のテープを再生し、整流してペンレコーダーに出力した記録を第3図に示す。第3図の鋭いピークの一つ一つが船体を突き上げた衝撃音の各事象に対応する。衝撃音は乗組員に強い恐怖を与え、可変ピッチプロペラー異常、主機冷却海水圧力異常、主機燃料供給圧力異常などの警報が発生、直ちに予備ポンプが自動的に起動した。これらの事から、衝撃音は強力な水中音波が船体及び船内各部を震動させて生じたものであると判断される。次に衝撃音について、事象の累積度数を時間に対して示したのが第4図である。グラフは折れ線に近く、折れ目は18時37分頃、39分頃、40分40秒頃となる。事象発生の間隔は、18時37分頃までは約0.7秒、37分頃～39分

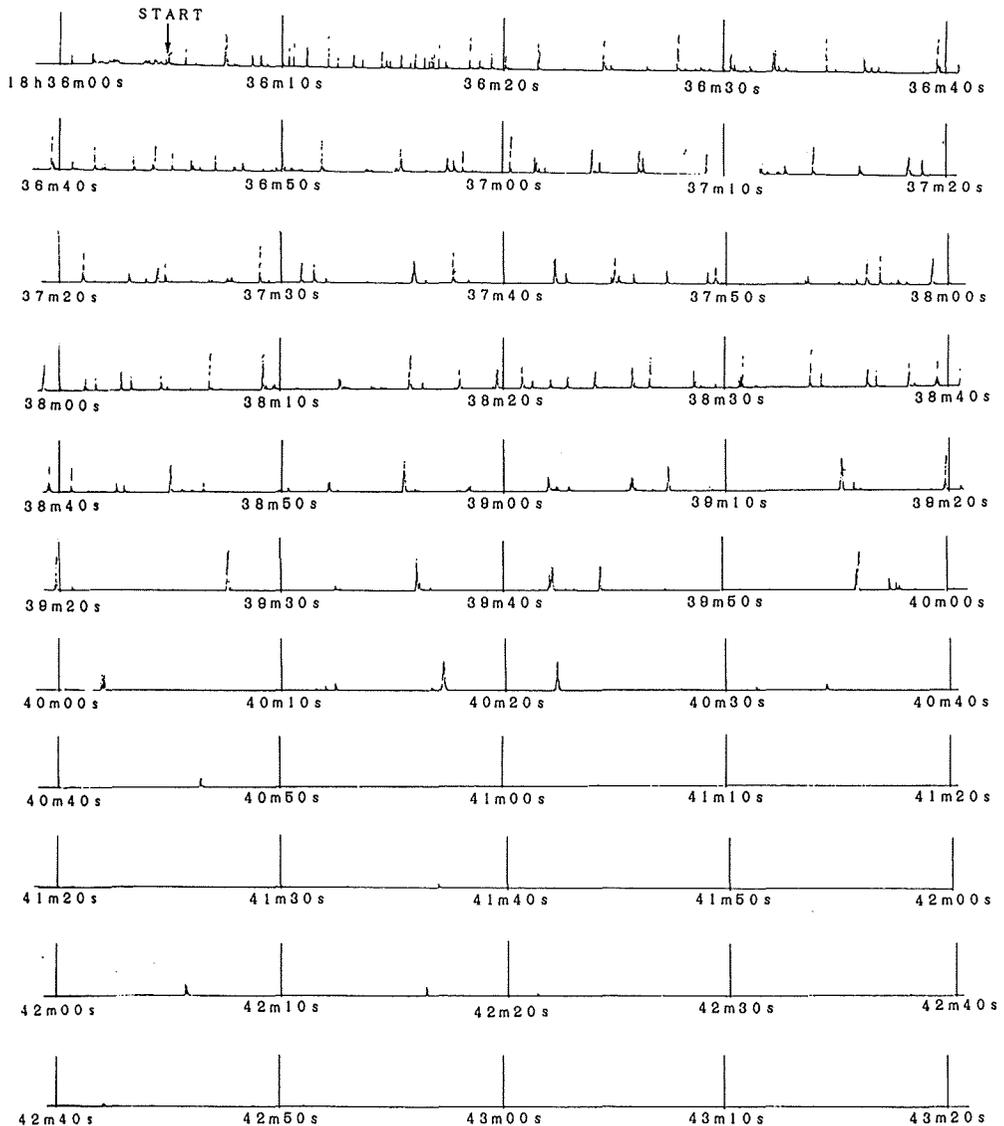


Figure 3. Record of water wave observed in the survey vessel "Takuyo". Start time of the record (000') is 18<sup>h</sup>36<sup>m</sup>05<sup>s</sup> of July 13, 1989.

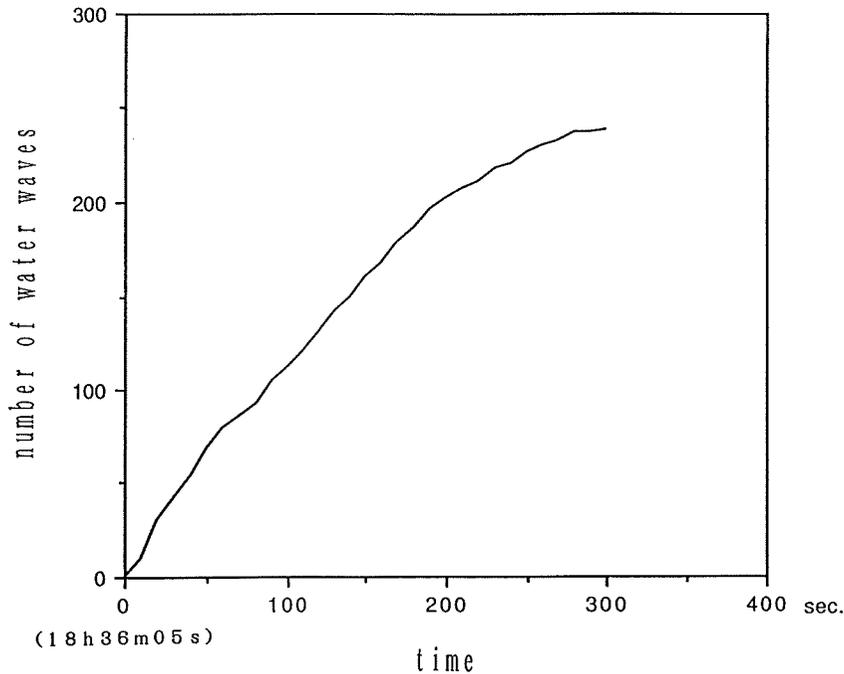


Figure 4. Total number of water waves recorded in the survey vessel "Takuyo"

頃の間は約1.1秒, 39分頃~40分40秒頃の間は約2.4秒でその後はさらに間隔が長い。

第5図に「拓洋」の航跡と地震の発生状況を示す。航跡に直角な羽毛状の線分は、それぞれ東京大学地震研究所宝専寺観測点の地震の事象に、線分の長さは地震の加速度に比例して描いてある。また灰黒色の水柱またはウォータードームの噴出現象の時間も航跡の横に示した。噴出現象の直前10秒間程度は地震活動が低調になる傾向が見られる。また、5回の噴出現象中最大規模であった18時41分25秒からの現象に伴う地震の加速度(最大24Gal)は、1回目(80Gal)、2回目(59gal)、5回目(65Gal)の噴出時よりかなり小さい。

吉井ほか(1989)は宝専寺観測点で記録された震動は海底付近で発生した爆発音が海水中を伝わり観測点に達したものである事、その波形が分散波形であり、群速度は周期0.1秒付近に極小値(約1.4km/sec)をもつこと、震源が浅くなり基盤より上の低速度層内に達した場合は表面波が励起されること、その現象がひん発した7月13日の噴火の場合は地震計(速度型)にいわゆる微動として記録されることなどを報告している。

工藤ほか(1989)は宝専寺の強震計(加速度計)記録等から、7月13日の噴火に伴う震動ではP波が卓越していること、記録(加速度)の数値積分による変位波形は1~1.5秒周期の波が卓越し、連続微動の様相を示すことを報告している。岡元ほか(1989)は伊東市付近の海底地形を差分格子によって表現し、地殻のP波速度を3km/sとして地表で観測される加速度を2次元の差分法でシミュレートした。その結果では、震源が海底下20mとすると理論波形が観測波形とよく似るが、震源が海底下100mの場合は理論波形が全く観測波形に似ないことを報告している。

水路部では噴火2日後の7月15日に自航式ブイ「マンボウ」で手石海丘の音響測深を行って、直径200mの火口と、火口から盛んに発生している気泡を記録した。

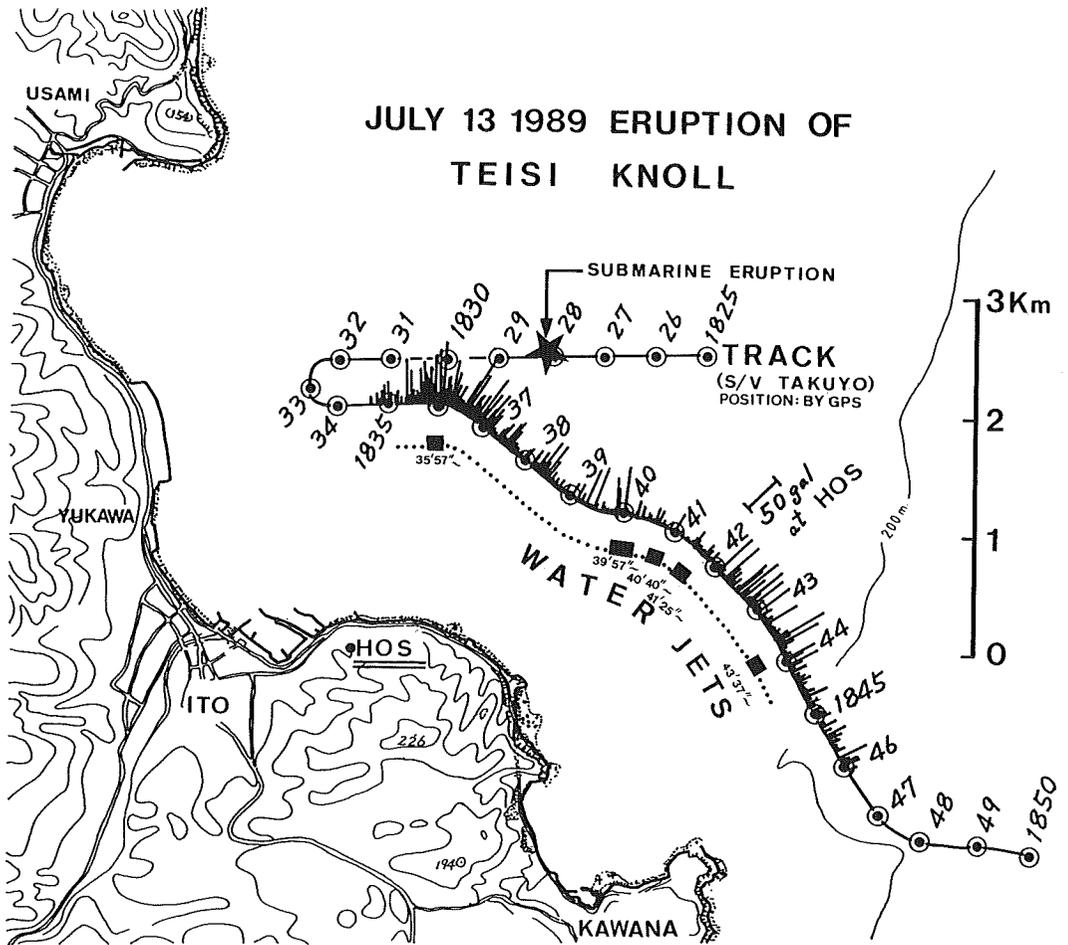


Figure 5. Track of the survey vessel "Takuyo" and amplitude of vertical strong motion at Hosenji (HOS) observation point maintained by Earthquake Research Institute, University of Tokyo (segments of straight lines on the track). Thick dark segments show the time while dark gray colored water jets appeared.

一方、曾屋ら（1989）は噴火で放出され伊東市の海岸に漂着した「チョコボール状の軽石」（白色の軽石の表面に玄武岩が付着しているもの）の分析結果から、7月11日、12日の微動時にマグマが堆積物と下部層の間にレンズ状に貫入し、7月13日になんらかのきっかけでマグマと地層中の間隙水が混合してマグマ水蒸気爆発が始まったと推定している。

以上の事から7月13日の海底噴火では海底下のマグマ水蒸気爆発で発生した水蒸気その他の火山ガスが、海底の火口（又は噴火で形成された火口底の噴出孔）から0.7～数秒おきに噴射され、その際強い水中音響が発生してこれが速度型地震計に微動として記録されたものと言える。また、第5図で明らかなように、地震計で強い加速度が記録されても水柱等の噴出を必ず伴うわけではない。むしろ10秒程度の地震活動の低い時間の後に噴出する傾向がある。この事は海底下のガスの圧力がやや低下した時間に火口から海底下に海水が流入し、これが再び高压のガスで押し出される事によって灰黒色の水柱が噴出されたのではないと思われる。なお、藤井ほか（1989）によれば、手石海丘本体は堆積物の隆起が主体であるが、その火口内で今回の噴火で噴出した玄武岩のスコリアも採取されており、少量の本質物の噴出が確認された。

衝撃音の発生間隔が不連続に変化し、事象の累積度数が折れ線状（第4図）となった原因としては、火口（及び海底下のガスの通り道）が段階的に拡大した事も考えられる。なお、笠原ほか（1989）は海底地震計に記録されたT相の特徴から、7月11日、12日にも小規模海底噴火があったと報告している。

### 3. 海丘の形成

伊豆半島東方沖群発地震の震源域、並びに手石海丘を対象とする海底調査は以下の4回実施された。

- 1989年7月8～9日 測量船「明洋」。音響測深、サイドスキャンソナーによる微地形調査
- 1989年7月13日 測量船「拓洋」。音響測深（シービーム）、3.5kHz表層探査
- 1989年7月15日 測量船「昭洋」、自航式ブイ「マンボウ」。音響測深
- 1989年10月16～17日 測量船「天洋」。音響測深（ハイドロチャート）、音波探査（スーパーカー）

7月9日の測量船「明洋」の調査では、のちに手石海丘の形成される位置を通る南北の測線で堆積物の平坦な海底が記録されている。また、サイドスキャンソナーの調査結果（第6図）もその噴火点付近が平坦である事を示している。

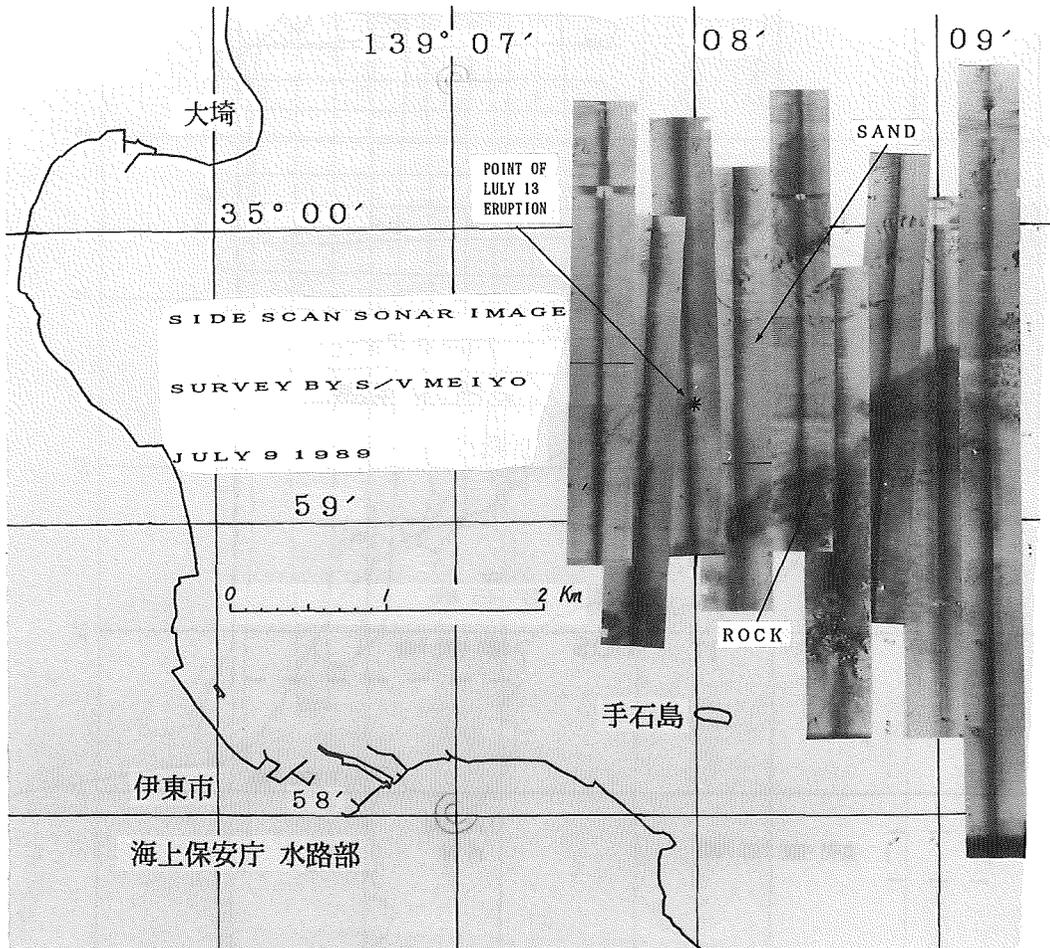


Figure 6. Side-scan sonar image of the sea bottom north of Ito city, surveyed by "Meiyo" on July 9, 1989, four days before the eruption. The bottom where July 13 eruption would occur is flat bottom of sediments at July 9.

7月13日の「拓洋」の航跡を第7図に、その測深データで作成した地形図を第8図に示す。サイドスキャンソナーの記録と表層探査結果から、岩盤が高まり露出している範囲が初島から西へ、及び川奈と手石島から北東へ伸びている。それらに挟まれた海域は海盆状で堆積物で埋められている。その平坦な海底に噴火前の手石海丘が出現しており、海丘の地形はドーム状で比高25mである。音響測深記録（及びシービームの海丘頂上部分のデータ）では、火口は認められない。手石海丘の東北東2.5kmの海丘は比高10mで、すでに昭和5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海丘と同われる。

手石海丘は「拓洋」がその地形をシービームでとらえた5分後に海底噴火を開始した。噴火2日後の「マ

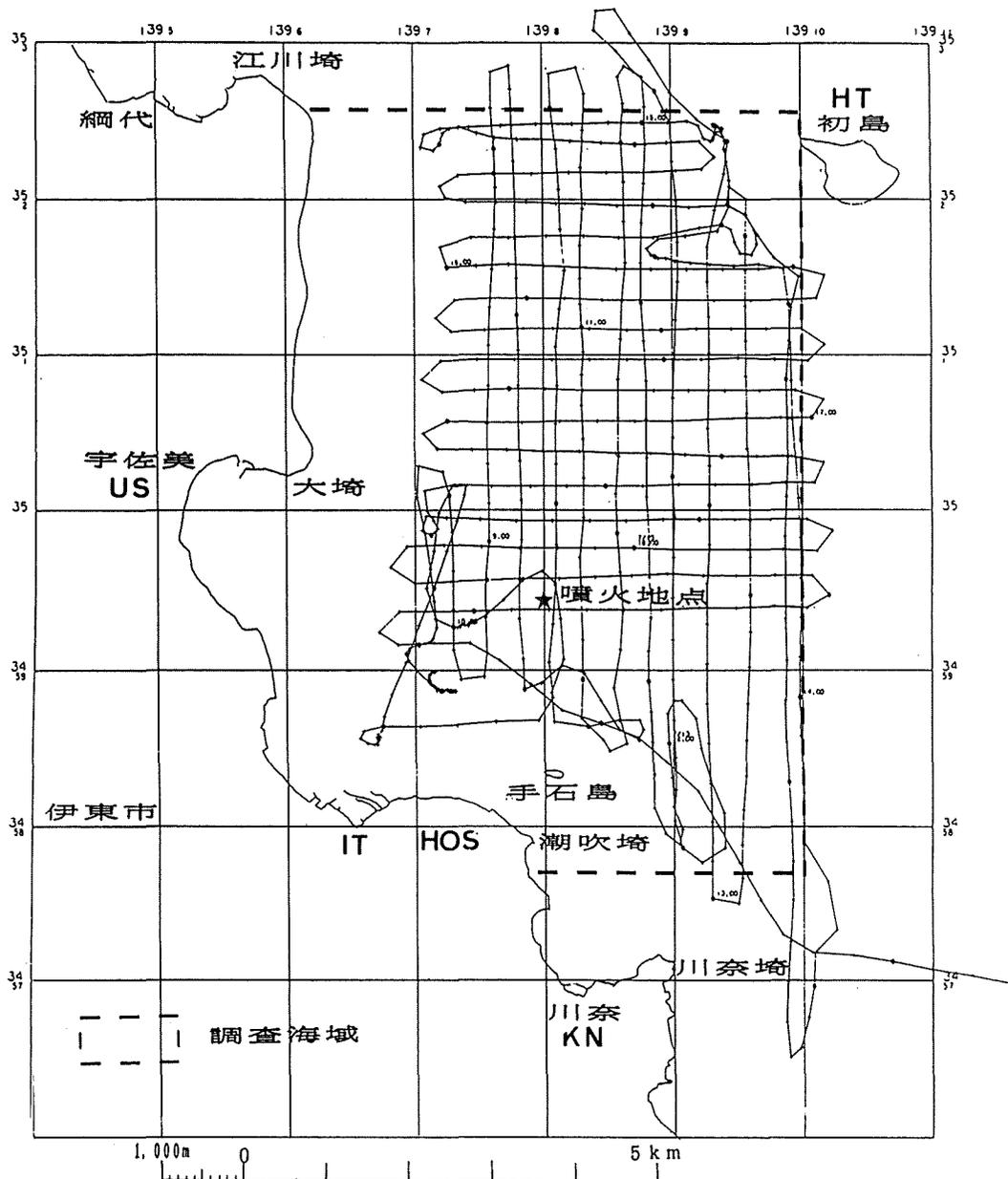


Figure 7. Survey tracks of "Takuyo" for July 13, 1989. Dashed line shows planned survey area.

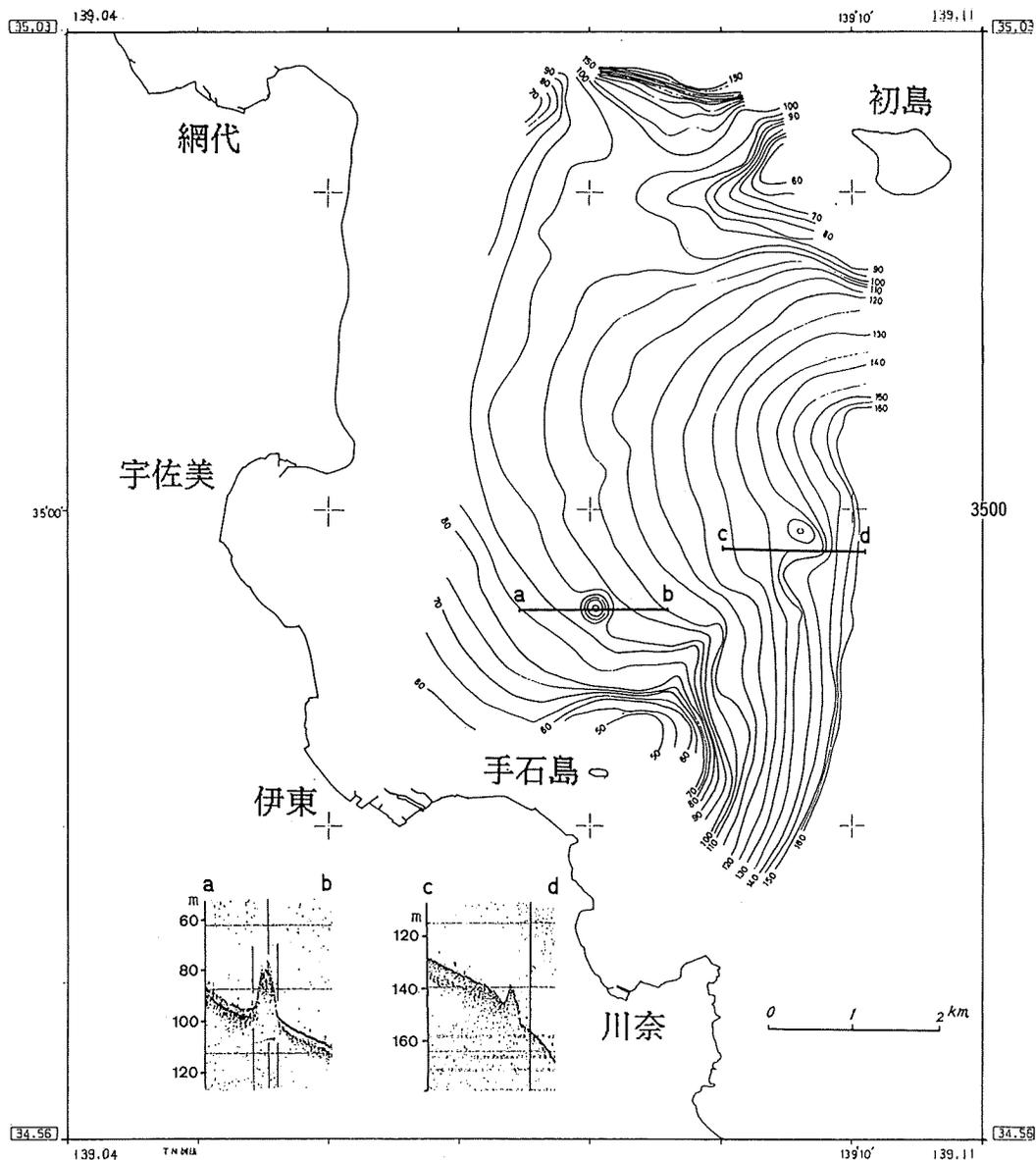


Figure 8. Sea-bottom topography, a result of July 13 survey by "Takuyo". The record a-b shows section of Teisi Knoll, and c-d shows section of an older knoll of volcanic rock.

ンボウ」による音響測深の結果を第9図に示す。手石海丘の比高は約10mで、中央に直径200m程の火口があり、火口内では気泡のため測深不可能であった。火口南部で一点だけ、投下式水深水温計(XBT)のセンサーの着底により、水深105mが確認された。

以上の3回の調査で得られた手石海丘形成の過程を第10, 11図に示す。

10月16~17日の「天洋」のハイドロチャートによる測深データは解析中であるが、第12図に手石海丘の地形を示す。火口の南部にスリバチ状の深みがあり、音響測深による最深水深は122mであった。第13図にこのときの音響測深記録例を示す。気泡は火口内南部と火口縁南東部の高まりの計2か所から発生していた。

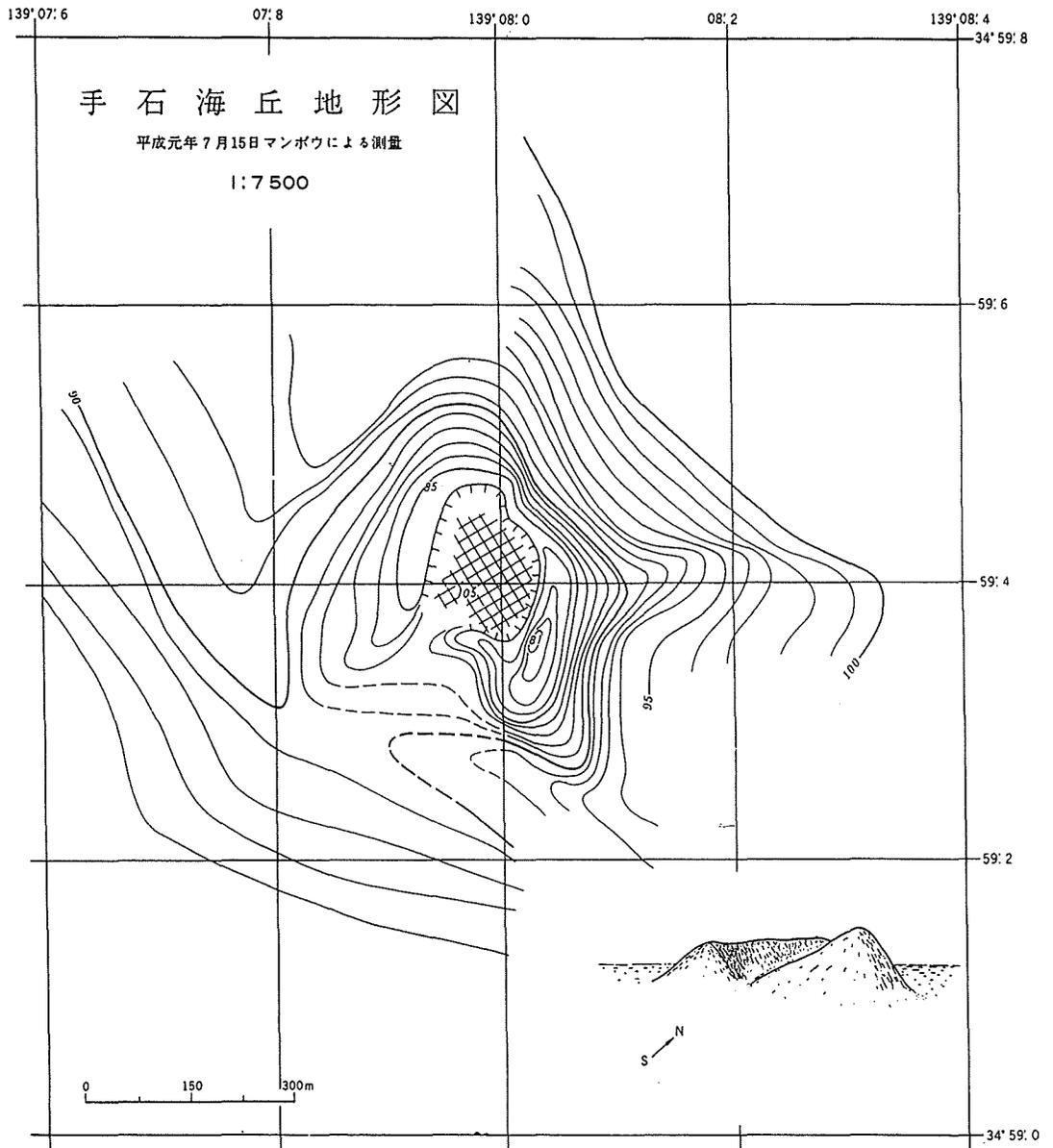


Figure 9. Sea-bottom topography of "Teisi Knoll", a result of July 15 survey by an unmanned automated survey craft "Manbou", specially designed for the survey in the dangerous area. A more precise topography of Teisi Knoll was obtained afterward as is shown in Figure 12. Some distortion, compared to the more precise result in Figure 12, is obvious but this map provided an almost exact image of the newly born volcano, which was vital to estimate possible hazard at that time.

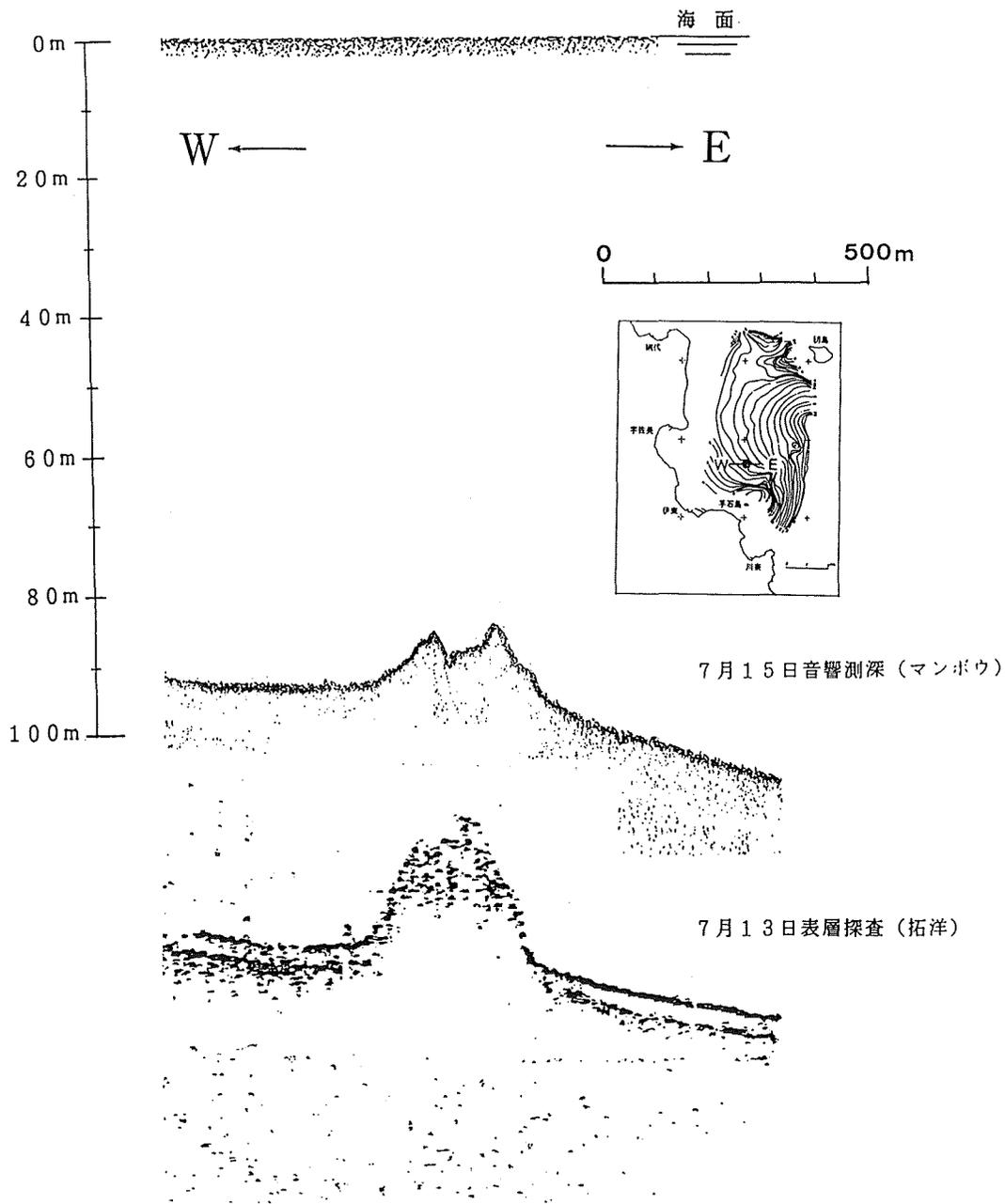


Figure 10. East-west section of Teisi Knoll on July 13 and 15.

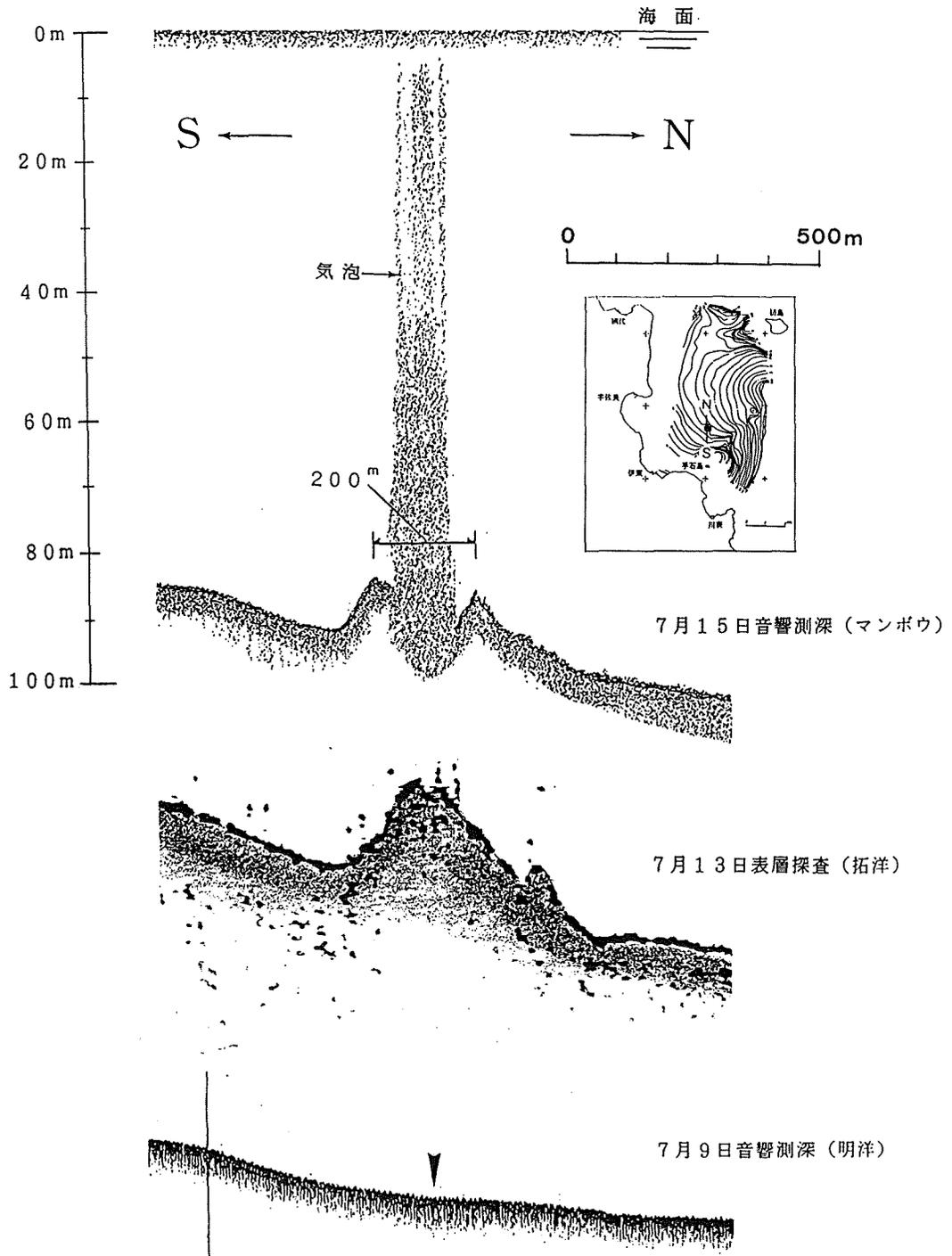


Figure 11. North-south section of flat bottom on July 9 (bottom) , where a new Knoll was built by magma intrusion (middle) and finally the July 13 eruption opened a 200m diameter crater in the center of the Knoll.

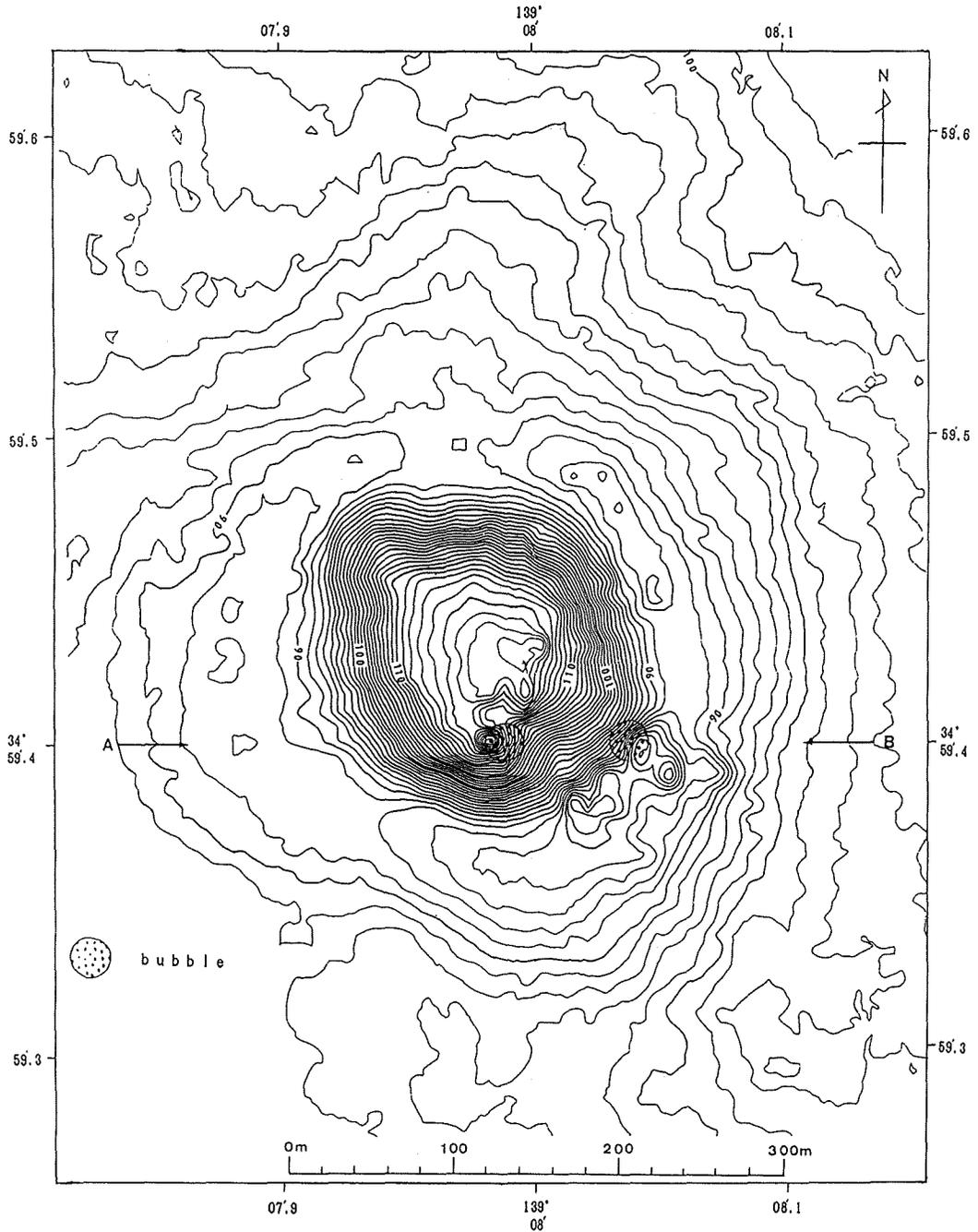


Figure 12. Detailed topography of Teisi knoll, a newly born volcano of Izu-Tobu volcano Group, a result of survey by "Tenyo" on October 16-17, 1989 with her narrow multibeam echo sounder (Hydrochart) . A-B shows location of topographic section in Figure 13.

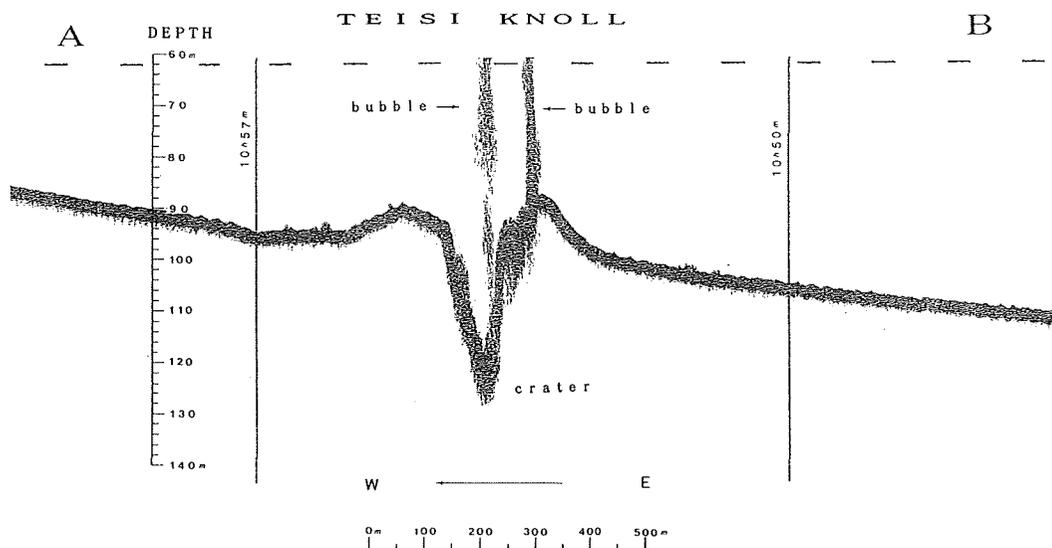


Figure 13. A section of sea bottom topography by echo sounder along A-B shown in Figure 12. A crater in the center of the Teisi Knoll and two vertical columns of volcanic gas bubbles are obvious.

#### 4. 水温分布

1989年7月8日から15日にかけて、投下式水深水温計 (XBT及びAXBT) による水温測定が測量船とヘリコプターから行われた。7月8～9日に測量船「明洋」で行われた結果を第2表、8日及び12日にヘリコプター (MH929号機) で行われた結果を第3表、13日に「拓洋」で行われた結果を第4表、15日に「マンボウ」で行われた結果を第5表に、それらの測点を第14図に示す。さらに1989年10月16, 17日に「天洋」で行われた結果を第6表に示す。

Table 2. Result of water temperature observation by "Meiyo" on July 8 and 9.

7月8日～9日		XBT (測量船「明洋」)																				
測点番号	月日 (時)	緯度 (N)	経度 (E)	水															温			
				0m	10	20	30	40	50	60	70	75	80	90	100	110	120	125	130	140	150m	
X 1	7. 8 (1600)	34-58. 9 139-10. 0		22. 2	21. 7	21. 1	19. 0	17. 5	16. 3	15. 6	15. 3	15. 2	15. 1	15. 0	14. 4	14. 2	13. 6	13. 3	13. 2	12. 8	12. 6	
X 2	" (1635)	34-58. 8 139-09. 4		21. 6	21. 4	19. 8	18. 8	17. 3	15. 8	15. 4	15. 2	14. 9	14. 8	14. 6	14. 0	13. 8	13. 8	(116) 13. 8				
X 3	7. 9 (0840)	35-02. 0 139-08. 0		22. 0	20. 8	19. 0	18. 3	16. 5	15. 7	14. 7	(63) 14. 2											
X 4	" (1154)	34-58. 0 139-09. 0		21. 7	21. 0	20. 1	19. 4	18. 7	18. 1	17. 3	15. 8	15. 3	15. 2	14. 7	14. 6	(105) 14. 4						
X 6	" (1223)	35-00. 0 139-08. 8		22. 2	21. 1	20. 6	19. 9	18. 8	18. 3	17. 7	16. 8	16. 3	15. 2	14. 8	14. 5	14. 1	13. 5	13. 4	13. 4	(133) 13. 3		
X 7	" (1344)	34-58. 9 139-08. 2		21. 8	20. 5	20. 0	18. 7	18. 1	17. 5	16. 6	(70) 16. 0											
X 8	" (1459)	34-59. 0 139-07. 6		22. 3	20. 5	20. 0	18. 9	18. 2	17. 9	16. 9	15. 9	15. 6	(76) 15. 5									

\* BOTTOM HIT  
( ) DEPTH





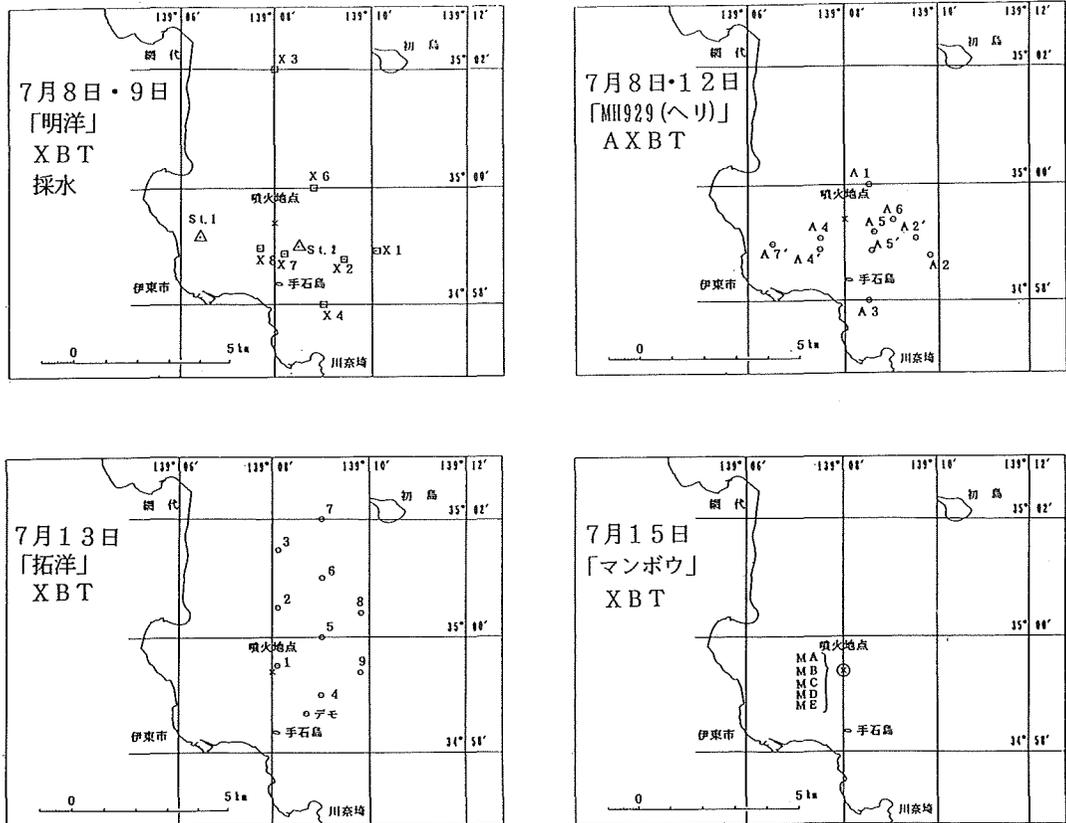


Figure 14. Locations of points for temperature measurement by "Meiyo" on July 8 and 9 (upper left) , by helicopter on July 8 and 12 (upper right) , by "Takuyo" on July 13 (lower left) , and by "Manbou" on July 15 (lower right) .

次に測定結果から、特徴的な事を記述する。7月8、9日の測定では、第15図に示すように、のちの噴火点の南東に冷水域が見出された。冷水域では水深50mで周囲より最大2℃程度水温が低かった。冷水域での水温測定の多くは8日16時頃行われた。海水の流れは8日午前0時～9時はおおむね南向き0.2ノット (370 m/h) , 10時～16時は東向き0.2ノットと推算されている。冷水域の中心は、のちの手石海丘噴火位置の東南東約2 kmである。

次に「マンボウ」が7月15日に火口直上 (MA～MD点) から投下したXBTの記録を第16図に示す。MD点では水深105mで着底しており、水深80～105mにかけて周辺より最大3℃程高温の水塊が存在することが示されている。この結果は活発な気泡の発生とともに、海底から熱水が湧出していた可能性を示唆するものである。

10月17日の「天洋」の調査では、網代沖から門脇崎沖にかけて、26地点でXBTによる水温測定が実施された。その測点を第17a図に示す。また同図中のA—B及びC—Dに沿う水温の鉛直断面分布を第17b, 17c図に示す。第17b図で、手石海丘の火口底では36.8℃の温度が測得された。また火口直上で等温線が上に凸となる傾向を示す事は、弱い冷水域を形成している事を示している。火口の北 (測点153) では周囲よりやや高温

Water Temperature (°C), July 8, 9 1989

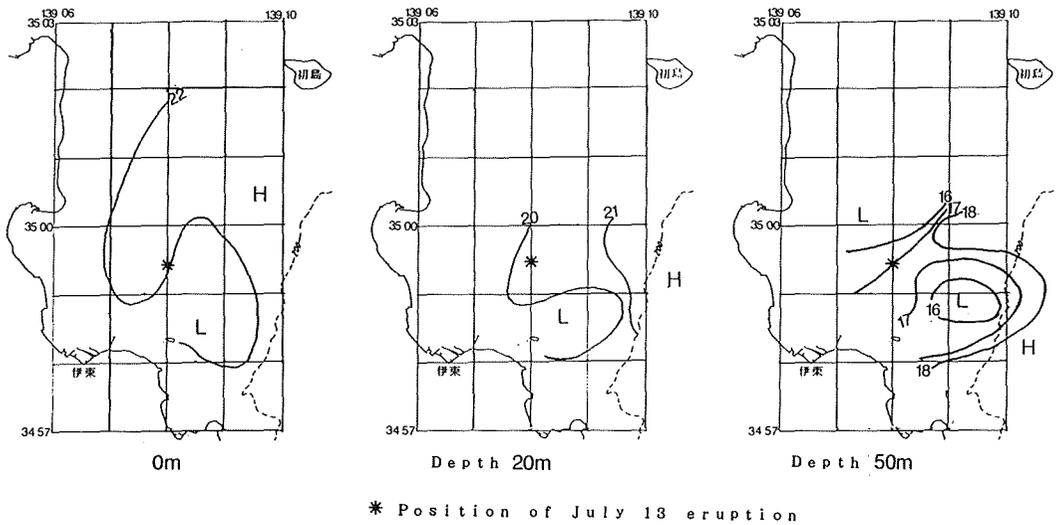


Figure 15. Water temperature measured on July 8 and 9. Low temperature is obvious for the area ENE of Ito, on ESE of forthcoming eruption point.

Vertical Section of Water Temperature above the Crater (July 15, 1989)

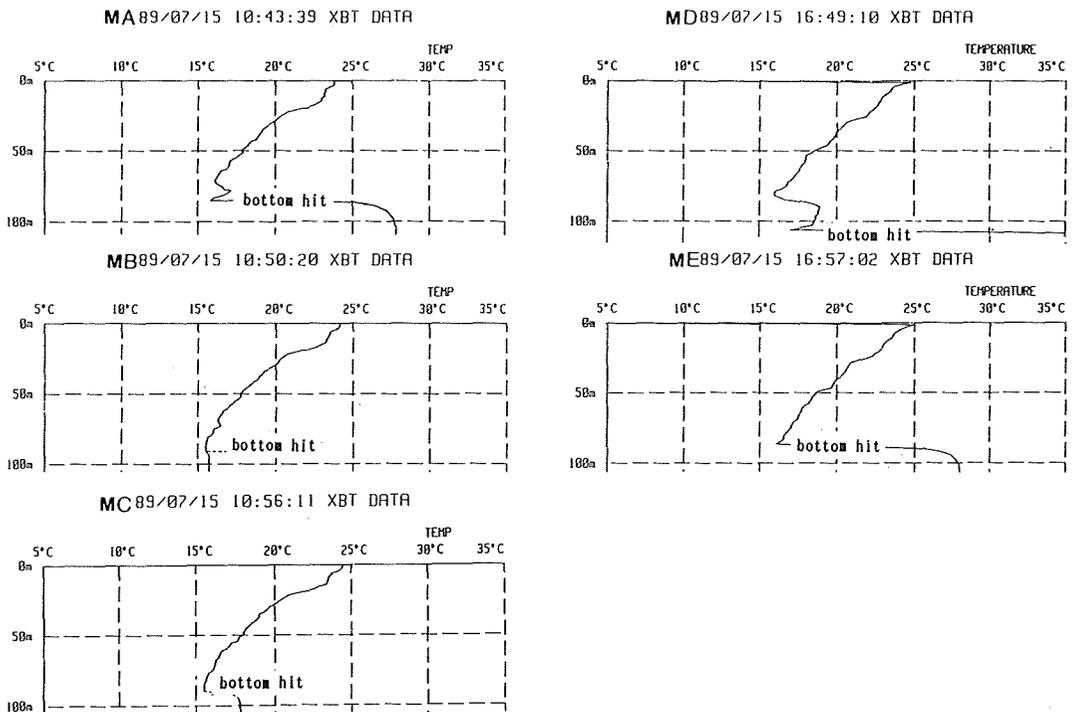


Figure 16. Vertical section of water temperature measured above the crater of Teisi Knoll, measured with XBT from unmanned automated survey craft "Manbou".

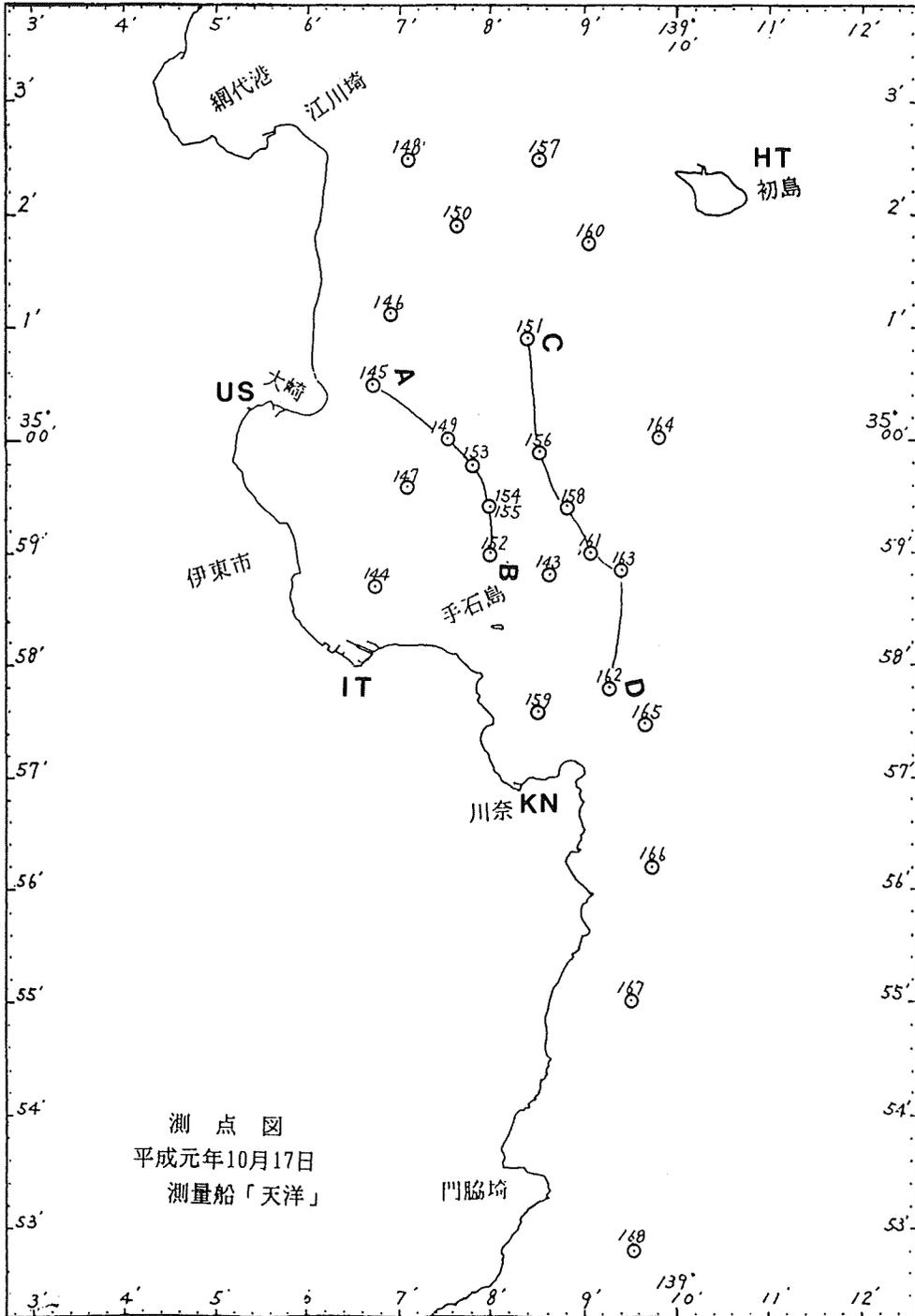


Figure 17 a. Location of Temperature measurement point with XBT, done by survey vessel "Tenyo" on October 17.

となっている。また第17c図では、温度分布がかなり複雑である。これらは海底地形、海潮流、火口から発生する気泡と熱水等が複雑に作用し合った結果と考えられる。なお、海底火山の活動では、気泡、変色水が近傍の海水を上昇させ、冷水域を形成する例も知られている。第17d-j図に、表面から水深90mまで10mないし25m毎の水温水平分布を示す。

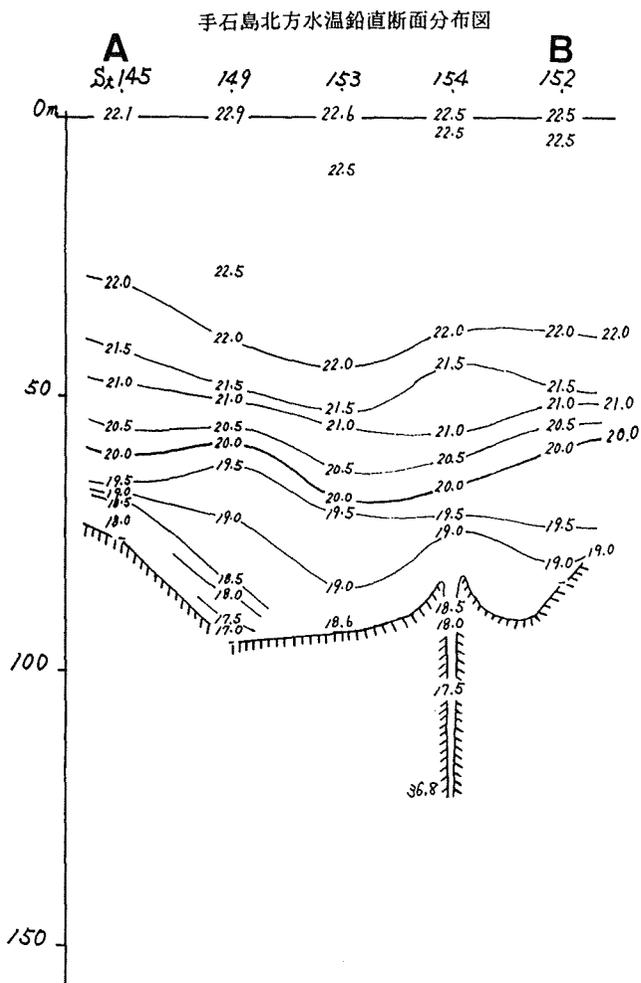


Figure 17 b. Vertical section of water temperature along a line A-B in Figure 17a

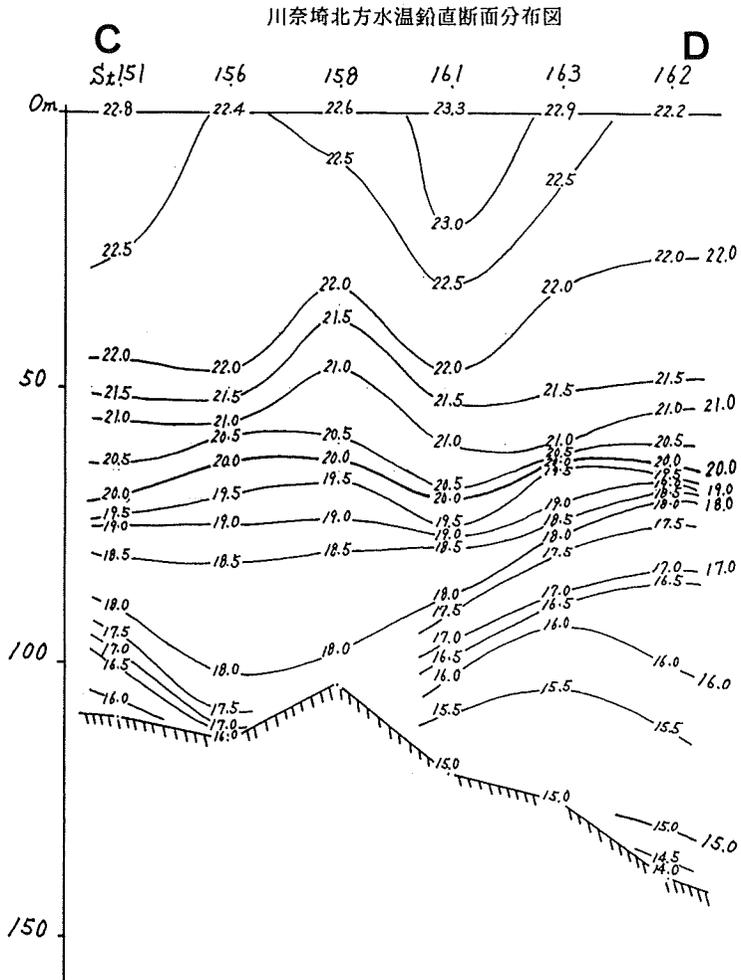


Figure 17c. Vertical section of water temperature along a line C-D in Figure 17a.

表面水温水平分布図 SURFACE (°C)

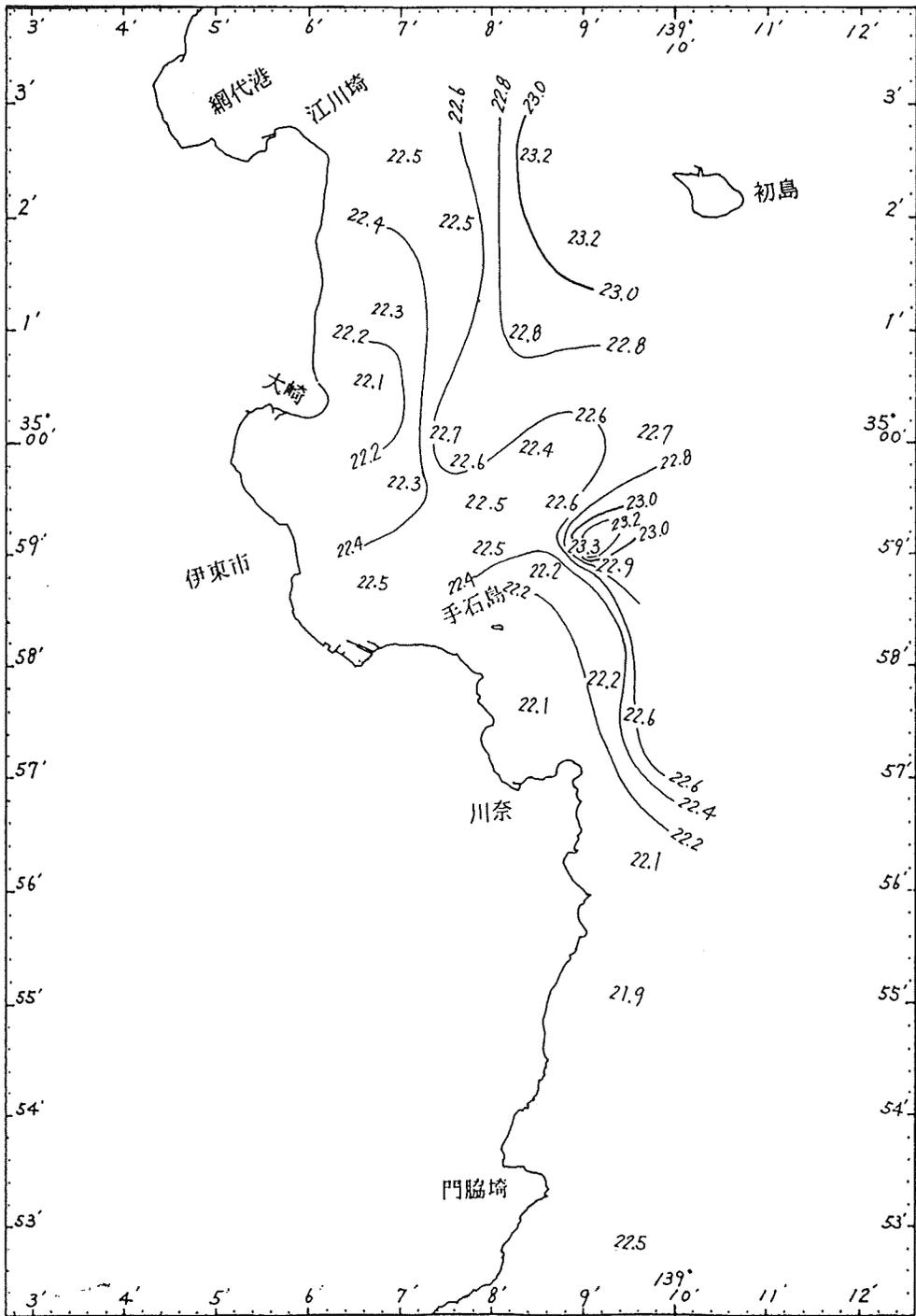


Figure 17d. Horizontal distribution of water temperature for the surface

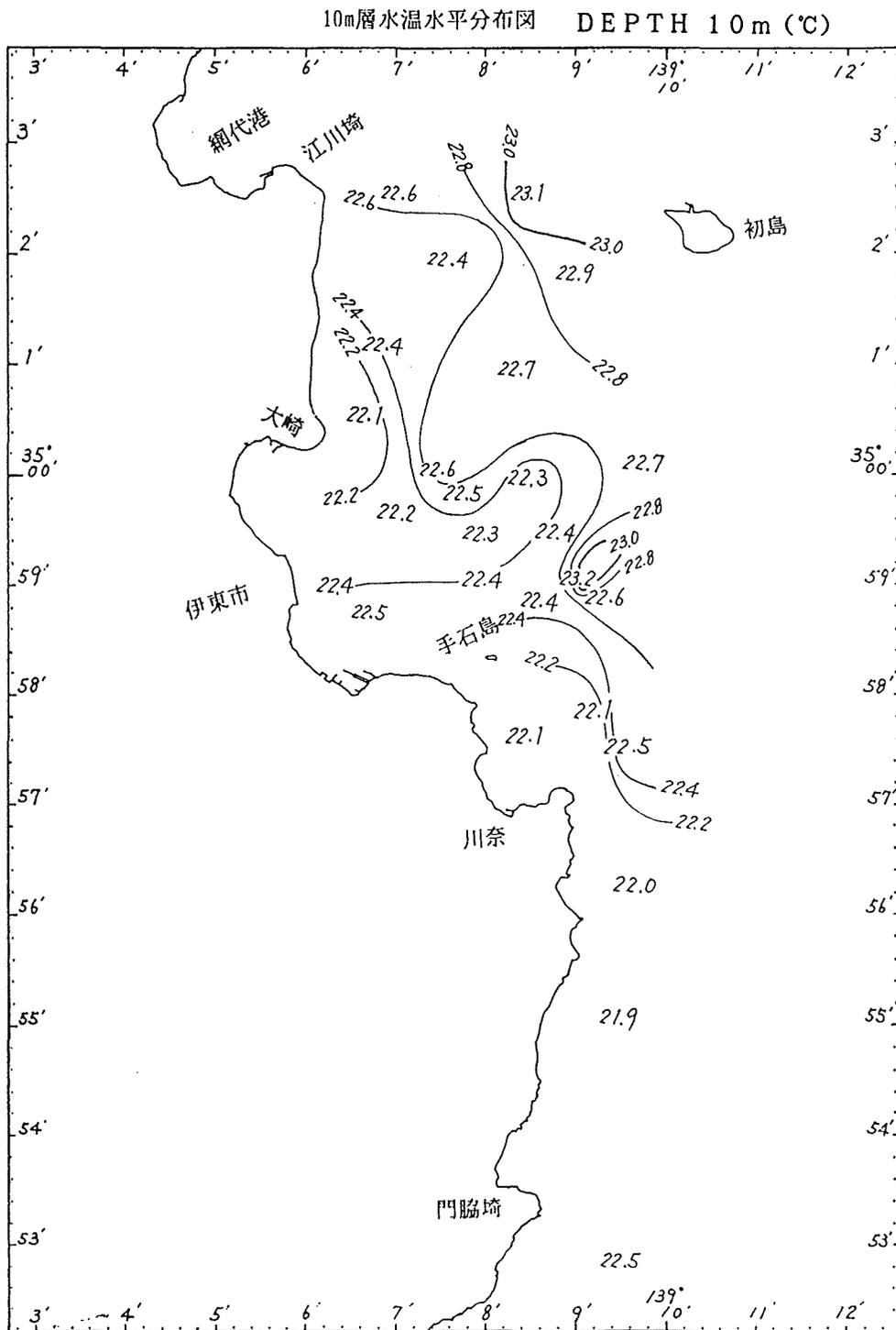


Figure 17 e. Horizontal distribution of water temperature for 10m deep.

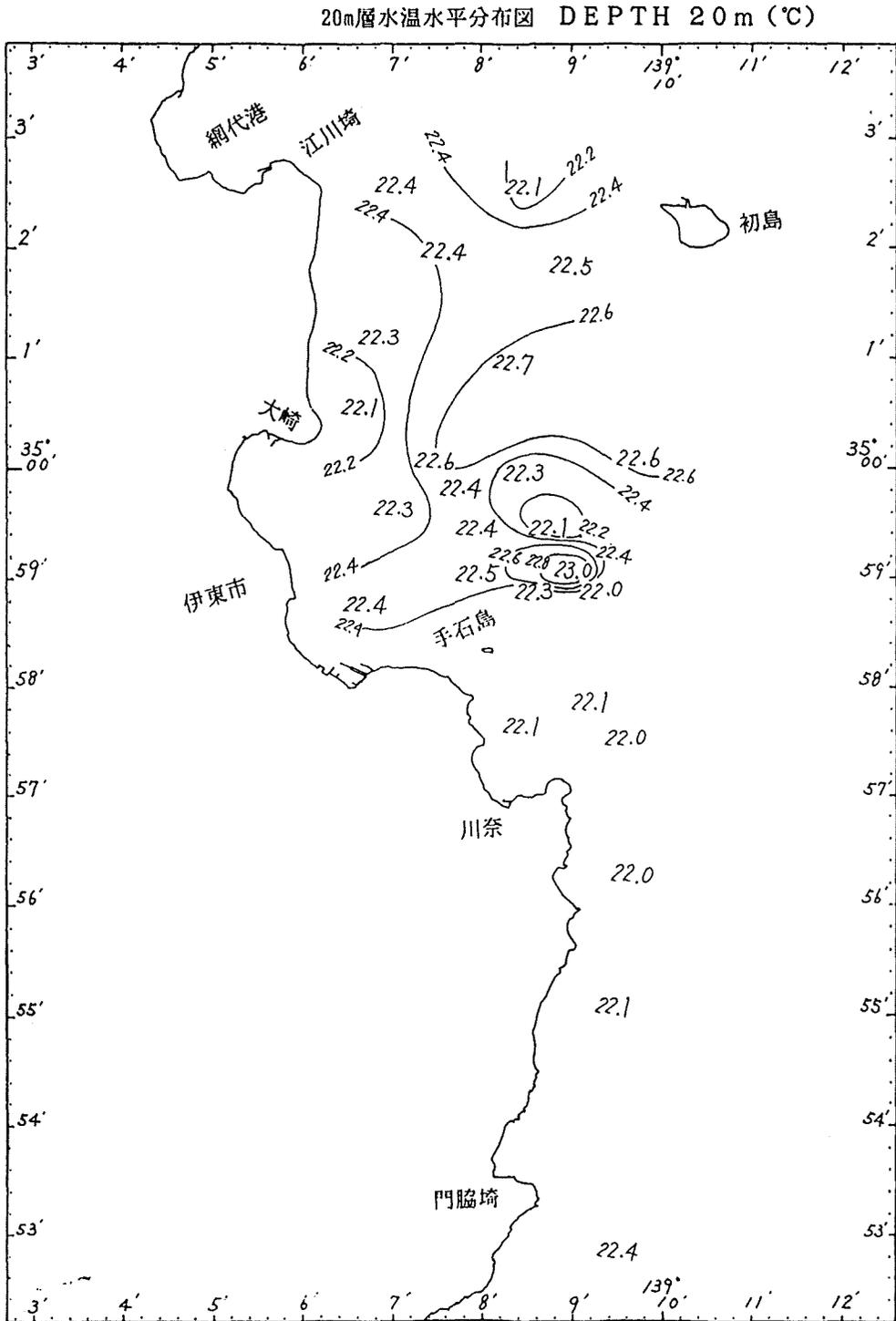


Figure 17 f. Horizontal distribution of water temperature for 20m deep.

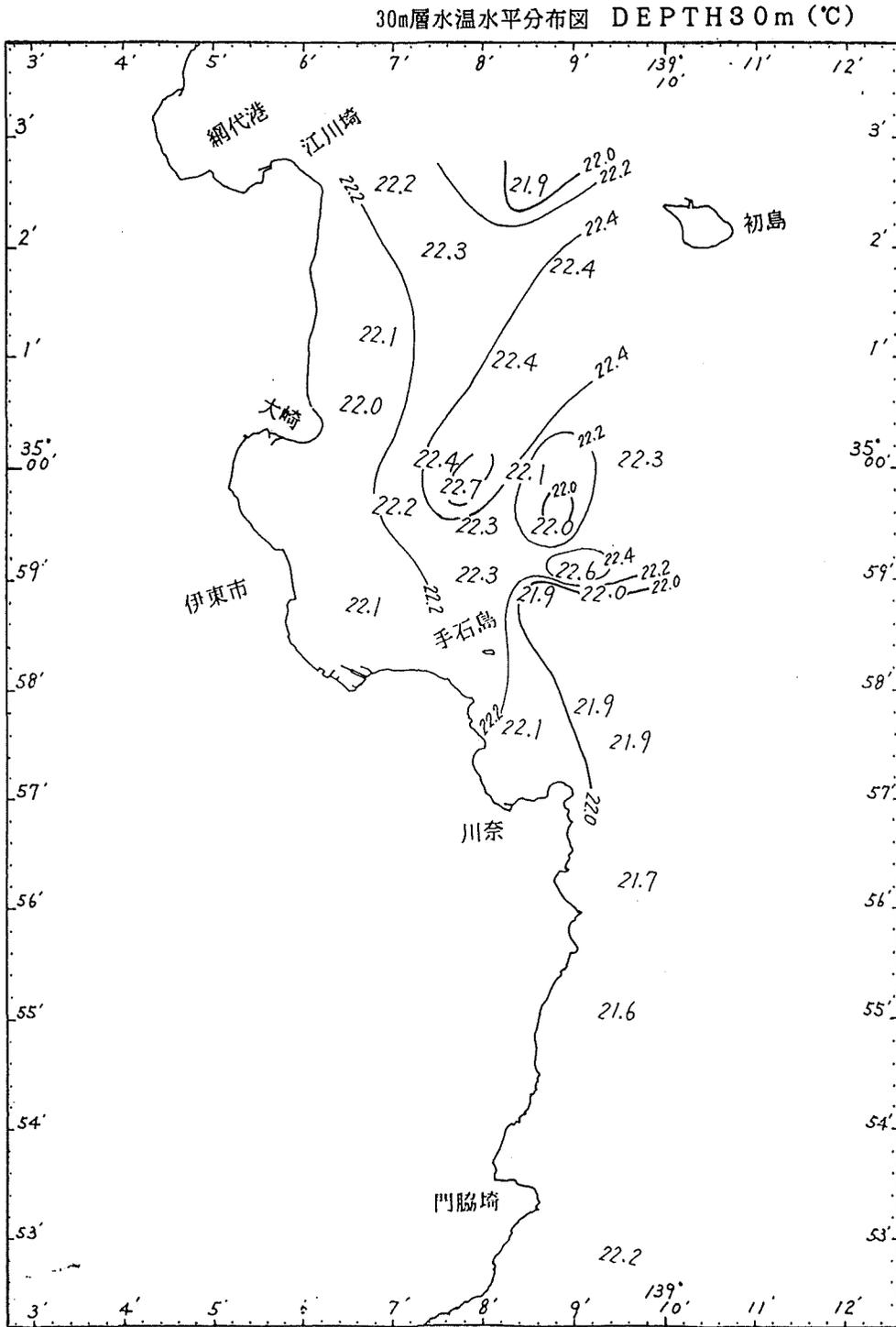


Figure 17 g. Horizontal distribution of water temperature for 30m deep.

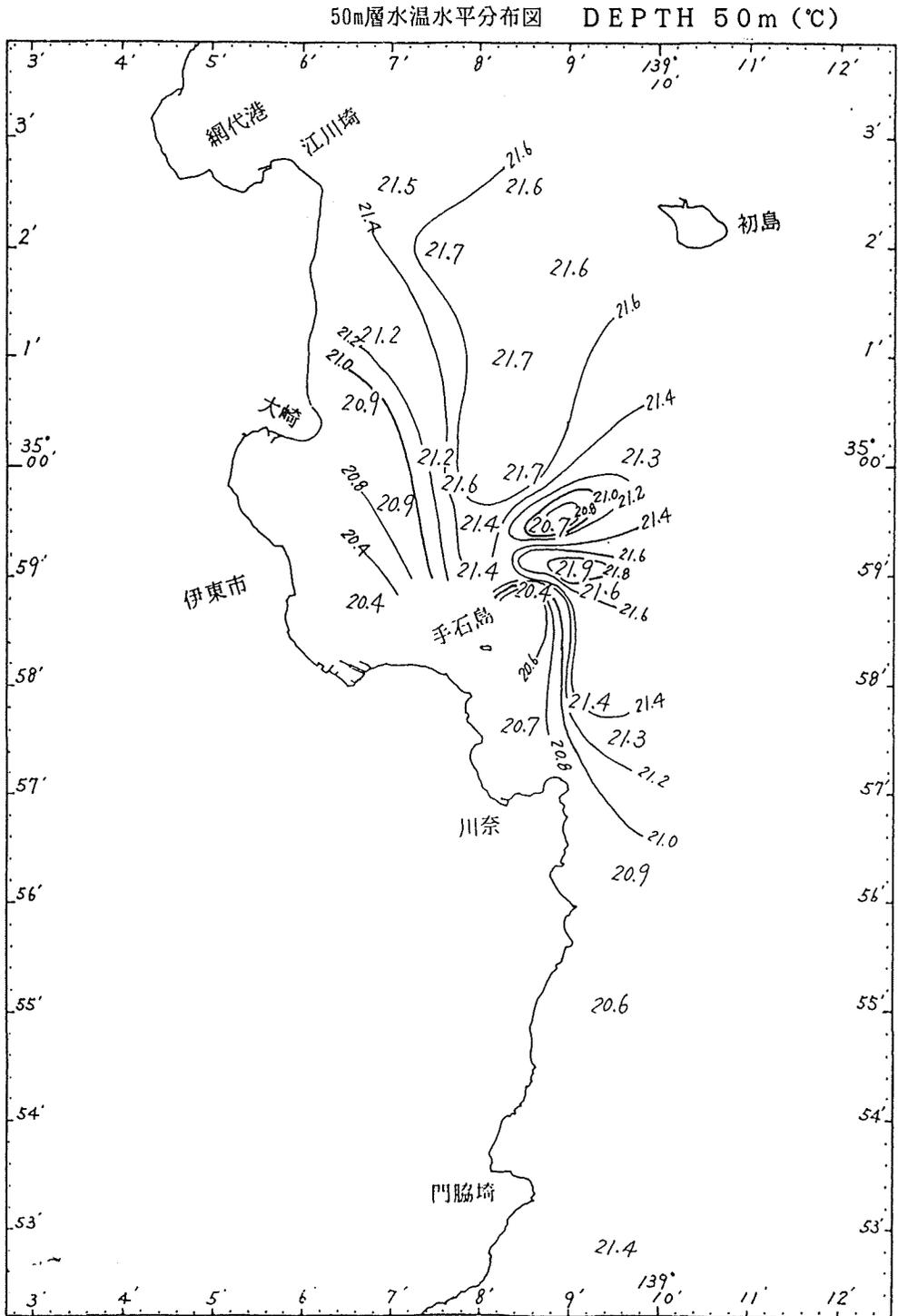


Figure 17h. Horizontal distribution of water temperature for 50m deep.

75m層水温水平分布図 DEPTH 75m (°C)

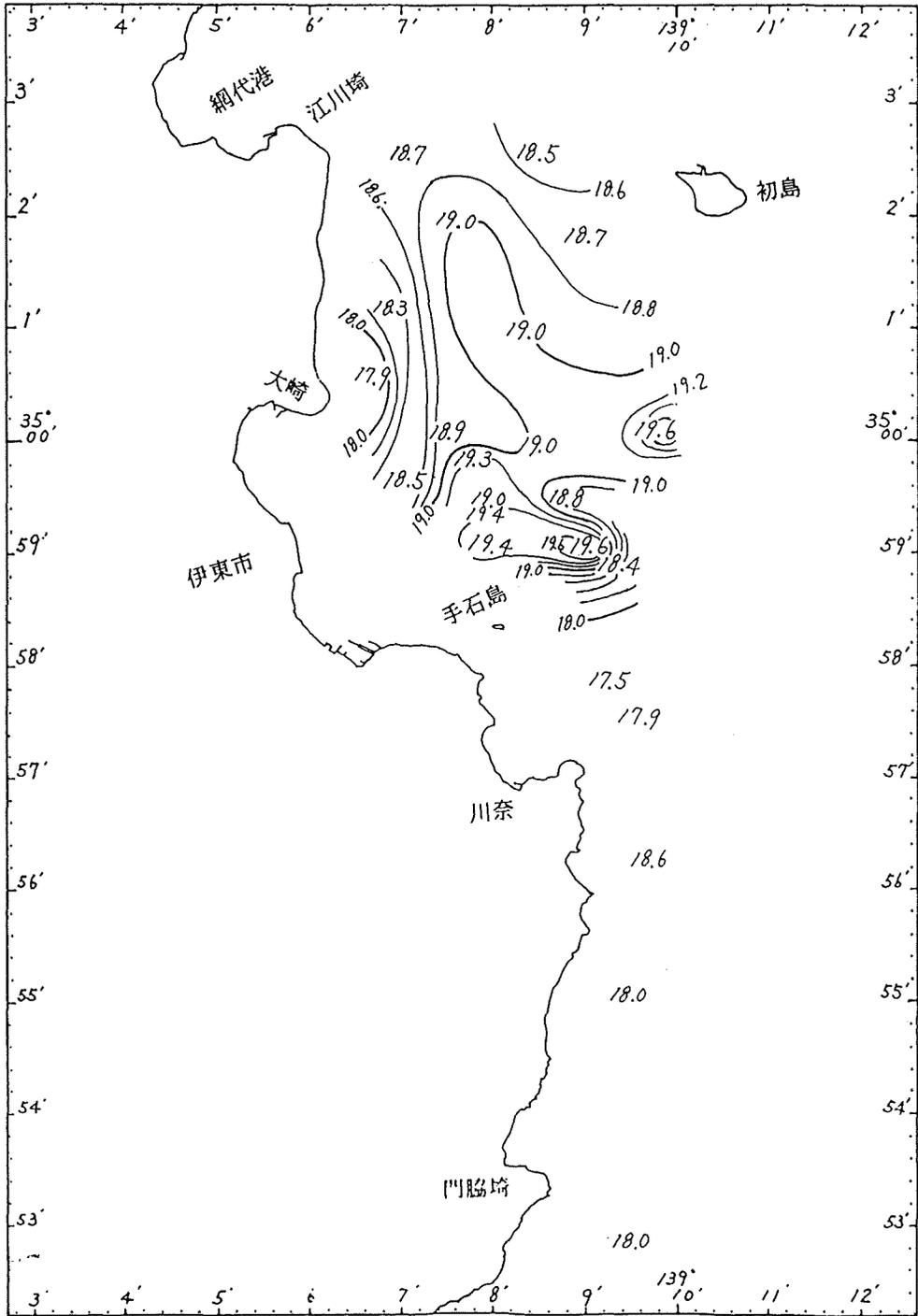


Figure 17 i. Horizontal distribution of water temperature for 75m deep.



## 5. 海潮流, 軽石の漂流経路

「拓洋」は7月13日に測深とともに超音波流速計(音波ログ)による流れの測定と海上風の測定を行った。そのデータによる流況推定図(恒流成分)を第18図に示す。次に、手石海丘から7月13日18時30分頃出発した漂流物(軽石)の漂流経路を推定した。推定は既存データによる潮流成分を加えた。風によって漂流物が移動させられる風圧流成分(V)の推定には

$$V = k \cdot \sqrt{A/B} \cdot W$$

の経験式を用い、漂流物の海面上と海面下の断面積比A/Bは1.0, 風圧係数kは風圧中心の低い物体の常用値0.0486, 海上風Wは「拓洋」の観測値を採用した。漂流物の漂流経路は風に対する偏角を0として風圧成分と海水の流れ(恒流+潮流)を合成して推定した。

第19図に軽石の漂流推定経路を示す。推定では7月14日早朝04時過ぎに伊東市の海岸(海水浴場付近)に到着することとなる。この結果は7月14日朝、伊東市の海水浴場付近で採集された「チョコボール」状の軽石が7月13日18時33分頃からの手石海丘の噴火で噴出した事を強く支持するものである。

1989年10月16~17日に「天洋」が超音波流速計で測定した結果を第20図に示す。網代より北では時計まわり、南では反時計まわりの流れが見られる。手石海丘付近の流れはたかだか0.2ノット(370m/h)である。次に手石海丘付近の流れを下げ潮の時間帯と上げ潮の時間帯に分けて整理し、第21図、第22図に示す。下げ潮では0.2~0.4ノットの南ないし南東向きの流れが卓越している。上げ潮では流速は0.1~0.2ノットと弱く、図の範囲では反時計まわりの流れが卓越する。

## 6. おわりに

伊豆半島東部では1989年12月現在、国土地理院の測量でこれまでより急速な隆起が認められている。本論では今後の噴火予知の参考となるよう、手石海丘噴火前後の調査結果を整理し、記載した。1989年10月16~17日の「天洋」による調査データについてはまだ解析中であり、ごく一部のデータを報告するにとどまった。変色水についてはいくつかの情報を得たが、顕著な変色水域は認められなかったもようである。この事は海底の複成火山が活発化して噴火する場合と異なっている。

本論は、測量船の「拓洋」, 「昭洋」, 「天洋」, 「明洋」の各船長以下乗組員諸氏の格段の御努力に負う所大であり、ここに明記して心より感謝いたします。また第三管区海上保安本部及び所属巡視船、航空機の絶大な御支援についても、関係の方々に感謝します。調査実施にあたり、情報提供をして頂いた気象庁地震火山部、東京大学地震研究所、東北大学理学部地震予知観測センターの方々にもお礼申し上げます。報道関係の方々からも情報を提供して頂きました。第三管区海上保安本部下田保安部には連絡調整等で御尽力頂きました。また、水路部長はじめ、多数の水路部職員の御支援を頂きました。関係の方々に心よりお礼申し上げます。

### 【水路部伊東沖地震火山調査班】

大島章一, 菊地真一, 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

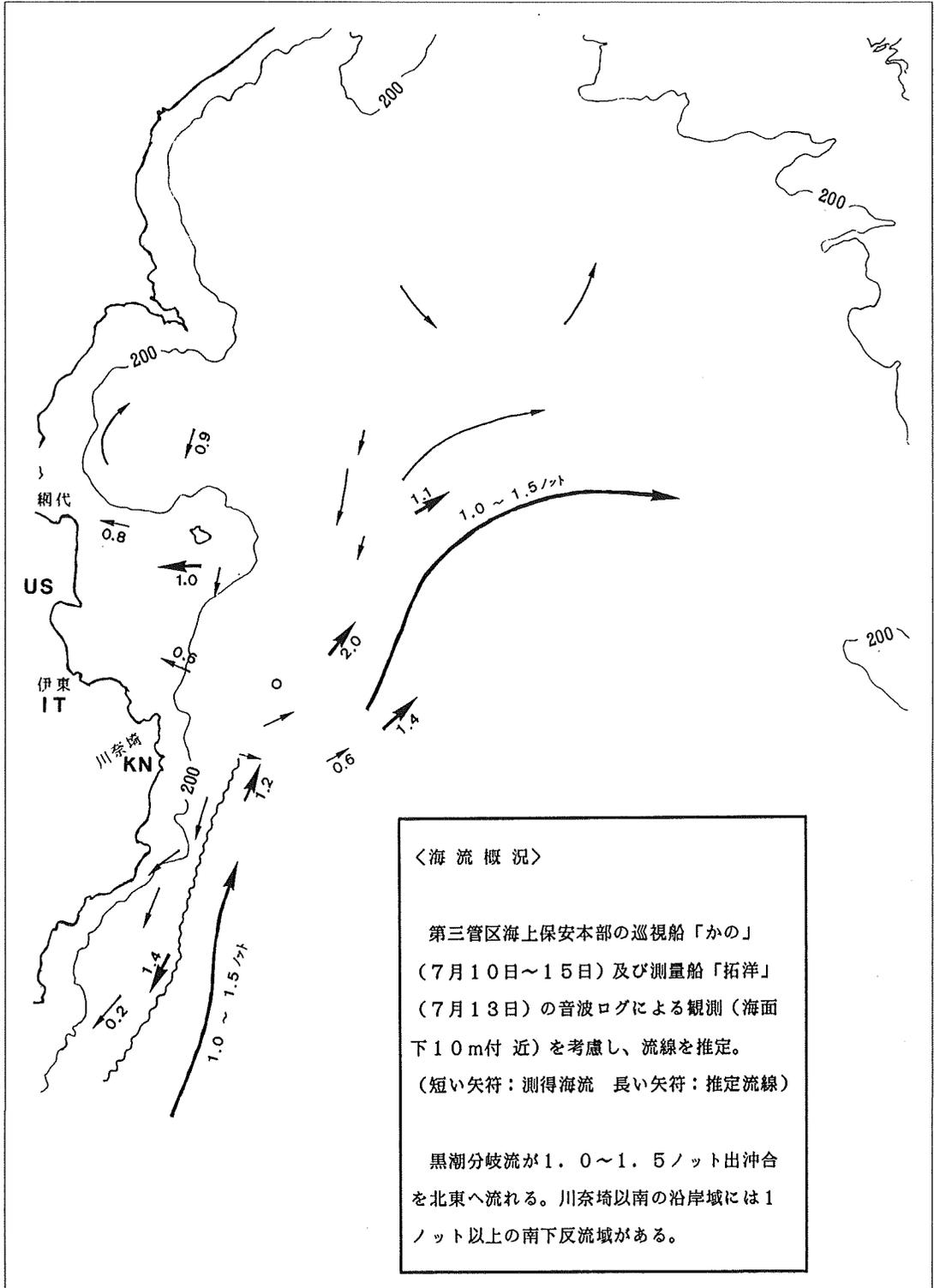


Figure 18. Current at the sea east of Izu Peninsula, deduced from observed data by Acoustic Doppler Current Profiler of patrol vessel "Kano" and survey vessel "Takuyo" during July 10 to 15, 1989.

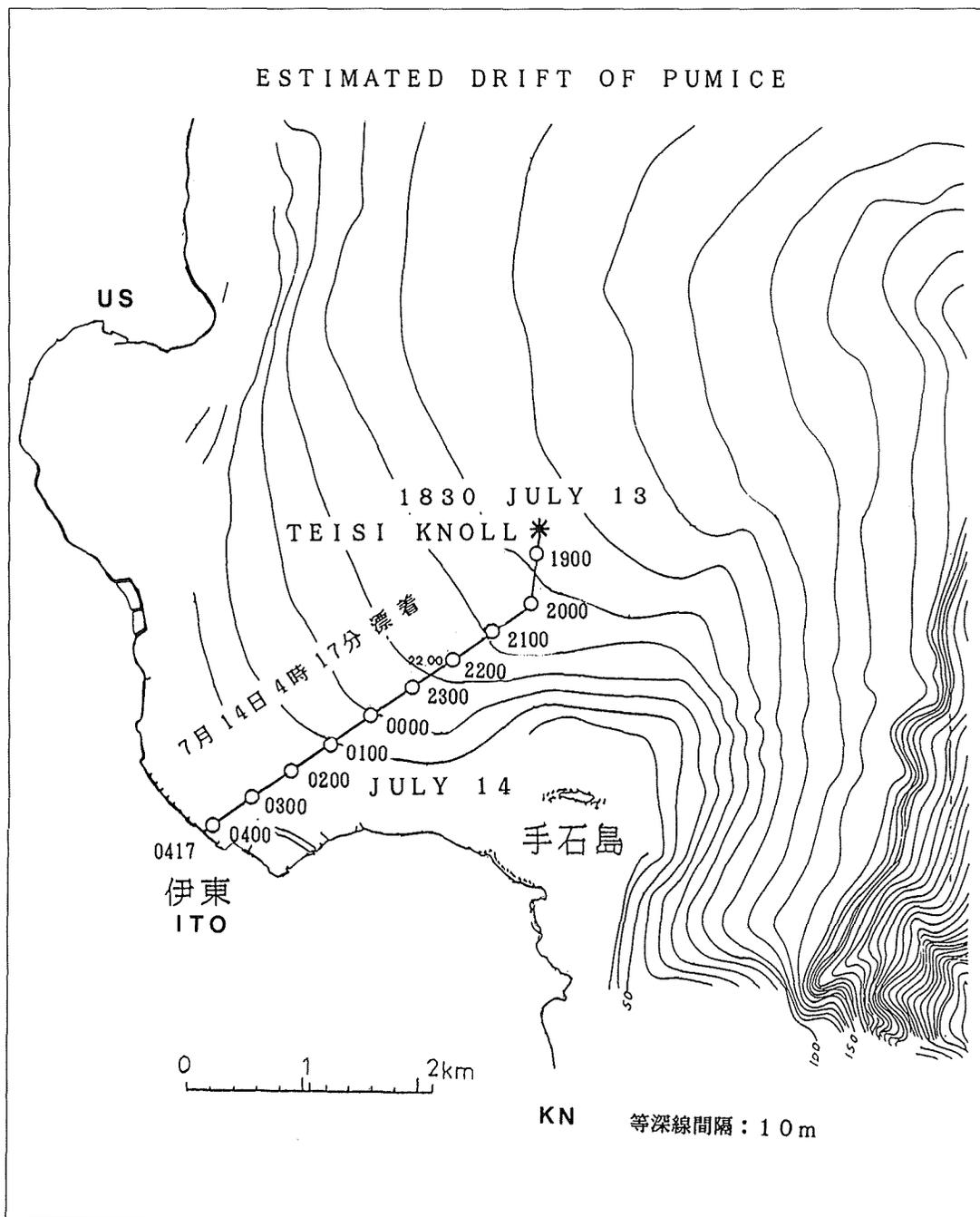


Figure 19. Estimated drift of pumice, starting from Teisi Knoll at 18<sup>h</sup>30<sup>m</sup> of July 13. Ocean current, tidal current and wind measured by "Takuyo" were taken into consideration. The result of estimation (arrive at the coast of downtown Ito City in the very early morning of July 14) coincides with the fact.

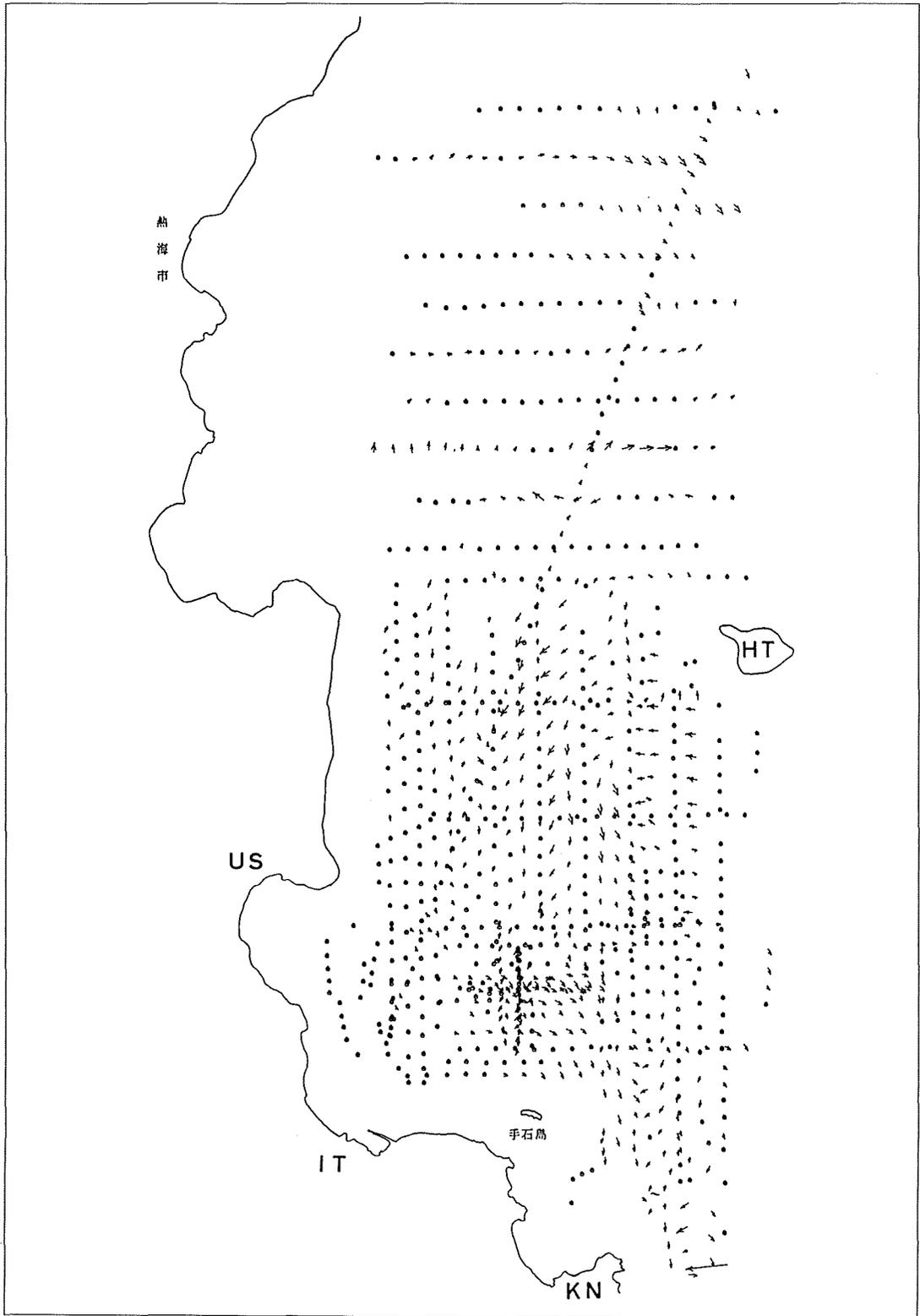


Figure 20. Observed current at the sea east of Izu Peninsula on July 16 and 17, measured by Acoustic Doppler Current Profiler of Survey Vessel "Tenyo".

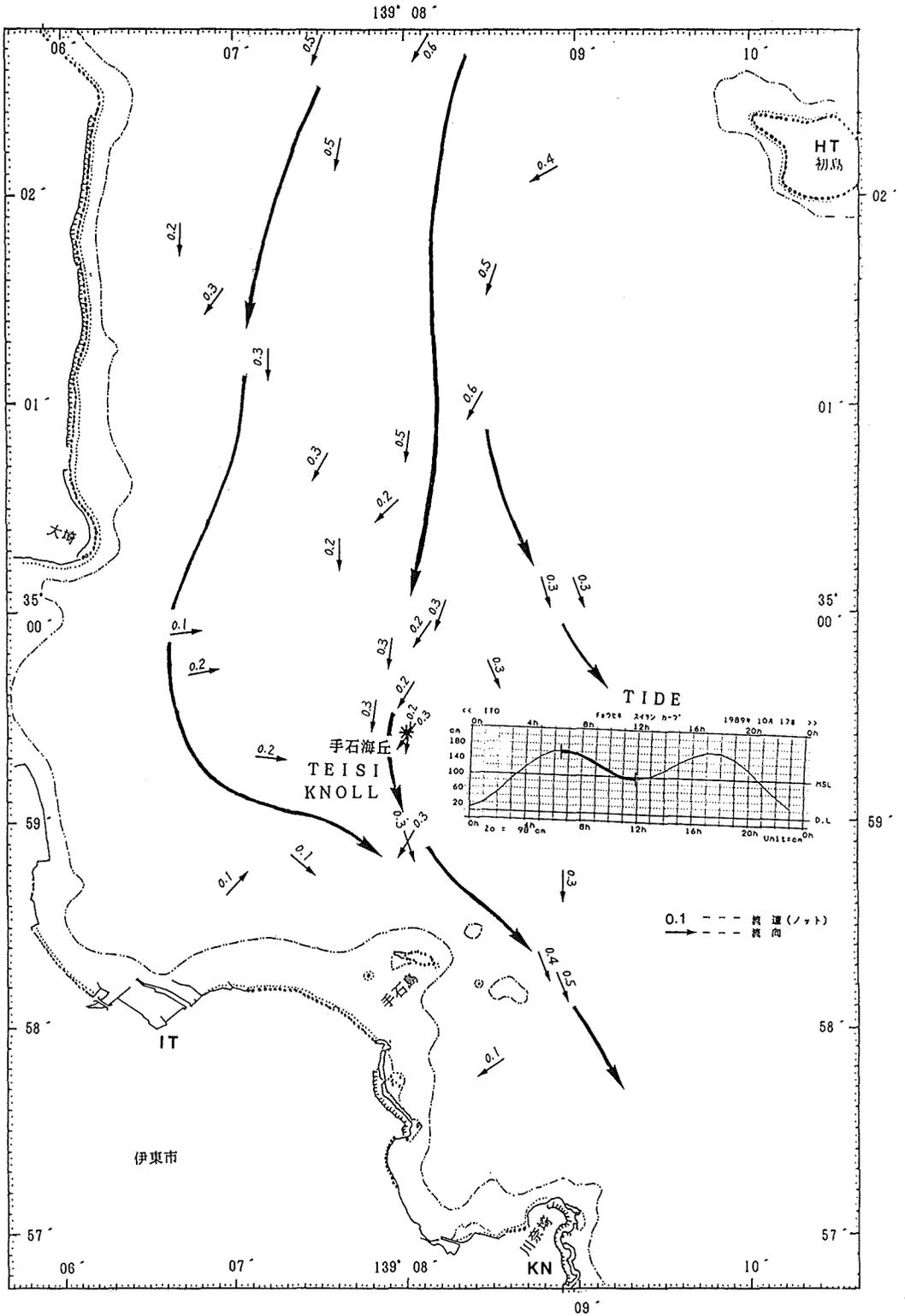


Figure 21. Current for the ebb tide at the sea east of Izu Peninsula.

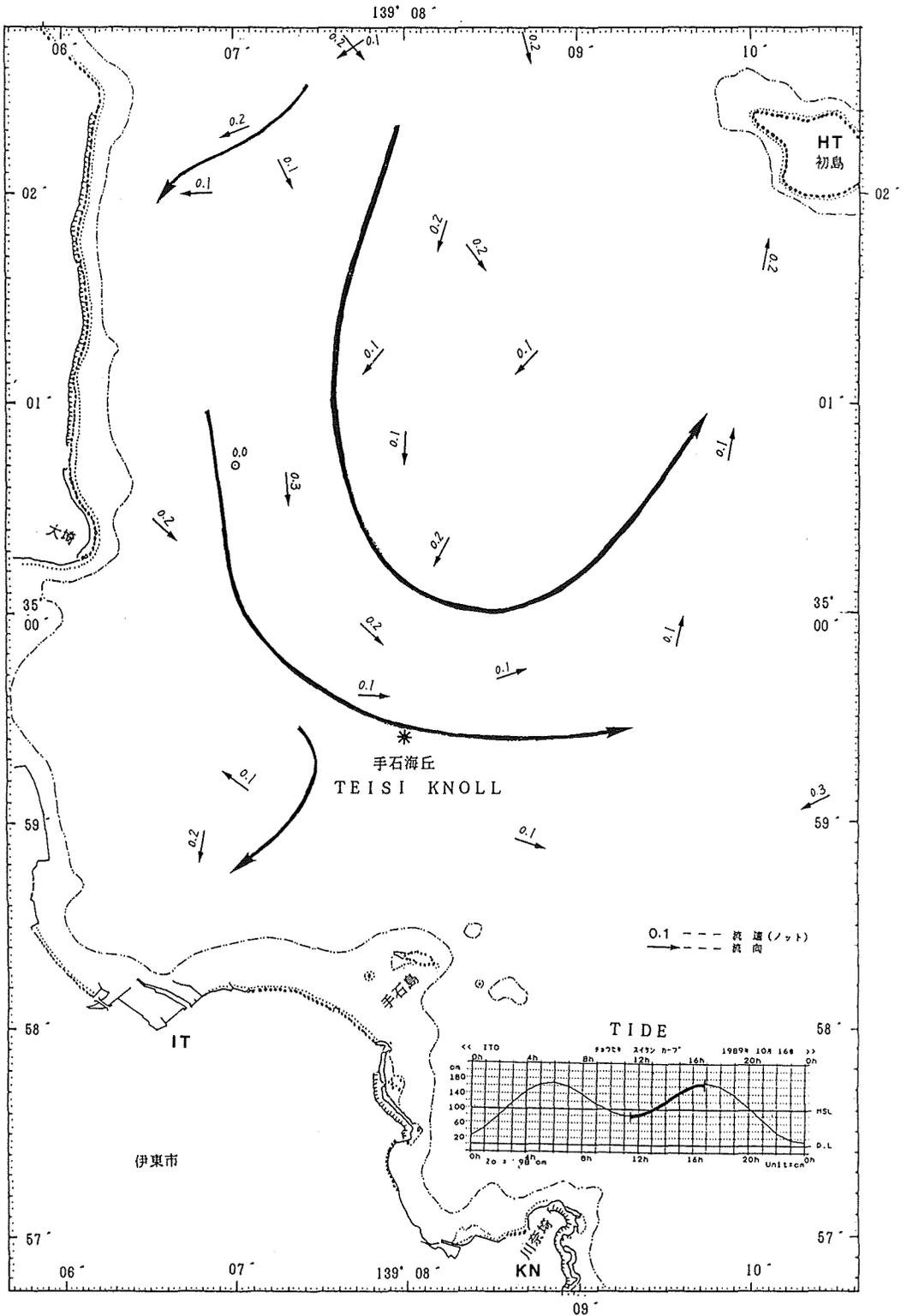


Figure 22. Current for the flood tide at the sea east of Izu Peninsula.

参 考 文 献

- 荒牧重雄・葉室和親 1977: 東伊豆単成火山群の地質, 地震研究所彙報, 52, p.235—278.
- 藤井敏嗣・荒牧重雄・金子隆之・川辺禎久・高橋正樹・中山芳美・平林順一・福岡孝昭 1989: 1989年伊豆半島東方沖海底火山の噴出物, 日本火山学会講演予稿集 (1989年度秋季大会)
- 葉室和親 1978: 大室山火山群の地質, 地質学雑誌, 84, p.433—444.
- 笠原順三・片尾浩・是沢定之・高橋正義・平田直 1989: 伊東沖海底地震計による1989年伊東沖海底噴火連続モニター, 地震学会講演予稿集 (1989年度秋季大会)
- 気象庁 1984: 日本活火山総覧
- 工藤一嘉・坂上実・宮崎務・沢田宗久・大島章一 1989: 手石海丘で発生した海底噴火の震動, 地震学会講演予稿集 (1989年度秋季大会)
- Kuno, H. 1954: Geology and Petrology of Ōmuro-yama Volcano Group, North Izu, J. Faculty of Science Univ. of Tokyo, Section II, vol. 9 Part II, p.241—265.
- 溝上恵・中村功・荻野泉・飯高隆 1989a: 伊豆半島東部における地殻深部反射波SxP, SxS波の検出, 地震学会講演予稿集 (1989年度秋季大会)
- 溝上恵・横田崇・千葉平八郎・荻原弘子・荻野泉・飯高隆・中村功・松森敏幸 1989b: 1989年7月伊豆東方沖群発地震におけるマグマ貫入による震源移動について, 地震学会講演予稿集 (1989年度秋季大会)
- 溝上恵・横田崇・中村功・吉田満・荻野泉・飯高隆・加藤孝志 1989c: 1989年7月伊豆東方沖群発地震のバースト活動の特性について, 地震学会講演予稿集 (1989年度秋季大会)
- 茂木清夫 1989: 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.
- Nasu, N., F. Kishinouye, T. Kodaira 1931: Recent seismic activities in the Idu Peninsula (Part 1), Bull. Earthq. Res. Inst., 9, p. 22—35.
- 岡田義光・山本英二 1989: 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)
- 岡元太郎・島崎邦彦・工藤一嘉・坂上実 1989: 1989年7月11~13日に伊東市で観測された微動のシミュレーション, 地震学会講演予稿集 (1989年度秋季大会)
- 曾屋龍典・宇都浩三・山元孝広・須藤茂・富樫茂子・中野俊・阪口圭一・吉川清志・水野清秀・高田亮・小野晃司 1989: 1989年7月の伊豆半島東方沖海底火山噴火と噴出物, 地質ニュース, 422, p. 14—26.
- 多田堯・橋本学 1989a: 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)
- 多田堯・橋本学 1989b: 伊豆半島北東部の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)
- 多田堯・橋本学 1989c: 伊豆半島北東部の異常地殻変動の原因について(4), 地震学会講演予稿集 (1989年度秋季大会)
- 恒石幸正 1989: 1989年伊豆半島東方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)
- 植木貞人・森田裕一・堀田茂木・西村太志・田中聡・橋本恵一・浜口博之 1989: 1989年伊東沖海底噴火直後の微小地震の精密震源分布, 地震学会講演予稿集 (1989年度秋季大会)
- 吉井敏尅・工藤一嘉・坂上実 1989: 地殻構造からみた手石海丘の噴火, 地震学会講演予稿集 (1989年度秋季大会)