

## 雲仙岳噴火に伴う橘湾・島原湾の海底調査 †

水路部橘湾・島原湾海底調査班\*

### Seabottom survey of Tatibana and Simabara Bays urged by the eruption of Unzen volcano northwestern part of Kyusyu. †

Hydrographic Department Survey Team of Tatibana and Simabara Bays\*

#### Abstract

Mt. Unzen, which is located northwestern part of Kyusyu, erupted in November 1990 after about 200-years silence. The volcanic activity gradually became active. On June 3, 1991, apyroclastic flow ran down the flank of the Unzen mountain, to burn out houses, farms and automobiles, and more than 40 lives were lost at that time.

In order to reveal the detailed geophysical and geological characteristics at Tatibana and Simabara Bays located right off Unzen volcano, Japan Hydrographic Department conducted seabottom survey, including echo sounding, 1000 joule sparker reflection profiling, geomagnetic survey and sea surface gravity survey, with Survey Vessle *Meiyo* in June 1991. Seaward elongation of the Futsu Fault, which is the southern margin of the Unzen-Simabara graben, was recognized in Simabara Bay which is located east of Unzen volcano. On the other hand, a negative free air gravity anomaly, which supports existence of a buried caldera, was observed in Tatibana Bay which is located west of Unzen volcano. Complex geomagnetic anomalies were also observed in the bay. The depth of the magnetic basement, which is estimated by spectrum analysis of magnetic anomaly in Tatibana Bay, becomes about 560 meters below sealevel.

#### 1. はじめに

雲仙普賢岳は1990年11月から約200年ぶりの噴火を開始し、その後も1991年6月には大規模な火砕流により大きな被害をもたらすなど、活発な火山活動を続けている。

雲仙岳は九州北部を走る別府-島原地溝帯の西端に位置する活動的な火山である。海上保安庁水路部では、雲仙普賢岳の噴火活動の活発化にともない、別府-島原地溝帯の海域延長部分である島原半島を挟む橘湾と島原湾の海底地形、地質構造、地磁気、重力等の総合的な海底調査を1991年6月に水路部の測量船「明洋」により実施した。調査データは早急にまとめられ、詳細な海底地形図、地質構造図、地磁気異常図、重力異常図等が作成された。

この報告は、この調査によって明らかになった橘湾、島原湾の地形、地質、地球物理学的特徴について述べるとともに若干の考察を試みたものである。

† Received 15th November 1991

## 2. 雲仙火山と橘湾・島原湾

## (1) 調査の目的

今回の調査は、雲仙火山と一連の地質構造帯にある島原湾、橘湾の地質構造を明らかにし、これによって雲仙火山の地学的な理解を深めるとともに噴火のメカニズムの解明に資することを目的とした。また、噴火活動の活発な状況下で水路部が海域調査を実施したのは次の理由である。

島原半島を横切る地溝は九州を横断する地溝（別府-島原地溝帯）の一部をなすものであり、雲仙火山はこの地溝帯内に位置し、地溝は東の島原湾、西の橘湾に連続していると考えられている(図1, 2)。従って雲仙火山を理解する上で別府-島原地溝帯の構造を明らかにすることは基本的なことと考えられる。

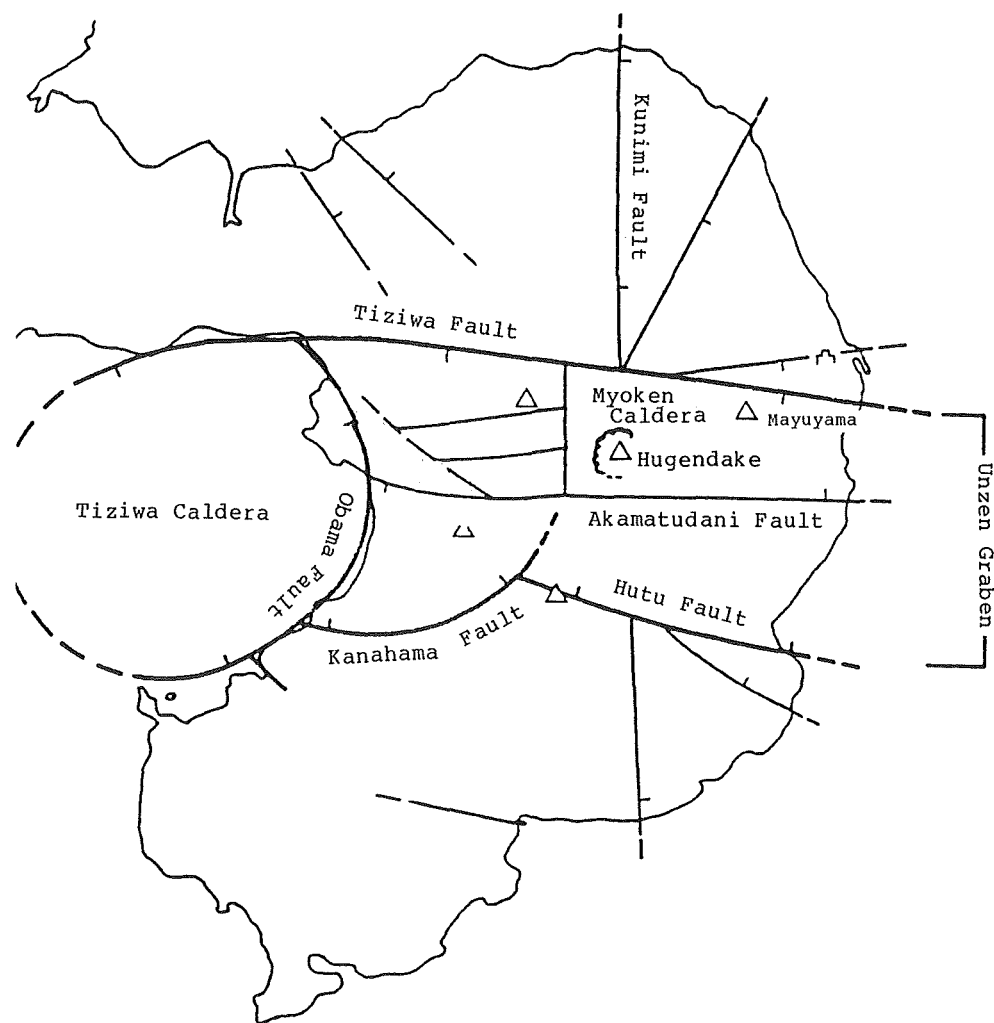


Figure 1 Geological structure framework of Unzen volcano, after Ota(1987).

第2に、雲仙火山付近ではこれまでも群発地震活動が橘湾を中心に発生していた(松尾, 1985)。今回の雲仙普賢岳の噴火活動に先立ち、1989年11月に橘湾で群発地震が発生している。雲仙岳の火山活動と橘湾の群発地震は関連が深く、群発地震が噴火活動を誘発するか、逆に火山活動が地震を誘発することが推定されている(太田, 1987)。従って、橘湾の内部構造を明らかにすることは、雲仙火山の活動のメカニズムを解明

するための一つの鍵となると考えられる。

以上のような理由で、島原半島を挟む橘湾、島原湾について緊急の海底調査を実施したものである。今回の調査海域を図3に示す。

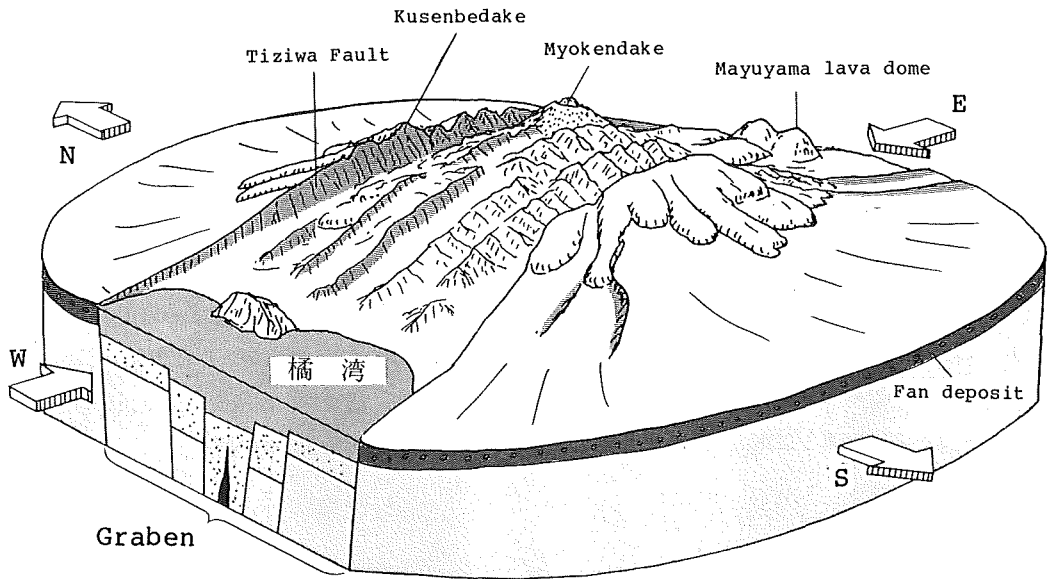


Figure 2 Schematic diagram of the Unzen volcano located in the collapse graben, after Nakamura et al. (1987). Arrows show the directions of stress in the earth crust.

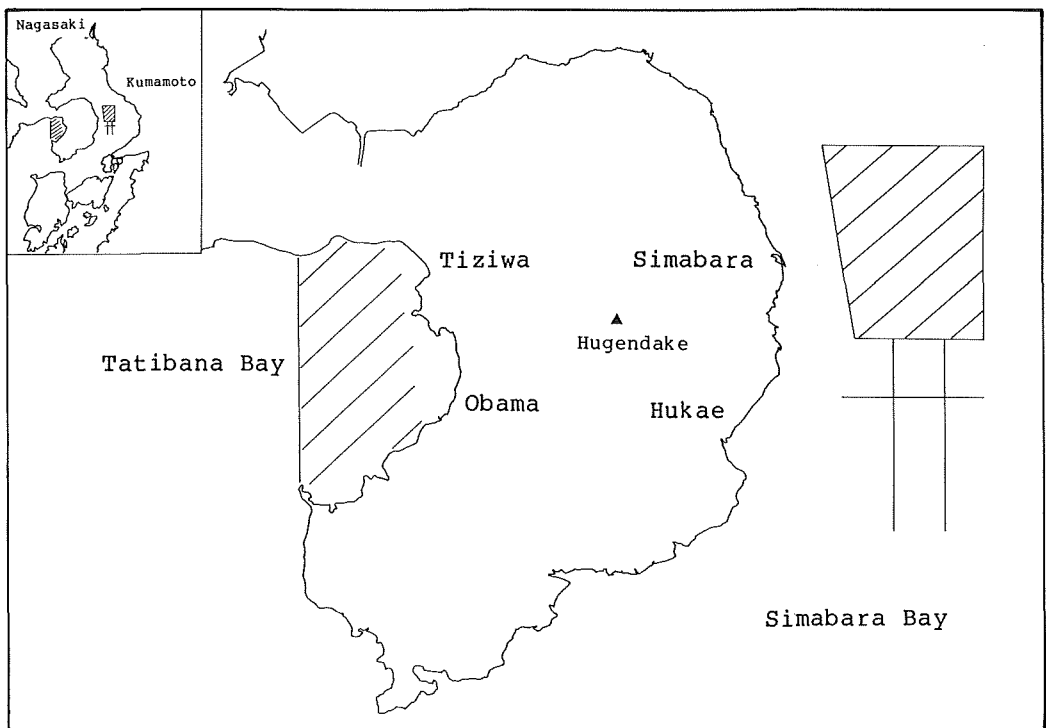


Figure 3 Surveyed area.

## (2) 橘湾の概要

橘湾は南西に開口する円形の湾でその中央部は水深40mの極めて平坦な地形を示す。橘湾は構造的にみると雲仙地溝の西端にあたり、また、沖縄トラフから男女海盆にいたるリフト構造帯の北方延長部に位置する。構造的に重要な会合点に当たるものの、地形は極めて単調である。北部海域ではこれまで何度か音波探査がなされている（海上保安庁水路部，1977,1978,1979,）。しかし広く音波散乱層が分布し、その構造は不明である。

橘湾は、地形的な特徴、地震現象及び温泉現象からカルデラであると推定され（大田,1973）、海底下10から20km深さの群発地震が頻発するところである（松尾,1985）。

## (3) 島原湾の概要

雲仙火山に面する島原湾中央部は水深30から40mの平坦面が広がる（海上保安庁水路部,1959）。布津断層沖合いに顕著な海底断層崖が存在し（国土地理院,1982）、また、1792年の島原大変による眉山崩壊物によって生じた島原港外の九十九島周辺の複雑な地形などが特徴ある地形である。島原湾の長軸は南北にのびるが、これと平行する構造線や沈降帯はほとんど考えられず（鎌田,1985）、構造的には別府-島原地溝帯が東西に湾を横断している。写真1に東方からみた島原湾と雲仙火山の地形三次元表示を示す。

## 3. 調査方法及び資料整理

調査は主に、浅海音響測深機 (DESO) 及びナローマルチビーム測深機 (シービーム2000) による海底地形、地層探査装置 (スパーカー) による海底地質構造、曳航式プロトン磁力計による地磁気、海上重力計による重力について行った。調査測線は、橘湾、島原湾とも主測線を南北方向0.2海里間隔とし、東西方向1海里間隔の交差測線を設けた。ただし、島原湾では、スパーカーによる調査を0.4海里間隔とし、その間をサイドスキャンソナーによる測線とした。スパーカーによる測線のうち2本は南に延ばし、交差測線を1本追加した (図3)。海底地形は、デジタル測深値に潮高改正、音速度補正を行って求めた実水深によった。実水深は31m未満は0.1m単位、以深は1m単位とした。

海底地質構造は、スパーカーのアナログ記録によった。スパーカーの出力は1000ジュール、発音間隔は5sec、記録周波数帯域は80~500Hzである。解析は、アナログ記録を写真複写し、方向を揃えた各測線の記録上で、音響的層相、地層の変位、変形の違いなどをてがかりとして、地層区分、分布、断層、褶曲等について行った。

地磁気は、20sec間隔で収録した全磁力データーによった。検出器のケーブル長は船尾から150mとしたので、資料整理の際にこの補正を行った。外部磁場の変化は鹿屋観測所 (気象庁) の資料を用い、化成年1991.4年、基準値は46,173nTとして補正した。地磁気異常計算に用いた標準磁場は、IGRF1985モデルで、このモデルから計算される全磁力値との差を地磁気異常値とした。

重力は、5sec間隔で収録したデーターによった。データーは予定の全測線のほか、区域外でも可能な限り収録した。データーの処理は、1967年測地基準系を使用し、重力基準値にはJGSN75系の東京の専用岸壁値979770.36Galを使用した。これからドリフト、エトベス各補正計算を行い、フリーエア重力異常を求めた。主測線と交差測線との平均較差は、島原湾で1.3mGal、橘湾で1.4mGalである。

## 4. 調査結果

### (1) 海底地形

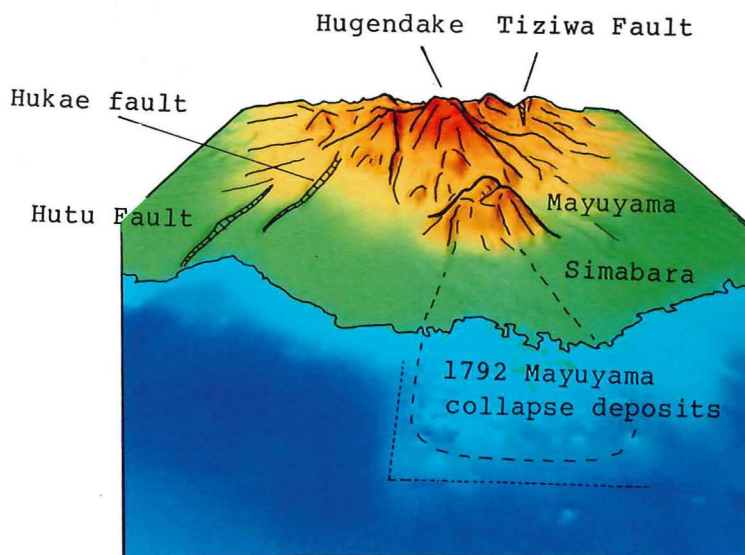


Photo 1. 3-dimensional view map of Simabara Bay and Unzen volcano. Step which is shown in dotted line means the boundary of the difference of sounding density. Land topography data courtesy of the Geographical Survey Institute of Japan.

橘湾及び島原湾の海底地形図をそれぞれ図4と5に示す。海底地形図は、今回の測量資料のほか、隣接部は、海図等の既存資料を加えて調製した。等深線は、今回の調査区域では1m、隣接部は5m間隔とした。

(イ) 橘湾

海域の地形は、ほぼ半楕円に近い凹地で海岸線を除いて単調である。区域内の最深部は南西部にあって、

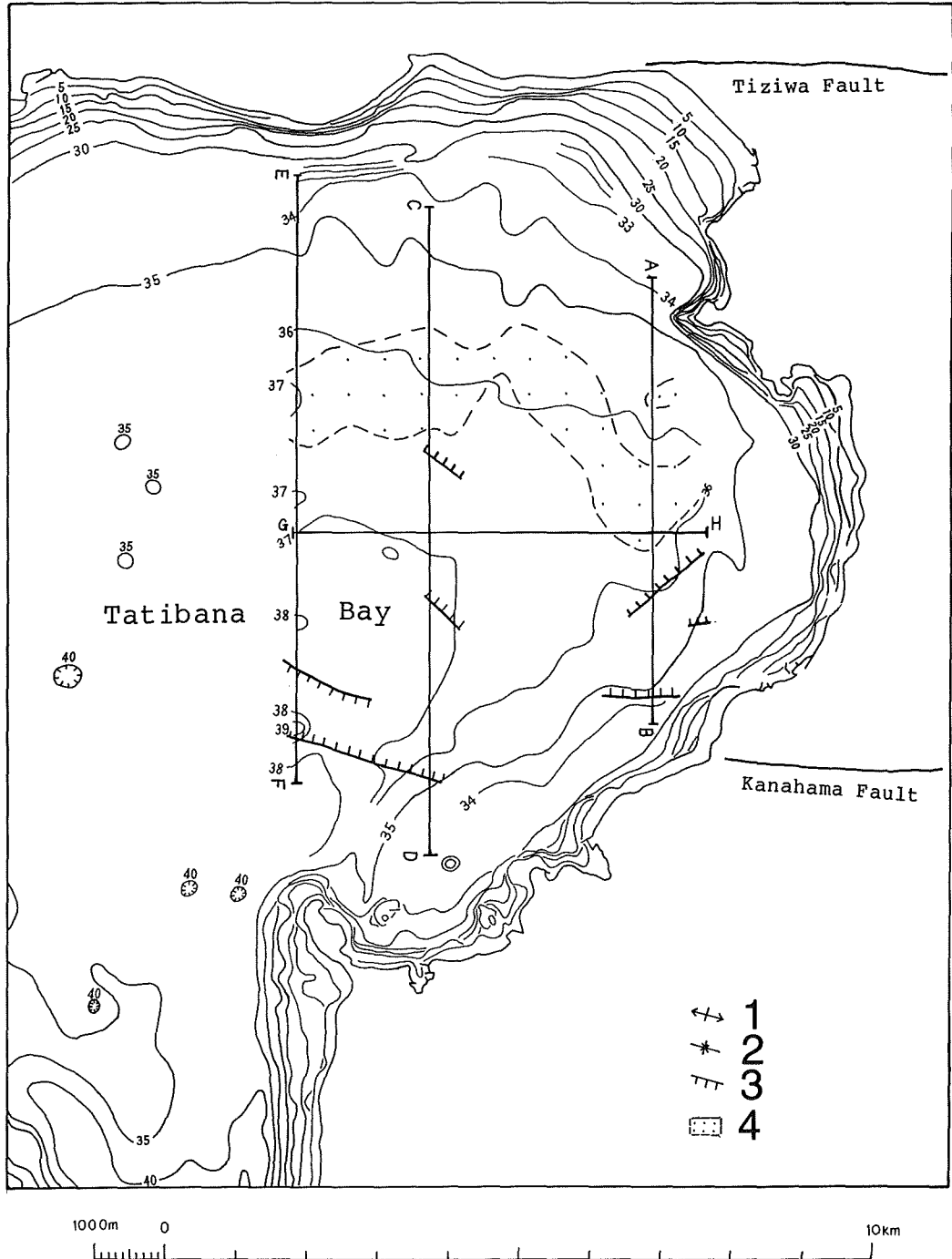


Figure 4 Bathymetry and geological structure of Tatibana Bay. 1:Anticline, 2:Syncline, 3:Fault, 4: Sonic scattered layer.

その水深はほぼ40mである(図4)。深さは湾奥より南西部の凹みの方向に次第に増している。地形の傾斜は、水深30m付近の傾斜変換点を境にして、陸側では20/1000~80/1000, それより以深では1/1000~2/1000と極めて平坦となる。区域最北部の海岸線は、千々石断層の西方延長部にあたり、等深線も東西方向の走行を示す。

(ロ) 島原湾

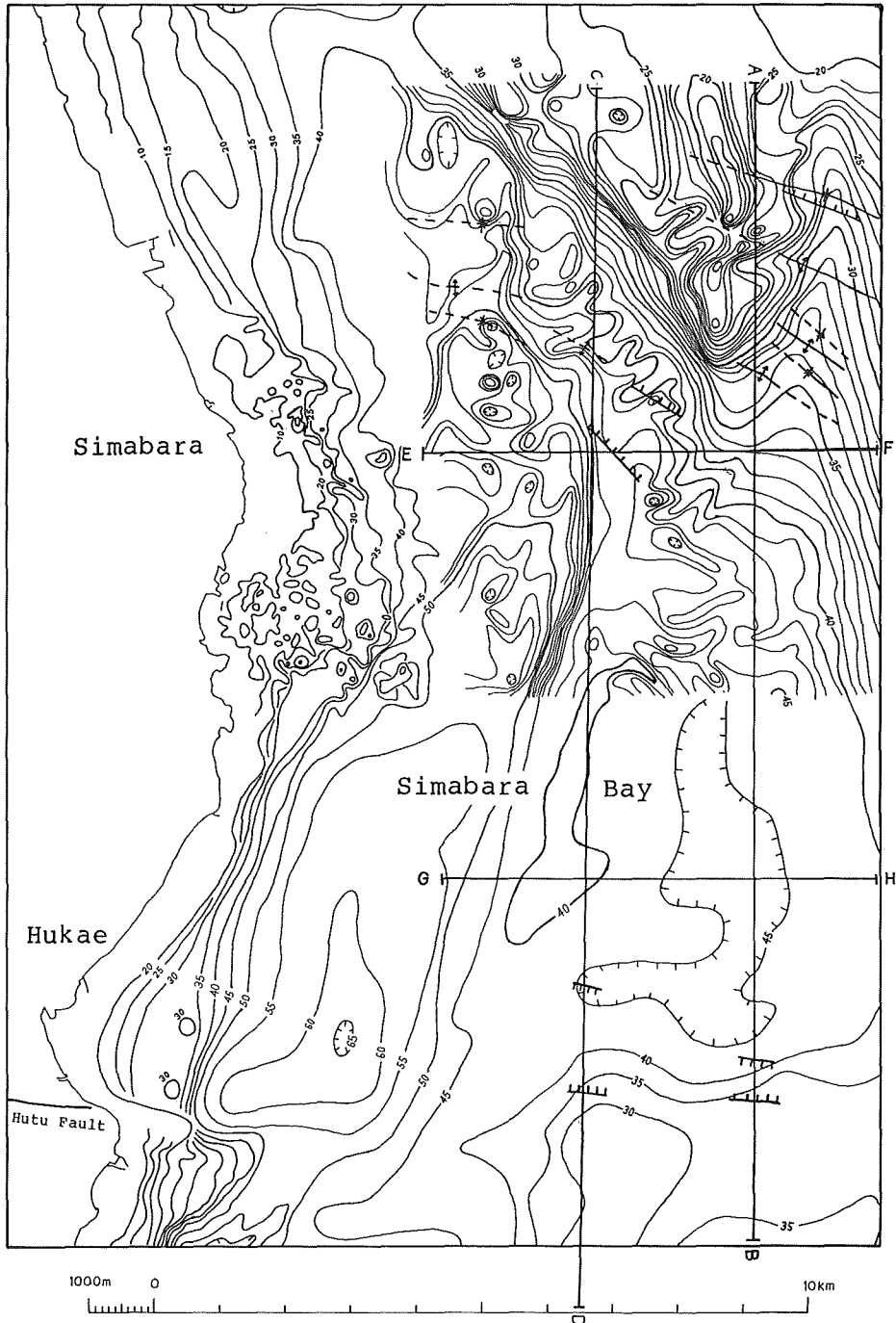


Figure 5 Bathymetry and geological structure of the central part of Simabara Bay.

海底の地形を概観すると、島原半島の海岸線に沿った走行を示す砂州や海釜状の緩やかな凹凸地形が分布し、小起伏地形やサンドウェーブなどがみられる(図5)。特に、島原市から布津町沖にかけて存在する北北東-南南西ないし南-北方向な延びる海釜及び砂州は、長さ約5~13km、幅は約1~2kmで、最深(浅)部はそれぞれ65m、40m、45m等の深線で示される。このうち、島原半島側の海釜は規模が最大で海釜底の水深も65mと最も深い。この海釜を取巻く斜面の傾斜は長軸方向が15/1000以下、短軸方向が最大40/1000程度である。これらの海釜や砂州の南端は布津沖付近で東-西方向の斜面で規制されている。島原沖には眉山の崩壊で形成された多くの小島や瀬など、浅所をもつ小起伏地形が分布している。

また、今回の調査海域をみると最浅部は調査区域の北東部付近にある砂州で、最小水深は17mである。この水深は海図記載の水深と同じであるが、位置は少し南にはずれている。この砂州の付近では砂利の採取が行われており、海底地形は人工的に変化している。サンドウェーブが主に砂州や海釜状地の上に存在する。

今回の橘湾、島原湾調査の水深と海図等の既存資料の水深との比較では、部分的に多少の出入りはあるが、顕著な変化は認められなかった。従って、調査時点までの雲仙岳の噴火に伴う顕著な海底地形への影響はなかったものと思われる。

## (2) 海底地質構造

### (イ) 橘湾

図6に今回の調査で得られた音波探査断面を示す。橘湾の地層は記録上でAt層、Bt層、Ct層に区分でき、全体的にみれば湾の中央部に向かって厚さを増す推積形態を示している。しかし、ほぼ全域的に音波散乱層があり、各地層の層理面が不明瞭となり、より深部の地質構造を覆い隠している。

At層は海底に平行する層理をもつ最上位層であるが、中央部の一部に比較的強い凸状の反射を示す特異な層を挟んでいる。中央部の北-東部では、音波散乱層のため層理が不明瞭である。層厚は最大約20mである。

Bt層は記録上白黒のパターンを示し、上面は強い連続する反射面でAt層を境する。中央部では下方に緩く撓んだ形態を示す。At層と同様に音波散乱層の影響をうけている。

Ct層は強い白黒のパターンを示し変位・変形が進んでいる。中央部へ向かって厚さを増し、沿岸周辺では陸地に向かって這い上がる傾向がみられる。広範囲で音波散乱層の影響をうけている。

断層等の構造は、音波散乱層のために全区域には明かでないが、中央部以南では北西-南東、東-西、北東-南西方向の断層がみられる。これらの断層は、変位量は小さいが海底面を切っているものもある。また小浜沖の北東-南西方向の断層は音波散乱層と推積層の明瞭な境界付近にあり、音波散乱層と構造との関係が目される(図4)。

### (ロ) 島原湾

島原湾の地層は、記録上でAs層、Bs層、Cs層、Ds層に区分できる(図7)。これらの地層は大局的にみると北から南に向かって傾き、深くなると共に厚さを増しており、相対的に北部は隆起部、南部は沈降部とみることができる。

As層は最上位層で層理は海底にはほぼ平行であるが、部分的に乱れたり、斜層理状の反射がみられる。海底砂州上で厚く、海釜へ向かって薄くなり、一部では極く薄いか又は欠如している。層厚は厚いところで20~30mである。

Bs層は上面が波食面とみられる強い反射を示し、As層と境される。隆起部では下位層を不整合に覆い、海釜の一部で海底に露出している。層相は白黒の縞目を示すが、海底に近づくか又は露出している部分では層理が乱れている。



Cs層は比較的連続性のよい反射面を示し、隆起部では侵食をうけBs層に覆われている。Ds層は沈降部へ向

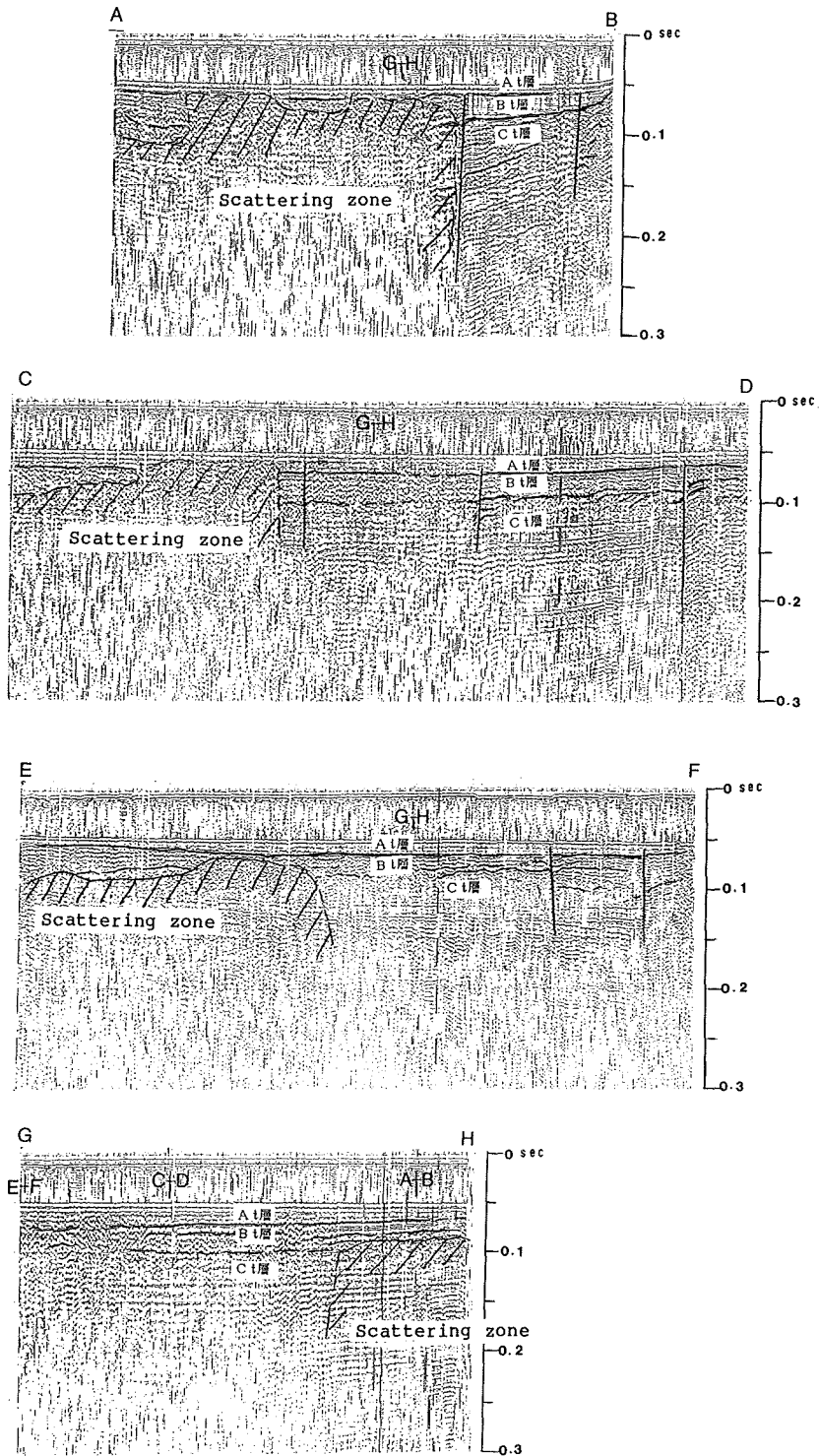


Figure 6 Sparker reflection profiles in Tatibana Bay. For location of profiles, see Figure 4.

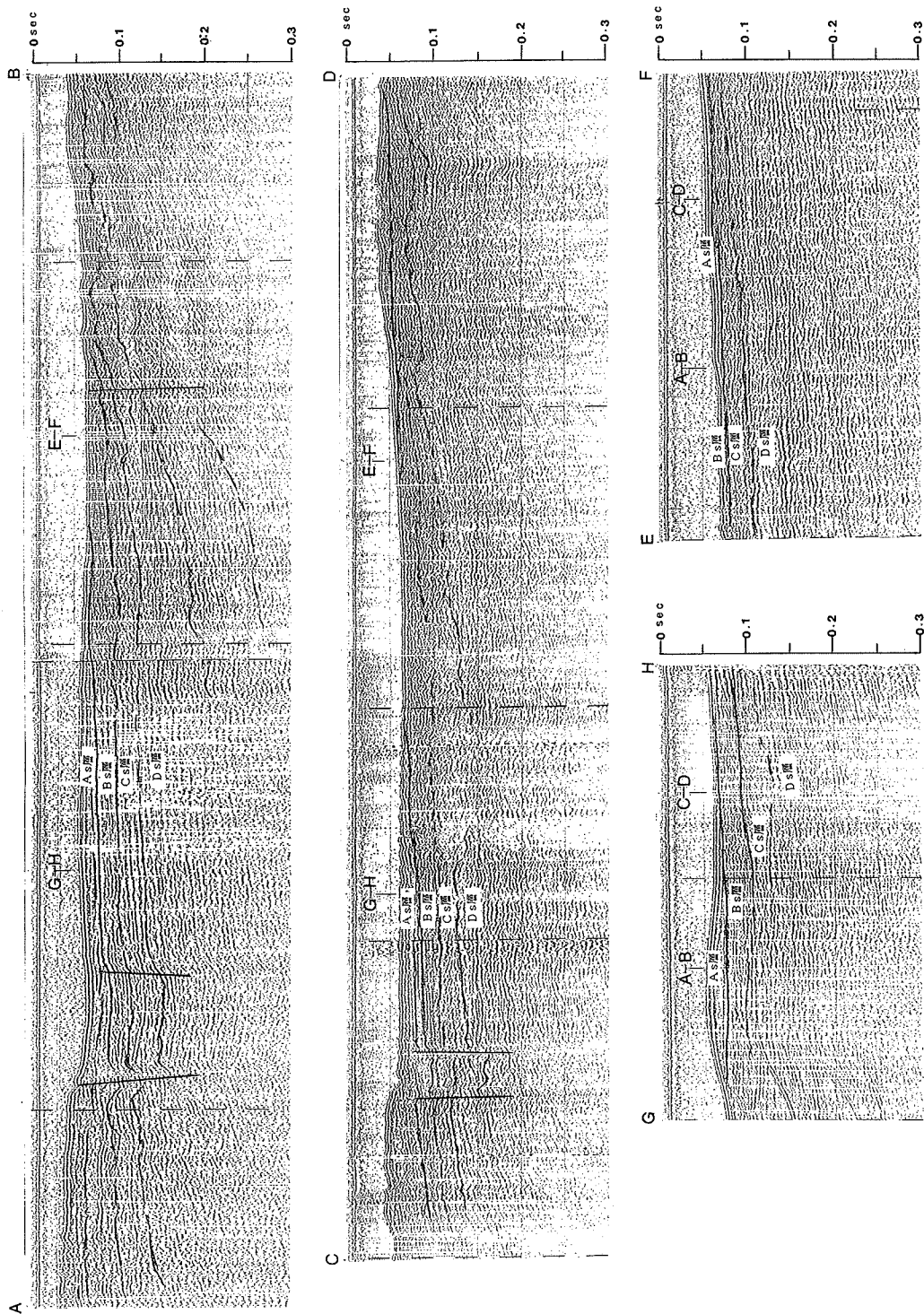


Figure 7 Sparker reflection profiles in Simabara Bay. For location of profiles, see Figure 5.

かって深くなり、下限は捉えられない。層相はCs層と似ており、変位、変形が進んでいる。

隆起部では、Cs、Ds層が浅くなり侵食をうけBs層に覆われている。断層・褶曲等の構造は、主にCs、Ds層にみられ、北西-南東、西北西-東南東方向を示す。一方南部では、雲仙地溝の南縁を限る布津断層の東方海域延長部に、東-西方向の顕著な断層があり、砂州や海釜の南限を規制する斜面は、この断層によって形成されている。

### (3) 地磁気異常

図8は橘湾、図9は島原湾の地磁気全磁力異常図である。等値線間隔は25nT、正異常は実線、負異常は破線で示した。

橘湾の地磁気異常は非常に複雑で、雲仙火山の山体に伴う異常と局地的な異常が重畳している。局地的な異常のうち湾の中央を東西に延びる正異常帯が特に注目される。この正異常帯は湾の中央で幅約1km、小浜西岸付近で幅約4km程の帯状の分布となっている。この異常帯は更に陸上の正異常域に接続するものと推察される。震源分布との比較では、上に述べた東西性の異常帯が比較的浅部の震源分布域とよく一致しており、貫入火成岩体が橘湾の中央を東西に延びる正異常帯の原因と推定される。

一方、島原湾の測量区域の地磁気異常は、-60~-180nT程度の負異常の範囲内で、若干の起伏はあるものの磁気的には平坦で、火山に伴うとみられる異常は認められない。この海域では磁気基盤の深度が深く、厚い堆積層で覆われていることを示唆している。地磁気異常を南北の断面(図9のProfile A-B)でみると雲仙地溝の南縁である布津断層の東方延長上には正異常の極値がみられ、この断層が島原湾まで延びているものと考えられる。

### (4) 重力異常

図10は橘湾、図11は島原湾の一部のフリーエア重力異常図で等値線間隔は2mGal、正異常は実線、負異常は破線で示した。

今回の重力測量結果と陸上部の重力異常からは、橘湾から島原半島南部を経て島原湾にいたる相対的に重力の低異常域が存在することが分かった。

橘湾では、調査範囲のほぼ中心部に-5mGalの重力負異常の極値が認められる。重力異常の分布は南北に長軸を有する楕円状、周辺部との重力較差は15mGalにも及ぶ。

島原湾の重力低異常の極値は水無川の河口から南東方向数キロのところであり-12mGalよりやや小さい値と思われる。この異常値は調査海域北部と比較するとその差は30mGalを超え、かなりきつい重力勾配となっている。

## 5. 考察—橘湾のカルデラ構造

### (1) 重力異常の解析

橘湾のフリーエア重力異常では、太田(1973)の推定した千々石カルデラのほぼ中心部に-5mGalの負異常の極値が認められる。重力異常の分布は同心円状ではなく南北に長軸を有する楕円状の異常となっており、周辺部との重力較差は15mGalにも及ぶ。図10の上段には基盤密度を2.6g/cc、その上の堆積物を2.0g/ccと仮定してもとめた重力異常の南北プロファイルの解析結果を示した(植田ほか,1991)。この解析結果からも分かるように、橘湾の凹状の重力異常を説明するには、地溝帯として沿岸部で推定される基盤の陥没量(太田,1987)だけでは不可能で、中心部付近で更に300m程度の陥没を考えることが必要である。また、重力の解析結果からは橘湾の重力異常には約10mGalの正異常のトレンドが重畳していることがわかるが、このよう

な正のトレンドは多田 (1991) の示した地溝帯に沿うモホ面の隆起を反映したものであろう。

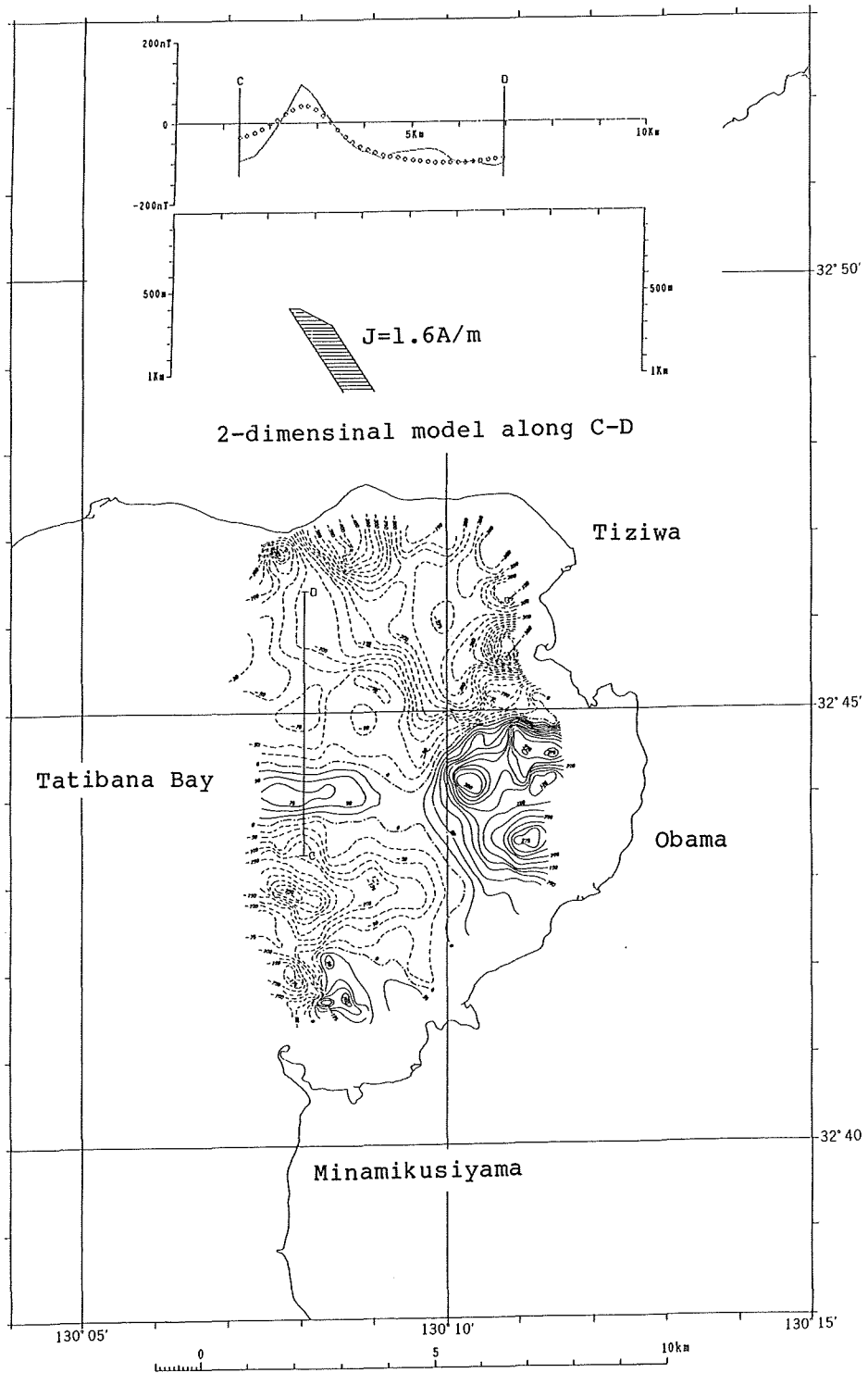


Figure 8 Magnetic anomaly map of Tatibana Bay, contour interval is 25 nT. In the upper part, 2-dimensional model along C-D is shown.

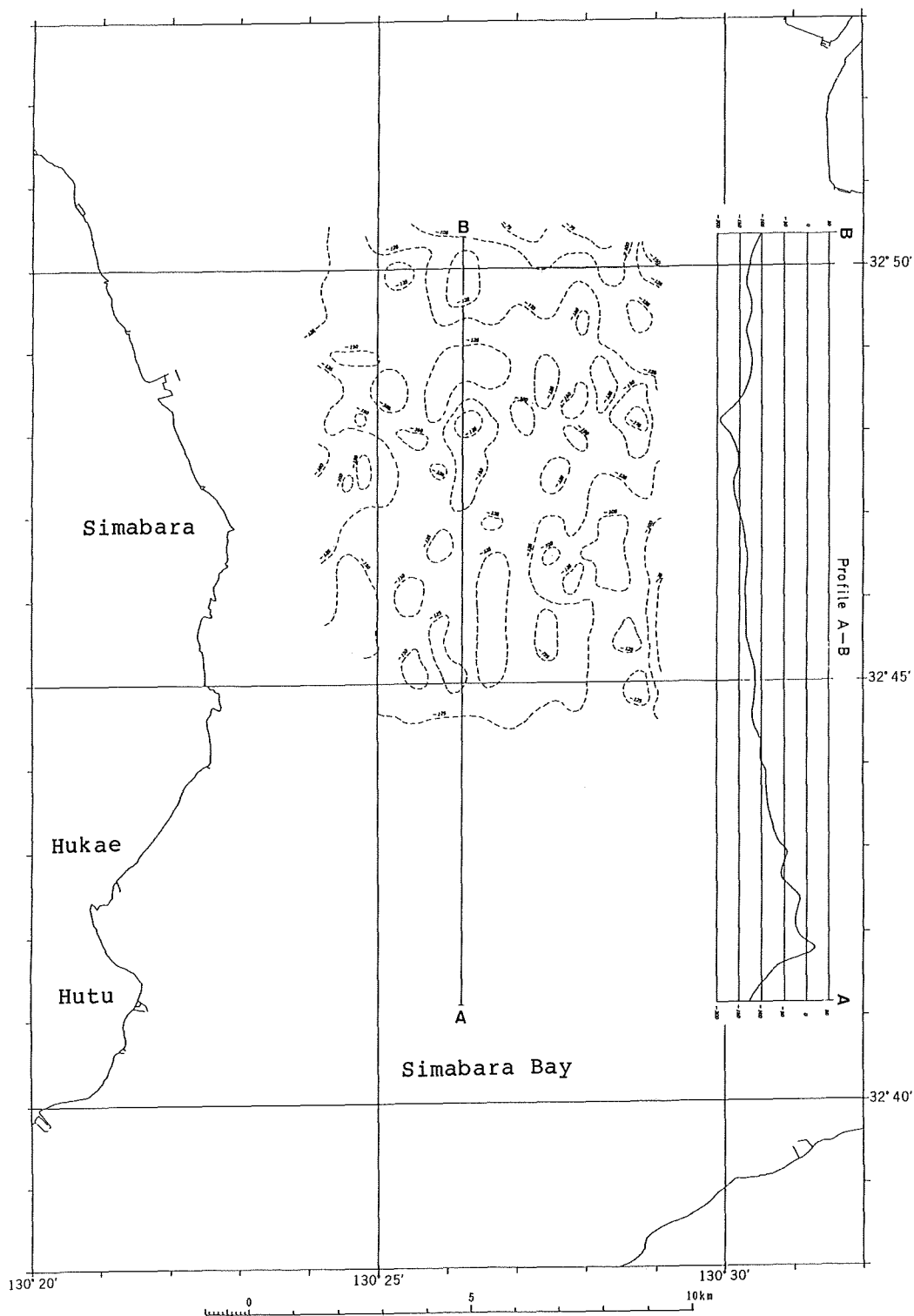


Figure 9 Magnetic anomaly map of Simabara bay, contour interval is 25 nT.

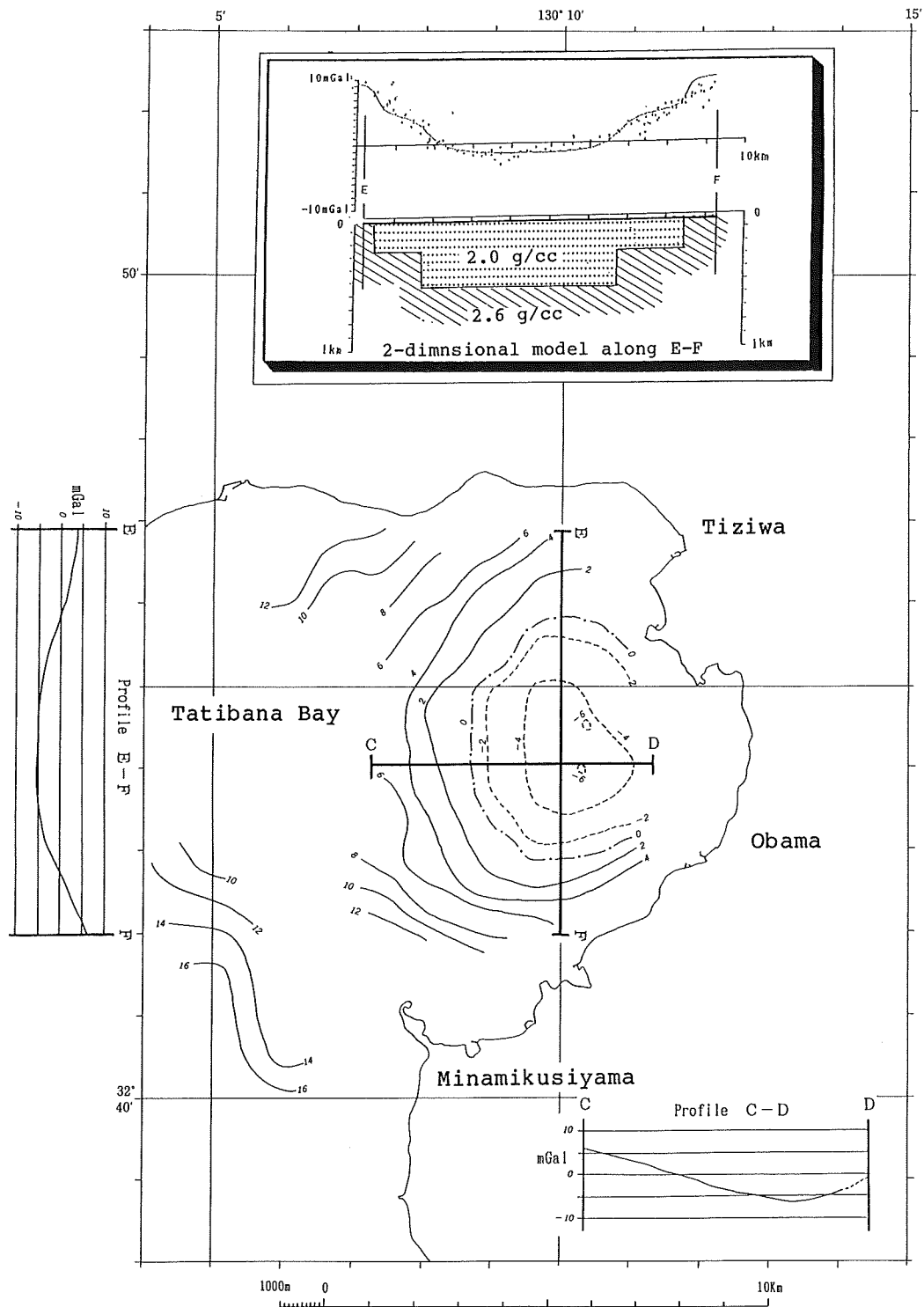


Figure 10 Free-air gravity anomaly map of Tatibana Bay, contour interval is 2 mGal. In the upper part, 2-dimensional model along E-F is shown.

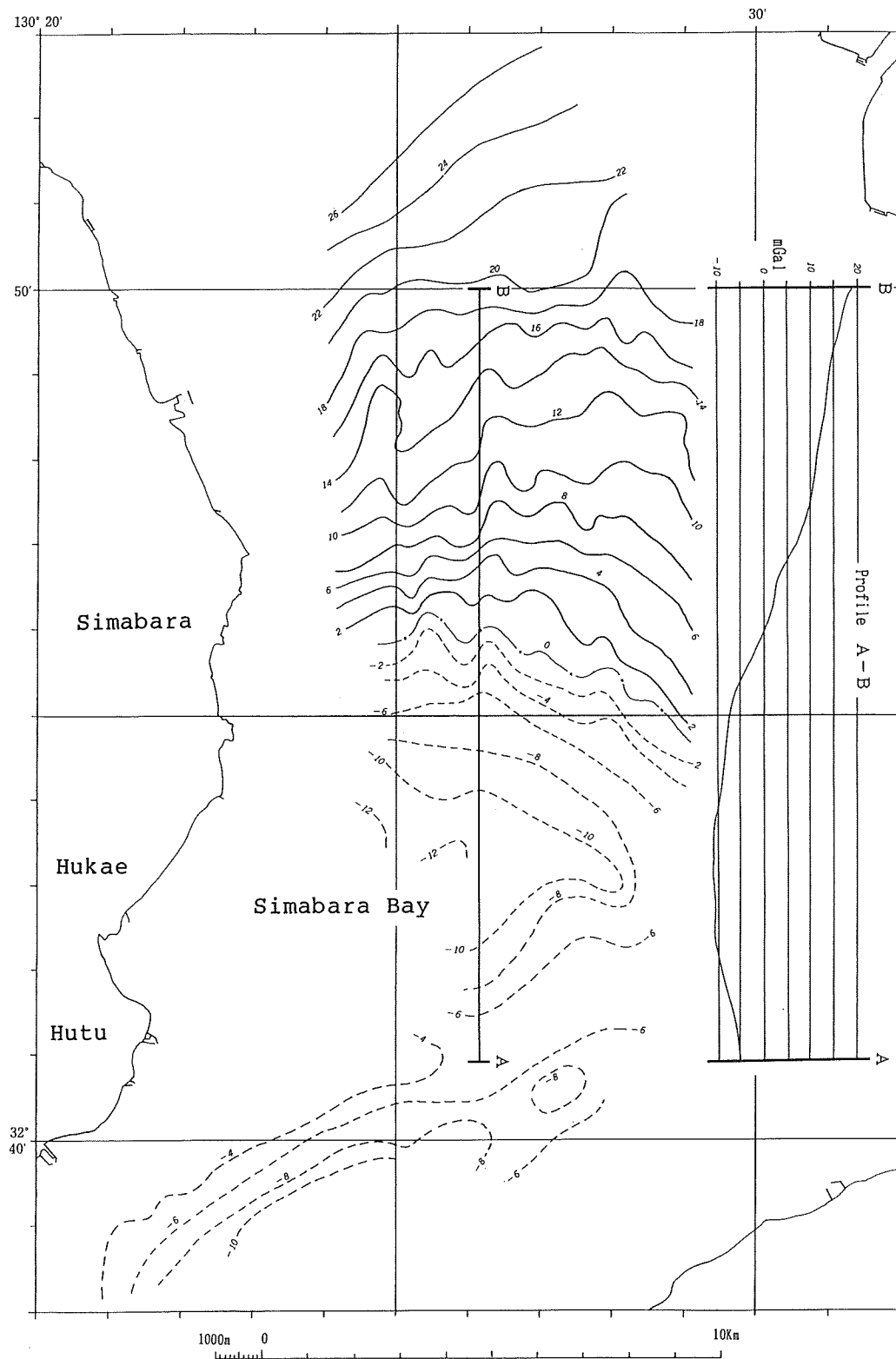


Figure 11 Free-air gravity anomaly map of Simabara Bay, contour interval is 2 mGal.

(2) 地磁気異常の解析

図8に示した橘湾の地磁気異常の原因となる磁気基盤深度の平均的深度を求めることは、磁気異常の成因を考察する上で重要である。ここでは、磁気異常のスペクトル解析によりその平均的深度を推定した。

ポテンシャル論によると、波数 $u, v$ における振幅スペクトル $S(u, v)$ とその波長 $\lambda = 2\pi / (u^2 + v^2)^{1/2}$ との関係式は

$$S(u, v) = C \cdot \exp(-2\pi h / \lambda)$$

である。ここで、 $h$ は磁気基盤までの平均的深度である。

図12は同湾の磁気異常のスペクトルと波長の関係式を示したものであるが、この長波長域のスペクトル勾配からもとまる平均深度は、約560mとなる。この結果は重力異常の解析からもとめたカルデラの基底深度と調和的である。このことから、橘湾の磁気異常の原因はカルデラ底付近に貫入した火成岩体であると推察される。

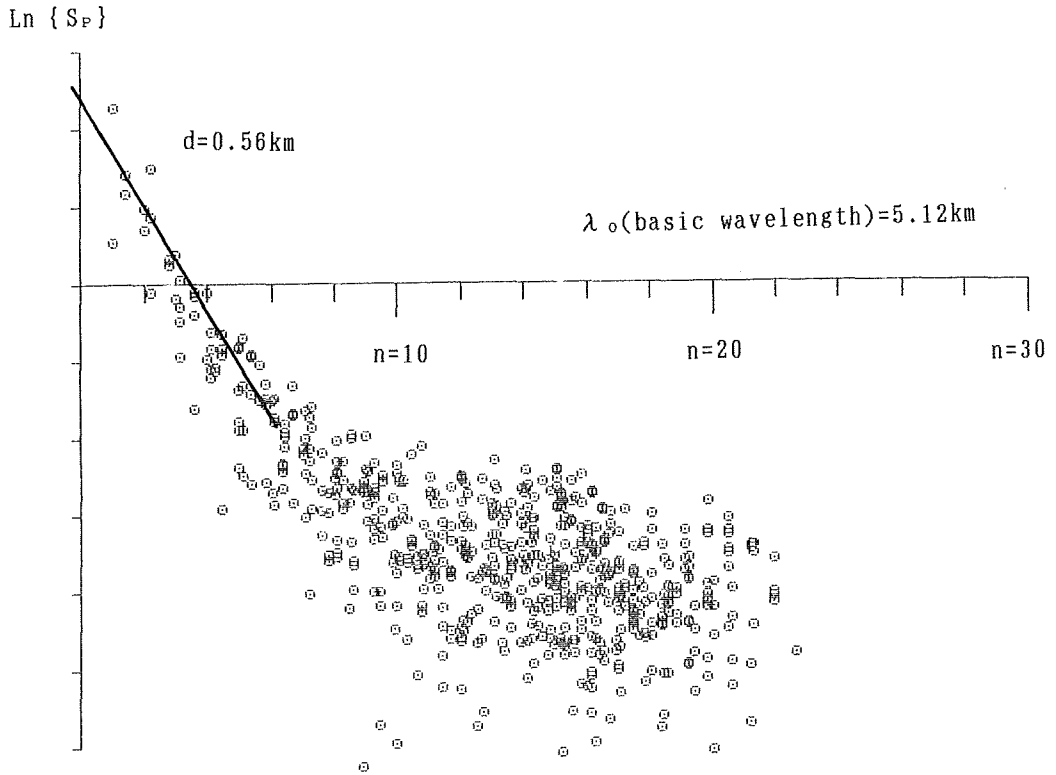


Figure 12 Results of spectrum analysis of magnetic anomalies on Tatibana Bay. The depth to the magnetic basement becomes about 560m below sealevel.

橘湾の中心部には、東西に延びる正磁気異常が認められる。この異常帯についてのダイクモデルによる解析結果を図8の上段に示した。この解析結果では、磁気基盤の上面深度は500m-600mで、磁化強度は1.6A/mと推定される。このような磁化強度の値は、雲仙火山の主要な構成岩体である石英安山岩や角閃石安山岩の磁化強度と調和的である。同湾の震源分布では、このような東西性の磁気異常帯やそれとつながる沿岸部の正異常帯が浅部の震源分布とよく一致しており、マグマから派生した貫入岩体が橘湾の局地的な磁気異常の原因と考えられる。



## (3) 橋湾の地下構造のまとめ

以上、述べたように、橋湾の重力異常からはカルデラの存在が確認されるとともに、地磁気異常からは、カルデラの形成と関連すると思われる貫入火成岩体の存在が明らかとなった。図13に示した構造は、橋湾のカルデラ形成と貫入火成活動を統一的に説明するための一つのモデルである。

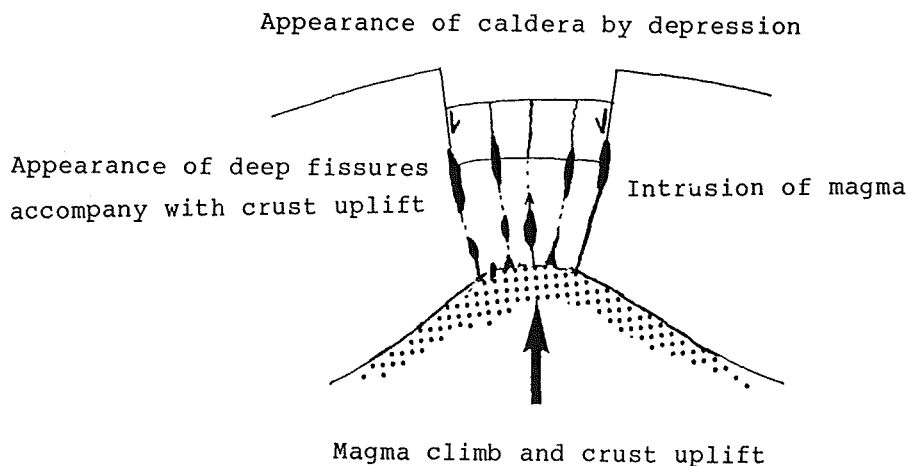


Figure 13 Schematic model on the structure of Tatibana Bay as inferred from geophysical/geological study.

カルデラの形成に先立ち、深部にマグマの上昇とそれに伴う地殻の隆起、深部割れ目の形成という一連の現象が発生したものと考えられる。その後、割れ目に沿って、陥没が発生するとともに、マグマから派生した火成岩体の貫入が起こったと推察される。現在では、橋湾下のマグマ溜りから雲仙岳にいたるマグマの供給経路ができていいる可能性もある。橋湾の深さ10kmでは依然として地震活動が活発であるが、地表付近の震源分布も、局地的な磁気異常域と一致しているようである。このことから、橋湾の海底下では貫入火成活動が継続している可能性も考えられる。

## \* 水路部橋湾・島原湾海底調査班の構成

植田義夫, 加藤 茂, 小野房吉, 進林一彦, 永野真男, 浅田 昭, 兼子俊朗, 春日 茂, 濱本文隆, 加藤幸弘, 牛島雅浩, 沖野郷子, 笹原 昇, 三原修一, 加藤 剛, 矢吹哲一郎, 松本正純, 測量船「明洋」船長磯道周作ほか乗組員

## 参 考 文 献

- 海上保安庁水路部：島原湾の海底地形・底質分布及び潮流.水路部調査報告,1-42, (1959)  
 海上保安庁水路部：橋湾西部海底地形地質調査報告書.38p.,水路部内資料, (1977)  
 海上保安庁水路部：橋湾中部海底地形地質調査報告書.22p.,水路部内資料, (1978)  
 海上保安庁水路部：橋湾東部海底地形地質調査報告書.25p.,水路部内資料, (1979)  
 鎌田康彦：有明海一地質.日本海洋学会沿岸海洋研究会編「日本全国沿岸海洋誌」,p.815-830, (1985)  
 国土地理院：沿岸海域調査報告書(島原湾),195pp, (1982)  
 松尾綱道：島原半島およびその周辺の地震活動(II).九大理島原地震火山観測所研究報告,13,51-73, (1985)

- 中村一明・松田時彦・守屋以智雄：日本の自然1火山と地震の国. 338pp, 岩波書店, (1987)
- 太田一也：島原半島における温泉の地質学的研究. 九州大学島原火山観測所研究報告, 8, 1-33, (1973)
- 太田一也：雲仙火山の地質構造と火山現象. 地団研専報, 33, p. 71-85, (1987)
- 多田堯：日本のコンチネンタルバレー：九州リフトバレー. 1991年春季合同学術講演会講演要旨, (1991)
- 植田義夫・小野房吉・兼子俊朗・三原修一・加藤 剛・矢吹哲一郎：橘湾の重力・地磁気異常とカルデラ構造. 写真とりモートセンシング, 30, 43-46, (1991)