

ナローマルチビームによる島原海域の海底流れ山地形の把握

Research of the Flow Mound Topography on the Sea Bottom off Shimabara, Kyushu, with Narrow Multi Beam Sounding System

地理調査部 丹羽俊二

Geographic Department Shunji NIWA

要旨

沿岸海域基礎調査の一環として島原沖の海底地形調査をナローマルチビーム測深システムを使用して行った。この海域は1792年眉山が崩壊して岩屑なだれとなって有明海に流れ込み、多数の流れ山地形を形成したところである。1980年にシングルビーム測深機で調査を行っているが、この海域の複雑な流れ山の形状を十分にとらえられなかった。

浅海用ナローマルチビーム測深システムでは水深を数m以下の間隔で測深し、水深図を作る。これによって径数10mから200mの大小あわせて600余個の流れ山が認められた。この詳細な海底地形図と1980年度に実施した音波探査の記録をもとに、流れ山の形態や地質について検討した。

1. はじめに

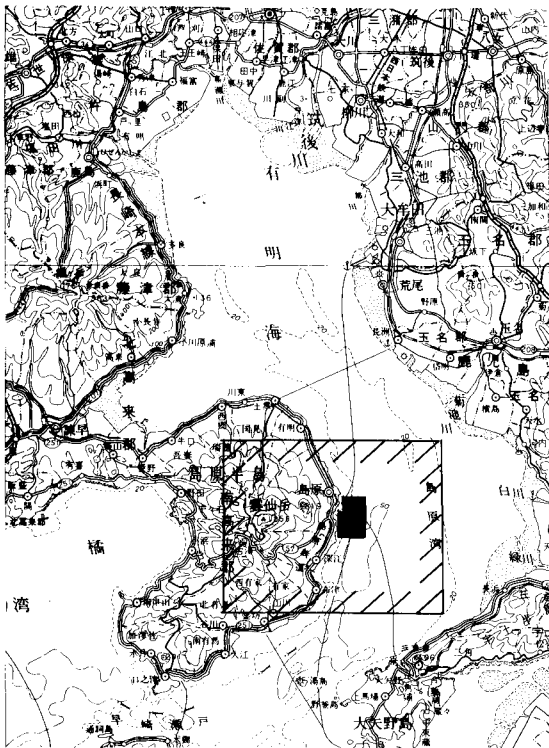


図-1 調査位置図

斜線部が沿岸海域地形図・土地条件図「島原」の範囲
黒塗り部が1996-97年度調査範囲

1996-1997年度の沿岸海域基礎調査として長崎県の島原沖の海底地形調査を行った(図-1)。沿岸海域基礎調査は、主な内海・内湾の沿岸域(陸域・海域を含む)について、地形、地質、水産・運輸・防災関係の諸施設及び規制区域などを調査して、2万5千分1の沿岸海域地形図・同土地条件図を作成するための調査である。このうち地形は陸域は10m間隔の等高線、海域は1m間隔の等深線で表している。今回調査した海域は1980年度に調査を行っており、今回はその一部の海底地形を改測したものである。

この海域は1792年の眉山大崩壊によって島原湾に押し出した流れ山の分布するところで、1980年度の調査による沿岸海域地形図においても等深線が複雑に入り組んでいる(図-2)。しかし、調査測線の間隔(250~500m)が地形の複雑さ(流れ山の径は数10~200m)に比べて粗いために、旧図の海底地形は陸上でみられる流れ山の地形とは大変異なったものとなっていた。

一方、主に大陸棚から深海底の調査ではナローマルチビーム測深システムが大型の調査船に装備されて、詳細な海底地形を面的にとらえられるようになっていた。近年このシステムが小型化され小型の漁船にも装着できるようになり、浅海底の調査にも使えるようになった。

そこで上記の海域を小型のナローマルチビーム測深システムを使用して海底地形調査を行うことにした。

2. ナローマルチビーム測深システム

海底の調査には一般に音波を使う。このうち水深100m程度以下の浅い海底の地形調査には100~400kHzの超音波を使う。超音波は可聴波に比べ水中で減衰しやすいが、指向性が高く、また波長が短いので精度がよい。

ナローマルチビーム測深システムに対し、従来の測深機をシングルビーム測深機とよぶ。図-3のようにシングルビームでは送波と受波を同じ装置で行う送受波器が使われる。そこから発する音波は、指向性を表す半減半角(最大音圧の方向から音圧が半分になるまでの角度)が3~8°の単一のビームである。船の直下方向のビームの中の送受波器にもっとも近い部分までの距離を測定する。それに対してナローマルチビームでは船の進行方向に対し直角な方向に広がる、前後に1~2°、横方向に100~170°の扇形の送信ビームと、それに直交する方

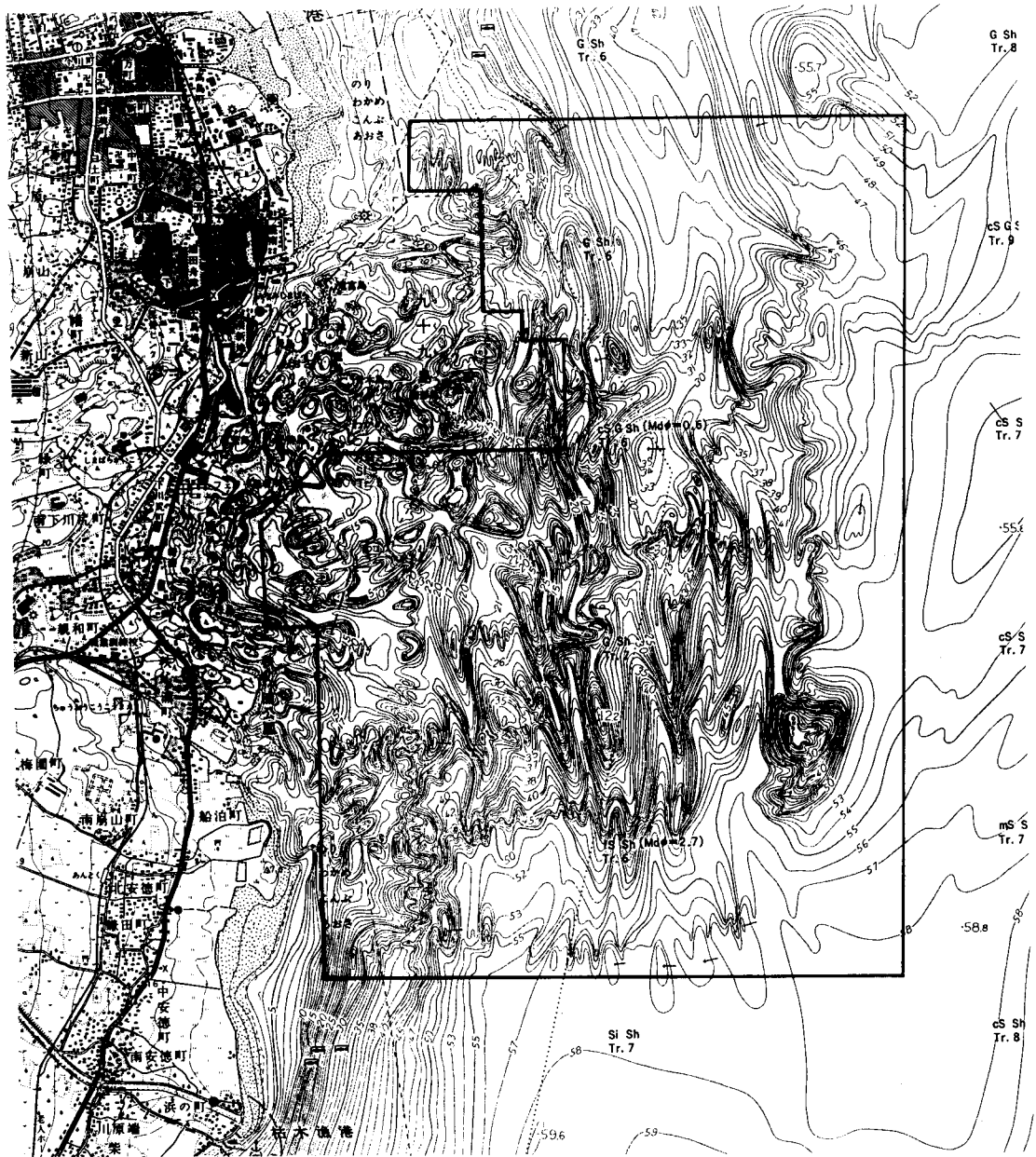


図-2 島原沖海底地形図

2万5千分1沿岸海域地形図「島原」(1980年度調査)
 枠内の海域を改測(1996-97年度調査)

向に広がる、前後に 15° 程度、幅 $1\sim 2^\circ$ の受信ビームの交点での深さを測る。受信ビームは横方向に角度を変えて数10本たばねられ、受信ビーム全体の横方向の幅(スワ幅という)が 90° であれば、水深の2倍の幅の海底の水深を数10cmから数mの間隔で同時に測ることができる。この測深方法をクロスファンビーム方式という。

本調査ではReson社のSEABAT 9001 S型の測深システムを使用した。その性能諸元を表-1に示す。また、システムの構成を図-4に、データ処理の流れを図-4, 5に示す。

測深データは測位データの取り込みのほか、マリンモーションセンサーによるヒープ(上下揺れ)、ロール

(横揺れ)、ピッチ(前後揺れ)の補正、磁気コンパスによる船体の方位の船の進行方向からのずれの補正をリアルタイムで行い、横方向の断面を測深データ収録表示装置に画像表示する。そのあとで音速度センサーによる音速度補正と、X、Yセンサーによるソナーの船体への取り付け角度の補正を行い、さらに潮位補正を行ってX、Y、Zのデータファイルを作成する。この段階で船速とデータ収録回数を考慮し、データを間引いてデータ量を少なくする。そして、測線ごとにエラーデータの処理を行い、全測線の接合を行う。水深図は全測線のデータファイルを3次元処理ソフトによりメッシュデータに変換し、それをもとに描いた。

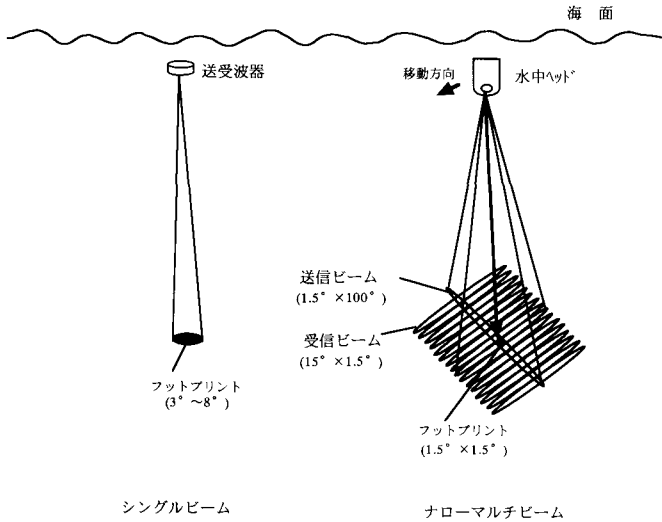


図-3 ナローマルチビームの測深概念図

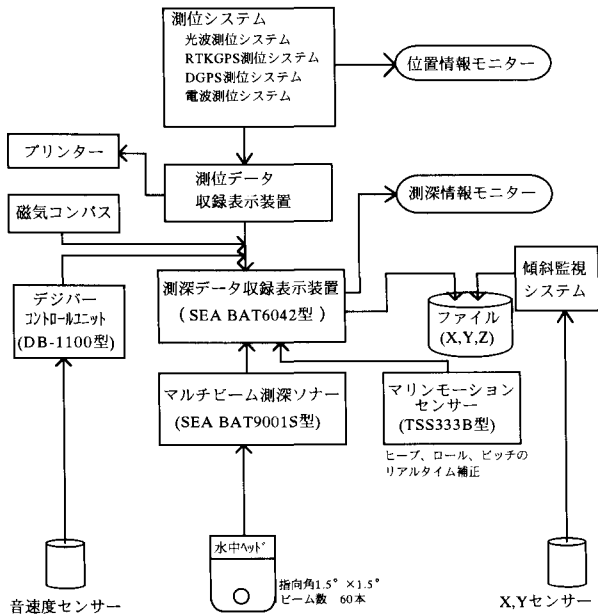


図-4 ナローマルチビームのシステムの構成

海底地形の表現にはメッシュの間隔が影響するので、50m、20m、10mの3通りのメッシュ間隔で等深線を描いて比較した(図-6 a, b, c)。50mメッシュから作成した水深図はメッシュ間隔がほぼ流れ山地形のサイズに等しいので流れ山の大きさ、形、比高などの再現性が悪くなる。20mメッシュと10mメッシュの水深データからそれぞれ図化した等深線図は、後者が前者より多少細かい地形がみられるようになるが、流れ山の外形はほとんど変わりなく、データ量の少ない20mのメッシュデータで十分と考えられる。

3. 眉山岩屑なだれ

1792(寛政4)年5月21日、同年2月から始まってい

表-1 SEA BAT9001の性能

| 項目 | 性能 |
|-----------|-------------|
| 周波数 | 455kHz |
| フットプリント | 1.5° × 1.5° |
| スワス幅 | 90° |
| ビーム数 | 60 |
| 最大測深範囲 | 80~150m |
| 測定レンジ分解能 | 5cm |
| 最高データ更新間隔 | 30回/秒 |

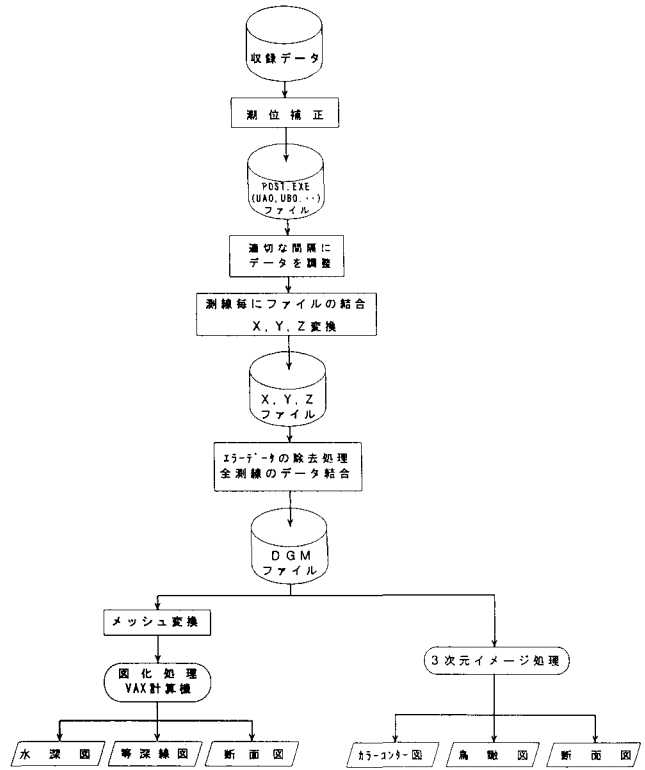
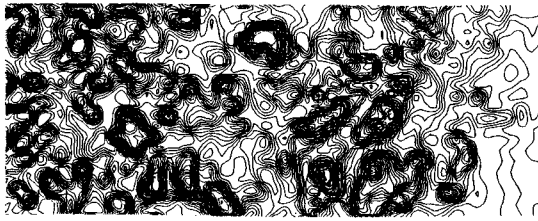


図-5 水深データの処理方法

た雲仙普賢岳の火山活動の最中、島原の城下町の西にそびえる眉山が大崩壊し、崩れた土石が島原湾に押し出し流れ山を作った。このために対岸の熊本県側を津波が襲い、長崎県側とあわせて14,500名の死者がでた(片山, 1974)。この災害が「島原大變肥後迷惑」として知られている。

この眉山の大崩壊の原因についてはいくつかの説がある。それらは太田(1987)によると火山爆裂説・地震崩壊説・熱水増大説の三つに分けられる。それぞれ当時の古文書の記述を根拠にしているが、まだ決着はついていない。

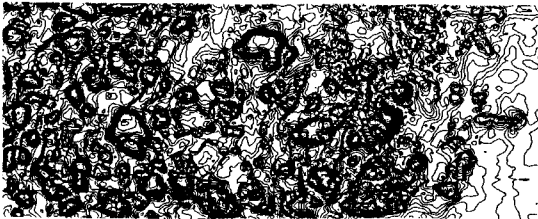
「岩屑なだれ」という言葉は従来マスマーブメントの一類型としてdebris avalancheの訳語として使われ、



a) 50m メッシュ



b) 20m メッシュ



c) 10m メッシュ

図-6 メッシュの間隔と海底地形の再現性
縮尺 約3万6千分1

「斜面の風化未固結物質が多量に斜面下方へ向かって雪崩のように急激に移動する現象」(石井, 1981)と定義された。また、岩屑なだれは岩屑流よりも含水量が少ないとして両者は区別された。

一方、1888年の磐梯山のような火山爆発に伴う(火砕流以外の)砕屑流を火山泥流の一種としていた。1980年には北米のセントヘレンズ火山で火山活動の活発化の中で、地震を引き金として山体崩壊が起こった。この時には火山活動の観測が行われており、この崩壊現象についての知見が非常に増した。そして、その現象がdry avalancheとか debris avalancheと表現されるようになった。宇井(1984)はこれを岩屑流とよび、眉山の崩壊もこれと同様なものとした。しかし、岩屑流は含水量の多いdebris flowの訳として使われることがあり、三村ほか(1988)はdebris avalancheの訳としての岩屑なだれを使い、宇井(1997)もこれを踏襲している。

眉山の大崩壊も馬蹄形の崩壊地と流れ山に特徴づけられ、岩屑なだれの一種と考えられる。岩屑なだれの定義としては、宇井(1987)による岩屑流の定義「不安定な山体斜面が崩壊し、急速に滑り落ちる」現象を援用する。

渡辺・星住(1995)によれば眉山よりも北側には1792年よりも前に発生した「島原岩屑なだれ」の流れ山がみられる。その崩壊源はわからないが、この堆積物は、6,300年前に堆積したアカホヤ火山灰を覆っていること

からそれよりは新しいことがわかっている。九十九島の北側の海底にも凹凸の著しい地形が現れており、島原岩屑なだれなど古い岩屑なだれ堆積物が存在する可能性がある。

4. 九十九島周辺海域の海底地形

眉山は北の七面山(標高818.7m)と南の天狗山(同708m)の二つの石英安山岩の溶岩ドームからなる。眉山が形成されたのは絶対年代測定値などから約4,000年前(渡辺・星住, 1995)と推定されている。1792年に崩れたのは天狗山で、山頂から東の斜面が馬蹄形に大きくえがられている。その開口部を頂点として海岸まで扇形に広がる地域に流れ山が分布する。その分布域の北端に崩山(くえやま)町や新山、南端に南崩山町などの地名がみられる。海上にも十数個の小さな島がみられ、九十九島とよばれている。今回の海底地形調査では、その沖にも大小あわせて600余(比高5m以上のもの)の流れ山が海面下に分布していることがわかった(図-7)。流れ山の分布範囲は東西3.5km(海域のみ)、南北3.6kmで、崩崖頂部から東方の流れ山の末端まで6.4km、落差は760m以上である。

海底の流れ山はその間をぬって連続する凹地によっていくつかの区域に分けられる(図-8のA-D)。凹地は岩屑なだれ堆積物のうちの基質部分やその後の堆積物によって埋められているが、海底の凸部を切り取った切谷面は大崩壊以前の地形や基質の厚さを反映していると考え、切谷面図(図-8)を作成した。この図は幅200m以下の凸部を切り取った等深度線で表した。また、流れ山の基底はできるだけ音波探査の記録から読みとるよう努めた。岩屑なだれ堆積物の厚い部分では基底は判読できないが、薄い部分など一部では基盤の縞状模様が判読でき、堆積物の厚さがわかる。また、音波探査の記録をみるかぎりでは流れ山形成以降の堆積物はそれほど厚くないと考えられる。

A海域は秩父が浦から南の沿岸部の沖合い約1kmまでの海域で、その南部では切谷面をみると50mの等深度線までは海岸に平行にのび、岸に直角な方向に急斜している。この切谷面の等深度線はこの区域の南側の流れ山の分布しない海域の等深線にスムーズにつながり、この海域の切谷面が流れ山のできる前の海底地形を示していると推定できる。音波探査記録(図-9, H-I)では、切谷面のすぐ下にそれにほぼ平行して東に傾斜する反射面(図中矢印で示す)がみられる。音波探査測線上での流れ山の高さは最大約20mであるが、10m程度のものが多い。A海域の北部では切谷面の等深度線は東に少しふくらみ、岩屑なだれ堆積物が少なくとも10mと厚いせいか、その基底の反射面が不明瞭になってくる。

B海域は九十九島の南側の湾入部の海岸から東へ3km、秩父が浦の沖合い1kmから2.2kmまでの海域で流れ山分布域の大部分を占めるが、切谷面の等深度線の

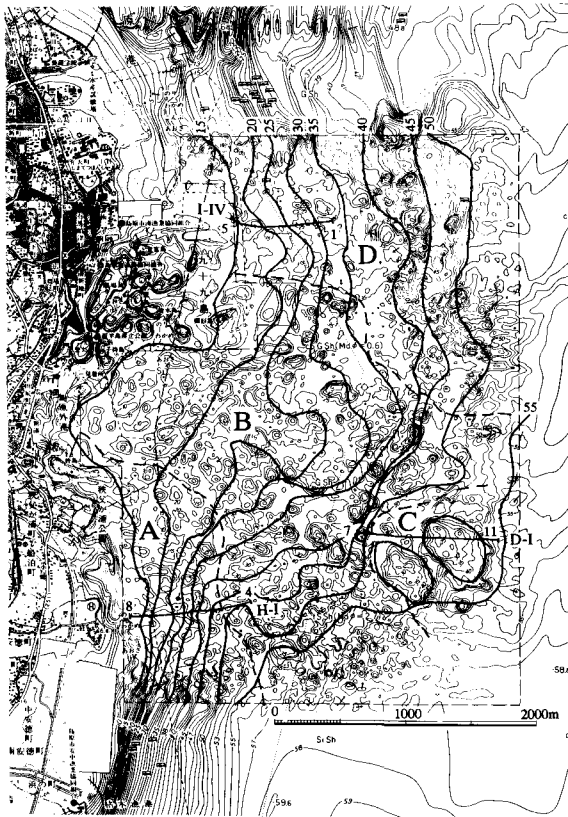


図-8 地形区分(破線, A-D), 切谷面図(太い実線)とスーパーカー記録位置(細い実線)

間隔から二つの区域, B1・B2に分けられる。B1は切谷面等深度線の間隔が広い平坦な部分で, 15mの等深度線が海岸線の湾入にあわせて湾奥に達する一方, 25m等深度線は沖に張り出している。流れ山の頂部の水深は5m前後と浅いが, 海底から突出した部分の高さは10~

15mで, その間は基質で埋められていると推定される。流れ山の基底の反射面は不明瞭である。B2は切谷面が東あるいは南に傾斜している海域で, 流れ山が密集し, 基質が少なくなる。

C海域は秩父が浦の沖合い2.5kmにある長径600mと500mの二つの大きなブロックからなる。西側のブロックは音波探査の測線にかかっていないが, 東側の大きい方のブロックは音響記録断面(図-10, D-I)がみられる。それによると, 流れ山の基底(図中矢印で示す)は周辺の海底面に連続し, 基質を欠いている。そして, 基底面は流れ山の下で盛り上がっている。このことは流れ山の海底での移動の際に海底をけずらないということを示唆する。これはA海域の南部で流れ山直下の構造を乱していないことから支持される。

D海域は九十九島の北東の海域で, 旧図では比較的凹凸の少ない部分であった。今回の調査ではこの海域にも流れ山があることがわかった。A~Cの海域に比べると流れ山と流れ山の間隔が広く, 散在している。音響記録断面(図-11, I-IV)では流れ山の頂部をあらわす双曲線パターンが少なく, 不規則な小起伏がみられる。これが眉山岩屑なだれ堆積物の周辺相であるのか, 古い流れ山地形が侵食・埋積されたものかは断定できない。

5. おわりに

ナローマルチビーム測深システムによる海底地形調査によって島原沖の海底の流れ山地形の詳細が明らかになった。眉山岩屑なだれによる流れ山は秩父が浦から九十九島の約3.5km沖までに分布している。その北東に流れ山の密度が粗になる海域がみられるが, それが眉山岩屑なだれ堆積物の周辺相なのか, より古い島原岩屑なだれ堆積物なのかは断定できなかった。この海域から北の沿岸にも旧図の等深線や音響記録断面をみると流れ山

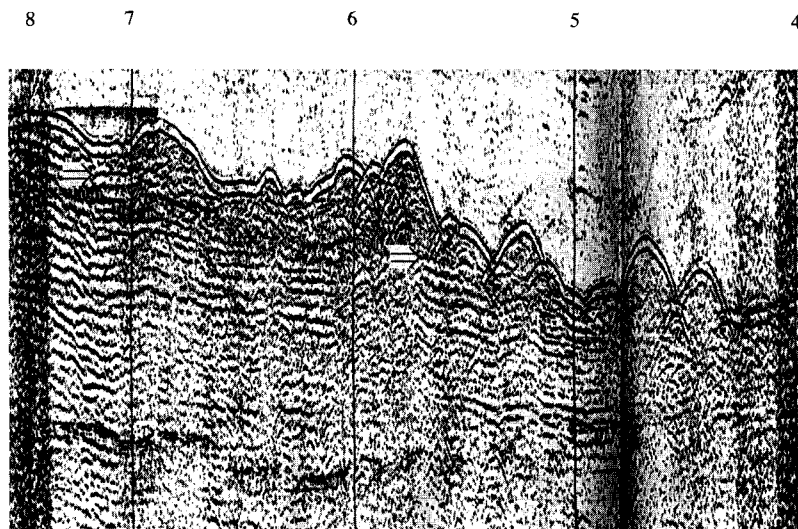


図-9 H-1測線のスーパーカー記録(位置は図-8に示す)
矢印が流れ山の基底

11 10 9 8 7

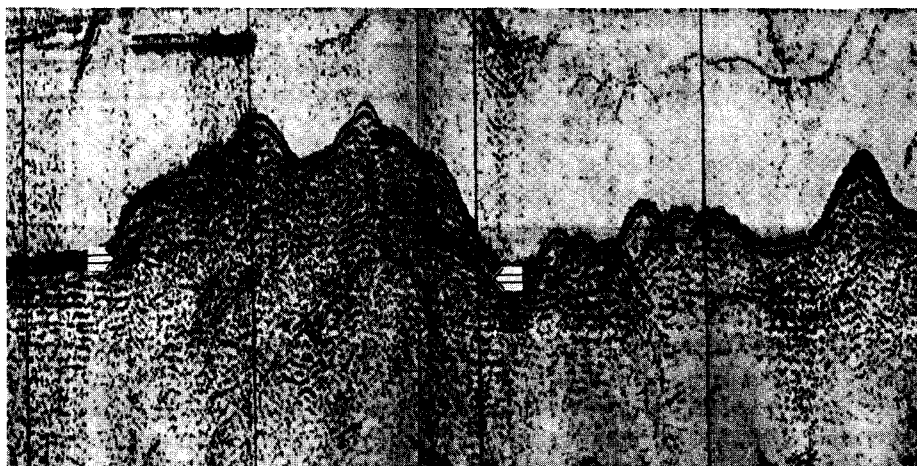


図-10 D-I測線のスパーカー記録，矢印が流れ山の基底

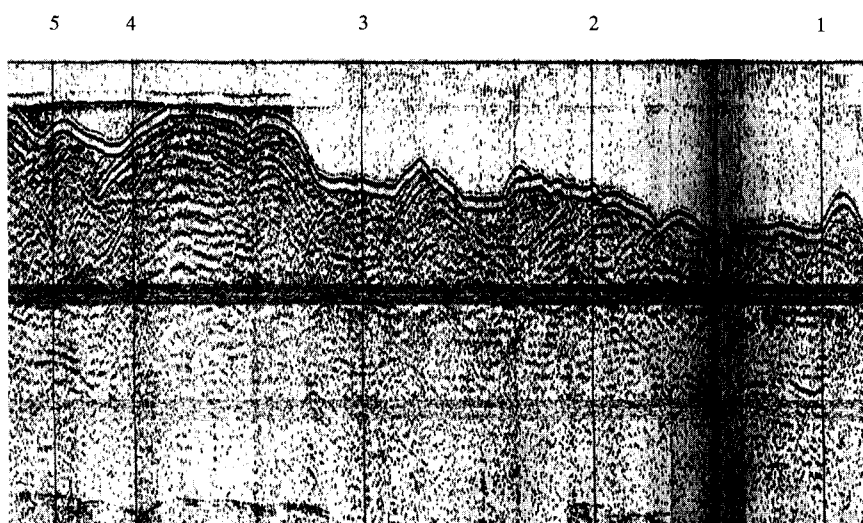


図-11 I-IV測線のスパーカー記録

地形と考えられる地形がみられるので、古い岩屑なだれがあった可能性が大きい。その一方で今回の調査海域よりも南方ではそのような地形は認められない。ただ、海に到達しなかった岩屑なだれはあった（渡辺・星住，1995）。

このような流れ山地形は大きさが数10mから数100mであり、それを表現するには20mメッシュの数値データがあればよかった。生データは数10cmから数mの間隔で記録されているので小さな地形を表現するには細かいメッシュのデータを使えばよい。

参 考 文 献

古谷尊彦（1996）：眉山大崩壊，「ランドスライド 地すべり災害の諸相」，古今書院，140-149。
 石井孝行（1981）：岩屑雪崩，地形学辞典，二宮書店，118。
 片山信夫（1974）：島原大変肥後迷惑，科学，44（9），566-570。
 三村弘二・鹿野和彦・中野 俊・星住英夫（1988）：1984年御嶽岩屑なだれ—堆積物からみた流動・堆積機構，地質調査所月報，39（8），495-523。
 太田一也（1969）：眉山崩壊の研究 1. 崩壊機構について，九州大学理学部島原火山温泉研究所研究報告，5，6-35，図版3。

- 太田一也 (1987) : 眉山大崩壊のメカニズムと津波, 月刊地球, 9 (4), 214-220.
- 宇井忠英 (1984) : 岩屑流と馬蹄形カルデラ 概説, 日本火山学会編, 「空中写真による日本の火山地形」, 138-139.
- 宇井忠英 (1987) : 火山体で発生する岩屑流の流動プロセス, 地形 8 (2), 83-93.
- 宇井忠英 (1997) : 火山現象の多様性, 宇井忠英編, 火山噴火と災害, 第1章, 東京大学出版会, 19-47.
- 渡辺一徳・星住英夫 (1995) : 雲仙火山地質図, 地質調査所.