

伊豆ゴージにおけるプレート境界の 「しんかい6500」潜航調査

新妻信明*¹ 徐垣*¹ D. Dresser*¹

フィリピン海プレートがユーラシアプレートに沈み込むプレート境界にあたる駿河トラフの南部に位置する伊豆ゴージにおいて「しんかい6500」による潜航調査を行った(北緯34°15.8', 東経138°29.5', 水深3424-3318m)。伊豆ゴージの西側崖は砂岩の薄層を挟むシルト岩からなる。このシルト岩試料のナンノ化石年代は81-92万年前であり、堆積深度は現在とほぼ同じ、3000m程度である。このシルト岩は階段状に正断層によって切られている。球形の浮遊性有孔虫化石、*Orbulina* は55-60%にまでつぶされている。この変形は、松崎隆起帯が沈み込んだ時の強い圧縮力によるものと考えられる。

東側の崖は、玄武岩の溶岩および火山角礫岩からなっており、地塁状地形を呈する。この地塁状地形は、プレート境界が伊豆半島の北の足柄地域から伊豆半島南の石廊海底谷への移動と関連している。

銭洲・松崎隆起帯・御坂隆起帯の形成と沈み込みは伊豆火山弧の衝突過程において重要であり、衝突サイクルの時期区分に使用できる。時期2の隆起帯の形成は、曲がった境界に沿ってプレートが沈み込むために起こるものである。

Submersible Survey on the Plate boundary at the Izu Gorge with "Shinkai 6500"

Nobuaki NIITSUMA*² Wonn SOH*² David DRESSER*²

"Shinkai 6500" submersible survey was made at the Izu Gorge of the southern part of the Suruga Trough (34°15.8'N, 138°29.5'E; depth range 3424-3318m). The Suruga Trough represents the subductive boundary of the Philippine Sea Plate to the Eurasian Plate. The western cliff of the Izu Gorge consists of siltstone intercalating thin sandstone layers. The nanno-fossil age of the siltstone (sample 62-2) is 0.92-0.81 Ma and the depositional depth was about 3000m as same as present depth. The siltstone is cut stepwise by normal faults. The fossil shells of spherical planktonic Foraminifera, *Orbulina*, were deformed 55-60%, which can be estimated as the results of the strong stress caused by the subduction of the Matsuzaki Uplift Zone.

The eastern cliff consists of basalt lava and volcanic breccia. The volcanics forms horst, which can be related to the skip of the plate boundary from the

* 1 静岡大学理学部地球科学教室

* 2 Institute of Geosciences, Shizuoka University

Ashigara area, north of the Izu Peninsula to the Iro Canyon, south of the Izu Peninsula.

The formation and subduction of the uplift zone, Zenesu Ridge, Matsuzaki Uplift Zone and Misaka Uplift Zone, are important in the collisional process of the Izu Volcanic Arc. The stages can be recognized in the collisional cycles, using the geological events relating to the Uplift Zones. The formation of the uplift zone, Stage 2, is caused by the subduction of the plate along the bending boundary.

1. 駿河トラフとプレート境界

駿河トラフはユーラシアプレートに属する静岡側とフィリピン海プレートに属する伊豆側が接するプレート境界である。これまで実施されてきた潜航調査によると、駿河湾の西側（静岡側）には本州由来の泥岩・礫岩を主体とするトラフ底埋積堆積物が、東側（伊豆側）には火山岩類が存在しており、ユーラシアプレートに属する静岡側の堆積岩の下にフィリピン海プレートに属する伊豆側の火山岩が沈み込むという従来からの予想を裏付けている。従って、プレート境界は、静岡側崖と伊豆側崖の間に存在することになるが、このプレート境界を直接観察するためには、トラフ底を埋積する堆積物が存在しない峡谷状になっている所を潜航調査しなければならない。このような目的のために、伊豆半島松崎沖の石花海ゴージについて「しんかい2000」による潜航調査が1982年以来実施され、プレート境界の実体が明らかにされている（新妻ほか、1990；小山ほか、本号など）。

今回は、プレート境界そのものを直接観察するために、石花海ゴージの南側に位置する水深3400mの伊豆ゴージにおいて「しんかい6500」による潜航調査を行なったのでその結果を報告する（図1）。また、伊豆弧と本州の衝突が起こっているこの地域のテクトニクスを解明するための鍵となる疑問、1）石花海ゴージで衝突している松崎隆起帯（一代前の銭洲海嶺）が伊豆ゴージの静岡側崖の下に沈み込み、通過した証拠があるか、2）伊豆ゴージ東方の石廊海底谷が新たなプレート境界としての機能を始めているのか、について資料が得られたので、それと関連する伊豆弧の衝突過程についても触れることにする。

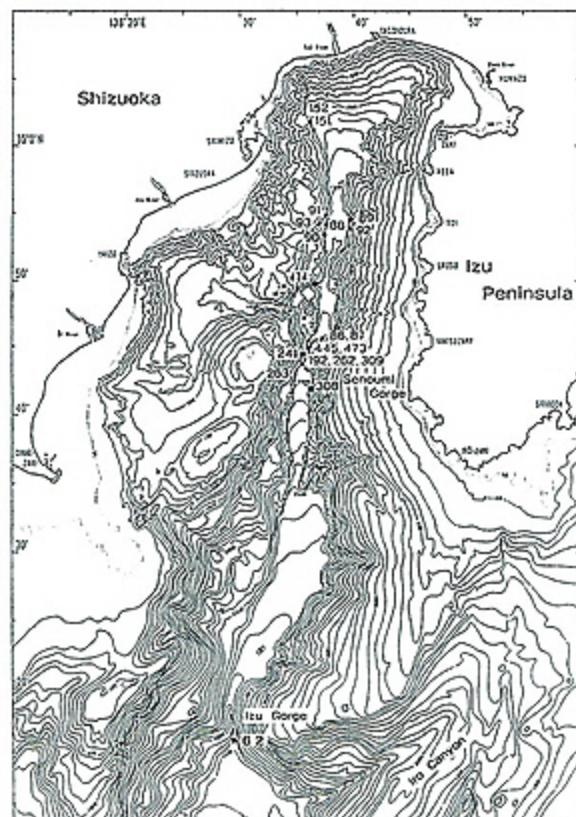


図1 駿河トラフの地形と潜航地点位置図。数字は「しんかい2000」潜航番号。62は「しんかい6500」第62潜航位置。

Fig. 1 Geomorphology of the Suruga Trough and submersible diving points. Numbers represent dive number of submersible "Shinkai 2000". 62 represents 62nd Dive of submersible "Shinkai 6500"

2. 潜航調査

潜航：「しんかい6500」第62潜航

潜航日：1991年6月18日（旧5月7日）

着底点：（北緯34度15.8分，東経138度29.5分，水深3414m）

乗船研究者：新妻信明

潜航行動：

10時01分：着水

11時30分：伊豆ゴージ南側に着底、伊豆ゴージの静岡側崖を観察するとともに堆積岩試料（62-1）を採取

12時40分：伊豆ゴージ底を観察しながら伊豆側崖に向かう

13時16分：伊豆ゴージの伊豆側崖に到着し、崖の観察と火山岩試料（62-2, 3, 4）を採取。

14時28分：離底

15時40分：海面に浮上

潜航調査ルート：母船「よこすか」によるシービーム海底地形図上に「しんかい6500」の航跡が打ち出され、下船時にコピーを入手できるが、「しんかい6500」の測深値と40mも異なる所がある。従って、航跡は変えずに、海底地形図上で測深値が全体として最も良く合致する位置に航跡を平行移動した後、測深値に合致するように海底地形図の等深線を変更して潜航調査ルート図を作成した（図2）。航跡の平行移動は、南に70m、西に20mであり、図2中に十字で示した。

3. 潜航調査概要

伊豆ゴージ底は礫質であるが、一部に砂や泥が堆積しており、リップルマークの発達も見られた。水深は、着底点から静岡側へ向かって次第に深くなる。

伊豆ゴージの静岡側崖にはシルト岩が露出していた。このシルト岩には塊状のものと、細粒砂岩層の挟在し層理の発達するものがあり、塊状のものが下位に存在している。また、このシルト岩の上部には純白の火山灰層および軽石火山灰層が挟在している（写真2）。細粒砂岩薄層の挟在するシルト岩試料を採取した（試料62-1）。このシルト岩試料のナンノ化石年代は、山形大学の岡田尚武氏によると81万年前から92万年前である。有孔虫化石については、静岡大学の北里洋氏によると、浮遊性有孔虫を95%以上含み遠洋性で、古水深は3000m程度と現在的水深3400mとほぼ同じ深度に堆積したものであるが、有孔虫殻は著しい変形を被っており、球形の浮遊性有孔虫 *Orbulina* 殻は、55から60%にまでつぶされている。

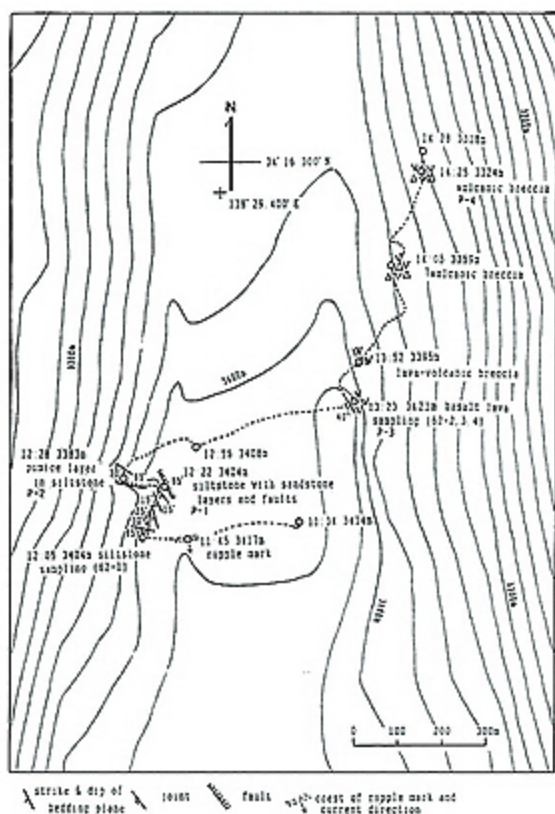


図2 「しんかい6500」第62潜航調査ルート。小十字は「よこすか」による海底地形図と「しんかい6500」航跡とのずれ。P-は写真撮影位置。

Fig. 2 Survey route of Dive 62 of submersible "Shinkai 6500". Small cross represents offset between the submersible route and sea-beam survey by "Yokosuka". P: Photo.

静岡側崖のシルト岩の地層面の走向は北北西で、西に20-30度傾斜している。層理の発達するシルト岩の崖には、北側がステップ状に落ちる正断層が観察された（写真1）。その正断層の発達する崖の北側は破碎され、谷状に侵食されていた。この破碎方向は247-280度である。

静岡側崖を降りて伊豆ゴージ底を航走し、伊豆側に向かうと、埋積物で被われたゴージ底には黒色の火山岩の角礫が次第に多くなる。火山岩の礫に混じって褐色の軽石凝灰岩の巨礫も見られた。

ゴージ底が深くなった所で、玄武岩溶岩の露頭に到着した。玄武岩には北北西方向の節理が系統的に発達し（写真3）、崖の上は地壘状になり狭いが平らになっている。その上面から3個の火山岩試料を採取した（62-2：安山岩、62-3：玄武

岩, 62-4: 安山岩)。地塁状の地形はずっと続き、崖のところでは海流が早く、流されるために十分な観察ができないまま地塁の上に出てしまい、崖を再び探さなければならなかった。探す際にソナーが役立った。露出する岩石は何れも火山岩類であるが、溶岩ないし火山角礫岩から火山角礫岩(写真4)と上方に変化している。

4. 伊豆弧衝突過程と銭洲海嶺の重要性

伊豆弧衝突境界に当たる海域の駿河トラフと相模トラフ、陸域の南部フォッサマグナ地域については、1980年代の「しんかい2000」による潜航調査およびリソスフェア探査開発計画 DELP (Matsuda & Niitsuma, 1989; Niitsuma, 1990) によってその理解は大きく進んだ。これらの成果に基づき、伊豆弧衝突を総合的に説明する衝突過程が提唱されている(新妻, 1991; Niitsuma, 1992)。

この衝突過程では、伊豆弧の衝突過程において、丹沢サイクル、伊豆サイクル、七島サイクルの3つのサイクル(cycle)が存在しており、それぞれのサイクルに共通する6つの時期(stage)が存在するというものである(図3)。この共通する時期とは、

時期1: 衝突する地塊前面のプレートの沈み込み開始

時期2: 衝突する地塊南西方に隆起帯の形成

時期3: 衝突する地塊のプレート沈み込みに伴う沈降

時期4: 衝突に伴う礫の供給と沈降部の埋積

時期5: 衝突に伴うトラフの屈曲と閉塞による河口三角州・海底扇状地の発達

時期6: トラフの閉塞により、衝突地塊南方へのプレート境界の移動

であるが、これは、従来から考えられてきた衝突過程に時期2と時期5を加えたものである。

現在の駿河トラフは、伊豆サイクルの時期5に当たり、石花海ゴージの閉塞によって、トラフ奥部の富士川河口には巨大な三角州・海底扇状地が形成されている(図4)。次の衝突地塊となる伊豆七島海域では、七島サイクルの時期2に当たっており、銭洲海嶺が形成されている(図5)。

七島サイクル前の伊豆サイクルにおける時期2

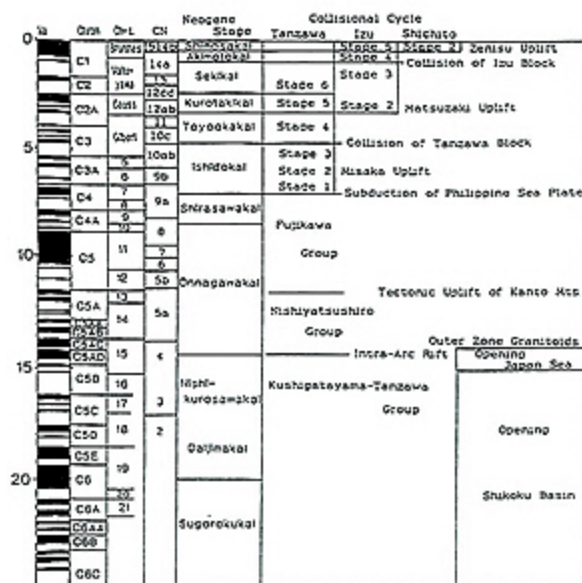


図3 伊豆弧の衝突過程。地質年代と新第三紀時階区分は Niitsuma (1991) による。Ch-z は古地磁気層位区分の磁極節、CN は、ナンノ化石帯。この図は Niitsuma (1992) の Fig. 22 を小山ほか(本号)に従って伊豆サイクルの時期2の年代を訂正したものである。

Fig. 3 Collisional process in the northern end of the Izu Volcanic Arc. Neogene Stages and geologic age framework are based on Niitsuma (1991). Ch-z: Chronozone of magnetostratigraphy, CN: Nanno-fossil biostratigraphic zonation. The age of the Stage 2 in the Izu cycle is changed from the original figure 22 in Niitsuma (1992), based on Koyama et al. (this volume).

では、松崎隆起帯が銭洲海嶺に対応して形成され、その松崎隆起帯は石花海ゴージにおいて、現在、沈み込み・衝突を行ない、トラフ軸部の堆積物の流出を制限している(新妻ほか, 1990)。伊豆サイクル前の丹沢サイクルでは、時期2に丹沢山地の西方にある御坂隆起帯が形成された。丹沢サイクルの時期5における三角州・海底扇状地の発達を証拠付けるのは、甲府盆地南西方で御坂隆起帯の北西方に分布する巨大な礫岩体である礫岩の存在である(新妻, 1991)。

5. 銭洲海嶺の形成機構

伊豆弧衝突過程に新たに導入された時期2と時期5は、共に銭洲の形成・沈み込みに関係しており、銭洲および伊豆サイクルの松崎隆起帯の沈み

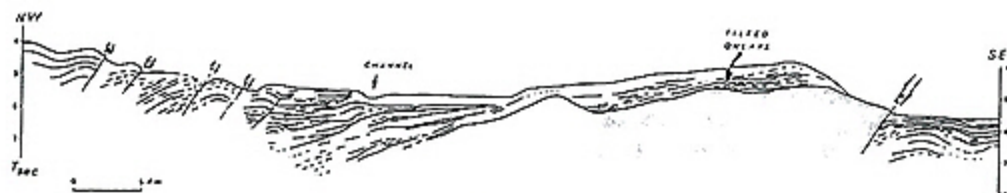
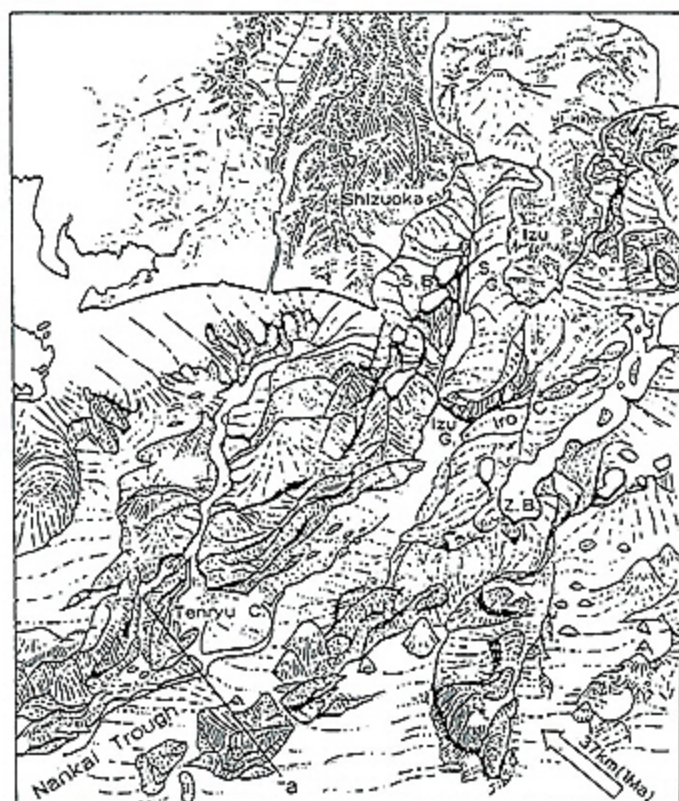


図6 駿河トラフ・南海トラフ海域の海底地形鳥瞰図(上:新妻ほか, 1990)と銭洲海嶺の反射波地震探査断面(下:Le Pichon et al., 1987)。反射波地震探査断面の位置は上図の線a。

Fig. 6 Bird-eye view of the geomorphologic features of the Suruga Trough and Nankai Trough (upper figure: Niitsuma et al., 1991). S. G.: Senoumi Gorge, S. B.: Senoumi Bank, Z. B.: Zenisu Bank, G.: Gorge, C.: Canyon, white arrow: amount and direction of the motion of the Philippine Sea Plate. Interpretation of single channel seismic profile across the Zenisu Ridge (lower figure: Le Pichon et al., 1987). The position of the profile is shown as Line a in upper figure.

み込みプレートの切断無しに、屈曲する境界に沿ってプレートが沈み込むと、屈曲点の沈み込み側に上方に突き上げる力が働き、沈み込みが継続すると、その力によって沈み込み前のプレートが切断される(図7c)。この力は沈み込み境界線の2等分線上に最も大きく働くが、銭洲はこの2等分線上に位置し、伊豆弧において火山軸から45kmも離れた位置にもかかわらず浅海域を形成している

事実は、プレート幾何学から予測される上昇機構を支持している。すなわち、銭洲海嶺の南側の大断層は、屈曲した沈み込み境界に沿ってプレートが沈み込むために必然的に起こるプレートの切断なのである。伊豆弧の衝突過程において丹沢・伊豆・七島の3つのサイクルいずれにおいても時期2に銭洲に対応する隆起帯が形成されており、この形成機構の必然性が支持される。

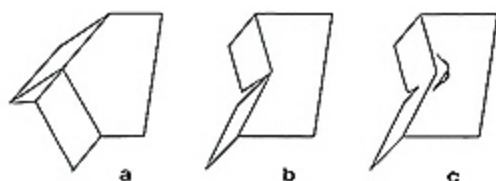


図7 屈曲するプレート沈み込み境界から沈み込むプレートの形態。a. 沈み込み境界の角度が沈み込み側から見て180度以下の場合には、プレートが地下で余分になり折れ曲がる。b. 180度以上の場合には、不足して切断・分離する。c. 180度以上で沈み込みと同時にプレートが切断・分離しない場合には、屈曲点の沈み込み側に上方に突き上げる力が働き、沈み込み前のプレートが切断される。

Fig. 7 Shape of descending slab along bending plate boundary. a: in the case of the bending angle less than 180° , the slab should be folded, b: larger than 180° , the slab should be broken and separated, c: in the case larger than 180° and without break at the subductive boundary, surficial plate should be broken at the ocean side of the bending point, caused by uplifting stress.

6. 伊豆弧衝突過程と潜航調査結果

伊豆サイクルにおいても、丹沢が衝突し、沈み込み境界が屈曲することによって松崎隆起帯が形成され（丹沢サイクルの時期5と伊豆サイクルの時期2）、その後沈み込み境界は丹沢地塊の南側の足柄地域に移動して直線的になり（丹沢サイクルの時期6）、伊豆地塊の沈み込み（伊豆サイクルの時期3）と衝突（時期4）が起り、直線状であった沈み込み境界も次第に屈曲した（時期5）。このような伊豆地塊の衝突過程の間に、伊豆の南西に伸びる松崎隆起帯は静岡側に沈み込みを続け、石花海ゴージに達している。従って、松崎隆起帯は伊豆ゴージの静岡側の崖の下に沈み込んで通過したはずである。

伊豆ゴージには伊豆側から伊豆海脚が張り出しており、それが静岡側に衝突を開始していることが予測されるので、伊豆ゴージのシルト岩には、以前に起こった松崎隆起帯の通過と最近始まった伊豆海脚の衝突という2つの出来事が記録されていることになる。

今回の伊豆ゴージ潜航調査で明らかになったことは、静岡側崖のシルト岩の年代が81-92万年前であり、有孔虫殻が著しく変形しているが、地層

面（堆積面）の傾斜は15-30度と余り乱されておらず、正断層や破砕帯が発達していることである。

地層面は北北西の走向で西に傾斜しているが、この層理面の傾動方向は、伊豆海脚という高まりが静岡側崖に押し退ける際に予想される傾動と合致することから、伊豆海脚の衝突によって形成されたものと考えられる。ただし、この傾動は15-30度程度と激しいものではないので、有孔虫殻が受けた著しい変形の要因としては、この伊豆海脚の衝突よりは、松崎隆起帯の通過によるものと考えられる。

シルト岩の年代が81-92万年前のことであるので、このシルト岩が堆積したのは、伊豆サイクルの時期3である。この時期には、伊豆地塊前面の沈み込み境界が、現在のように屈曲しておらず、陸域からの堆積物がトラフ底に広く堆積していたとする予測を支持している。松崎隆起帯の方向がN55Eであり、フィリピン海プレートとユーラシアプレートの相対運動が現在と等しい（オイラー極が北緯48.23度、東経156.97度、回転角が $1.085^\circ/\text{Ma}$; 瀬野, 1992）とすると、石花海ゴージにある松崎隆起帯の伊豆ゴージ通過年代は、90万年前と算出され、堆積年代とほぼ等しくなる。このことは、このシルト岩の堆積は、松崎隆起帯のすぐ北側で堆積し、その後ただちに松崎隆起帯に沈み込まれたことを示唆している。このシルト岩は、西南方向で北側落ちの正断層や破砕帯によって切られているが、この方向はフィリピン海プレートの運動方向であるN40W方向にほぼ直交することから、松崎隆起帯という高まりがプレート運動によって通過した後に、引っ張り応力が働いたために形成されたと考えられる。この正断層の方向はシービーム海底地形図にも断差として現われている（図8）。御前崎沖から静岡沖にかけての駿河トラフ西側はフィリピン海プレートの運動方向に直行する海嶺が分布しているが、その海嶺の北東側がプレート運動方向にずれている（図6）。このずれは、松崎隆起帯という高まりが沈み込んだために生じたものと予想される。

伊豆ゴージの東方には、南海トラフの延長部に当たる石廊海底谷が発達しており、フィリピン海プレートに載る伊豆の静岡側への衝突が終了する

と、プレート境界がここに移動するものと予想されている（伊豆サイクルの時期6）。あるいは既にプレート境界としての機能を果たしているかもしれない。既に新生プレート境界が機能しているとすると、プレート境界としての石廊海底谷形成に関係する断裂運動が開始されているはずであり、この断裂運動の有無が重要となる。

伊豆ゴージの伊豆側崖に発達する地塁状の地形は、これまで行なわれた駿河トラフ伊豆側崖での潜航調査では見付けられておらず、この地域に特有なテクトニクスを反映していると考えられる。

KAICO 計画のシービーム海底地形では、伊豆ゴージの伊豆側を構成する伊豆海脚の南に、N60-70E 方向の断層地形が多数発達していることが読み取れ（図8）、激しい地殻変動の存在を予想できるが、この地塁状地形も新生プレート境界の石廊海底谷形成と関連して形成されたものと考えられる。

伊豆側の地塁崖の方向が北北西方向であり、地形図でもこの方向と直交する方向の断裂がみられ、東北東方向が石廊海底谷の方向と一致していることから、新生プレート境界が機能し始めてい



図8 KAICO 計画による伊豆ゴージの周辺のシービーム海底地形図（KAICO I Res. Group, 1986）と「しんかい6500」第62潜航地点。

Fig. 8 Sea-beam map of the Izu gorge (KAICO I Res. Group, 1986) and Dive 62 of submersible "Shinkai 6500"

ると考えられる。

7. 潜航調査中の潮流とゴージ底の地形

海底付近の潮流は、潜航調査の成否を支配する重要な要素である。特に海底地形が挟まるゴージにおいては、潮流の速度が大きくなるので重要である。

潮流は11時30分の着底時には南へ0.3ノットであったが、13時頃には南から西南西へ方向を変え、14時には伊豆側の崖の所で北へ0.8-0.9ノットにも達した。この変化は月齢からの予想と良く一致している。今後、月齢による潮流の予測は潜航調査立案の為に役立つであろう。

伊豆ゴージにおけるゴージ底の深度は、静岡側と伊豆側との崖下で大きくなっており、中央部は浅くなっている。このゴージ底の地形は、干潮と満潮に対応する流れがそれぞれ異なった側を強く流れるために形成されたものと考えられる。

潮流の影響は崖付近で大きくなり、操船自身も困難となる場合もあったが、今回の潜航調査では、研究者が記録用ビデオの操作、特に焦点合わせを行なわねばならず、潮流によって向きが変わる崖についての直視観察や写真撮影を充分行なうことができなかったのは残念であった。

謝 辞

山形大学理学部の岡田尚武氏にはナンノ化石を検討していただき、静岡大学理学部の北里 洋氏には有孔虫化石を検討していただいた。海洋科学技術センターの「しんかい6500」運行チームおよび「よこすか」の乗組員の方々には、潜航調査中およびその前後の資料の収集・整理において種々便宜を計っていただいた。静岡大学教育学部の小山真人氏には、本報告をまとめるに当たり討論していただいた。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- KAIKO I Research Group, 1986, Topography and structure of trenches around Japan-date atlas of Franco-Japanese KAIKO Project, Phase I-Tokyo Univ. Press, 305p.
小山真人・新妻信明・狩野謙一・高木圭介・内村
Proc. JAMSTEC Symp. Deep Sea Res. (1992)

竜一・吉田智治・唐沢 譲・田邊裕高、駿河トラフ伊豆側斜面の地質とテクトニクス「しんかい2000」第579潜航の成果一、海洋科学技術センター試験研究報告、「しんかい」研究シンポジウム特集8、本号。

Le Pichon, X., Iiyama, T., Chamley, H., Charvet, M., Faure, M., Fujimoto, H., Furuta, T., Ida, Y., Kagami, H., Lallemant, S., Leggett, J., Murata, A., Okada, H., Rangin, C., Renard, V., Taira, A. and Tokuyama, H., 1987, The eastern and western ends of Nankai Yrough: results of Box 5 and Box 7 Kaiko survey, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **83**, 199-213.

Matsuda, Tokihiko and Niitsuma, Nobuaki (eds.), 1989, "Collisoion tectonics in the South Fossa Magna, central Japan", *Modern Geol.*, **14**, 1-152.

Niitsuma, Nobuaki (ed.), 1990, "Collisoion tectonics in the South Fossa Magna, central Japan", *Modern Geol.*, **15**, 315-411.

新妻信明, 1991, 駿河トラフにおけるプレート沈み込みと南部フォッサマグナの地質, 月刊地球, 号外3, 174-179.

Niitsuma, Nobuaki, 1991, Computer reconstruciton of the Neogene tectonic history of the Japanese Island Arcs. *Prof. H. Nakagawa Comm. Volume*, 203-213.

Niitsuma, Nobuaki, 1992, Arc-arc collisoion in the South Fossa Magna, central Japan. *29th IGC Field Trip Guide Book*, **2**, 109-149. Geol Surv. Japan, Tsukuba.

新妻信明・大塚謙一・狩野謙一・和田秀樹・佐藤隆一・渋谷朝紀・竹内真司・吉田智治・大浦坂勝利, 1990, 駿河トラフにおけるプレート沈み込みの直視観察, 海洋科学技術センター試験研究報告, 「しんかい2000」研究シンポジウム特集6, 261-276.

瀬野徹三, 1992, フィリピン海プレート運動の研究史, 月刊地球, 号外5, 46-50.

徳山英一・小泉 透・芦 寿一郎・平 朝彦, 1991, 御前崎沖南海トラフ陸側斜面の構造とその形成史, 地質学会講演要旨, **98**, 351.



写真1 伊豆ゴージ静岡側崖に露出するシルト岩に発達する正断層。12時22分37秒、水深3402m。

Photo 1 Stepwise normal faults in the siltstone intercalating sandstone layers at the Shizuoka-side cliff of the Izu Gorge. 12:22:37 3402m



写真3 伊豆ゴージ伊豆側崖に地塁状地形をなす玄武岩溶岩露頭

Photo 3 Basalt lava of the horst at the Izu-side of the Izu Gorge. 13:41:15 3418m



写真2 伊豆ゴージ静岡側のシルト岩に挟在する軽石火山層。12時28分54秒、水深3383m。

Photo 2 Pumice layer in the siltstone at the Shizuoka-side cliff of the Izu Gorge. 12:28:54 3383m



写真4 伊豆ゴージ伊豆側崖に地塁状地形をなす火山角礫岩露頭

Photo 4 Volcanic breccia of the horst at the Izu-side of the Izu Gorge. 14:25:37 3322m