

伊豆 - 小笠原弧 , 孀婦岩構造線地域の地形・地質的特徴

坂本 泉^{*1} 富士原敏也^{*2} 石塚 治^{*3}

孀婦岩構造線は伊豆・小笠原弧の中央部に位置し,伊豆・小笠原弧を二分する構造線である。この孀婦岩構造線が分布する地域はその地形学的特徴により1)海山地形,2)海丘地形,3)海盆(断層)地形に区分することが出来る。また,この地域に発達する構造(断層)系は1)北東-南西方向,2)北西-南東方向,3)南北系の3つに区分される。

さらに地質学的特徴により,1)前火山フロント帯,2)火山フロント帯,3)背弧海丘帯,4)背弧海山帯に区分することが出来る。これら地形・地質の特徴は,海洋性島弧の各発達段階過程を反映すると推定される。

キーワード: 伊豆・小笠原弧,孀婦岩構造線,海山,海丘,断層

Topographical and geological characteristics of Sofugan Tectonic Line (STL) area, Izu-Ogasawara Arc.

Izumi SAKAMOTO^{*4} Toshiya FUJIWARA^{*5}
and Osamu ISHIZUKA^{*6}

Sofugan Tectonic Line (STL) locates on the middle part of Izu-Ogasawara Arc (IOA) and divides it into Northern and Southern part. Four major topographical characters such as 1) seamounts, 2) knolls, and 3) trough (and fault) are observed in this area. And three major fault (tectonic) direction are confirmed such as 1) NE-SW, 2) NW-SE, and 3) N-S trending.

The investigated area is classified into four geological units such as 1) fore volcanic front zone, 2) volcanic front zone, 3) back-arc knolls zone, and 4) back-arc seamounts on the basis of their geological phenomenon. These topographical and geological characters indicate each stages for developing activity of Oceanic Island Arc.

Keywords : Izu-Ogasawara Arc, Sofugan Tectonic Line, Seamount, Knoll, Fault

* 1 海洋科学技術センター OD21推進室
* 2 海洋科学技術センター 深海研究部
* 3 工業技術院地質調査所 地殻化学部
* 4 OD21 Program Office, JAMSTEC
* 5 Deep Sea Research Dept., JAMSTEC
* 6 Geochemical Dept., GSJ

1. はじめに

伊豆・小笠原弧は、本州中部域から南方に約1500Km(南北方向)、幅400Km(東西方向)の広がりを持ち、東北本州弧の規模に匹敵する広大な面積を持つ海洋性島弧である。本弧は南北方向の方向性を有する3つの海嶺群(西から西七島海嶺、七島-硫黄島海嶺、小笠原海嶺)と各海嶺の間に存在している凹地地形(西ノ島トラフ、小笠原トラフ)から成り立っている(図-1)。中央部に位置する七島-硫黄島海嶺上には、大島、三宅島、八丈島などの第四紀火山が分布しており、伊豆-小笠原弧における火山フロントを構成している。近年本地域における海洋調査の進展に伴い、火山フロントより背弧側は、東より背弧凹地(玉木ほか,1981)、島弧内リフト帯(北部伊豆-小笠原弧ではさらに活動的背弧リフト地域と背弧海丘帯に区分される;石塚ほか,1999)、背弧雁行海山群(何れも南北に伸びる)に区分されている(森田ほか,1999)。これらの南北方向の地質構造帯は、孀婦岩構造線を境とし西ノ島トラフ以南では観察されない。

孀婦岩構造線は、伊豆・小笠原弧を北部と南部に二分する大構造線であり、これを挟んで1)海底地形の差異、2)震源分布、3)火山フロントの岩石の化学組成、4)背弧凹地の分布に、南北間の対立的な違いがあることが指摘された(湯浅,1983,Yuasa,1983)。

海洋科学技術センターでは、平成7年より海洋性島弧における上部地殻構造の地質学的特徴を明らかにする目的で、孀婦岩構造線周辺で潜航調査を行ってきた(坂本ほか,1997,坂本ほか,1999,Sakamoto et al,2000)。本報告では、平成8年~11年に行われた調査航海のうち、調査船「よこすか」搭載のマルチナロービーム測深機で得られた精密海底地形、および「しんかい16500」の潜航調査で得られた観察記録と岩石試料をもとに、これまでに明らかになった孀婦岩構造線・西ノ島トラフ・七曜海山周辺海域の地形・地質的特徴について報告する。

2. 調査・研究概要

調査海域は約北緯29°30'および26°10'、東経138°50'および141°00'で囲まれた範囲において行われた。

精密地形調査は、海洋科学技術センター調査船「よこすか」に搭載のマルチナロービーム測深機で行った。測線間隔は通常2.0~3.0マイルとし、水深が極端に浅い1500m以下の場合には直交測線をもうけ補足を行った(測地系はWGS84)。

調査期間は平成8年9月6日~27日(YK96-11航海;JAMSTEC,1996)、平成9年5月13日~5月23日(YK97-04航海;JAMSTEC,1997)、平成9年12月8日~12月25日(YK97-10航海;JAMSTEC,1997)、平成11年1月14日~2月6日(YK99-01航海;海洋科学技術センター,1999)、平成11年12月27日~平成12年1月6日(YK99-11航海;海洋科学技術センター,2000)にかけて行われた。

「しんかい16500」による潜航調査は、#338潜航(天保海山;藤岡)、#339(孀婦岩構造線;坂本)、#365(孀婦岩構造線;坂本)、#366(孀婦岩構造線;Jarvis)、#367(孀婦岩

構造線;坂本)、#368(沢海山;Jarvis)の7潜航である。平成12年9月には、後述する孀婦岩構造線北西方向の小海丘群において潜航調査が行われた(YK00-08航海;海洋科学技術センター,2000)が、結果については別の機会に報告する予定である。

3. 孀婦岩構造線周辺の地形学的特徴

本調査海域は海底地形学的に、海山、小海丘、海盆(断層)地形に区分される。

3.1. 海山地形(大町海山,七曜海山,S-1~S-6海山,天保海山,沢海山)

調査地域周辺には月曜・木曜などの七曜海山列を構成している円錐形を呈した第四紀火山フロント海山列のほか、天保・大町海山のように複雑形を呈した海山などが存在している(図-1,2)。さらに地形調査の結果、孀婦岩構造線周辺に幾つかの海山が存在しているのが明らかになった。以下にその特徴を記載する。

3.1.1. 大町海山(図-1,2,3)

大町海山は、火山フロントより約20Km東側に位置し、山体は東西31.5Km、南北59Kmの大きさで、南北にやや伸びた形態をしている。大町海山は本体の海山部と、半島状に南に伸びる部分とからなり、両者の間には地形的なギャップ(走向は東西)が存在している。半島状の頂上には水深2300m~2400mで、本体部との間には700m程度の落差が確認されている(湯浅,1999)。山体基底部は水深約3450~3900m、最浅部の水深は約1700mである。この海山の西側は急斜面(1000/2500m)が発達し、南北に伸びるグラベン構造(火曜南凹地)の東側壁を構成している。

3.1.2. 七曜海山列(図-1,2,3,4)

七曜海山列については、Yuasa et al.(1991)や長岡ほか(1991)による伊豆・小笠原弧に分布する海山地形の詳細な記載報告があり、これを参考にされたい。調査海域には、日曜海山を除く七曜海山列(月曜、火曜、水曜、木曜、金曜、土曜海山)が、ほぼN10Wの方向性をもって配列している。月曜海山は大町海山の西約30Kmに位置し、比高2500mの円錐形を呈した海山である。火曜海山は大町海山の南西約28Kmに位置し、比高2700mでやや北東南西方向に長軸の発達した円錐形に近い形を呈した海山である。水曜海山は大町海山の南約80Kmに位置し、東西性に隣接配列した双子海山(西・東山)とし、頂上にはカルデラ状地形が発達している。水曜海山の比高は約1900m(西山)と1500m(東山)で、西山は円錐形に近い形状を呈し、東山は西山に比べてその裾に谷地形の発達した複雑型を呈している。水曜海山西山と後述するS-1海山との間には東西方向性を呈する比高600mの小海丘が存在している。木曜海山は水曜海山の南約33Kmに位置し、底径約50Km、比高2200mのやや円錐形に近い形状を呈した七曜海山列のうち最大の海山で、頂上にはカルデラ状凹地が存在している(図-4)。

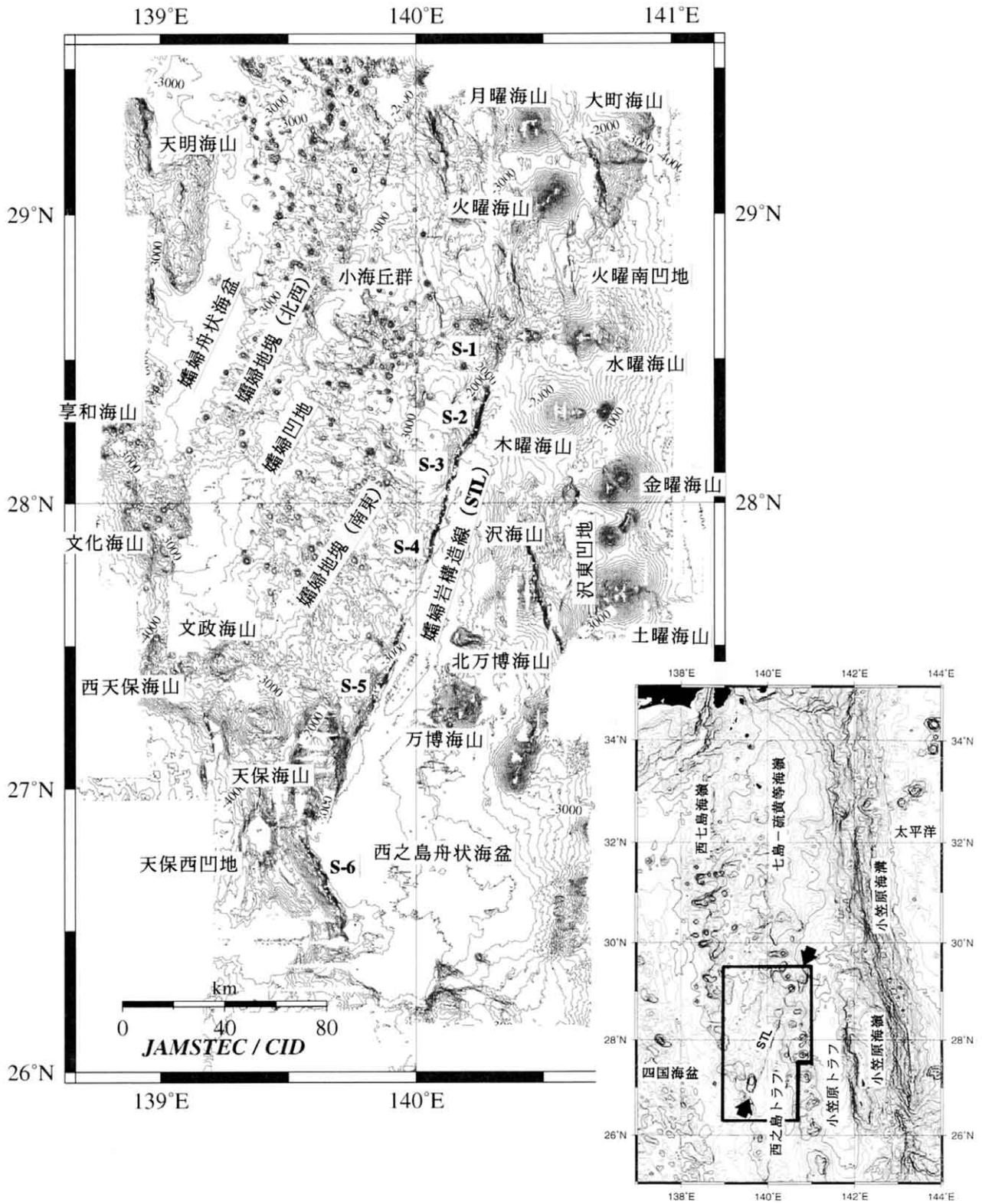


図1 調査海域図

Fig. 1 Location and indexmap of around Sofugan Tectonic Line.

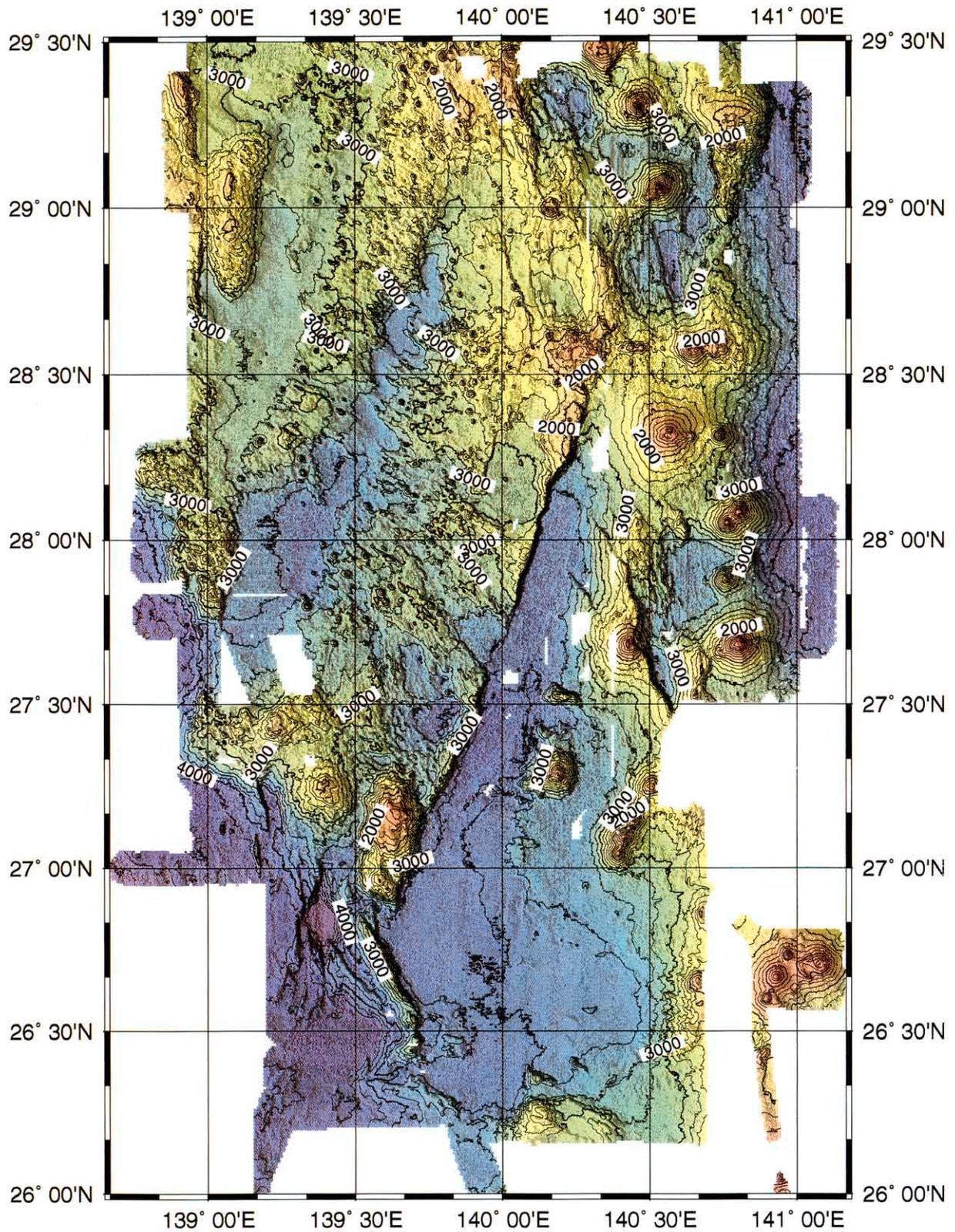


図2 YK97-04～YK99-01航海データを用いて作成された調査海域海底地形図

Fig. 2 Bathymetric map of around study area using the YK97-04 to YK99-01 cruise data. Contour interval is 200m.

木曜海山の東側裾上には比高1500m以上の円錐形を呈した海丘が存在している。金曜海山は木曜海山の南東方向約40Kmに位置し、比高約2000mで北東 - 南西方向に隣接し配列する双子海山である。金曜海山の南方約20Kmには比高1300mの円錐形を呈した海山が存在し、その基底部には北東方向に海脚状に発達した地形が存在している。土曜海山は金曜海山の南方約45Kmに位置し、比高2500mの東西にやや引き延ばされた円錐 - 楕円形を呈した海山で、その裾には幾つかの谷地形が発達している。

我々の調査により、後述する火曜 - 水曜海山間に発達するグラーベン構造(火曜南凹地)の延長上(方向に一致して)に、月曜・火曜・水曜西山・木曜東山・金曜東山が直線上に配列することが確認された。

3.1.3. 沢海山・万博北海山(仮称)・万博海山(仮称)(図-1, 2)

西ノ島舟状海盆東端に分布する沢海山は、土曜海山の西約35Kmに位置している。その山頂は円錐形を呈しているが、基底部には台地状の高まりが発達している。周辺海底から台地状地形頂部までの比高は約1000mであり、台地状地形から頂部までの比高は1600m程である。沢海山の東側半分は急斜面(北北西 - 南南東走向方向で延長約40Km)が存在し、基底部の台地状地形まで深く発達している。急斜面の比高は約2200mに達している。この急斜面は

単一でなく、沢海山頂部中央付近、沢海山山体東側斜面、沢海山基底部(台地状地形)東側斜面の3段階にわたって発達している。しかし、沢海山の西側斜面は、東側とは対照的に緩やかな傾面(2300/10000m)が発達している。

沢海山の南西約30Kmには、東西の構造方向を呈する比高1200mの海山(万博北海山:仮称)が存在する。万博北海山は18×17×9Kmの三角形を呈した海山(やや東西方向に伸び)で、山頂水深は2600mである。周辺の3800mの基盤水深からの比高は約1200m程である。山体の西部には水深3400 - 3200m間で見られる平坦面が存在する。山体の南側は山頂から基盤まで連続した急斜面が発達している。南方に位置する万博海山との間には水深3600mの等深線で囲まれる凹地が発達している。

沢海山の南西方30Kmには比高約2000mで側面に谷地形の多く入った複雑型を呈する万博海山(仮称)が西ノ島トラフ中に存在する。基底部直径は約20×25kmであり、山頂水深は1350m(水路部の海底地形図では2030m)である。この海山も西側斜面水深約3400 - 3200m付近に弱発達の平坦面が存在している。山体は西より東側が急であり、山腹には2600m付近から放射状に向け発達する尾根状(海脚?)の地形が発達している。南西方向に延びる尾根のみ水深1600m付近から発達している。

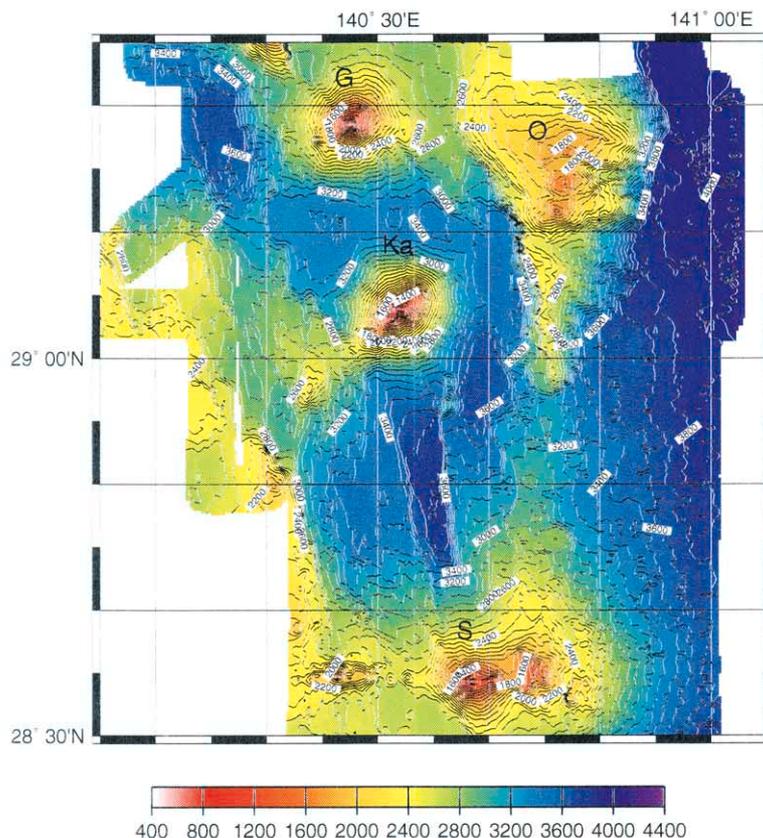


図3 七曜海山列北部海域海底地形図(G = 月曜海山, O = 大町海山, Ka = 火曜海山, S = 水曜海山)
 Fig. 3 Bathymetric map of around the northern part of Shichiyo seamount chain.(G = Getsuyo seamount, O = Ohomachi seamount, Ka = Kayo seamount, S = Suiyo seamount). Contour interval is 100m.

3.1.4. 孀婦岩構造線に沿って分布する海山(凸状)地形
(図-1,2)

孀婦岩構造線に沿ってはS-1～S-5までの5つの凸状地形(本報告では仮に海山地形として扱う)および孀婦地塊(仮称)が分布している。

3.1.4.1. S-1海山(仮称)

S-1海山は大町海山の西南方約80Kmに位置し,比高1200m,底径30Kmで頂上は南に開口した凹地状地形が発達し,周囲は比高200m前後の緩やかな凸状地形が発達している(図-5)。東側斜面は孀婦岩構造線の延長部にあたるが,目立った断層地形は確認されず,幾つかの入り組んだ谷地形の発達する複雑な裾野を呈している。北東側には南北に発達する凸状地形が約35Kmにわたって存在し,その東側にはN10W方向の断層と思われる急斜面が発達し,中央に月曜・火曜海山が存在する凹地状地形に連続し接している。

3.1.4.2. S-2海山(仮称)

S-2海山は木曜海山の北西方向40Kmに位置し,山体は約東西22Km,南北33Kmの大きさで,やや北北東-南南西方向に伸びた凸状地形を呈している。この海山の南東側

は孀婦岩構造線の北延長部にあたり断層崖が発達している。この断層崖は決して一直線ではなく,海山南部においてはN45-50E方向であり,海山東側ではN20E方向の断層崖が発達している。断層崖は急峻であり(1300/1850m),潜航調査の結果では部分的に70度を越す急崖が500mに渡って存在しているのが確認されている。地形断面(坂本ほか,1999)からも明らかなように山体北西斜面は緩やかで(1000/16650m),断層地形の発達する東側とは対照的で,北西に傾動した地形を呈している。山体基底は西ノ島トラフに接し水深約3000～2500mであり,最浅部の水深は約1800mである。

3.1.4.3. S-3海山(仮称)

S-3海山はS-2海山南西に連続して発達し,山体は北北東-南南西方向15Km,北西10Km,比高は1300m(断層崖)である。断層基底は西ノ島トラフと接し水深3600mで,最浅部は水深2300m(山頂部)で,北西方向に緩やかな(700/5500m)傾動した地形を呈している。S-2海山と同様にその東側に孀婦岩構造線の断層崖が発達しているが,一直線ではなく海山東部ではN20E方向を示し海山南部ではほぼ南北方向に発達している。

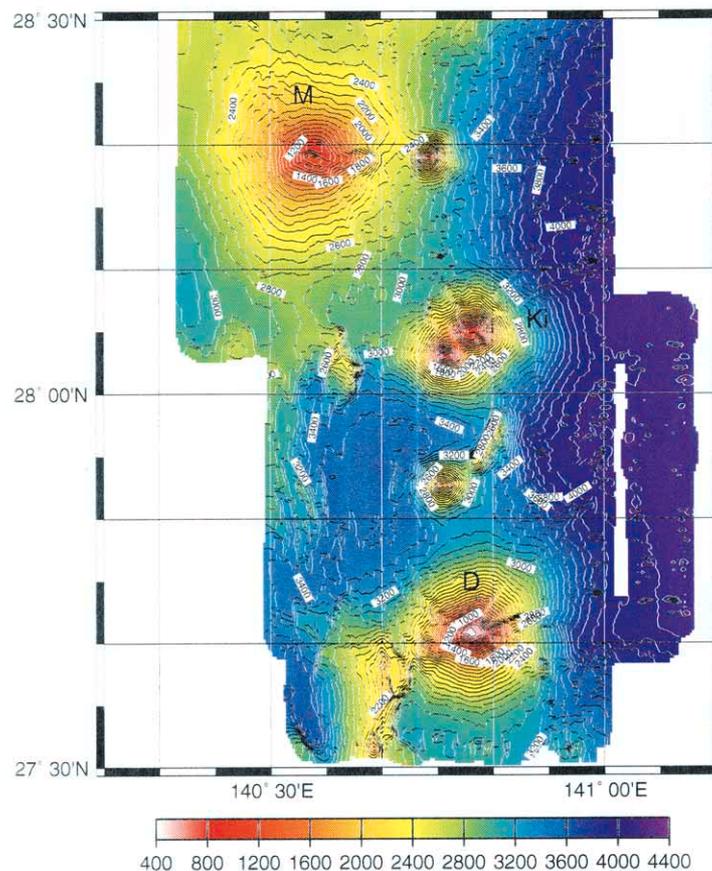


図4 七曜海山列南部海域海底地形図(M = 木曜海山, Ki = 金曜海山, D = 土曜海山)

Fig4 Bathymetric map of around the southern part of Shichiyo seamount chain(M = Mokuyo seamount, Ki = Kinyo seamount, D = Doyo seamount). Contour interval is 100m.

3.1.4.4. S-4海山(仮称)

S-4海山はS-2海山の南西約45Kmに位置し, 孀婦岩構造線に沿って北北東(30Km)- 南南西方向(20Km)の構造方向を呈し, 比高約1300m(断層面)の北西に傾動した高まりである。海山北西斜面はなだらかで300/20000mの傾斜を呈している。孀婦岩構造線を構成している断層崖は巨視的にはほぼ直線であるが, 部分的にNS ~ N15Eの範囲で変化している。

3.1.4.5. S-5海山(仮称)

S-5海山は北北東(35Km)- 南南西(8Km)方向に構造方向を有する細長い海山である。S-2やS-3海山に比べ北西方向の緩やかな傾斜は未発達であり, 両側に比較的急峻な斜面が発達している。頂上は約5つ以上の独立した尾根が配列し, 各ブロックは北西 - 南東方向の断層で区切られている。

S-5海山北東端には, S-2 ~ S-4東側斜面に特徴的な孀婦岩構造線の延長部からなる傾動地塊(幅13Km)が発達している。この傾動地塊とS-5海山とは北西 - 南東の構造を呈する境界が発達し, 約4Km程左横方向にずれている。

3.1.4.6. 孀婦地塊(仮称 ; 図-1, 2)

孀婦地塊は南東端を孀婦岩構造線, 南西端を天保・文政・文化海山, 北西端を孀婦舟状海盆, 北東端を孀婦岩・日曜・月曜・火曜海山で囲まれた場所に位置し, 北東 - 南西方向に伸びた構造地塊である。水深は南西方向に向かい増していき, 文化海山付近で3500mを示している。後述する孀婦凹地により孀婦地塊は北西地塊と南東地塊に区分される。

南東地塊は孀婦岩構造線に沿って分布する連続性断層壁およびS-2 ~ S-4海山で観察される傾動地塊の発達が特徴的である。これらの傾動地塊は孀婦岩構造線に沿って全域に連続するわけではなく, S-3海山北西域, S-4とS-5海山間およびS-5海山北西域では発達せず, ここにはむしろ北西 - 南東方向の軸を呈した凹地状地形が発達している。さらに本地塊上には長さ10 - 20Km, 幅3 - 5Km, 比高約300mの凹凸地形(海脚と谷地形)が連続して発達している(しわ状)のが観察される(図-5)。これらの凹凸地形が後述する孀婦南舟状海盆に接する付近では, 海脚状の凸状地形が明瞭に観察される。これらの凸状地形上には後述する小海丘(3-2, 図-3)が同じ構造方向を呈して発達している。

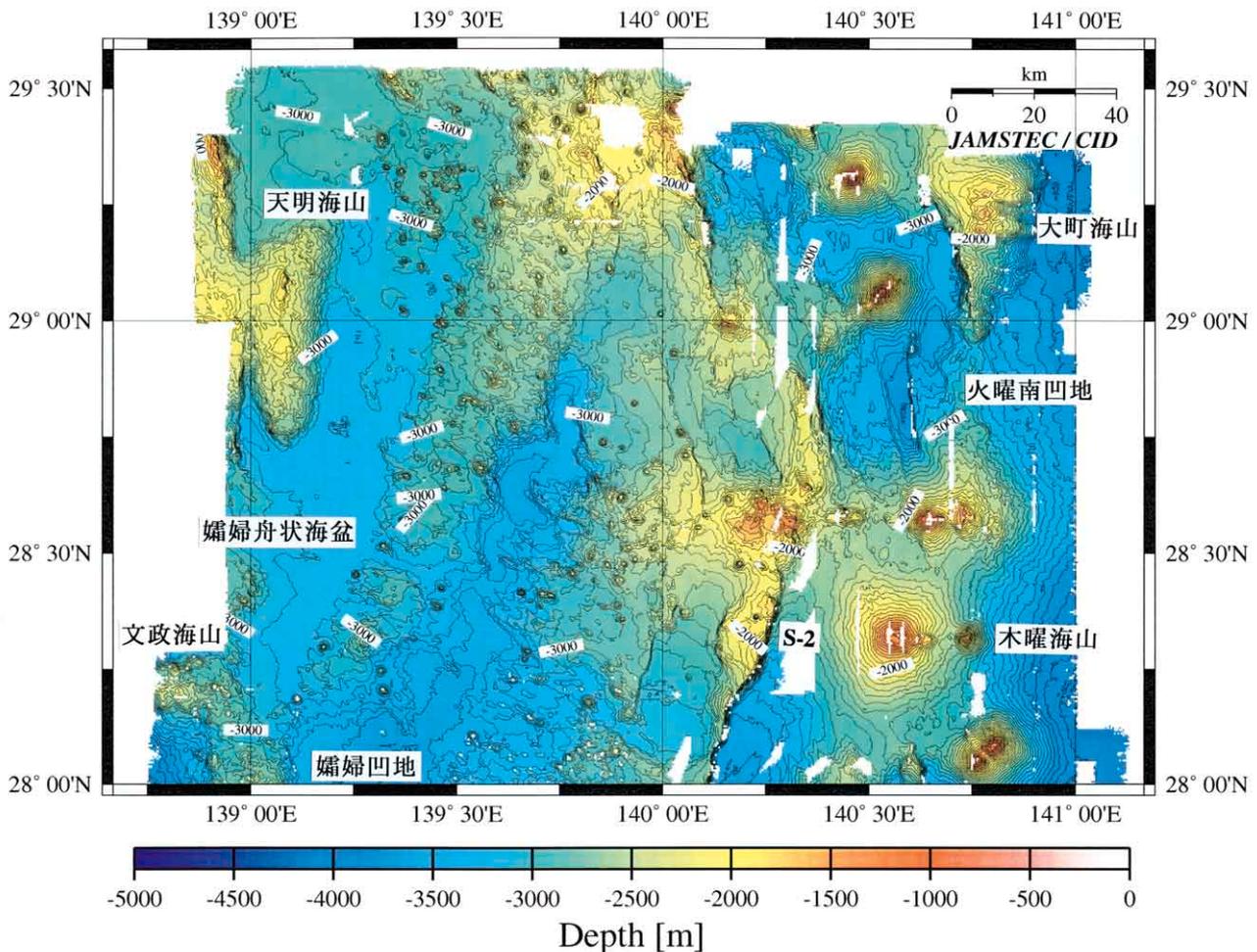


図5 孀婦地塊周辺の海底地形図

Fig. 5 Bathymetric map of around Sofu Block(so-called). Contour interval is 100m.

北西地塊上にも南東地塊と同様に、北西 - 南東の構造方向を呈した凹凸状地形が連続して発達しているのが観察される。これらの凹凸地形は両地塊間での連続性が良く、同様な発達過程が推定される。さらに本地塊上にも小海丘の分布が見られる。

3.1.5. 天保海山・西天保海山・文政海山・文化海山・天明海山・享和海山(図-1, 2)

天保海山はS-2海山から南西方140Kmに位置し、西七島海嶺の南端に発達する海山である。海山本体は南北の構造方向を有し(南北 = 38Km, 東西 = 22Km), 比高2400m (西ノ島トラフ底より) で、山体東側は孀婦岩構造線の延長と思われる急斜面が発達している。この東側急斜面は南北方向を呈しており、これまでの孀婦岩構造線(N20E) の方向性とは異なっている。

西天保海山は天保海山の北西25Kmに位置し、南北 = 25Km, 東西 = 25Km, 比高2000mの海山である。北に位置する文化海山とは - 3000m等深線で囲まれるが、天保海山とは - 3300mのほぼ南北に発達する凹地が存在している。西天保海山の西側斜面は1000/5000mの急斜面が発達し、構造性の谷(凹地) 地形が発達している。この谷地形の西側は文化海山から南方に発達する海脚状地形が発達し、その斜面は700/2000mの急崖が発達している。

文政海山は天保海山の北西約50Kmに位置し、東西に伸びた(南北 = 20Km, 東西 = 50Km, 比高 = 2000m) 海山である。四国海盆と接する山体西側斜面部には1000/10000mの急斜面が発達している。南に位置する西天保海山とは - 3000m等深線でつながっている。山体上には享和・文化海山と同様に小海丘が幾つか観察される。山頂部で行われた採泥調査(海洋科学技術センター, 2000) では、Mn団塊と未固結の有孔虫砂が採取されている。

文化海山は享和海山の南約25Kmに位置し、ほぼ南北に伸びた(南北 = 40Km, 東西 = 22Km, 比高 = 1100m), その北東側および西側に急斜面の発達している海山である。山体には享和海山と同様に一定の構造方向を呈した小海丘(底径5000m, 比高 = 500m) が幾つか観察される(図-6)。これらの海山の長軸の方向は主に北西 - 南東, 南北, 北東 - 南西の三方向が観察される。山体に発達している急崖の方向もほぼこれと類似しており北西 - 南東, 南北が卓越している。山頂付近で行われた採泥では、Mn酸化物数個と未固結の有孔虫砂が採取されている(海洋科学技術センター, 2000)。

享和海山は木曜海山の西170Kmに位置し、東西方向に伸びた(南北 = 20Km, 東西 = 40Km, 比高1500m) 海山である。享和海山の西端は調査範囲からはずれたため地形図は作成されていないが、その東側斜面は西側に比べ緩やかな傾斜(300/8000m) が発達している。山体には後述する小海丘が幾つか観察される。

天明海山は大町海山の西190Kmに位置し、調査海域においては孀婦岩状海盆の西端を形成している。天明海山はほぼ南北に伸びた海山(南北 = 60Km, 東西 = 20Km, 比高1400m) であり、その東側に位置する安永・南安永海山と

は南北性に発達した断層起源の急崖により境されている。天明海山の東側斜面は西側に比べて緩やかな傾斜(1200/1200m) で、幾つかの谷地形が発達している。

3.1.6. S-6海山(仮称; 図-1, 2)

S-6海山は天保海山の南西約45Kmに位置し、北西 - 南東方向に伸びた(北西 - 南東 = 50Km, 北東 - 南西 = 25Km), 北東側50Km(北西 - 南東) × 10Km(北東 - 南西) と南西側50Km(北西 - 南東) × 10Km(北東 - 南西) の二つの複合傾動地塊からなる比高1000mの海山である。この海山はこれまでの孀婦岩構造線に沿って分布する海山とは異なり、その異なった構造方向(北西 - 南東) が特徴である。両海山北東側は断層起源と思われる急斜面が発達し、対照的に海山北西側斜面は1100/8000m(北東側海山), 800/8000mとやや緩やかであるのが特徴である。S-6海山は北西 - 南東方向に発達する断層により少なくとも3つ以上のブロックから構成されている。これらの断層は後述する天保西凹地周辺に発達する断層系の一つに連続している。

3.2. 小海丘地形(図-1, 2, 5, 6参照)

孀婦岩構造線北西海域には、特定の構造方向を呈した、小海丘群が分布している(図-1, 2, 5, 6)。小海丘群が分布するのは孀婦岩構造線以北、孀婦岩状海盆以東、火山フロント以西で囲まれた範囲で、特に孀婦地塊上に発達している。孀婦地塊上には、北西 - 南東方向を呈した海脚状地形が多く発達しており、この海脚上に構造(長軸) 方向を同じくした海丘が観察される。享和・文化・文政海山上にも同様な海丘が観察されるが(図-6), 天明・天保海山上には観察されない(図-1, 2)。

小海丘は直径3 - 5Kmで比高が500 - 800mであり、単成火山状の楕円 - 円錐形を呈している。これら海丘の多くは北西 - 南東の構造方向を示すものが多いが(図-7のSouth参照), 火山フロントに近づくにつれ南北系の構造方向を呈した海丘も卓越するようになる(図-7のNorth参照)。これら小海丘群の地形・地質学的諸特徴の詳細な記載については別の機会に報告する予定である。

3.3. 海盆(凹地) 状地形(図-1, 2, 8)

調査海域にはいくつかの海盆または凹地状地形が分布している。

3.3.1. 西ノ島舟状海盆(図-1, 2)

西ノ島海盆は孀婦岩構造線以南、水曜・木曜等の火山フロント以西及びS-6海山以東に囲まれた海域に位置している。南北方向240Km, 東西80Km(南端 : S-6 ~ 海形海山間) で北に閉じており、最大水深はS-6海山付近で3700mであり、火山フロント側から四国海盆に向かい水深が増す特徴がある。天保海山及びS-6海山以東付近では海底は平坦である。調査海域東端に存在する海形海山西側斜面上には、西ノ島舟状海盆に向かい幾本もの谷が発達しているのが観察される。

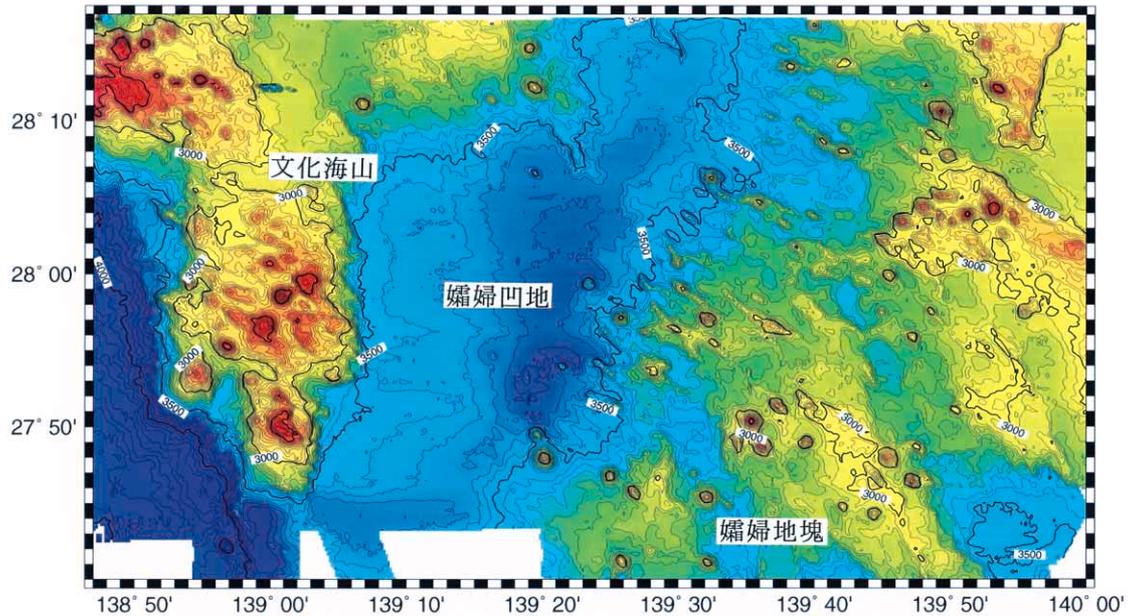


図6 北西 - 南東方向性を呈した小海丘群と孀婦凹地
 Fig. 6 Bathymetric map of around the NW-SE trending small knolls and Sofu depression. Contour interval is 50m.

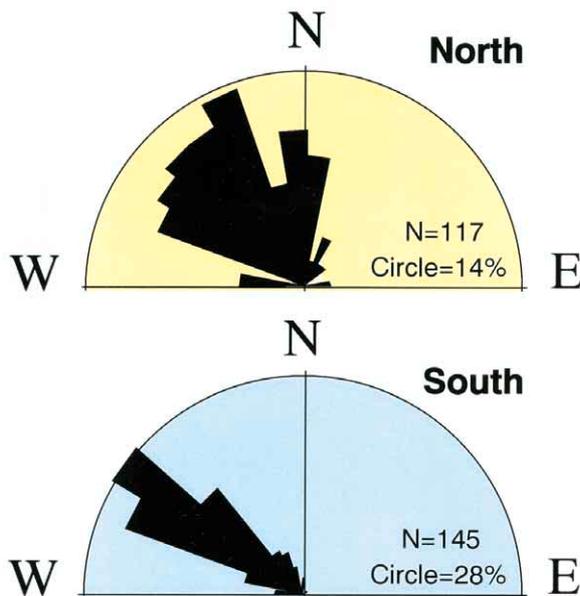


図7 孀婦岩構造線北西方小海丘群の構造(長軸)方向
 Fig. 7 Rose diagram for long axis direction of small knolls where locates around the Sofugan Tectonic Line

3.3.2. 孀婦舟状海盆(図-1, 2, 8)

孀婦舟状海盆は調査範囲において,天明海山を含む西七島海嶺以東,孀婦地塊以北において観察される。最大水深は天明海山付近(南部)で水深3200mを示し,北に向かい浅くなる。

天明海山東何方付近において平坦な地形が発達するが,海盆中にいくつかの小海丘が点在するのが観察される。

この場合小海丘の周辺には小規模であるがモート状の凹地が形成されているものも存在する。

天明海山北東方付近においては小海丘から構成される複雑地形が発達している。これらの小海丘も北西 - 南東方向の構造方向を呈しているものが多く観察される。

3.3.3. 孀婦凹地(仮称; 図-1, 2, 5, 6, 8)

孀婦凹地は北東 - 南西方向に伸びる孀婦地塊上に位置し,長軸(北東 - 南西方向)約150Km,幅12Km(北部)・50Km(南部)の凹地状地形であり,孀婦凹地を北西地塊と南西地塊に二分し,南部で開口し文化・文政海山と接している。北東端は火山フロントにあたり水深は2900mであり,南西端は文化海山付近で3700mを示している。孀婦凹地内には北西・南西両地塊から北西 - 南東方向に発達する海脚状地形が多く観察され,複雑(ジグザグ)な凸凹地形が発達している。

3.3.4. 天保西凹地(仮称: 図-1, 2, 8)

天保西凹地は天保海山の南西約45Kmに位置し,南北30Km,東西20Kmの南北方向に伸びた菱形を呈した凹地である。凹地底はほぼ平らで,最深部は4800mであるが,凹地壁は構造性と思われる急崖から形成されている。北東 - 東側凹地壁は天保海山及びS-6海山に連続する斜面が形成され,比高1200 - 1500mの急崖(1000/3000m)が発達している。

凹地西側壁は四国海盆に通じ,比高こそ800mほどであるが,傾斜は800/2000mであり急斜面が発達している。凹地を中心に周辺には南北方向及,北西 - 南東方向および北北東 - 南南西方向に発達した構造性の谷(断層?)がそれぞれの西側斜面に急崖を形成しながら存在している。

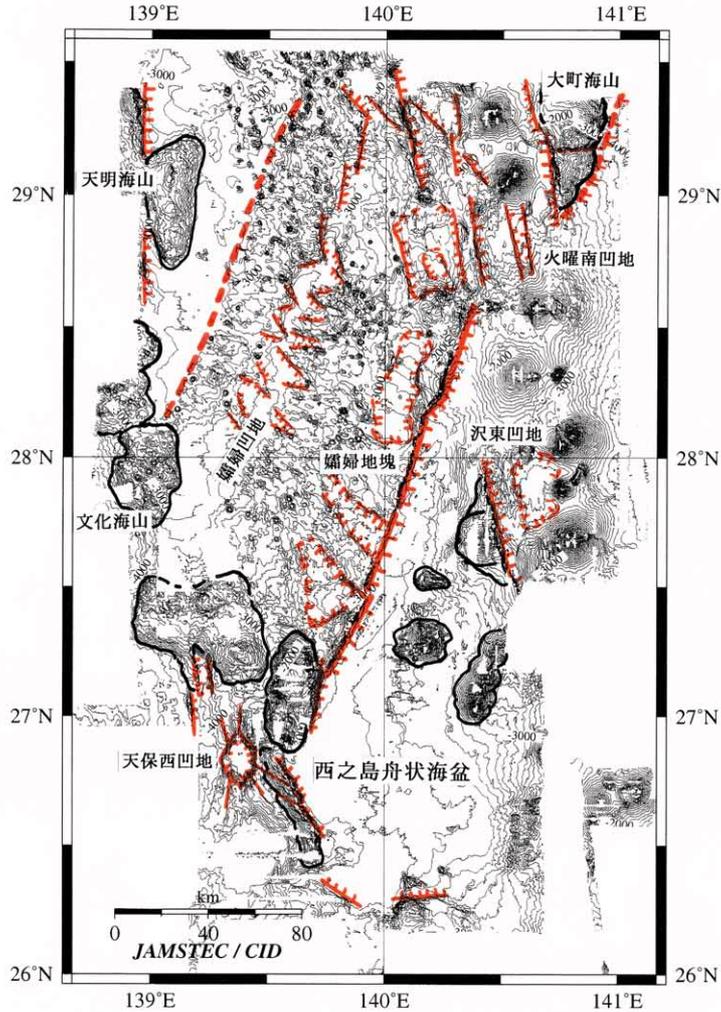


図8 調査地域周辺に分布する凹地地形および断層地形
 Fig. 8 Distribution map of depression and fault around the survey area

3.3.5. 沢東凹地(仮称; 図-1, 2, 8)

沢東凹地は、沢海山の東、土曜海山の西、金曜海山の西に囲まれた範囲に存在し、金曜海山の南西にある凹地底は比較的平坦で水深3500mを示すが、沢海山の東側は水深3200m前後で起伏に富んだ複雑地形を呈している。前述したように沢海山の東半分はN10W方向の断層により欠落しており、凹地底にはほぼこの方向と平行に軸長を呈する海脚状の凸状地形とその間に存在する凹状地形が交互に「しわ状地形」を形成している(比高100~200m)。このしわ状地形は沢海山東方付近で最も良く発達し、沢海山東側斜面から約20Kmまで観察することが出来る。

3.3.6. 火曜南凹地(仮称: 図-1, 2, 8)

火曜南凹地は火曜海山と水曜海山間に位置し、南北38Km, 東西33Kmで水深3500mの南北に発達した凹地である。この凹地底は比較的平坦であるが、凹地中央部には同じく南北に発達した小規模の溝状地形(南北38Km, 東西7Km, 比高400m, 最大水深3700m)が発達し二重構造を呈

している。溝状地形の東西両側に発達する壁は直線的な急崖で形成され、構造的な地形であることが推定される。

外側凹地の東側は大町海山西側急斜面が発達し、西側にはS-1海山から北に伸びる半島状の凸状地形が発達している。これら凹地の両斜面もまた急崖であり、南北にほぼ直線的に発達していることから構造的な可能性が考えられる。

この内側の溝状地形の南北延長部には円錐形を呈する火曜海山、水曜西山、木曜東山がほぼ直線上に配列している。

3.3.7. その他の凹地(図-8)

婦婦岩構造線に沿って幾つかの凹地が発達している。北西端に存在する凹地はS-1海山の北方に位置し、火曜南凹地とほぼ並行に南北方向の構造を呈した凹地である。中央部が最も深く2800mで、比高600mであり西側にはステップ状の崖がN10Wで発達している。この凹地の南側延長には複雑地形を呈したS-1海山が存在し、北側延長部には山頂から山腹にかけ南北から東西方向の急崖の発達した海山が発達している。これらの海山いずれも火山フコ

ントの海山のような円錐形を呈しておらず、緩やかな傾斜が特徴的であり、その山頂から裾野にかけて谷の発達が見られる。

S-2およびS-3海山北西方にはほぼ南北に伸びる凹地地形(北北東-南南西方向=約50Km,東西方向=23Km,最大水深3100m)が発達している。北側に比高200mの壁が発達しているが、凹地底は平坦な地形が発達している。

S-4-S-5海山間には、北西-南東方向に構造軸を呈した凹地地形が発達している。北西-南東方向に約50Km,北東-南西方向に15Kmの規模を有し、周囲にはS-4海山やS-5海山から北西に発達する凸状地形が発達している。凹地の比高は最大200m程で、北西に向かい差が減じ、周囲の北西南東方向に発達した海脚状地形に連続する。

S-5海山の北西方にも、北西-南東方向に構造軸を持つ凹地地形が発達している。北西南東方向に55Km,北東南西方向に36Kmで、北西に向かい閉じた三角形を呈している。最大水深は3800m(S-5海山北西部周辺)、北西に向かい海脚状地形が発達する傾向にある。

4. 孀婦岩構造線周辺の地質および潜航調査結果

本調査地域はその地形・地質的条件により、1)前火山フロント帯、2)火山フロント帯、3)背弧海丘帯、4)背弧海山帯の4つに区分することが出来る。以下に各区分における特徴を示す。「しんかい16500」により得られた地質柱状図を図-9に示す。

4.1. 前火山フロント帯(大町海山)

大町海山では採泥調査により前期漸新世の放射年代(31.9±1.2,33.6±1.2Ma)を示す安山岩質(普通輝石・シソ輝石安山岩質, SiO₂=57.68%)の礫岩(湯浅,1989)および、安山岩質の火山岩を源岩とするブドウ石バンペリー石相の弱変成岩(Yuasa et al., 1992)が採取されている。「しんかい6500」による潜航調査により大町海山南側半島部の西側斜面は、1)傾斜変換点をはさんで上部斜面と下部斜面とに分けられること、2)下部斜面の一部は蛇紋岩から成ること、上部斜面は整然と堆積したタービダイト堆積物から成ることが報告されている(湯浅ほか,1997)。大町海山は伊豆・小笠原弧北部から連続して分布する特徴的な前弧基盤隆起帯(Honza and Tamaki, 1985)の一部であることが推定される。

4.2. 火山フロント帯(七曜海山列, 沢海山)

七曜海山列を構成する海山においては、地質調査所による採泥調査が行われ採取された岩石の記載が行われている(Yuasa and Nohara, 1992)。また水曜海山、木曜海山、土曜海山において「しんかい2000」による潜航調査が行われている(長岡他,1992)。なお沢海山は火山フロントを構成する火山列とは時代的に異なると考えられるが、位置的關係よりこの項で記載する。

七曜海山列のうち、日曜海山からは両輝石安山岩質火山岩・火山礫岩が、月曜海山からは両輝石安山岩が、火曜海山からは含カンラン石安山岩が、水曜海山からは玄武岩・普通

Geological columnar section around the Sofugan Tectonic Line

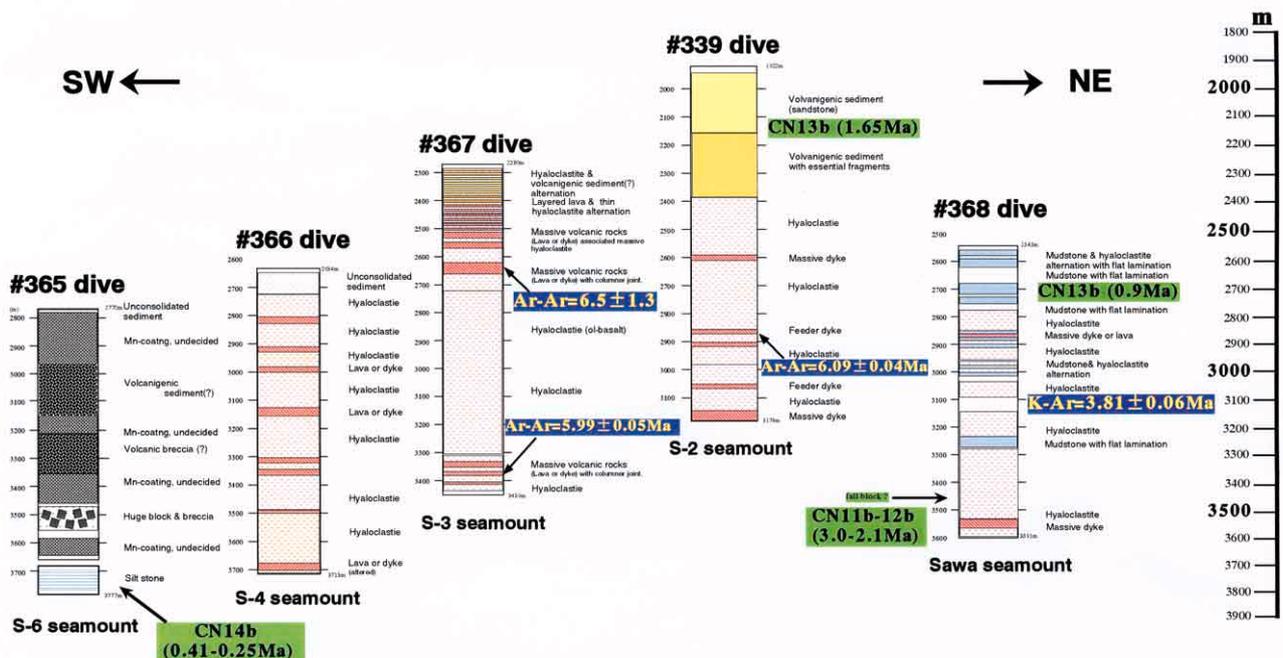


図9 孀婦岩構造線周辺の地質柱状図(坂本ほか,1998に加筆)

Fig. 9 Geological columnar section from around Sofugan Tectonic Line(after Sakamoto et al., 1998)

輝石安山岩・デイサイト質火山岩が、木曜海山からはカンラン石玄武岩が、金曜海山からは両輝石安山岩が、土曜海山からは玄武岩が採取されている (Yuasa and Nohara, 1992)。「しんかい2000」での潜航調査結果から、水曜海山の山頂付近はデイサイト～流紋岩質溶岩を主体とし、デイサイト質の溶岩ドームも観察され、新火口底では熱水を噴出する硫化物鉱床が確認されている (長岡他, 1992)。木曜海山の山頂付近にはカルデラが存在し、付近で行われた「しんかい2000」の潜航調査から、玄武岩質火山岩の溶岩ドームが推定され、カルデラ中から複数の熱水噴出箇所が確認されている (長岡他, 1992)。土曜海山でも玄武岩質の溶岩ドーム活動が推定され、複数の熱水噴出箇所が確認されている (長岡他, 1992)。

沢海山東側斜面では、「しんかい16500」による潜航調査が行われた。潜航は、下部の台地状地形部で行われ、少量の貫入岩類と多量の玄武岩質ハイアロクラスタイトおよび泥岩から構成されているのが確認された。上位に向かいハイアロクラスタイト相は、層状を呈し2730m以浅では泥岩との互層を示すようになる。2660m以浅では泥岩優勢になり、ハイアロクラスタイト相は薄くさらに頻度も少なくなる。低変質度の岩相から推定して沢海山基底部の火山活動は、孀婦岩構造線周辺の火山活動 (S-2, 3, 4海山) に比べやや新しいと推定される。下位から得られた堆積岩中はCN11b-12b (3.0-2.1Ma) を示し、上位の堆積岩中からはCN13b (0.9Ma) を示すナノ化石が得られている (坂本・堀内, 1998)。また下位を構成する火山岩はスパイダー図上でHFS元素に乏しくNbの著しい負異常が現われる典型的な島弧性玄武岩であり (坂本他, 2000)、未公開ながら約3.8Maを示すK-Ar年代が得られている。

4.3. 背弧海丘帯 (S-1～S-5海山, 孀婦岩北西小海丘群)

S-2海山は、玄武岩から安山岩質の火山岩から構成され、下位から上位に向け塊状～砕屑物～火山性堆積岩相に岩相が変化しており、これら岩相変化の様子は、島弧上における海底火山活動の盛衰を示すものと推定された (坂本他, 1999)。採取された玄武岩は島弧性を示し (坂本他, 2000)、約6Maを示すAr-Ar年代 (未公開データ) が得られている。上位の堆積岩からはCN13b (1.65Ma) を示すナノ化石年代が得られている (坂本・堀内, 1998)。

S-3海山では、ドレライト、カンラン石玄武岩、カンラン石-単斜輝石玄武岩など多種にわたる比較的新鮮な塩基性火山岩が分布し、水深2650m以浅の急崖では水平構造を呈する層状岩 (火山性堆積岩) とハイアロクラスタイト質角礫岩の互層が観察された (坂本他, 1999)。これらの火山岩はスパイダー図上で何れもHFS元素に乏しく、Nbの著しい負異常が現われる典型的な島弧性玄武岩を示し (坂本他, 2000)、約6Maを示すAr-Ar年代 (未公開データ) が得られている。

S-4海山で行われた「しんかい16500」の潜航調査では、リズムカルに繰り返される塊状火山岩とハイアロクラスタイト質角礫岩の互層が分布しているのが観察されている。塊状火山岩は厚さ5m程で縁辺部は細かく破碎化し周囲の角礫岩に遷移しているのが観察されている。角礫岩類は層

状を示しておらず、in-situで形成されたものと推定される。S-4海山基底部からは変質鉱物として緑簾石+緑泥石+ソーダ沸石の出現する無斑晶質玄武岩が採取され、変質度から孀婦岩構造線から得られた火山岩の内最も下位相の物質が得られたものと考えられる。

S-3, S-2, 沢海山では上位に向かい火山性砕屑物～堆積岩が優勢になる傾向が明らかである (図-10)。また上部に分布するこれらの堆積物は、火山フロントから西に向かうにつれ薄くなる傾向が明らかである。

4.4. 背弧海山帯 (天保海山, S-6海山)

天保海山では「しんかい2000」による潜航調査および採泥調査が行われており、これにより採取された石灰質堆積物、礫性石灰岩からは15Maという年代が報告されている (碓・西村, 1991)。天保海山東側斜面下部で行われた「しんかい16500」による潜航調査では、上位からの崩落物に覆われてしまい構成岩石の産状観察・岩石採取は行われなかった (藤岡他, 1997)。

S-6海山東側斜面では「しんかい16500」による潜航調査が行われたが、ほぼ全面にわたりMnクラストにより覆われていたが、Mn被覆表面の凹凸状態から内部は角礫岩状の岩石が分布していると推定される (坂本他, 1999)。しかしS-6海山東側斜面基底部では、Mn被覆を被っていないシルト岩がS-6海山の伸びの方向と並行なN45Wの構造を呈してブロック状に露出しており、S-6海山の成長に伴い海底面近くの物質が露出したものと推定された。このシルト岩からはCN14b (0.41-0.25Ma) を示すナノ化石年代が得られている (坂本・堀内, 1998)。

5. 考察

5.1. 孀婦岩構造線の地形学的特徴

本調査地域は地形学的に1)海山 (凸状)、2)小海丘、3)海盆 (凹地・断層) 地形に区分された。海山地形は円錐形を呈した海山と、山体斜面部に構造谷が発達し複雑系を呈した海山に区分される。前者は七曜海山列で代表される現世の火山フロントを構成する海山であり、後者は大町海山や天保海山のような前弧や背弧に分布する海山である。さらに、孀婦岩構造線に沿って分布するS-1～S-5海山は、何れも南東部の急斜面とは対照的に北西に緩い斜面の発達した構造性の傾動地塊であると考えられる。この傾動地塊を含む孀婦地塊は南を孀婦岩構造線 (北北東-南南西方向) で、北側を孀婦舟状海盆 (北北東-南南西方向) で挟まれた凸状地形で、南北両縁辺はバレスベラ海盆から発達するトランスフォーム断層に連続すると考えられる。

上記孀婦地塊および孀婦舟状海盆中には、底径2-5Km、比高約500mの小海丘群が分布している。享和・文化・文政海山上に分布する小海丘も含めると総数356個に達する。調査海域が北側に広がれば、この数はさらに増えるであろう。これらの海丘の多くは北西-南東方向にその構造 (長軸) を呈するものが多く、その傾向は孀婦岩構造線南西部域ほど大きい (図-7)。北東部 (島弧中央) に向かい南-

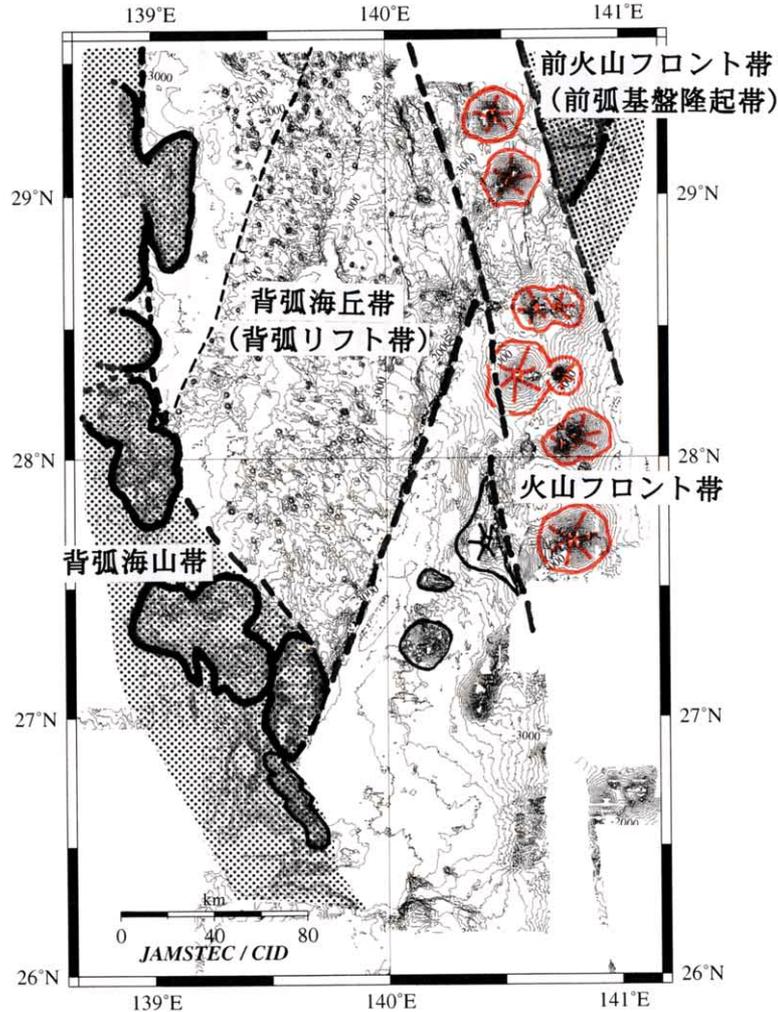


図10 孀婦岩構造線周辺の地質区分マップ
 Fig. 10 Geological tectonic map around Sofugan Tectonic Line

北方向に構造(長軸)を呈するものが出現してくる(図-7)。北西-南東方向は孀婦岩構造線の構造方向とはほぼ90度で接する関係にあることから、地下において孀婦岩構造線形成過程で生じた共役的構造が広域に発達していると推定される。島弧中央に向かい南北性の方向をもった小海丘が出現するのは、現在の火山フロントに特有な南北性のテクトニクスの影響を受けていることが推定される。また中央部においても南西部と同じく北西-南東方向の海丘が出現し構造方向が多様であるのは、厚く複雑な地殻構造を反映しているものと推定される。

海盆(凹地状)地形も、海丘と同じく北西-南東方向と南北に発達する2つの系が観察されている(図-8)。南北に発達する凹地は主に島弧中央部付近に分布し、火山フロントの活動と密接な関係にあることが、海山の配列からも指示されている。孀婦岩構造線にそって分布する北西-南東方向の連続する凹凸地は、孀婦岩構造線の発達過程に起因する構造運動と密接な関係にあることが十分推定される。

孀婦岩構造線の南西端に位置する天保西凹地は、孀婦

岩構造線とS-6海山東側に発達する断層活動より形成されたプリアパートベースンと考えられる。周辺には北西-南東、北東-南西、南北方向に発達する断層が存在し複雑であり、S-6海山上に連続し発達する断層の特徴を含めて今後考察していく予定である。

以上の様に、本調査地域に分布する海山、海丘、海盆地形で代表される構造方向は、1)南北方向(火山フロント海山、凹地地形)、2)北東-南西方向(孀婦岩構造線)、3)北西-南東方向(小海丘群・凹地地形)の3つに大別できる。南北方向は主に火山フロント帯に卓越し、北東-南西や北西-南東方向は背弧海丘帯に発達し、前火山フロント帯や背弧海山帯には複合的な構造方向が発達し(図-8)、各地質区分で異なった構造方向が発達しているのが明らかになった。

5.2. 孀婦岩構造線周辺の地質学的特徴

本調査域はその地形・地質学的特徴により前火山フロント帯、火山フロント帯、背弧海丘帯、背弧海山帯の4つに区分される(図-9)。

前火山フロント帯は大町海山で特徴付けられるように、約30Maを示す安山岩や変成岩から構成されている。これらは30 - 40Maを示すボニナイトやデイサイトからなる小笠原海嶺の火山岩類(Tsunakawa, 1983, Umino, 1985)に対比され、前弧基盤隆起帯(Honza and Tamaki, 1985)の一部であると推定される。

七曜海山列等の海山は、ほぼ南北方向に配列し、水曜、木曜、土曜海山等からは活動的な熱水噴出現象なども報告され(長岡他, 1992), 伊豆・小笠原弧における第四紀火山フロントを構成している。地形記載の項でも示したが火曜 - 水曜間に発達する火曜南凹地は二重のグラベン構造を呈し、中央の溝の延長部には水曜西山、木曜東山、金曜東山が直線上に配列しており、一連のフロント活動の中でも最も新しい側噴火活動と考えられる。

背弧海丘帯には孀婦岩構造線に沿って分布するS-1~S-5海山存在している。これらの潜航結果から、未公表ながら約6Ma前後の島弧性玄武岩が採取されている。またこれら火山岩の上位には1.5 - 1.0Maを示す堆積岩が分布している。これら火山岩の産状と堆積岩の関係は整合的で漸移的であり、島弧火山活動の盛衰を示しているものと考えられる。小海丘群の活動については、背弧海丘帯の基盤岩(傾動地塊)形成が6Ma前後である事、リニアメントの特徴が島弧中央部に向かい南北性を示すこと等から、火山フロントの活動が始まる2Ma付近に起こったと推定される。今後2000年9月に行われた潜航調査結果(現在分析中)をふまえて考察を行う予定である。

天保・文化・文政海山で特徴付けられる背弧海山群では、「しんかい2000」、「しんかい16500」や採泥調査が行われたが、多量のMnコーティングや崩落物に覆われているため詳しい地質データに乏しい。天保海山の頂部における「しんかい2000」潜航調査により、15Maを示す礫性石灰岩が採取されている(碓・西村, 1991)ことから、天保海山本体は少なくともこれよりは古いと考えられる。天保海山が属する西七島海嶺からは、その北部においてジュラ紀を示すチャート礫(万治海山; 石塚ほか, 1997)や白雲母+緑泥石+アルバイト+石英から成る片岩が採取されており、北貞享海山; Yuasa et al. 1981), 前弧隆起帯の大町海山同様、先島弧活動(初期ステージ)により形成された地塊と考えられる。

以上の様に本調査地域は地質学的に、1) 先火山フロント帯、2) 火山フロント帯、3) 背弧海丘帯、4) 背弧海山帯の4つに区分され、それぞれの区分は島弧の発達過程を示していると考えられる(図-10)。先に示した地形的に見られる構造方向も、各地質区分で異なっており(図-8), 島弧の発達過程において異なるテクトニック支配下に置かれていたことが推定される。

この地域では、大町海山や天保海山で特徴づけられるような前火山フロントや背弧海山帯等の先島弧活動の後、S-2~S-4海山で示されるような背弧海丘帯の活動(背弧リフティング; 北西 - 南東方向の構造)が繰り返され、最後に最も新しい七曜海山列等の南北性火山フロントがこれまでの構造を割って(切り込んで)活動したと考えられる

(図-10)。孀婦岩構造線は背弧海丘帯域に分布する約1.5Maの堆積物を切っていることから、少なくともこの時代までは活動しており、S-6海山下部に分布するシルト岩の年代(約0.5Ma; 図-9)より、新しい時代にも活動していたことが推定される。

6. 謝 辞

本研究をまとめる上で海洋科学技術センター末広 潔深海研究部長、木下 肇理事には研究の機会を与えて頂きました。海洋科学技術センター調査船「よこすか」の石田貞夫・斉藤房夫船長をはじめ乗組員の皆様、潜水調査船「しんかい16500」の井田正比古元司令、今井義司司令および運航チームの皆様には試料採取および地形計測に協力して頂きました。海洋科学技術センター藤岡換太郎博士、地質調査所湯浅真人博士、石原丈実博士には観測航海において協力・助言して頂きました。海底地形図作成には情報室の小寺 透氏にアレンジして頂きました。以上の皆様に感謝いたします。

7. 参考文献

- 藤岡換太郎・石井輝秋・小原泰彦・金松敏也・坂本 泉・原口 悟・佐々木智之(1996): フィリピン海の古島弧と古拡大軸 - よこすか Y96-11航海速報 - 第17回深海シンポジウム, 8-11.
- Honza E., and Tamaki K.(1985): The Bonin Arc. in The Ocean Basin and Margins.(eds. by Martin et al.): 7A, 459-502.
- 碓 京子・西村 昭(1991): 伊豆・小笠原弧、西七島海嶺天保海山の地史。地質調査所月報, 42., 19-41.
- Ishizuka, O., Uto, K., Yuasa, M., and Hochstaedter, A.G. (1998): K-Ar ages from seamount chains in the back-arc region of the Izu-Ogasawara arc. The Island Arc, 7, 408-421.
- 石塚 治・宇都浩三・湯浅真人(1999): 伊豆小笠原弧背弧地域の火成活動史。地球, 号外, No.23, 89-98.
- JAMSTEC(1996): Onboard report of YK96-11 Cruise, 380p.
- JAMSTEC(1997): Onboard report of YK97-04 Cruise, 208p.
- JAMSTEC(1997): Onboard report of YK97-10 Cruise, 66p.
- 海洋科学技術センター(1999): YK99-01クルーズレポート, 66p.
- 海洋科学技術センター(2000): YK99-11クルーズレポート, 45p.
- 海洋科学技術センター(2000): YK00-08クルーズレポート, 79p.
- 森田澄人・石塚 治・Hochstaedter, S.・石井輝秋・山本富士夫・徳山英一・平 朝彦(1999): 北部伊豆・小笠原弧の火山及び構造の発達史。地球, 号外, No.23, 79-88.
- 長岡信治・沖野郷子・加藤 茂(1991): ナローマルチビーム測深機による伊豆・小笠原弧中部の海底火山地形図。水路部研究報告, 第27号, 145-172.

- 長岡信治・春日 茂・加藤幸弘(1992): 小笠原 - 七曜海山列の木曜海山,土曜海山,水曜海山の火山地質。しんかいシンポジウム報告書,237-248.
- 坂本 泉・佐々木智之・藤岡換太郎(1997): 孀婦岩構造線付近で観察された海洋性島弧上部の火山地質学的特徴(1),JAMSTEC J.Deep Sea Res., 13, 179-494.
- 坂本 泉・堀内誠示(1998): 孀婦岩構造線周辺の地質及びナノ化石年代。第15回しんかいシンポジウム予稿集, 80-81.
- 坂本 泉・P.A.Jarvis・沖野郷子・青木美澄・観田 悟・柏瀬憲彦(1999): 孀婦岩構造線周辺の地質学的・記載岩石学的特徴 - YK97-04航海の結果 - 。JAMSTEC深海研究,14号,279-299.
- Sakamoto I., Fujiwara T., Ishiduka O., and Yuasa M.(2000): Geology and Tectonics of the Sofugan Tectonic Line, Central part of Izu-Ogasawara Arc. 2000 Western Pacific Geophysical Meeting, Tokyo, WP211.
- 坂本 泉・富士原敏也・石塚 治(2000): 伊豆・小笠原弧、孀婦岩構造線周辺の地質とテクトニクス。日本火山学会講演予稿集 秋季大会(茨城大学),p-67.
- 玉木賢策・井上英二・湯浅真人・棚橋 学・本座栄一(1981): 小笠原弧の第四紀背弧拡大活動の可能性について。月刊地球,vol.3,421-431.
- Taylor, B.(1992): Rifting and the volcanic-tectonic evolution of the Izu-Bonin-Mariana arc. in Proc. ODP, Sci.Results, 128(B. Taylor and K. Fujioka, eds.), College Station, 627-651.
- Tsunakawa,H.(1983): K-Ar dating of volcanic rocks in the Bonin Islands and its tectonic implication. Tectonophys., 95, 221-232.
- Umino, S.(1985): Volcanicgeology of Chichijima, the Bonin Islands(Ogasawara islands). J. Geol. Soc. Japan, 91 505-523.
- Yuasa M.,Nishimura A., and Makimoto H.(1981): Sediments, rocks and Ferromanganese oxide. Geol. Surv. Japan Cruise Report No.14, 95-109.
- Yuasa, M.(1985): Sofugan Tectonic Line, a new tectonic boundary separating northern and southern parts of the Ogasawara(Bonin)Arc, northwest Pacific. In N. Nasu et al., eds., Formation of Active Ocean Margins, Terra Pub. Tokyo, 483-496.
- 湯浅真人(1983): 伊豆・小笠原弧の地学現象にみられる南北対立。地球,Vol.5, 459-463.
- 湯浅真人・村上文敏(1985): 小笠原弧の地形・地質と孀婦岩構造線。地学雑。94, 47-66.
- Yuasa, M., Murakami F., Saito, E., and Watanabe, K.(1991): Submarine topography of seamounts on the volcanic front of the Izu-Ogasawara(Bonin)Arc. Bull.Geol. Survey of Japan, 42, 703-743.
- Yuasa, M. and Nohara, M.(1992): Petrographic and geochemical along-arc variations of volcanic rocks on the volcanic front of the Izu-Ogasawara(Bonin)Arc. Bull.Geol. Surv. Japan, vol.43, 421-456.
- 湯浅真人・西村 昭・新井田清信・石塚 治(1999): 伊豆・小笠原弧中央部,火山フロント近傍の第三系 - 大町海山の地質 - 。地球,号外, No.23, 107-115.

(原稿受理 : 2001年2月15日)