

奥尻海嶺北部における海洋地殻層序

宮下 純夫*¹ 徳山 英一*² 徐 垣*³ 竹内 章*⁴
石井 次郎*⁵ 仲 二郎*⁶ 嵯峨山 積*⁷

奥尻海嶺北部における「しんかい6500」による第50潜航及び第137潜航調査により、水深2,570m付近から2,410mの間に少なくとも3枚の塊状玄武岩層の露頭が確認された。塊状玄武岩はシルト岩中へシート状に貫入したものとみられる。その互層部よりも深部と上部にはシルト岩が主に露出しているが、これらは斜面と調和的な西傾斜の層理を示しており、上部から重力滑動してきたものと考えられる。一方、塊状玄武岩とシルト岩とはシャープに接し、シルト岩はその境界部に沿って灰色に変色し、境界部の走向はほぼ南北に近いが東へ緩く傾斜している点で、重力滑動したとみられるシルト岩とは異なった構造を示している。今回の結果とこれまでの「しんかい2000」やドレッジなどの結果に基づけば、奥尻海嶺北部の西側急斜面には、最上部は地質年代で少なくとも13Maから3.7Maにわたる厚い堆積岩、その下位に枕状溶岩とハイアロクラスタイト、最下部に塊状玄武岩と堆積岩との互層部からなっている地殻断面が窓状に顔をだしていると考えられる。この地殻断面において、下部と上部の間に断層がないと仮定すると、約1km前後の地殻の断面が所々に窓状に顔をだしていることになる。

キーワード：日本海、奥尻海嶺、背弧海盆玄武岩、海洋地殻

-
- * 1 新潟大学理学部
 - * 2 東京大学海洋研究所
 - * 3 九州大学理学部
 - * 4 富山大学理学部
 - * 5 故人
 - * 6 海洋科学技術センター
 - * 7 北海道地下資源調査所
 - * 8 Faculty of Science, Niigata University
 - * 9 Ocean Research Institute, University of Tokyo
 - * 10 Faculty of Science, Kyushu University
 - * 11 Faculty of Science, Toyama University
 - * 12 Died
 - * 13 Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center
 - * 14 Geological Survey of Hokkaido

Oceanic Crust Section Exposed at the Northern Okushiri Ridge, North-Eastern Margin of the Japan Basin

Sumio MIYASHITA*⁸ Hidekazu TOKUYAMA*⁹ Wonn SOH*¹⁰
Akira TAKEUCHI*¹¹ Jiro ISHII*¹² Jiro NAKA*¹³
Tsumoru SAGAYAMA*¹⁴

Submersible dives between 3,040 to 2,260m in water depth were made by "Shinkai 6500" at northern Okushiri Ridge located at north-eastern margin of the Japan Basin. Three massive basalt (or dolerite) sheets were found between 2,570 to 2,410m in water depth. Deeper and shallower places are mainly covered by siltstones and debris deposits. The beddings of the siltstone commonly exhibit a westward dip concordant with the direction of slope, suggesting that the siltstones were gravitationally slid blocks from the upper part. On the other hand, the siltstones interlayered with the massive basalts have eastward dips. On the basis of these observation and previous studies, a crust section about 1km thick, is locally exposed as window along the western slope of the northern Okushiri Ridge. The crust section consists of alternation of dolerite and siltstone, thick pillow lava and hyaloclastite, and sediments ranging at least from 13 to 3.7Ma, in ascending order. This crust section probably corresponds to the oceanic crust of the Japan Sea.

Key words : Japan Sea, Okushiri Ridge, Back-arc basin basalt, Ocean crust

1. はじめに

日本海北東縁の奥尻海嶺北端部、北緯40°付近から大量の玄武岩質枕状溶岩がドレッジされ(宮下ほか, 1987), 「しんかい2000」の潜航調査によっても玄武岩からなる急崖が確認された(宮下ほか, 1989; 徳山ほか, 1989)。本論文ではこれらの玄武岩類を奥尻海嶺玄武岩と呼ぶ。また, サイスマックプロファイルの検討も行われており, これらの結果から, 当地域には日本海海洋地殻が大規模に上昇していると考えられている(宮下・土谷, 1988; 倉本, 1988; 徳山ほか, 1989; Tokuyama et al., 1992)。日本海東縁部はプレート境界のジャンプや新生海溝問題などから注目を集めていたが(玉木, 1984など), 日本海海洋地殻の岩石学的実体を解明するうえでも, 極めて重要な地域と考えられる。ドレッジで得られた玄武岩類の岩石学的性格は, 宮下・土谷(1988)によってその概要が報告されているが, その後, さらに大量の岩石試料がドレッジによって採取されるとともに, 「しんかい2000」による潜航調査が引き続き行なわれており, さらに1991-92年度には「しんかい6500」による

潜航調査も行われた(宮下ほか, 1992; 竹内ほか, 1992)。

本論文では, 「しんかい6500」による第50潜航調査及び第137潜航調査の結果について報告するとともに, これまでの調査結果をあわせて奥尻海嶺北部における海洋地殻層序について検討してみる。また, 年代学的な問題や今後の検討課題についてもふれる。

2. これまでの調査と第50及び第137潜航調査の位置

奥尻海嶺は日本海盆の東縁に, ほぼ南北300kmにわたって連続する構造性海嶺である(Tamaki, 1988)。北から北部(海洋海山), 中部, 南部(奥尻島)の3つのセグメントからなり, これらが雁行状に配列している(図1)。海洋海山は頂部が水深約1,000mで, 西側は2,500mほどの落差をもつ急斜面を経て, 日本海盆の深海底となっている。東側は緩やかな傾斜で深度をましてゆく。

図2にドレッジと「しんかい2000」, 「しんかい6500」



図1 調査域の位置図。図2の位置が示されている。
Fig. 1 Index map of the survey area. The location of Fig. 2 is shown.

による潜航調査が行われた場所を示す。奥尻海嶺北部におけるこれまでの調査経過を以下に要約する。1986年、海洋海山西側斜面(86KS)から大量の玄武岩質枕状溶岩が東海大学望星丸によってドレッジされ(岩下ほか, 1987; 宮下ほか, 1987), 翌年5月には東京大学海洋研の淡青丸によって、数km北側の地点(87KT)から再び類似した岩石が採取された(Tamaki et al., 1988)。1988年には望星丸によって3地点でのドレッジがなされ、2か所(88KSM1及び88KSM2)から大量の枕状溶岩やハイアロクラスタイトが採取された(石井ほか, 1989a)。さらに同年には海洋科学技術センターの「しんかい2000」によって潜航調査が行われ、枕状溶岩やハイアロクラスタイトが急崖に連続的に露出していることが確かめられた(宮下ほか, 1989; 徳山ほか, 1989)。1989年には、東海大学により6地点でのドレッジが行なわれ、そのうち2か所(89TB2, 89TB3)からは大量のドレライトや玄武岩類が採取された(石井ほか, 1989b)。最大のサンプルは重量が120kgにも達するドレライトの巨礫で、大量のドレライトが採取された。また、珪藻質シルト岩や硬質シルト岩も大量に採取されているが、これらから産出した珪藻化石は、*T. yabei* 帯から *T. oestripis* 帯を示しており、地質年代はほぼ13Maから3.7Maに相当する(嵯峨山, 1990; 嵯峨山ほか, 1991など)。

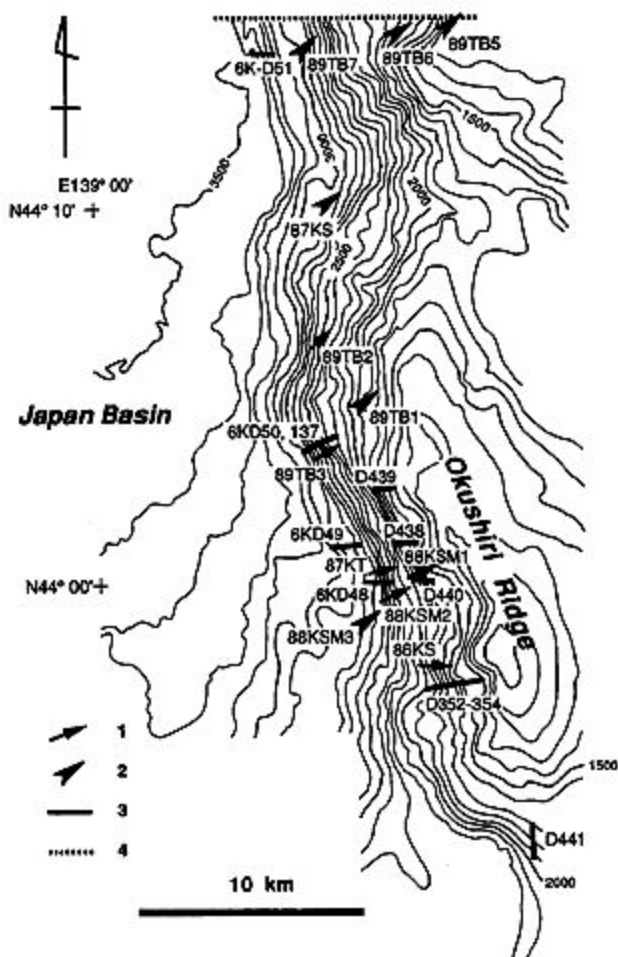


図2 奥尻海嶺北部の海底地形図及び潜航調査・ドレッジが実施された地点。1:玄武岩類が採取されたドレッジ, 2:堆積岩のみが採取されたドレッジ, 3:「しんかい2000」及び「しんかい6500」による潜航調査地点, 4:深海曳航カメラの測線

Fig. 2 Bathymetric map along the northern Okushiri Ridge. The locations of submersible dives by "Shinkai 2000" and "Shinkai 6500", dredged places, and track of the deep-tow camera are shown. 1: dredge points where basaltic rocks were mainly obtained, 2: dredge points where sedimentary rocks were obtained, 3: tracks of submersible dives, 4: track of deep-tow camera.

1991年になされた「しんかい6500」による第50潜航は、これまでのドレッジによりドレライトが大量に採取されている場所に近接した地域で、事前に実施されたマルチナロービームによる海底地形図によって斜面の傾斜がもっとも急な付近が選択され、ドレライトないし塊状玄武岩の露頭が発見された。1992年の第137潜航調査では、同一露頭の見つけとその詳しい観察を目的とした。これら2回の潜航調査の航跡図を図3に示す。

3. 第50潜航と137潜航における観察結果

3.1 第50潜航

第50潜航は水深3,040mから2,520mの落差約520m、航走距離1,100mにわたって行われた(図3)。水深2,800m付近までは、泥質な斜面ないしシルト岩や玄武岩の崖面に覆われた斜面が続く。まれにシルト岩の露頭が斜面の底から顔を出しているのが観察された。2,800mから2,740m付近は斜面の傾斜は急で、シルト岩の見事な「露岩」がかなり連続して観察された。シルト岩の層理構造はほとんどの場合斜面と調和的であることから、より上部から重力的に滑落してきたものと思われる。2,740m付近から2,570m前後にかけては、主に玄武岩からなる崖面や斜面に平行な滑り面を有している破砕されたシルト岩の露頭がしばしば観察された。なお、水深2,700m、2,730m付近などで玄武岩の大きなブロックが観察されたが、露頭かどうかは不明である。水深2,560m付近から2,540mの落差20mにわたって、塊状玄武岩からなる壁が出現した。

3.2 第137潜航

第137潜航は、第50潜航とほぼ同ルートで、水深2,700mから2,280mの落差約420m、航走距離800mにわたって行われた(図3)。以下に各水深ごとに観察された要点を述べる。

塊状玄武岩が出現するまでの水深2,570m付近までは第50潜航と同様に、主に玄武岩からなる崖面や斜面に平行な滑り面を有している破砕されたシルト岩の露頭がしばしば観察された。写真1は水深2,590m付近の小さな崖で、その断面がよく現われている。上部の1-2mほどは玄武岩から主になる乱雑な崖面堆積物からなり、その下位にはシルト質の層が露出している。このシルト質層には斜面の傾斜方向とほぼ調和的な構造がみられる

が、この構造は斜面の大局的な傾斜方向とはほぼ調和的であり、また、礫を含むことから、斜面上部から滑落してきた崖堆積物の堆積物と考えられる。水深2,567mにおいて、塊状玄武岩ないしドレライトの大きな露頭が出現した。手前側は破砕されたシルト岩で、玄武岩はほぼ南北走向で西側へ急立した平滑な面でも出現していることから(写真2)、シルト岩との境界部は断層面(正断層)と推定される。この塊状玄武岩の露頭は、第50潜航と同様に約20mほどの落差にわたって露出しており、塊状な産状を示している(写真3)。ここで岩石試料を採取した。

この塊状玄武岩のすぐ上位の水深2,545m付近には白色のシルト岩が出現する(写真4)。下位の塊状玄武岩との間は崖面に覆われており、両者の直接的な関係は観察されなかった。写真4に示されているように、この白色シルト岩の上位には再び塊状玄武岩が出現する。写真5の左上側から右下方方向に両者の境界部が走っており、接触部のシルト岩は灰色味を帯びている。また、シルト岩には、写真ではわかりづらいが、その接触部とはほぼ同方向の層理面が見られる(写真4)。この走向はほぼ南北であるが、東側へ傾斜している点で、滑落したと見られるシルト岩の構造とは異なっている。こうした産状から、上位の塊状玄武岩はシート状に貫入したものと考えられる。上位の玄武岩は、角状の節理が発達した塊状な産状を示している(写真5)。塊状玄武岩の露頭は水深2,538m付近まで確認された。

水深2,530m以浅では、斜面は崖面に覆われていることが多いが、2,410m付近ではシルト岩の間に塊状玄武岩が再び出現した。玄武岩は水深2,458m付近でも露頭(?)が見られた。シルト岩の露頭は水深2,451、2,443、2,409m付近などでそれぞれ観察された。水深2,400m以浅は斜面の傾斜がやや緩くなり、大きな岩石のブロックは所々に分布していたが、玄武岩の露頭は発見されず、斜面に調和的な構造を有するシルト岩の露頭が局所的にみられたのみである。

4. 奥尻海嶺北部における海洋地殻層序

今回の2回の潜航調査により、奥尻海嶺北部からはじめての塊状玄武岩の露頭が確認され、その産状が明らかとなった。塊状玄武岩はシルト岩中へシート状に貫入したものと考えられる。塊状玄武岩とシルト岩の互層部は、間に断層が存在しないかと仮定すれば、少なくとも160m以上の厚さを有し、最低でも3枚の塊状玄武岩層が挟んでいる。一方、その互層部よりも深部の水深

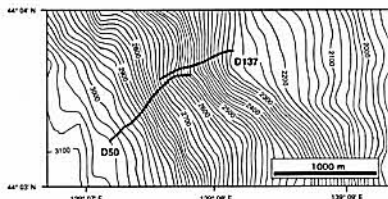


図3 「しんかい6500」の第50潜航と137潜航の航跡図及びマルチナロービームによる周辺の海底地形図
Fig. 3 Submersible tracks of Dive #50 and #137 of the submersible "Shinkai 6500" on the multi-narrow beam map.

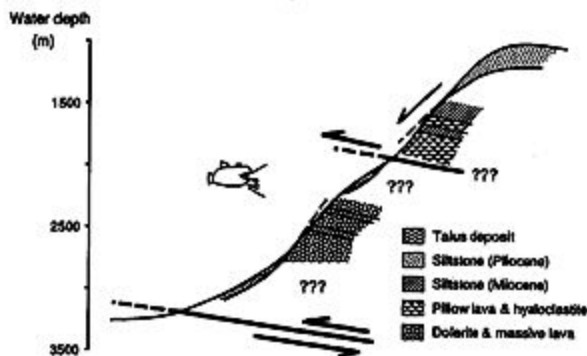


図4 奥尻海嶺北部における模式的な地質断面図。日本海海洋地殻の上部の地殻断面が示されているものと考えられる。

Fig. 4 Schematic geologic section across the northern Okushiri Ridge, which is believed to be upthrust crustal section of the ocean crust of the Japan Sea.

約2,570m以深にはシルト岩が露出しており、また、その互層部よりも上部の水深2,400m以浅では、再びシルト岩が主に露出している。これらのシルト岩の露頭の大部分は、斜面の方向（西側傾斜）と調和的な層理を有しており、また、斜面の方向に調和的な破碎された構造が観察されている（徳山ほか、1989）ことなどから考えて、これらは斜面の上部から重力滑動してきたものと考えられる。ドレッジや潜航調査によって得られた堆積岩の年代は、採取深度との間に相関性がなく（嵯峨山ほか、1991）、系統性が認められないことも、これらの堆積岩が上部から滑落してきたという考えと調和的である。一方、塊状玄武岩とシルト岩とはシャープに接し、シルト岩はその境界部に沿って灰色に変色し、境界部の走向はほぼ南北に近いが東へ緩く傾斜している点で、重力滑動したとみられるシルト岩とは異なった構造を示している。これまでの最も深部からのドレッジである87KSや88KSM3などにおいて、堆積岩しか採取されていないのは、堆積岩が上部から大規模に滑落しているためと考えられる。したがって、その互層部は窓状に顔を出しているものと考えられる。

一方、水深2,000mよりも浅所では厚い枕状溶岩やハイアロクラスタイトからなる急崖が確認されており、今回観察されたような塊状玄武岩は存在していない。これまでのドレッジの結果も「しんかい2000」や「しんかい6500」による調査結果と調和的である。つまり、塊状玄武岩ないしドレライトが大量に採取されたドレッジは、89TB2、89TB3、87KTであるが、これらはいずれも水深2,000mを超える地点である。一方、枕状溶岩やハイア

ロクラスタイトが主に採取されたのは86KS、88KSM1、88KSM2であるが、前者2地点は水深がほぼ2,000m以浅で、88KSM2地点は中間的な深度である（図3）。

以上の結果に基づいて、奥尻海嶺北部の模式的な地質断面は図4のように描かれる。この模式的断面において、下部と上部の間に断層がないと仮定すると、約1km前後の地殻の断面が所々に窓状に顔を出していることになる。つまり、ここでの最上部は地質年代で少なくとも13Maから3.7Maにわたる厚い堆積岩、その下位に枕状溶岩とハイアロクラスタイト、最下部に塊状玄武岩と堆積岩との互層部からなっていると考えられる。なお、図4では堆積岩と下位の枕状溶岩・ハイアロクラスタイトとは互層を経て移化しているが、実際の潜航調査においては、ひとつひとつの露頭についてそれが上部から大規模に滑落してきたのか、あるいは現地性の露頭であるかの判定が困難であることから、堆積岩と溶岩類との層序関係についてはより詳細な調査が必要である。

5. 討論及び残された問題点

奥尻海嶺玄武岩の岩石学的性格に関しては宮下・土谷（1988）、宮下ほか（1993）により、全岩化学組成・微量成分組成・単斜輝石の組成的特徴などについて報告されており、5つのグループへ分類されている。これらの5グループには、HFS元素に富んだE-MORBとしての性格を有するものから、それにやや乏しい島弧玄武岩的な性格を有するものまで、多様である。上記の地殻層序との関係についてみると、上部の枕状溶岩やハイアロクラスタイトは島弧玄武岩的な、下位のドレライトはE-MORB的な特徴を示している。一方、ODPによって日本海盆と大和海盆からえられた岩石類と比較すると、ODPの試料はサイトごとに異なった特徴を有しているが、HFS元素に富んだソレライト（E-MORB）と島弧玄武岩的な性格が強いものとの2つに大別されており（K. Tamaki, K. Pisciotto, J. Allan, et al., 1990）、奥尻海嶺玄武岩と類似している（宮下、1993）。これらのことは、奥尻海嶺北部の西側急斜面に日本海海洋地殻が大規模に上昇しているとの考え（宮下・土谷、1988；Tokuyama et al., 1992など）と調和的である。しかし、奥尻海嶺北部が日本海海洋地殻の断面を現しているかどうかについては、年代学的にはまだ問題が残されている。

日本海の形成時期は古地磁気学的研究から15Ma前後の短期間に急速に生じたとする見方が支配的であったが

(Otofujii and Matsuda, 1983, 1987), ODP による結果は
かなり古い時期から拡大が開始し、海盆における玄武岩
の主要な活動時期は28—18 Maと推定されている
(Tamaki et al., 1992)。この根拠は玄武岩類の ^{40}Ar — ^{39}Ar
年代で、Site 794: 20—21Ma, Site 795: 17—24Ma,
Site 797: 18—19Maという結果が得られたことによる
(Kaneoka et al., 1992)。一方、玄武岩の直上を覆う堆
積岩の年代としては Site 794: 15—16Ma, Site 795: 13
—15Ma, Site 797: 17—18.5Maという結果が得られて
おり (Tamaki et al., 1990), Site 797では玄武岩の年代と
よい一致を示しているもの、Site 794, Site 795に關
しては数 Ma の年代ギャップが存在している。この理由
について、Tamaki et al. (1992) は、Site 794については
ハイアラスが堆積岩/玄武岩の境界面に存在している
こと、Site 795についても同様のハイアラスを想定して
おり、基盤の高まりの上での掘削なので、堆積岩がオン
ラップしており、そのため古い堆積岩が欠如していると
説明している。

一方、奥尻海嶺玄武岩の ^{40}Ar — ^{39}Ar 年代は約14Maと
いう値が得られている (Kaneoka et al., in press)。また、
東北日本では16—13Maに大量の玄武岩が噴出して
おり、中期中新世のこれらの火成活動は日本海形成時に
伴うものと考えられてきた (例えば、周藤, 1986 ;
Tsuchiya, 1990)。東北日本弧におけるそれ以前の火成
活動は22—25Ma前後に限られており、その性格は岩石
学的検討からリフトに伴う火成活動の可能性が考えら
れている (山本ほか, 1991)。ODP の結果から日本海形成
時の火成活動の時期を28—18Maとすると、中期中新世
の東北日本弧の火成活動や奥尻海嶺玄武岩は、日本海
形成後の火成活動ということになり、22Ma以前の火成
活動は日本海拡大時のものということになる。しかし、
日本海及びその沿岸部の堆積岩のサクセションから推定
された沈降曲線は、急速な沈降が15Ma前後まで継続し
ていたことを示している (Ingle, 1992)。また、10Ma付
近までは応力は延張場にあり圧縮場に転換するのは10Ma
以降と考えられている。こうしたことを考慮すると、日
本海拡大時の火成活動を18Maまでと限定するには、ま
だ疑問が多く、奥尻海嶺玄武岩や同時期の東北日本の火
成活動が日本海拡大時の最後の時期のものである可能性
が高い。

今回、奥尻海嶺北部には約1 km 前後の地殻断面が窓
状に露出していること、特にその下位には塊状玄武岩と
シルト岩が互層状に露出していることを報告したが、そ
のシルト岩はまだ採取されていない。これらの岩石が採

取され、化石年代が決定されるならば、上記に述べた年
代学的問題が解決されると思われる。ところで、1993年
7月にM7.8に達する巨大地震、北海道南西沖地震が発生
し、奥尻島などに大きな被害をもたらした。この震源は
奥尻島の北西側で、これまで集中的に調査されてきた地
域の数十 km ほど南側に位置している。今回のこの地
震により、奥尻海嶺の急崖では巨大崩壊が生じている可
能性があり、新鮮な露頭が出現していることも考えら
れ、今後のより詳細な調査・研究が強く望まれる。

謝 辞

急峻で困難な場所での潜航を、安全でかつ果敢に果た
された潜水船パイロットをはじめとする運航チームの皆
様や「よこすか」の乗組員の方々に厚くお礼申し上げます。
また、筆者らに共同研究の機会を与えてくださった
海洋科学技術センターに感謝します。

なお、著者の1人である石井次郎先生は1992年4月1
日逝去されました。ここにご冥福をお祈りします。

参 考 文 献

- Ingle, J.C., Jr. (1992): "Subsidence of the Japan Sea :
Stratigraphic evidence from ODP Sites and on-
shore section." p 1197-1218. In : Proc. ODP, Sci.
Results, 127/128, Pt 2. Edited by K. Tamaki, K.
Suyehiro, J. Allan, M. McWilliams et al., College
Station, TX (Ocean Drilling Program).
- 石井次郎・高見雅三・宮下純夫・坂本 泉・甲 起徹・
飯倉茂弘・飯塚 進 (1989): 東海大学「望星丸II
世」による第3次奥尻海嶺調査概報。北海道東海大
学紀要, 1, 39-68.
- 石井次郎・嵯峨山 積・管 和哉・宮下純夫・保柳康
一・坂本 泉・萩原 洋・橋本和仁 (1989): 東海
大学「望星丸II世」による第4次奥尻海嶺調査概
報。北海道東海大学紀要, 2, 119-160.
- 岩下光男・石井次郎・宮下純夫・山崎哲良・伊津信之
助・嵯峨山 積・城戸和男・土谷信高・渡辺 寧
(1987): 北海道積丹半島沖積丹海山・海丘群調査概
報。東海大学札幌教養部報, 6, 1-10.
- Kaneoka, I., Y. Takigami, N. Takaoka, S. Yamashita
and K. Tamaki (1992): " ^{40}Ar — ^{39}Ar analysis of
volcanic rocks recovered from the Japan Sea
floor: constraints on the age of formation of the
Japan Sea." p 819-836. In : Proc. ODP, Sci.
Results, 127/128, Pt 2. Edited by K. Tamaki, K.

- Suyehiro, J. Allan, M. McWilliams et al., College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- 宮下純夫・土谷信高・渡辺 寧・石井次郎・山崎哲良・嵯峨山 積・伊津信之助・岩下光男 (1987): 日本海東縁の海洋海山から採取された玄武岩質枕状溶岩. 東海大学札幌教養部彙報, 6, 11-21.
- 宮下純夫・土谷信高 (1988): 日本海海洋地殻の断片—奥尻海嶺北部から採取された玄武岩. 月刊海洋科学, 20, 734-742.
- 宮下純夫・田中武男・門馬大和・徳山英一・徐 垣・倉本真一・石井次郎 (1989): しんかい2000による奥尻海嶺北部での潜航調査—日本海海洋地殻の断面—。「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 5, 85-100.
- 宮下純夫・徳山英一・徐 垣・竹内 章・仲 二郎・嵯峨山 積 (1992): 奥尻海嶺北部における塊状玄武岩の露頭の発見. 第9回しんかいシンポジウム予稿集, 98-101.
- 宮下純夫・土谷信高・坂本 泉・池田保夫 (1993): 奥尻海嶺玄武岩の意義. *Magma*, 86, 15-22.
- 宮下純夫 (1993): 奥尻海嶺玄武岩と日本海海洋地殻. 石井次郎教授追悼論文集, 197-204.
- Otofujii, Y. and T. Matsuda (1983): Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 62, 349-359.
- 嵯峨山 積 (1988): 日本海盆北東縁, 海洋海山の珪藻群集. *地質雑*, 94, 295-300.
- 嵯峨山 積・石井次郎・徳山英一・宮下純夫・竹内 章・徐 垣・倉本真一・田中武男・仲 二郎 (1991): 奥尻海嶺北端, 海洋海山の珪藻群集. 第8回しんかいシンポジウム予稿集, 93-94.
- 周藤賢治 (1989): 日本海拡大説からみた東北日本弧の第三紀火山活動. *地球科学*, 43, 28-42.
- 竹内 章・徳山英一・宮下純夫・仲 二郎・門馬大和・大塚 清・徐 垣・石井次郎 (1992): 日本海盆東縁における開口割れ目とバクテリアマットの発見. しんかいシンポジウム報告書, 8, 29-39.
- Tamaki, K. (1988): Geological structure of the Japan Sea and its tectonic implications. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 39, 269-365.
- Tamaki, K., H. Tokuyama, S. Miyashita, M. Tsukui, M. Furukawa, K. Sayanagi, S. Kuramoto, M. Nakanishi, I. Uno, S. Yamashita and C. Itoda (1988): Preliminary report of Tansei Maru Cruise KT 87-6 (Investigation on the sea-floor spreading tectonics in the Northeastern part of Japan basin-ODP). Prelim. Rep. Hakuho Maru Cruise KH 86-2, Ocean Res. Inst. Univ. Tokyo, 112-130.
- Tamaki, K., K. Pisciotta, J. Allan, et al. (1990): Proc. ODP, Init. Repts., 127, College Station, Texas (Ocean Drilling Program).
- Tamaki, K., K. Suyehiro, J. Allan, J.C. Ingle and K.A. Pisciotta (1992): "Tectonic synthesis and implications of Japan Sea ODP drilling." p 1333-1348. In: Proc. ODP, Sci. Results, 127/128, Pt 2. Edited by K. Tamaki, K. Suyehiro, J. Allan, M. McWilliams et al., College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Tsuchiya, N. (1990): Middle Miocene back-arc rift magmatism of basalt in the NE Japan arc. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 41, 473-505.
- Thy, P. (1992): "Phenocryst and groundmass phase compositions of basaltic and andesitic sills and flows from the Japan sea recovered during Legs 127 and 128." p 849-859. In: Proc. ODP, Sci. Results, 127/128, Pt 2. Edited by K. Tamaki, K. Suyehiro, J. Allan, M. McWilliams, et al., College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- 徳山英一・倉本真一・徐 垣・宮下純夫・竹内 章・田中武男・門馬大和 (1989): 日本海盆地殻断面の調査—「しんかい2000」による奥尻海嶺西縁断層壁の観察—。「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 5, 101-110.
- Tokuyama, H., S. Kuramoto, W. Soh, S. Miyashita and T. Tanaka (1992): Initiation of ophiolite emplacement; a modern example from Okushiri ridge, Northeast Japan Arc. *Marine Geol.*, 103, 323-334.
- 山本和広・周藤賢治・渡部直喜・板谷徹丸・加々美寛雄 (1991): 奥尻島の第三紀火山岩のK-Ar年代と東北日本弧周辺の新新世および中期中新世火山岩の岩石学的特徴. *岩鉱*, 86, 507-521.

(原稿受理: 1994年6月30日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載

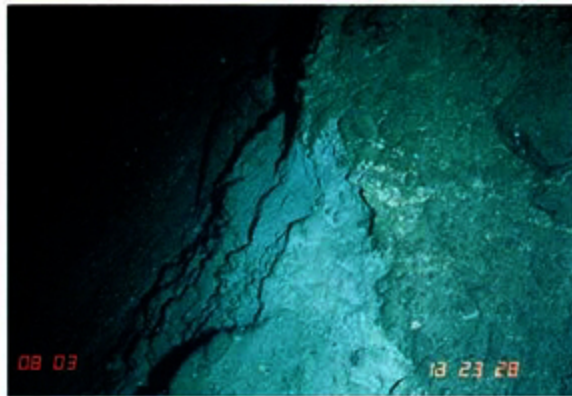


写真1 水深2,595 m付近の破砕されたシルト岩の「露頭」
Photo 1 Outcrop of crushed siltstone at 2,595 m in water depth.

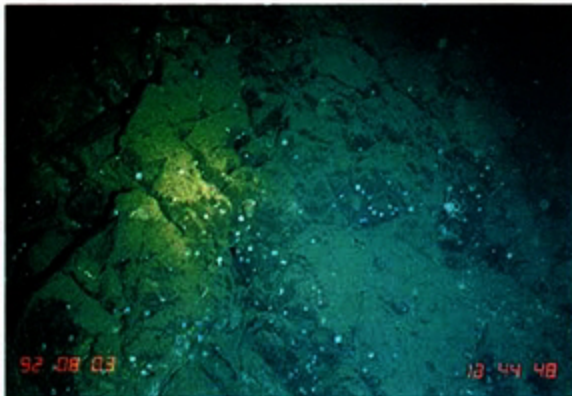


写真 2

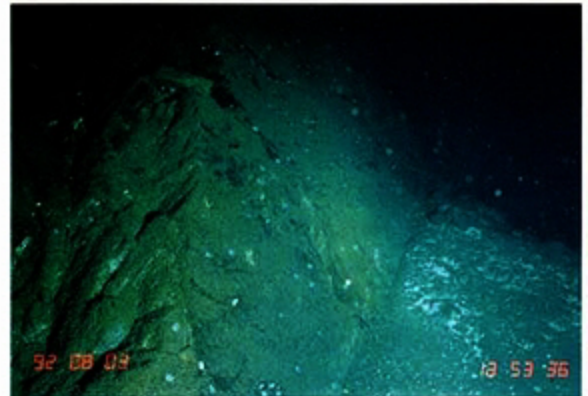


写真 3

写真 2, 3 塊状玄武岩の露頭 (水深2,560m)。写真2の手前側には破砕されたシルト岩が露出している。
Photos 2 and 3 Steep cliff consisting of massive basalt to dolerite (2,565—2,540 m). Front of the cliff of dolerite (lower right-side of Photo 2), sheared siltstones are exposed.

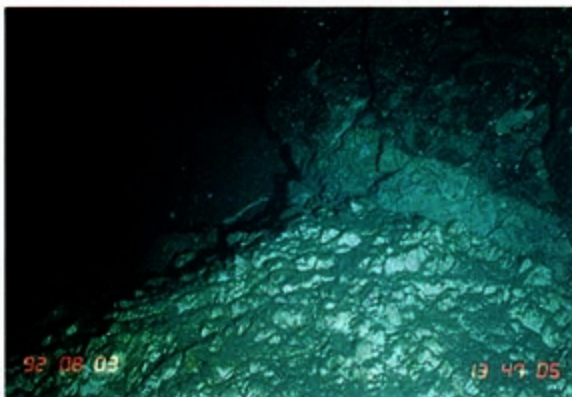


写真 4

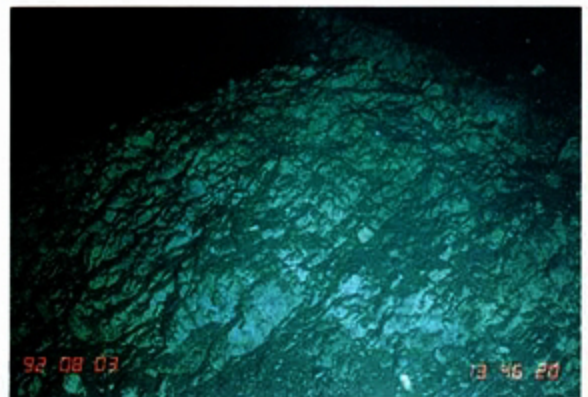


写真 5

写真 4, 5 シルト岩及びその上位の塊状玄武岩の産状 (水深2,540 m)
Photos 4 and 5 Occurrence of siltstone and overlying massive basalt sheet (2,540 m in water depth).