

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—

徳山英一*¹ 倉本真一*¹ 徐 垣*¹
宮下純夫*² 竹内 章*³ 門馬和人*⁴ 田中武男*⁴

4回の潜航調査が「しんかい2000」を用いて日本海東縁、奥尻海嶺で行われた。その結果NタイプMORBの自破碎玄武岩質溶岩とそれをおおう堆積岩が奥尻海嶺の西の急崖に露出していることが判明した。事前に行われた多重受信式音波探査記録によれば、この急崖は断層崖であり、複数の東傾斜の低角逆断層が認められ、さらに奥尻海嶺上の音響層序は日本海盆のそれと同一と考えられる。したがって、奥尻海嶺は日本海盆の背弧海盆海洋地殻が低角逆断層によってせり上がったものと推定される。断層崖は海洋地殻の断面を露出しているのである。

主スラストによる奥尻海嶺のせり上がりは、今後継続すると、現在では未発達な back-thrusting の成長を引き起こすと予測される。つまり、主スラストとそれに伴う back-thrusting の発達、下盤から上盤をくさび型に引き剥すものと考えられる。この引き剥された背弧海盆の地塊がいわゆるオフィオライトと呼ばれるものである。

Deep-Sea Submersible Survey of the Exposed Profile of the Japan Basin Crust — Observation on the Fault Scarps Bounded by the Western Margin of the Okushiri Ridge, off West Hokkaido —

Hidekazu TOKUYAMA*⁵, Shin-ichi KURAMOTO*⁵, Wonn SOH*⁵
Sumio MIYASHITA*⁶, Akira TAKEUCHI*⁷, Hiroyasu MONMA*⁸
and Takeo TANAKA*⁸

Four submersible dives between 1270m and 2000m in water depth were made in the Okushiri Ridge located at the eastern margin of the Japan Sea

*¹ 東京大学海洋研究所海底堆積部門

*² 新潟大学理学部地質学鉱物学教室

*³ 富山大学教養部地学教室

*⁴ 海洋科学技術センター

*⁵ Ocean Research Institute, University of Tokyo

*⁶ Geological Institute, Faculty of Science, Niigata University

*⁷ Faculty of Education, Toyama University

*⁸ Japan Marine Science and Technology Center

by "SHINKAI 2000". Brecciated pillow basalts of N-type MORB and overlying sediments were discovered on the western slope of the Okushiri Ridge. A seismic profile on which diving points were nearly located reveals that the western slope of the Okushiri Ridge is fault escarpment formed by several east-dipping low-angle thrust faults. Basement and overlying two sequences are acoustically correlated between the Okushiri Ridge and the Japan Basin. All available data including diving observation lead to the conclusion that the Okushiri Ridge is composed of an oceanic crustal structure equivalent to the Japan Basin. The fault escarpment exposes a section of back-arc basin oceanic crust.

Subsequent upthrusting of the Okushiri Ridge will cause enhancement of back-thrusting, presently immature comparing with the main low-angle thrust fault. The main thrust fault and back-thrusting will detach a hanging wall from a foot wall as a wedge shape. The detached block composed of back-arc basin-oceanic crust is presumably called as "ophiolite".

1. はじめに

オフィオライトとは、隆起したマントルないし地殻の断片とされており、元来、地下深部にあったはずのオフィオライトがどのように地表へと移動したかという問題は、オフィオライトの搬入 (emplacement) と呼ばれ、プレートの沈み込み帯ないしトランスフォーム境界で生じると解釈されている (Coleman, 1977)。例えば、Dewey and Bird (1970) は収束境界で大陸地殻に衝突する海洋地殻やマントルのメカニズムを提唱しており、Coleman (1971) はオブダクションという概念をもちいて「トロードス タイプ (Troodos type)」のオフィオライトの搬入プロセスを説明している。しかし、搬入問題の理解には、依然として不明な点が多く残されている。

筆者らは、このオフィオライト搬入問題について、kinetic analogy として現在島弧に付加され

つつあると考えられる日本海盆東縁、奥尻海嶺に注目していたが、今回「しんかい2000」による潜航調査を行う機会を得た (図1)。

いわゆる日本海東縁とは、新潟沖から北海道西方沖の活褶曲および活断層帯を指しており、海嶺とトラフが複雑に入り込んだ海底地形が認められる。この一連の構造帯のうち、北海道西方沖に位置する奥尻海嶺はほぼ南北に延び、幾つかのブロックがエシェロン状に配列している。今回潜航調査を行った北緯44°付近は、東京大学海洋研究所によってすでにマルチチャンネル音波探査が行われている。この結果に基づき潜航調査が行われ、奥尻海嶺西縁の断層崖に日本海盆を構成する海洋地殻が露出していることが確認された。本論の目的は今回の潜航調査で観察された断層崖の様子を述べ、採取された原地性の岩石試料の分析結果を踏まえ、奥尻海嶺の形成発展史を考察することにある。

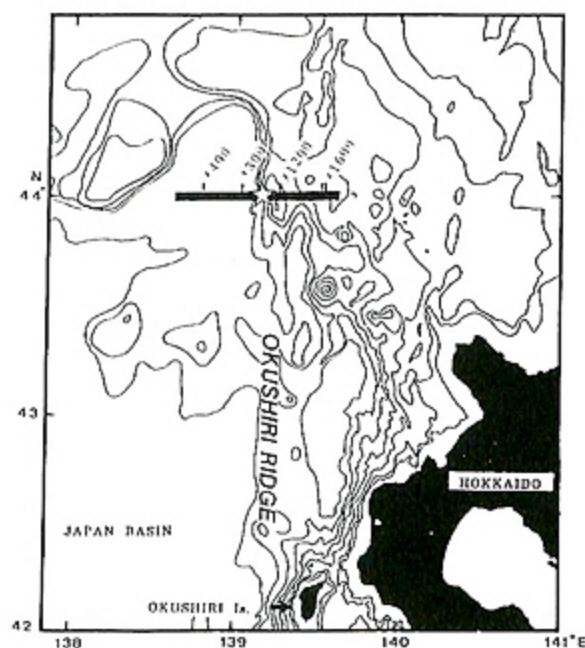


図1 潜航調査の位置ならびにマルチチャンネルプロファイラーの測線図。星印が潜航調査点。

Fig. 1 Location map of diving site and track line of multichannel seismic reflection profile. Open star indicates diving site.

2. マルチチャンネル音波探査記録

図2に示すLine-MC1は、北緯44°線上を日本海盆から奥尻海嶺を経て武蔵海嶺に抜けるマルチチャンネル(6ch)音波探査記録である。この記録をみると、地殻は日本海盆および奥尻海嶺で、併せて三つの層、最下位の音響基盤(第三層)、堆積層下部(第二層)と上部(第一層)に区分できる。第二層と第一層との境界は海底面下約0.4秒のところに強い反射面で区分される。

日本海盆下に見られる音響基盤上面は海洋性地殻“layer II”上面に対比されると考えられる(Ludwig et al., 1975)。日本海盆東部の“layer II”上面は他地域に比べて変化に富み、上下に凹凸しているだけでなく、おおきく傾動しているように見える。Line-MC1では、奥尻海嶺の下へと傾動しながら潜り込んでいく様子が見える。奥尻海嶺を構成する基盤は、日本海盆のそれと類似している。しかし、海嶺を構成する基盤は、短周期で凹凸を繰り返しており、日本海盆のそれとは様相を異にしている。

上位の堆積層は、日本海盆および奥尻海嶺のいずれにおいても一様に堆積しており、音響学的に

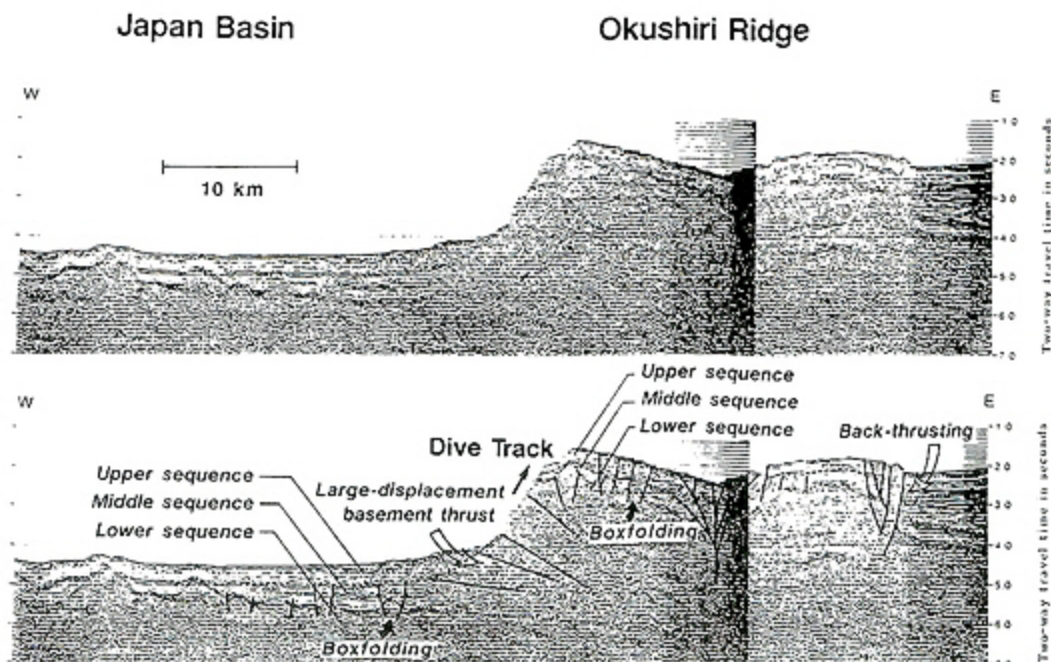


図2 奥尻海嶺を東西に切る北緯44°線上のマルチチャンネルプロファイラーとその解釈。図中のUpper sequence, Middle sequence および Lower sequence は、本文中の第一層、第二層ならびに第三層をさす。詳細な説明は本文を参照。

Fig. 2 Multichannel seismic reflection profile running across the Okushiri Ridge in E-W direction and its interpretation.

は日本海盆と奥尻海嶺では同様な層序をもつものと解釈される。しかし、奥尻海嶺の麓では堆積物が厚く発達している。これは一部崖錐性の堆積物が堆積しているためと考えられる。また、奥尻海嶺の頂から崖にかけては、滑動したと解釈される第一層が直接第三層を覆っている。

音波探査記録をみると、幾つかの断層帯が認められる。この断層帯によって、奥尻海嶺周辺は、幾重にも切れ複雑な地質構造を呈している。そのうちのもっとも大きな断層帯は、日本海盆と奥尻海嶺との境界に位置する。この断層帯は、主スラストとそれに伴う幾つかの副次スラストから構成されている（図2）。この主スラストは、日本海盆の沈み込みにともなうデコルマであり、低角な逆断層として滑っていると解釈される。地表付近では、この主スラストから派生したと考えられる副次スラストが見られ、特に、往復走時で2.6秒（水深約2,000m）以深の基盤（第三層）内に発達する。このスラストによって変位した日本海盆と奥尻海嶺の基盤の垂直変位は、傾動を補正しても往復走時で約1秒に達する。おそらく、主スラストを中心にした衝上運動により変位したものと考えられる。

これに対して、奥尻海嶺と武蔵海盆との境界に位置する断層帯には、主スラストとは逆向き西傾斜の幾つかのスラストが認められる。音波探査記録から、これらのスラストは深度が増すにつれ低角にかわるリストラック断層と判断でき、一本の断層に収束していくように見える。地表付近では、いくぶん高角になっていくことから、多少の横ずれ成分を含んでいるようにも見える。このような形態ならびにテクトニック・セッティングから判断すると、奥尻海嶺と武蔵海盆との境界は、先の主スラストに対するバックスラストと考えられる。他方、奥尻海嶺上の地形的鞍部には、西南北海道の黒松内低地帯（構造帯）から寿都海底谷へ延びる活断層帯がある。この断層帯と先のバックスラストとの間は、緩い背斜構造をなしているが、これは主スラストとバックスラストに挟まれたくさび型ブロックの変形（褶曲）構造と解釈される。

3. 観察事実

今回の「しんかい 2000」を使った潜行調査は、1988年7月20日から27日にかけて、合計5回の潜行調査が行われ、そのうち4回をほぼ北緯44°線に沿うトラバース調査にむけた。実際の潜行調査は、断層崖（水深2,000mから1,270mにかけ）に沿って、肉眼観察、写真およびビデオの撮影をおこない、マニピュレーターをもちいて岩石試料を採集（合計29個の岩石試料と2個のミニコア試料）した。

観察事実から求められる奥尻西縁断層崖の概念的断面を図3に示す。この断面は、主として筆者

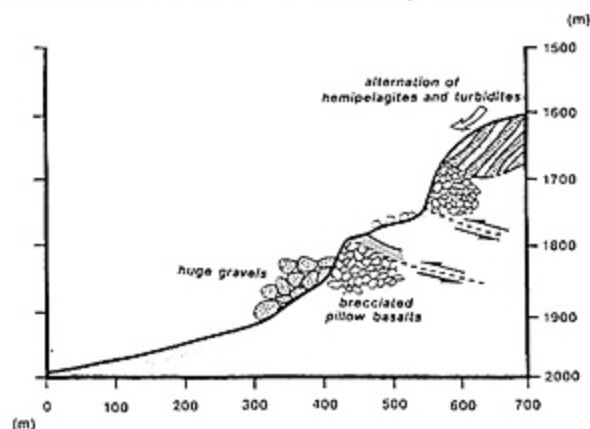


図3 潜行調査の結果得られた水深200mより1,600mまでの地質断面図

Fig. 3 Cross-sectional profile of the Western slope of the Okushiri Ridge based on the results obtained by diving observation.

の一人徳山のダイブサイト（北緯44°00'00"線上）を中心としてまとめられたものである。肉眼ならびにビデオによる検討結果からすると、2,000m以浅で見られた断層崖は、地形的に大きく4つ（2,000–1,910m, 1,910–1,850m, 1,850m–1,790m, 1,790m以浅）に区分される。もっとも深い場所に位置する2,000–1,910m付近は、比較的ゆるい斜面地形（1:33.3）をなし、海底には泥質な堆積物によって覆われている。ときおり白色にライトに光る堆積岩や火山岩の角礫（数cmから数10cm径）が認められ、その量は、水深が浅くなるにつれ、徐々に増す傾向にある。このような比較的なだらかな地形も水深1,910mまで上

すると、その様相がかわり、窓のそとには直径数10mないし数mにおよぶ巨大な礫が出現しはじめる。海底地形は水深1,910m付近を境に変化し、急勾配(1:1.7)となる。一部の角礫はその大きさ(直径数mないし数10m)のため、断層崖に露出する露頭そのものと誤解するほどであり、このような角礫が幾つも重なり地形的には崖錐性ロウブ(lobe)をなしている。角礫の表面は、生物の殻によって覆われているが、潜水船を近づけその岩相を詳細に観察すると、これらが枕状熔岩(pillow lava)ないしbrecciated pillow basaltからなることがわかる。筆者らの一人徳山は、この場所を、巨礫の墓場と名づけた。

実際の断層崖の露頭は、水深1,850mからはじまる。それは、70°以上の傾斜をもつ絶壁で、pillow basalt やbrecciated pillow basalt が累々と露出している(写真a及びb)。このような壁には、時折、今にも剥がれ落ちそうなブロック(辛うじて引っ掛かっている)が観察される。その剥がれた面が非常に新鮮であることから考えて、このようなブロックの崩落が現在も起こっていると考えられる。さきの巨礫の墓場にもたらされた礫は、主としてこの壁からもたらされたと思われる。

海底地形は、水深1,790m付近で再び緩くなり、ノッチ(notch)状の地形が作られている。これは数km南に離れた、宮下ダイブサイトにもみられる。"ノッチ"面(水深1,790mから1,750mまで)は比較的平坦な地形をしており、一部に、地形的凹部が認められる。海底面には、泥に覆われているが、再移動してきたと考えられるbrecciated pillow basalt や堆積岩(主として泥岩)の礫が散在している。注目すべきことに、この"ノッチ"地形の直下には、数10mの厚さをもつ珪質ないし火山灰質の泥岩からなる堆積物の層構造が認められる。この層構造(層理面)は、褶曲しており、ビデオの映像から判断すると褶曲は非対称に発達しており、変形構造と判断される。

海底面は、さらに、水深1,750m付近からその勾配を増し、岩石の露出とともに絶壁となる。この絶壁は、水深1,675mまで連続し、主としてbrecciated pillow basalt が累積している。水深1,675m付近から海底面は再びゆるくなり、その

表面を泥が覆う。図3に示すように、水深1,668m付近で堆積岩が広く露出しているのを確認することができる。堆積岩の層理は幾度も繰り返す、互層状をなしている。これより浅く(水深1,270mまで)では、その表層を覆う泥のカバーと時折のぞく堆積岩の露頭とが繰り返して分布する。

4. 試料の分析結果

潜行調査によって得られた岩石試料は、原地性ないしは露頭からそれほど離れていない露頭周辺の転石で、従来のドレッジ試料とは質を異にしている。堆積岩の試料は、すべてが水深1,675m以浅の場所から採取された。堆積岩は、珪質泥岩ないし珪藻土とシルト質のタービダイトに大きく区分することができる。産状から判断して、両者は、半遠洋性の珪質泥岩とタービダイトとの互層をなしていたと推定される。半遠洋性珪質泥岩には、陸源性物質を含んでおらず、volcanic glass および粘土鉱物を除けば、そのほとんどが珪藻からなる。含まれるシリカはopal-Aで、続成作用がまだあまり進んでいないことを示唆している。泥質岩試料のなかに、calcite nodule(354-3-1試料)が含まれており、この試料について、安定同位体の測定を行った。結果は $\delta^{13}\text{C}$ が-19.2‰、 $\delta^{18}\text{O}$ が0.6‰(PDB)という値を得た。仮に、安定同位体比が海水のそれと同じであると仮定すると、 $\delta^{18}\text{O}$ より求められるノジュール形成時の温度は、おおよそ15℃となる。

一方、シルト岩質タービダイトは、生物擾乱が進んでいる。オリジナルな堆積構造が破壊されている場合も少なくないが、Bouma sequenceのTbcdないしTcdを呈している。alkali feldspar, plagioclase, quartz を主体にし、amphibole, clinopyroxene, volcanic glass, glauconite および木片を含んでいる。このような組成上の特徴から判断すると、アルカリ岩からなる火山島が主たる供給地と考えられる。産出する珪藻化石から堆積時代は、3.7-5.1 Ma(前期鮮新世-後期中新世)と同定された(嵯峨山, 1989)。

採取されたbrecciated pillow basalt は、olivine-plagioclase phyric basalt, clinopyroxene phyric basalt ならびにaphyric basalt からなる。これら玄武岩は、よく発泡しており、残された気

泡の跡(平均2cm径)をcalcite やcalcic zeolite が充填している。このような高い発泡度の玄武岩は、比較的高い含水量によるものと考えられる。変質は進んでおり、ガラスは主としてsmectiteにかわっている。熱水変質を受けている可能性が高い。

Ti-Zr-Y ダイアグラム中では、N-type MORBにプロットされ、Mg-Al-Fe ダイアグラムにおいても同様にN-type MORBにプロットされる。また、clinopyroxene やchromian-spinelの化学組成は、island-arc tholeiite とはことなりMORBと対応している。しかし、incompatible elements は、back-arc basin basaltとの類似性を示している。

一方、奥尻海嶺北方海洋海山からは、現在まで種々の堆積岩類がドレッジされ報告されている。このうち、*Coscinodiscus yabei*を産出する灰白色の珪藻土ないし珪質泥岩が報告されており(宮下他, 1987)、その時代は、11.5 Ma から12.9 Ma と同定されている(嵯峨山, 1988)。XRDをもちいた分析結果では、この珪藻土に含まれるシリカは、すでにopal-CTにかわっており、上述の鮮新世を示す珪藻土(珪質堆積物)とは、組成の程度が異なっている。しかし、今回潜行調査が行われた北緯44°線上では、このような堆積岩試料は得られていない。

5. 考 察

5.1 日本海盆の海洋地殻の復元

潜水調査の結果得られた断層崖における岩相および産状は、先に述べた音波探査記録からの推定結果とも合致するものと考えられる。音波探査記録から読みとることのできる、“音響基盤”の上限境界は、奥尻海嶺付近、特に西縁断層で水深約1,700m付近に追跡され、潜行調査の結果得られたbrecciated pillow basaltの上限境界とはほぼ一致する。したがって、筆者らは、音波探査記録から音響学的層序と潜水船による露頭観察との結果が対応するものと考え、これを奥尻海嶺ばかりでなく、日本海盆にも広くあてはめ、本調査地域全体の海洋地殻上部の層序の復元を以下に試みる。

日本海盆には、本調査地域で確認された第一層が広く分布する。日本海盆の深海平坦面上のDS

DPサイト301では、後期中新世から前期鮮新世の堆積物がやはり掘削されている(Karig, Ingle et al., 1975)。それによると、第一層をなす堆積物は、泥質珪藻土ないし珪藻質泥岩、細粒砂ないしシルト質泥岩及びシルト質砂岩からなり、*Denticulopsis Kamutschatica*が多産する。また、北海道西部域には、おおきく三つの新第三紀堆積盆が分布するが、そのいずれの堆積盆でも、同様な堆積物がこれを埋積し、また、*Denticulopsis Kamutschatica*が多産するといった特徴が認められる(例えば、福沢, 1985)。したがって、このような岩相ならびに生物相の類似性から、第一層の連続する奥尻海嶺を間にして日本海盆から北海道西部域にかけて、この時期、同様な堆積環境にあったと推定される。

第二層は、本潜航調査地域では、確認することができなかった。その理由として、音波探査記録にも現れているように、上位の第一層が断層崖に沿って滑動し、直接第三層と接しているためと考えられる。一方、奥尻海嶺北端部海洋海山のドレッジ試料からは、中期中新世後期(11.5-12.9 Ma)を示す珪藻土が報告されている(嵯峨山, 1988)。上述のように、含まれるシリカはopal-CTになっている点からも、明らかに今回の潜航調査で得られた鮮新世のそれとは異なる。音波探査記録が示す第二層は中期中新世後期の珪藻土を含む堆積岩からなるものと思われる。

第一層と第二層から産出した珪藻化石を繋ぐ途中の化石が現在見つからない。ドレッジ試料からは、両者の中間的な岩層を示すようなものはないではないが、両層の層序学的関係については不明である。

第三層(音響基盤)については、これも日本海盆から奥尻海嶺ならびにより東部の地域にかけ、広く連続して分布している。しかし、ここ奥尻海嶺では、第三層が断層によって変位し、断層面にそって露出することは、明らかである。したがって、筆者らは水深1,670m以深に露出するpillow basaltが、日本海盆から連続する海洋地殻(Ludwig et al., 1975)をなすもので、これが断層西縁断層に沿って露出したものと考えられる。上位の堆積岩に比べ著しく変質しており、上位の第二層との層序学的関係は、非整合と考えら

る。

5.2 奥尻海嶺西縁断層の形成発達史

マルチチャンネルプロファイラーから判断すると、奥尻海嶺と日本海盆とは、東に傾斜する低角衝上断層（西縁断層）で境される。この断層は、“layer 11”からなる基盤の大規模な変位を伴っており、地表付近では上部にむかって放射状に開いた形をとる（図2）。とくに断層崖の根元付近では、第二層は音響学上無構造となり、断層の変位に伴うドラッグや褶曲構造を見ることができないが、これは断層活動による強い変形を被っていると思われる。このことは、第二層が特にこの部分で厚くなることと無関係ではなく、強い変形に伴い本層が見掛け上、厚層化したものと考えられる。

第二層と第一層とを境する反射面は、この断層崖のロウブ地形に沿って上向きに延びており、断層崖にアバットしている。現在断層周辺では、地層が音響学的に無構造となっているため、断層の運動史の推定を困難なものにしているが、もし、この両層を境する反射面が、元来平坦なものであったとする仮定が成立するならば、断層の主たる活動は、第二層を覆う第一層最下部層の堆積後（前期鮮新世以降）ということになる。事実この反射面は、奥尻海嶺上や日本海盆においても常に平坦な面をなしており、例外なく地層面ないしそれと平行している。詳細に検討すると、層理面を切るように発達するマルチチャンネルプロファイラー中の音響学的性質から、この反射面はBSR（Bottom simulating reflector）と判断される。予察的に行われた第一層ならびに第二層中の珪質堆積物のXRD分析の結果から、この面を境に珪質堆積物中のシリカが、opal-Aからopal-CTへと変移するものと推定される。

断層の形態や構造の特徴から考えると、西縁断層は、Harding and Lowell (1979) の contractional block fault のそれにもっとも類似している。しかし、断層の規模といった点では、本断層はHarding and Lowell (1979) のそれとは異なり、明らかに大規模で垂直変位が著しい。また、断層の傾斜もいくぶん緩く、必ずしも同じものではない。しかし、contractional block faultは、低角で大規模な変位量をもつ断層へと変わること

が、米国ワイオミングのWind River thrust等で報告されている（例えば、Harding & Lowell, 1979）。

奥尻西縁断層が衝上断層であることは、マルチチャンネルプロファイラーの結果から明らかである。一方、奥尻海嶺は、幾つかの断層に境されたブロックからなっている（図2および図4）。図4に

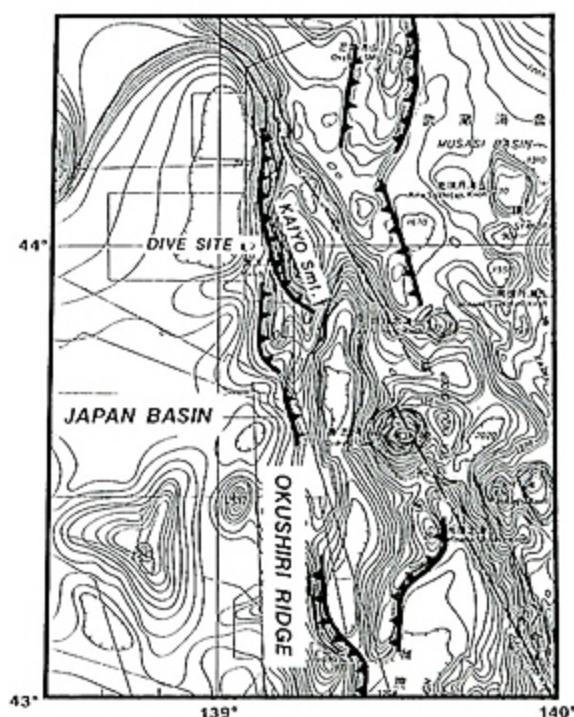


図4 奥尻海嶺付近の地形と構造

Fig. 4 Tectonic map around the Okushiri Ridge. Dotted line indicates thrust fault. Broken line indicates strike-slip fault.

示すように、これらブロックの配列は、地形的にエシェロン状をなしているように見え、さらに、個々のブロック境は、直線的な断層面がその端（南側）で急激に屈曲する特徴がみられる。このような形態上の特徴は、dogleg boundary（Harding and Lowell, 1979）と呼ばれ、伸長場のblock faultによく認められるもので、先の音波探査記録の結果が示すスラストとはその成因を異

にしているように思える。Lallmand and Jolivet (1986) は、北海道の陸上の地質の特徴から日本海盆の東縁は、リフティングの時に右ずれ成分をもつ剪断帯となったと考えた。上述の北緯44°線上の例に見るように、奥尻海嶺西縁断層は基盤をも深く切る intrabasement thrust である。深部まで深く切っている intrabasement thrust は、既存の正断層面に沿って再活動したものが一般的と考えられている。(Bally, 1975)。したがって、奥尻海嶺西縁断層は、日本海盆の拡大期に右ずれ成分をもつ wrench fault であったのが、後に tectonic inversion を起こし、現在は音波探査記録でみるような deep-seated thrust に変わったと考えられる。

6. ま と め

ここまで述べてきたことをまとめ、筆者らの考えたシナリオを図5に示す。日本海の拡大に伴い、日本海盆にはMORBが形成された。その時、奥尻海嶺周辺は伸長場に位置し、後に奥尻海嶺西縁断層とに発達した断層は、右ずれ成分をもった wrench fault として活動を開始した。その後、珪藻土をはじめとする珪質堆積物がMORBを覆い、日本海盆全体に堆積した。前期鮮新世になって奥尻海嶺周辺にアルカル岩質の火山島が出現し、シルト質のタービダイトを堆積させる。また、日本海盆の中央部から堆積盆が広がり、珪質堆積物が広くこの堆積盆を覆う。このころから、tectonic inversion が生じ、それまで正断層であった断層面を利用し、deep-seated thrust が形成され活動しはじめる。同時に、その背後でback-thrusting が生じ、奥尻海嶺がまわりの海洋地殻から剥ぎ取られた形となる。

もし、このようなシナリオが正しいとするならば、近い将来海洋地殻をもつ奥尻海嶺は、back-thrusting の発達に伴い、まわりの海洋地殻から完全に離れ、北海道(島弧側)に付加されるようになる。このような過程は、まさに地質時代に幾度も生じたであろうオフィオライトの搬入過程であり、奥尻海嶺のこのような一連の形成プロセスは、現在進行するオフィオライトの搬入の実例であろう。

最後に、今回の潜航調査では、「しんかい 2000」

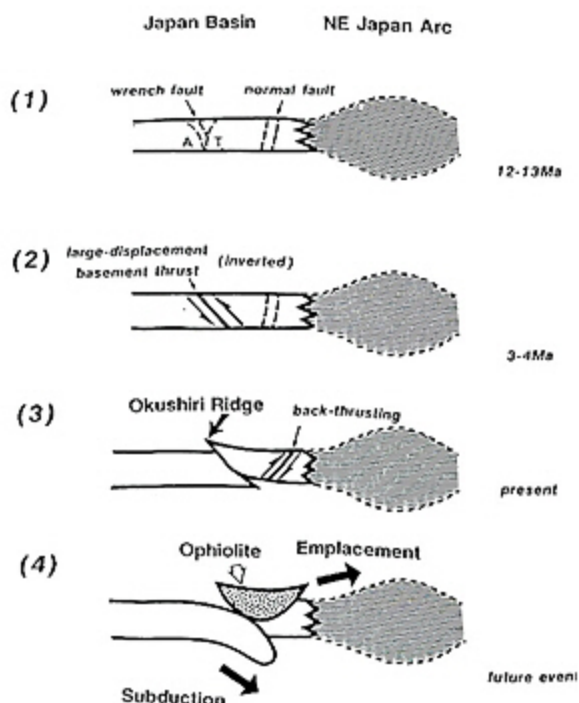


図5 奥尻海嶺の形成のシナリオ

Tは読者に向かっての変位をまたAは逆向きの変位を表す。

Fig. 5 Schematic model showing an uplift of the Okushiri Ridge. T, displacement toward viewer; A, away from viewer.

をもちいたため、潜水限界との関係で2,000m浅ででの海洋地殻断面の観察しか行うことができなかった。しかし、音波探査記録ではより深部海洋地殻がこの断層崖に露出している。今後、「しんかい 6500」を使用することで、より深部の海洋地殻が観察されるようになることを期待したい。

7. 謝 辞

本研究を行うにあたり、日本海洋科学技術センターの堀田宏氏には、「しんかい 2000」に乗る機会を与えていただくとともに、有益な議論をいただいた。また、「しんかい 2000」および「なつしま」の乗船員には航海中便宜をいただいた。東京大学海洋研究所無機化学

門の堤 真氏には、ノジュールの安定同位体を測定していただいた。札幌東海大学の石井次郎氏には、比較のため海洋海山で得られた試料をいただいた。これらの方々に深く感謝する。本研究には文部省科学研究費（課題番号 62840024）の一部を使わせていただいた。資料の分析には、東京大学海洋研究所の EPMA および XRD を使用した。記して当局に感謝する。

参 考 文 献

- Bally, A. W., 1975' 9th World petrol.
Cong. Proc. 2, 33-44.
- Coleman, R. G., 1971' J. Geophys. Res. 76,
1212-1222.
- Coleman, R. G., 1977' Ophiolites, Springer.
- Dewey, J. F., and Bird, J. M., 1970'
J. Geophys. Res. 75, 2625-2647.
- 福沢仁之, 1985' 地質雑, 91, 833-849.
- Harding, T. P. and Lowell, J. D., 1979'
AAPG Bull. 63, 1016-1058.
- Karig, D. E., Ingle, J. C. et al., 1976'
Init. Rep. DSDP 31.
- Lallemant, S. and Jolivet, L., 1985/1986'
Earth Planet. Sci. Lett. 76, 375-389.
- Ludwig, W. J., Murauchi, S. and Houtz,
R. E., 1975' Geol. Soc. Am. Bull.
86, 651-664.
- 宮下純夫, 土谷信高, 渡辺寧, 石井次郎, 山崎哲
良, 嵯峨山積, 伊津信之介, 岩下光男, 1987'
東海大学札幌教養部記要, 6, 11-21.
- Otofuji, Y., Hayashida, A. and Torii, M.,
1985' in Formation of Active Ocean
Margins eds. Nasu, N. et al., Terrapub.
Tokyo, 551-566.
- 嵯峨山積, 1988' 地質雑, 94, 295-300.
(原稿受理 1989年4月10日)



写真1 brecciated pillow basalt が露出する急崖（水深1,851 m地点）。

photo. 1 Steep slope with an angle of more than 70 degree on which in situ auto-brecciated pillow basalts outcrop, at a depth of Approx. 1851 meters below sea level.

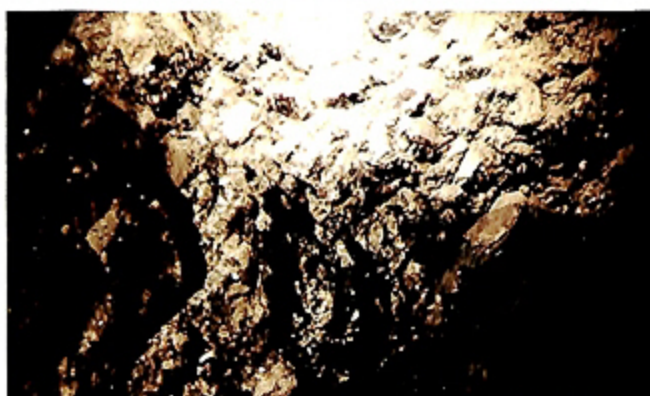


写真2 同じ場所でのクローズアップ

photo. 2 close-up of auto-brecciated pillow basalts at about same depth of photo (1).

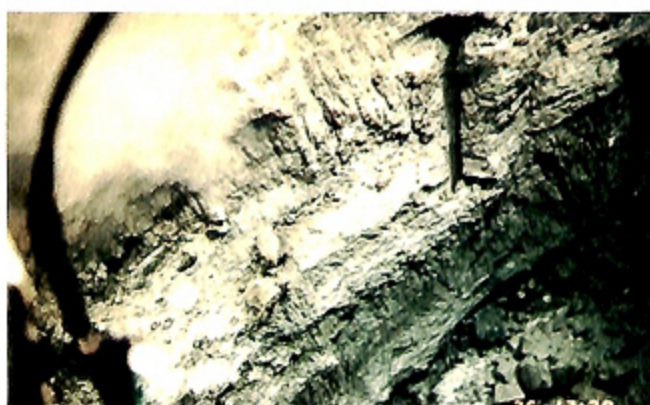


写真3 “ノッチ” 地形直下の堆積層の薄層（水深1,790 m地点）

photo. 3 A thin interlayered sediments at a depth of Approx. 1790 meters below sea level.



写真4 堆積岩の露出する海底（水深1,620 m付近）

photo. 4 Outcrops of sedimentary rocks at a depth of Approx. 1620 meters below sea level.