

大西洋 WMARK 海域潜航調査の概要

藤本 博巳*¹ ウィルフレッド・ブライアン*²

モーリス・タイビー*² ピーター・ケレメン*² 小林 和男*³ 松本 剛*⁴

木下 肇*⁵ 竹内 章*⁶ 石塚 英男*⁷ 古田 俊夫*⁸ 富士原敏也*⁹

MODE'94の最初の航海で、大西洋中央海嶺とケイン・トランスフォーム断層の西側接合部付近 (WMARK 海域) で、「しんかい6500」による15回の潜航調査が行われた。主たる目的は、低速拡大系の海洋地殻の岩石学的構造を調査することと、海底のトランスフォーム断層運動の実体を調べることにあり、海底の観察と岩石採集のほか、海底における重力と地磁気の測定も行った。潜航調査の結果、深部岩石が分布している東側の接合部とは違って、WMARK 海域の接合部付近の岩相は玄武岩であること、またその東側にある断層沿いの地形の高まりは蛇紋岩化した深部岩石であることが分かった。海嶺活動からトランスフォーム断層運動に遷移する過程が観察され、その横ずれ断層運動は基本的には陸上のものと同じであるが、海底では断層帯の幅が狭いことが確認された。また最近の断層運動を示す断層ガウジを観察し、資料を採取した。

キーワード：大西洋中央海嶺、ケイン・トランスフォーム断層、WMARK 海域、

MODE'94、海洋地殻

-
- * 1 東京大学海洋研究所
 - * 2 ウッズホール海洋研究所海洋地質地球物理部
 - * 3 海洋科学技術センター
 - * 4 海洋科学技術センター深海研究部
 - * 5 東京大学地震研究所 (現在海洋科学技術センター深海研究部)
 - * 6 富山大学理学部
 - * 7 高知大学理学部
 - * 8 川崎地質株式会社開発部 (現在海洋科学技術センター深海開発技術部)
 - * 9 東京大学海洋研究所 (現在海洋科学技術センター)
 - * 10 Ocean Research Institute, University of Tokyo
 - * 11 Department of Marine Geology and Geophysics, Woods Hole Oceanographic Institution
 - * 12 Japan Marine Science and Technology Center
 - * 13 Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center
 - * 14 Earthquake Research Institute, University of Tokyo
 - * 15 Faculty of Science, Toyama University
 - * 16 Faculty of Science, Kochi University
 - * 17 Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd: Now at Deep Sea Technology Department, Japan Marine Science and Technology Center.
 - * 18 Ocean Research Institute, University of Tokyo (Now at Japan Marine Science and Technology Center)

Outline of Diving Surveys in the WMARK Area in the Atlantic

Hiromi FUJIMOTO^{*10} Wilfred BRYAN^{*11} Maurice TIVEY^{*11}
Peter KELEMEN^{*11} Kazuo KOBAYASHI^{*12} Takeshi MATSUMOTO^{*13}
Hajimu KINOSHITA^{*14} Akira TAKEUCHI^{*15} Hideo ISHIZUKA^{*16}
Toshio FURUTA^{*17} Toshiya FUJIWARA^{*18}

Fifteen diving surveys were performed by the submersible "Shinkai 6500" around the intersection of the Mid-Atlantic Ridge and the Kane Transform Fault (WMARK area) during the first cruise of the MODE'94. The main objectives were petrological surveys of the oceanic crust of the slow spreading ridge, and detailed observation of the transform faulting. We carried out gravity and magnetic measurements on the seafloor as well as visual observation and rock sampling. We found that the western ridge-transform intersection (RTI) is covered by basaltic rocks unlike the eastern RTI where ultramafic rocks were observed. The median ridge on the active zone of the transform fault proved to be composed of serpentinites. We observed the transition in the deformation mechanism from the seafloor spreading to the transform faulting. The transform fault on the seafloor is the same as that on land in the basic processes but is narrower in the width of the active deformation zone. We observed and sampled the fault gouge on the fault plane, which is evidence of a recent fault activity.

Key words : Mid-Atlantic Ridge, Kane Transform Fault, WMARK area, MODE'94, Oceanic crust

1. はじめに

国際的な研究協力により大洋中央海嶺の活動を明らかにしていくことを目指すインターリッジ計画の一環として、潜水調査船「しんかい6500」と母船「よこすか」を用いて、中央海嶺の調査航海 (MODE'94) が1994年度実行された。大西洋中央海嶺における2航海、東太平洋海嶺において2航海、合わせて4航海という大航海である。その最初の航海は、大西洋中央海嶺のケイン・トランスフォーム断層の西側付近の構造とテクトニクスの解明を目的とするものであり、1994年6月25日 (サンファン) から7月24日 (ウッズホール) まで約1か月間にわたって行われた。大西洋における2つの航海は、海洋科学技術センター (JAMSTEC) とウッズホール海洋研究所 (WHOI) の共同研究であるが、インターリッジ計画の一環として実施され、日本の大学の研究者も参加した。

この調査航海実現に向けた打ち合わせは3年以上前から行われており、1991年11月にウッズホールにおいて3日間の検討会が開催され、JAMSTECの堀田部長と小林顧問 (当時東大海洋研) がWHOIのMike Purdy部長ほかの研究者と打ち合わせを行い、30潜航を想定した素案を作成した。その後潜航数なども含めて計画変更があり、非公式な意見交換が行われた。わが国では、海洋底の拡大系としてはこれまでマリアナトラフ等において「しんかい6500」を用いた潜航調査が大学の研究者も参加して行われてきたが、今回は特に大西洋における初めての潜航調査であり、WHOIと研究協力を進めている東大地震研及び東大海洋研でシンポジウムを開催するなどして全国から提案を募り、調査計画が立案された。1994年1月末には関係者がハワイに集まり、詳しい航海計画案を作成した。

調査海域では天候にも恵まれ、「しんかい6500」の15潜航を完全にスケジュールどおり実施することができた。潜航の合間をぬって「よこすか」による海上からの広域地球物理観測が行われた。本報告はそのうちの潜航調査に関するものである。海上観測については、レグ2のTAG航海（藤岡ほか、本書）で得られた結果と合わせて解析が行われており、地形と重力異常の解析については藤本ほか（本書）を参照されたい。

2. WMARK 海域

低速拡大系の海洋地殻と断層運動の調査を目的とするわれわれの潜航調査は、ケイン・トランスフォーム断層と大西洋中央海嶺の西側接合部で行われた（図1のWMARK 海域）。図1で東西に直線状に走っている地形のリニアメントが認められるが、これが活断層であるケイン・トランスフォーム断層の断層帯である。この断層は、陸上のサン・アンドレアス断層と比較される、大西洋における代表的なトランスフォーム断層であり、地震を引き起こす断層運動の研究で注目されている。北緯24

度付近にあるこの断層により、大西洋中央海嶺の拡大軸は東西に約140kmずれている。この断層は、約1億8千万年前に北米プレートとアフリカプレートが分離を始めたときから活動を続けており、北大西洋をほぼ東西に横断する大規模なケイン断層帯はその活動の記録である。

ケイン・トランスフォーム断層は海嶺軸の大きな落ち込みとなっている。この海域を選んだわけの1つは、ヴィーマ・トランスフォーム断層で行われたように（ボナッティ, 1994）、この断層崖で海洋地殻の断面を観察することにあつた。トランスフォーム断層と海嶺の接合部も岩石学的に興味深い場所である。フランスの潜水調査船ノチールにより東側の接合部を調査した結果（Auzende et al., 1993）の一部を図2に示した。接合部の結節海淵（nodal basin）で蛇紋岩化したかんらん岩が観察されていることは注目される。海嶺とトランスフォーム断層の接合部の水深は6,000mを超えており、「しんかい6500」でないと調査できない場所もある、ということも重要である。この接合部の内側には、内角高地（Inside corner high）と呼ばれる顕著な地形の高まりがある。図

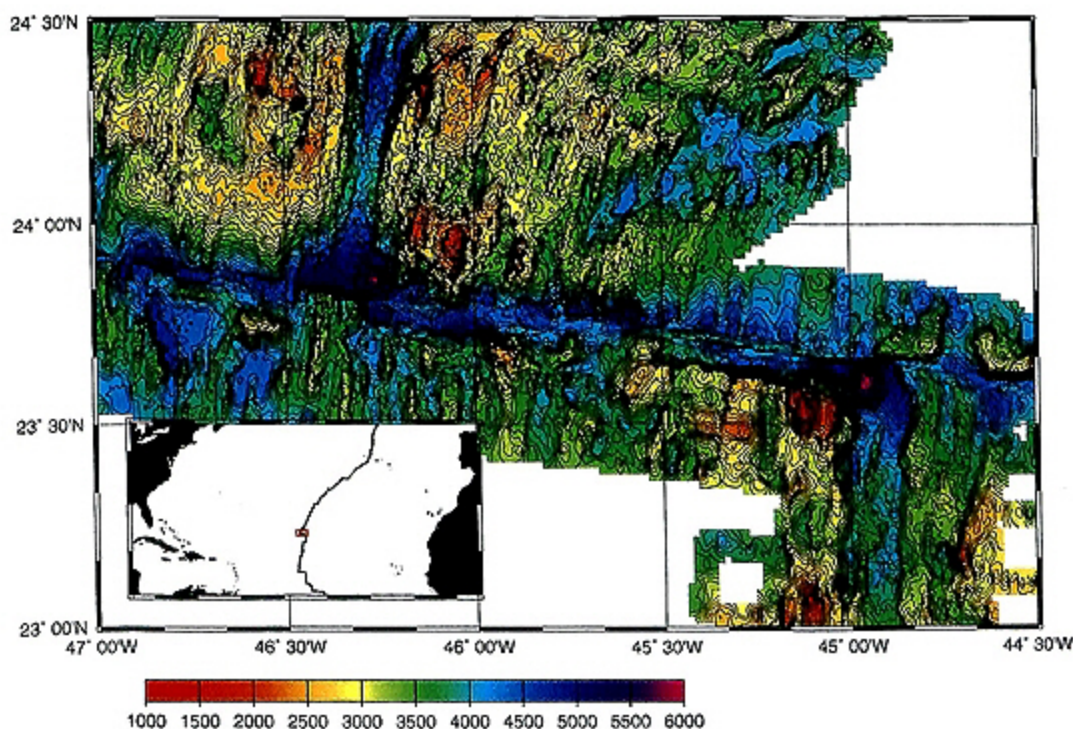


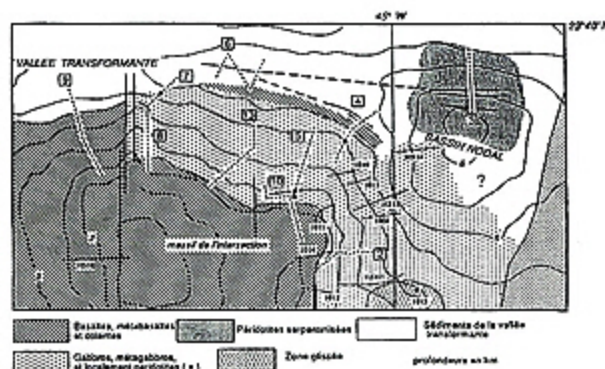
図1 ケイン・トランスフォーム断層周辺の海底地形図。東西に直線状に走っている地形のリニアメントがケイン・トランスフォーム断層の断層帯である

Fig. 1 Bathymetric map around the Kane Transform Fault. The straight E-W lineament shows the active zone of the transform fault.

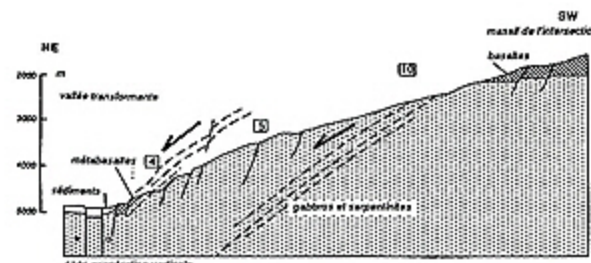
2 (a)に示した測線4, 5, 10に沿った地質構造図を図2 (b)に示したが、注目すべきことに、水深2,000m以浅の頂上部を除いては、内角高地の大部分は、はんれい岩か蛇紋岩である。

図2に示した東側の接合部とそこから南に延びる海嶺部分は MARK (Mid-Atlantic Ridge Kane) 海嶺と呼ばれている。われわれが調査海域としてケイン・トランスフォーム断層を選んだのは、大西洋中央海嶺で現在最も集中的な観測が行われている場所は MARK 海嶺であ

るからである。そしてこの海域で、従来考えられてきた海洋地殻のモデルでは説明のつかない岩石が海底を覆っていることが発見されたのである。相対的に地形が窪み、重力のブーゲー異常が大きい (モホ面が上昇している) 場所の海底で採取された岩石の多くは、蛇紋岩化したかんらん岩である。ブーゲー重力異常の分布から予想すれば、そのような海底は調査海域の23%を占めるという。得られた結果から図3に示すような地殻構造が提唱されている (Cannat et al., 1995)。つまり玄武岩は海嶺セ



(a)



(b)

図2 (a) ケイン・トランスフォーム断層と大西洋中央海嶺の東側の接合部付近の簡略化した地質構造 (Auzende et al., 1993)。点線及び太い実線は潜航調査の測線である。(b) 内角高地と呼ばれる地形の高まりの測線4, 5, 10に沿った地質構造図

Fig. 2 (a) Simplified geological map around the eastern Mid-Atlantic Ridge - Kane Transform Fault intersection. Dotted lines and bold lines show tracks of the diving surveys.

(b) Geological cross section of the inside corner high along the track lines of 4, 5, and 10.

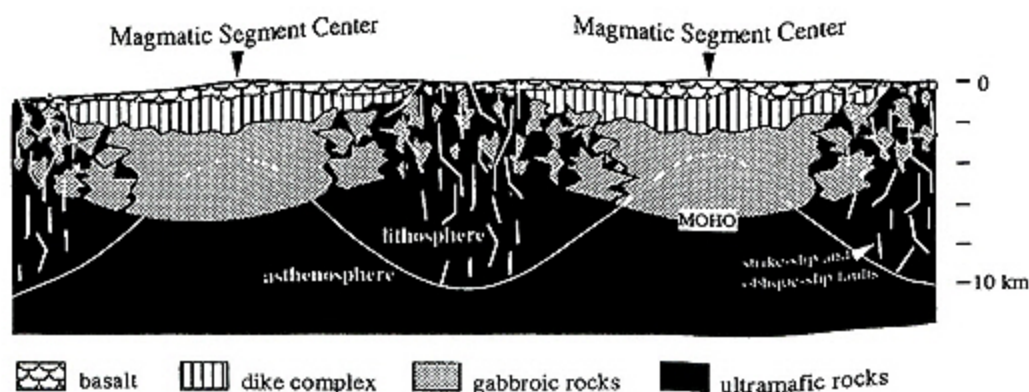


図3 大西洋中央海嶺 MARK 海嶺 (22°-23.5°N) における、海嶺軸に沿った地殻構造断面の予想図 (Cannat et al., 1995)。玄武岩は海嶺セグメントの中央部分だけに分布しており、地殻のかなりの部分は蛇紋岩化したかんらん岩からなることを示している

Fig. 3 Cross section of the crustal structure estimated along the axis of the Mid-Atlantic Ridge in the MARK area (22°-23.5°N). It is postulated that basaltic rocks covers the central part of the ridge segments and that large part of the crust is composed of serpentinized peridotites.

グメントの中央部分だけに分布しており、昔ヘス (H. H. Hess) が提唱したモデルに近い海洋地殻が海底のかなりの部分を占めていることになる。このような地殻がはたしてどの程度普遍的に見られるかという点が今後の重要な問題である。

このようにケイン・トランスフォーム断層周辺は興味深い場所である。しかしその西側では、海上観測データは多いが、海底の潜航調査の報告はほとんどない。しかも、今回共同研究を行った米国のウッズホール海洋研究所 (WHOI) の研究者によれば、岩石採取の結果の一部は、東側と西側では表層の岩相が異なっていることを示唆しているという。そこでわれわれは、この断層と海嶺との西側の接合部付近を調査することとし、その海域を MARK 海域の西側という意味で、WMARK 海域と呼ぶことにした。

3. 調査目的と観測手法

拡大速度の遅いトランスフォーム断層は起伏の大きな谷であり、多くの場合地殻深部の岩石が露出しており、岩石学的に重要な研究対象になっている。この意味で現在最も注目を浴びているのは南西インド洋海嶺であり、今後の課題といえよう。大西洋中央海嶺も拡大速度の遅い中央海嶺の代表であり、今回は上記のような理由で、ケイン・トランスフォーム断層の西側である WMARK 海域を調査することにした。

本航海の基本的な目的は、潜航調査と海上観測により、WMARK 海域の岩石学的構造と断層運動を明らかにすることである。具体的には以下の問題を明らかにすることを目的として調査を進めた。まず岩石学的な問題では、

(1) 図1から明らかなように、ケイントランスフォーム断層の東西の接合部の地形は異なっており、西側では海嶺軸の活動が活発である可能性がある。はたして西側の接合部でも、図2のように深部岩石が分布しているかどうか？

(2) 西側の接合部の北東にある地形の高まりは内角高地である。またその接合部の南側にある地形の高まりは、約1,000万年前に東側の接合部で形成された内角高地であると考えられる。これらの内角高地も、図2(b)に示したような構造をもっているのかどうか？

(3) 西側の内角高地の南側に、トランスフォーム断層に沿った細長い地形の高まりが認められる。これは中央

構造海嶺 (median ridge) と呼ばれているが、これはどのような性質のものであるのだろうか？ 深部岩石が出ているのではなかろうか？

断層運動に関する問題では、

(4) 陸上に比べて地殻が薄い海底のトランスフォーム断層では、断層帯の幅が狭く、かつその断層運動がより明瞭に観察されることが期待されるが、その断層運動の実態はどのようなものであるか。日本の内陸地震を引き起こす横ずれ断層との違いはどうか？

(5) 活断層と海嶺の接合部付近ではどのような運動が起こっているか？ 結節海淵や内角高地など接合部の大きな地形の起伏はどのようなメカニズムにより形成されたか？

(6) 断層沿いの中央構造海嶺はどのようにして形成されたか？

このような調査目的を達成するために、本航海では次の4つの観測手法を用いた。

(1) 別の航海で得られた深海曳航式のサイドスキャンソナーの記録と本航海の潜航調査における目視観察の記録から、海底の火山活動と断層運動を明らかにする。

(2) 潜航調査により、重要な露頭から岩石を採取し、海底表層の岩石の分布を求める。また採取した岩石を分析することにより、岩石が被った変形や熱変性を明らかにする。

(3) 海底、海上における重力測定及び地磁気測定と、採取した岩石の船上測定により、海底の密度構造及び磁化構造を明らかにする。地形の大きな起伏はこれらの解析に非常に有効である。

(4) 海上における広域の地球物理観測により、海嶺活動と断層運動を規定している広域の海嶺活動とテクトニクスを明らかにする。

4. WMARK 海域における海洋地殻の調査

予定していた15回の潜航は予定どおり実行できた (表1)。潜航調査を行った海域の地形図を、潜航番号とその測線とともに図4に示した。「よこすか」によるマルチナロービーム観測により作成したものである。トランスフォーム断層と北側の海嶺との接合部は、23°50'N、46°20'W 付近であり、そこから東の方向に直線状に断層が走っている。この図のほかに、インターリッジ計画の議長を務めている英国のサール (R. Searle) 教授から提供された断層沿いの深海曳航サイドスキャンソナーの記

表1 MODE'94 WMARK 航海における「しんかい6500」潜航調査表
Table 1 List of the "Shinkai 6500" dives during the MODE'94 WMARK cruise

潜航番号	月	日	観測者	パイロット	着底地点 (緯度、経度、水深)	R	G
201	6	30	M. Tivey	田代、佐々木	23°50.4'N, 46°18.45'W, 5366m	9	0
202	7	1	小林和男	小倉、飯嶋	23°49.83'N, 46°17.18'W, 5313m	4	0
203	7	2	P. Kelemen	赤沢、牧	23°49.43'N, 46°19.49'W, 4761m	6	0
204	7	4	石塚英男	田代、立田	23°49.32'N, 46°18.42'W, 4536m	9	1
205	7	5	B. Bryan	小倉、佐々木	23°50.45'N, 46°18.77'W, 5240m	9	1
206	7	6	竹内章	赤沢、飯嶋	23°50.18'N, 46°19.08'W, 4948m	4	1
207	7	8	松本剛	田代、牧	23°51.67'N, 46°15.42'W, 6024m	2	3
208	7	9	M. Tivey	小倉、川間	23°48.52'N, 46°07.49'W, 4401m	9	2
209	7	10	竹内章	赤沢、佐々木	23°47.02'N, 46°03.40'W, 4520m	4	2
210	7	12	木下肇	田代、飯嶋	23°43.87'N, 46°02.81'W, 4828m	5	2
211	7	13	藤本博巳	小倉、牧	23°55.84'N, 46°01.23'W, 2877m	1	2
212	7	14	P. Kelemen	赤沢、立田	23°48.99'N, 46°09.06'W, 4597m	5	1
213	7	16	松本剛	田代、佐々木	23°42.79'N, 46°03.42'W, 4149m	3	4
214	7	17	石塚英男	小倉、飯嶋	23°47.18'N, 46°05.71'W, 4272m	8	0
215	7	18	B. Bryan	赤沢、牧	23°50.22'N, 46°14.21'W, 5330m	7	1

注 R: 岩石採取の点数 G: 海底重力測定点数
R: Number of rock samples G: Number of seafloor gravity measurements

Shinkai 6500 Dive Tracks in WMARK

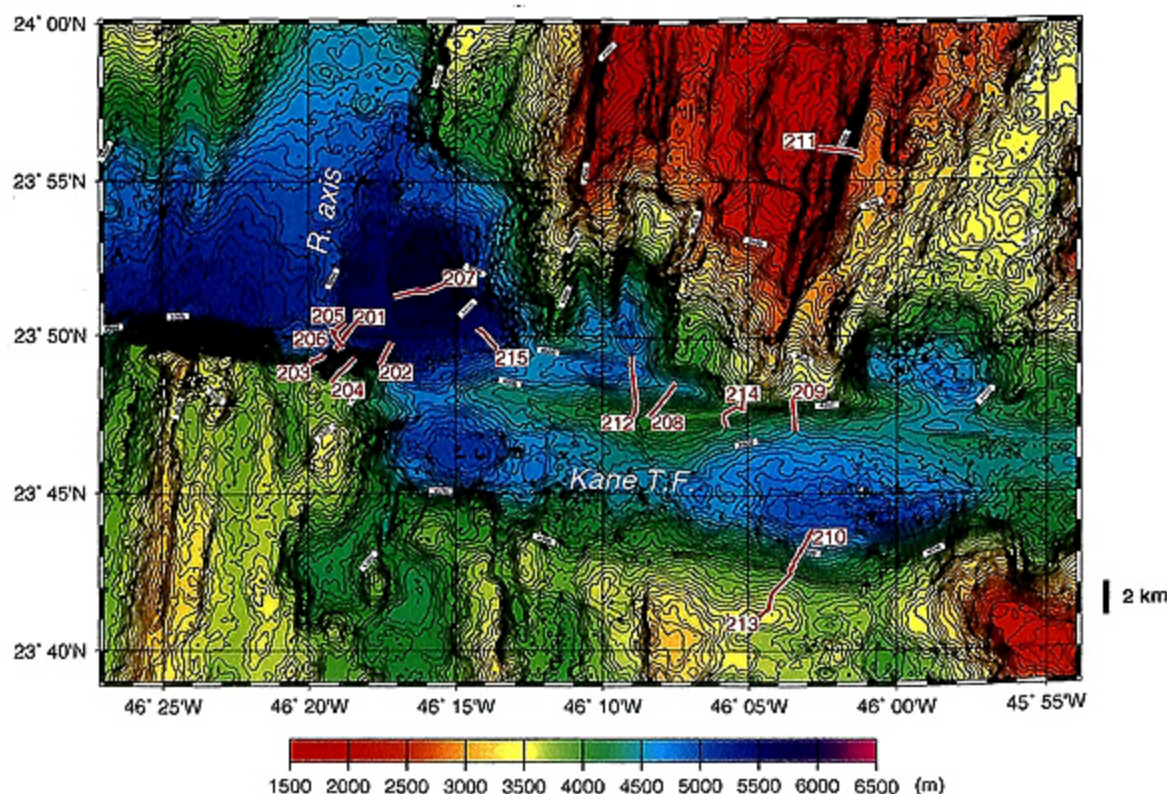


図4 WMARK 海域の海底地形と「しんかい6500」の潜航調査線。
Fig. 4 Bathymetric map of the WMARK area and tracks of the diving surveys of the "Shinkai 6500".

録を基にして、潜航計画を作成した。通常、海底観察と岩石採取だけでは表層の情報しか得られないので、15回の潜航調査では、日米の磁力計で地磁気を連続観測し、野外調査用の重力計を艇内に持ち込んで、合計20点で海底重力測定も行った(表1)。採取した岩石の古地磁気学的研究を船上で行った。

調査目的の第1は、海嶺との接合部の岩相を明らかにすることであった。図2に示した MARK 海域のように深部岩石が観察されるか、あるいは玄武岩が観察されるか、という問題である。潜航の結果は後者であり、接合部の海嶺軸付近で新鮮な枕状溶岩が広範に観測された(201, 205-206)。接合部内側の結節海淵でも、堆積物は比較的少なく、多くの場所で玄武岩が観察された(207)。これらの場所で海底重力測定から推測された平均地殻密度は約2.7g/cm³であり(松本ほか、本書)、海底地磁気の観測も強い磁化強度を示しており(富士原ほか、本書)、観察された玄武岩の分布と調和的である。

このように西側の接合部では、トランスフォーム断層でも新鮮な玄武岩が観察され、深部岩石が観察された東側の接合部と地殻構造が大きく違っていることが明らかになった。問題はこのような違いが一般的か否かであり、今後ほかのトランスフォーム断層の詳しい調査が必要である。もし一般的な現象であれば、考えられる原因の1つは、大西洋の海底がマントルに対して相対的に西側に運動していることの影響である。西側でマグマを出してしまうと、東側では出なくなる。特殊な条件としては、このトランスフォーム断層の北側の海嶺セグメントの活動が断層寄りに移動してきているということがあり、それに伴って接合部のマグマ活動が活発化している可能性がある。図1に見られる東西の結節海淵の地形の違いのほかに、今回の調査で接合部の東側で採取されたかんらん岩の化学組成も、西側の接合部におけるマグマ活動の活発化を示唆している。

調査目的の第2は、新旧の内角高地の斜面と考えられる断層崖で、図2に示すような、はんれい岩やかんらん岩などの深部岩石が観察されるか否かを確かめることであった。潜航調査の結果は否であり、接合部の南側の斜面でも(201-206)、北東にある内角高地でも(209, 211, 214)、観察されたのは玄武岩だけである。ただし後者では、崩落した岩石のため斜面の下部には観察できなかった。これらの場所で海底重力測定から推測された平均地殻密度も約2.7g/cm³であり、海底地磁気観測から推定される強い磁化強度とともに、玄武岩の分布を示唆している。

この調査結果も、従来の内角高地のモデルには合わず、前の問題とも関係していると考えられる。これまで、内角高地は低角の正断層により地殻下部が隆起したとする説が有力であったが、ほかの形成メカニズムがあるのかもしれない。古い内角高地の側面と考えられる接合部の南側の急崖で玄武岩が観察された原因として、高速の拡大系で Barth et al. (1994) が報告しているように、接合部のマグマ活動の基となるソースが地下深部にあって、その活動がトランスフォーム断層を越えて、古い海底においてもマグマ活動を引き起こしたという可能性も考えられる。しかしここで採取された玄武岩は少なくとも新鮮なものではなく、今後その年代の測定や成分の分析が鍵になる。

調査目的の第3は、トランスフォーム断層に沿った細長い地形の高まりである中央構造海嶺 (median ridge) の性質を明らかにすることであり、興味深い深部岩石が採れることをひそかに期待していた。この期待は見事に当たり、この高まりが基本的に蛇紋岩からなることを発見した(208, 212, 214)。海底重力測定の結果はモホ面が上昇していることを示しており、海底で観測される地磁気異常の振幅も非常に小さかった。採取された試料は、程度の差はあるがすべて海洋底変成作用を受けており、海洋地殻・上部マントル内での温度構造の解析という点で貴重な試料である(石塚ほか、本書)。またかんらん岩資料の中にはマイロナイト様の構造・組織が認められた。この岩石が上部マントル内で高温の変形を受けていることを示すものであり、トランスフォーム断層帯における構造運動を解明する手掛かりとした。

5. ケイン・トランスフォーム断層西部における断層運動

トランスフォーム断層は地震発生のメカニズムを明らかにする研究にとって、重要な自然の実験場である。横ずれ断層であり活動度が高いので、断層に垂直な面上で観測することにより、断層運動をモデル化しやすいということがその理由であろう。カリフォルニア地震を引き起こすサン・アンドレアス断層が有名であるが、構造が複雑で厚い大陸地殻が現象を複雑にしている。大陸地殻に比べて海洋地殻は薄くて構造が簡単なため、海底では断層帯の幅が格段に狭く、断層運動のメカニズムもより簡単であると予想されている。このような観点から陸と海の横ずれ断層運動に関する詳しい比較観測を行った。

トランスフォーム断層の断層面は多くの潜航で観察された(201, 204, 206, 208, 209, 212, 214の各潜航)。

その中で最も典型的な場所で断層帯を横断したのは第209潜航であり、斜面には大小の低断層崖があることが分かった。中でも斜面とは逆向きの低断層崖と細長い溝状凹地は、陸上の横ずれ活断層でしばしば観察されることから、現在横ずれ活動が最も活動的な場所と判断された。活断層とみられる断層帯の幅は、100m程度であり、断層帯全体でもその幅は約1kmである(竹内ほか、本書)。陸上のサン・アンドレアス断層では、断層運動に伴う変形は数百kmにも及ぶことを考えれば、この幅は格段に狭い。超音波が往復する時間から海底の距離を測定する技術が最近ほぼ確立し、1kmの距離変化を1cmよりよい精度で検出することはできそうである(藤本ほか、1995)。今後米国と協力して、海底でプレートの相対運動と地震活動をモニタリングする研究を進めたい。

この逆向き低断層崖には赤褐色や緑色が斑状にまじった白色の、ガウジと呼ばれる未固結の断層破砕物が露出し、右横ずれの変位センスを示す内部構造が観察された(竹内ほか、本書)。この断層露頭はまだ崖面に覆われていないため、ごく最近の地震断層である可能性がある。とくに中央構造海嶺と内角高地の接合部(第214潜航)で、深海底で目視観察と合わせて活断層露頭からガウジの標本が得られたことは、今回が世界でも初めての貴重な成果である。

ケイントランスフォーム断層の西側接合部のテクトニクスも重要な問題である。特徴的な地形は、結節海淵の沈降と内角高地の形成、並びに海嶺軸末端の東側への「引きずり」である。海嶺軸がトランスフォーム断層に引きずられて南東方向に伸びているように見えるのは、断層末端で応力の再配置と断層面の急激な方向転換が起こっていることを示す。結節海淵の形状が非対称で内角側がより深い理由も、海淵の形成にプルアパートと呼ばれる一種の伸張テクトニクスが重複していることで説明可能である(竹内ほか、本書)。しかし、結節海淵に隣接して内角高地が存在する理由などが依然なぞとして残る。

中央構造海嶺は、局所的な短縮域で分岐断層が逆断層成分を伴うために盛り上がるというメカニズムによりできたと考えられる(竹内ほか、本書)。今回の一連の潜航調査により、典型的な横ずれ断層と見られる部分については、陸上でみられる大規模な横ずれ活断層と基本的な違いは見られないことが明らかになった。したがって、今後このような場所で地震発生のメカニズムを研究すれば、その成果は陸上の地震活動の研究にも役立つはずである。

このほか、地形の険しい場所では、断層運動に伴う地震によって引き起こされたと思われる、いろいろな規模の地滑り土石流のあとが観察され(Kobayashi et al., 本書)、今後サイドスキャンソナーの記録と合わせてその分布を解析する予定である。

6. おわりに

1回の潜航で調査できる範囲はせいぜい2kmの範囲であり、電波を通さない海水のベールに覆われた海底の活動の実体を把握することは簡単ではない。今回の調査結果は、海洋底の生成過程の研究に一石を投ずるものであり、詳しい解析と、その結果を検証する調査が必要である。海底の沈み込みに際して中央海嶺の海底構造が再び現われるということもあり(Kobayashi et al., 1995)、今後、沈み込む海底の観測や、陸上の観測とも合わせて研究を進めていきたい。

幸い海況にも恵まれ、井田指令をはじめとする運航チームと湯川船長をはじめとする「よこすか」船員の完ぺきな働きにより、予定していた15回の潜航を日程どおりに完全に実行することができた。また潜航調査に必要な時間以外は寸暇を惜しんで海上観測が行われた。このような「しんかい6500」と「よこすか」の信頼性の高い運航はWHOIの研究者からも高い評価を得た。今回の調査は、画期的であるだけに難しい問題も多かった。これが大成功をおさめることができたのは、関係者一同の働きによるものであり、記して感謝の意を表したい。

引用文献

- Auzende, J.-M., M. Cannat, P. Gente, J.-P. Henriot, T. Juteau, J. Karson, Y. Lagabriele, C. Mevel and M. Tivey (1993): Affleurements des roches profondes de la croûte océanique et du manteau sur le mur sud de la fracture Kane (Atlantique central): observations par submersible. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 317, Serie II, 1641-1648.
- Barth, G. A., K. A. Kastens and E. M. Kleir (1994): The origin of bathymetric highs at ridge-transform intersections: A multi-disciplinary case study at the Clipperton Fracture Zone. *Mar. Geophys. Res.*, 16, 1-50.
- ボナッティ (Bonatti, E.) (1994): 大西洋中央海嶺の冷たいホットスポット. *日経サイエンス*, 24(5), 102-112.

Cannat, M., C. Mevel, M. Maia, C. Deplus, C. Durand, P. Gente, P. Agrinier, A. Belarouchi, G. Dubisson, E. Humler and J. Reynolds (1995): Thin crust, ultramafic exposures, and rugged faulting patterns at the Mid-Atlantic Ridge (22°N-24°N). *Geology*, 23(1), 49-52.

藤本博巳・金沢敏彦・村上英幸 (1995): 海底精密音響測距—その可能性を示す観測結果—. *地震* 2, 48, 289-292.

Kobayashi, K., K. Tamaki, M. Nakanishi, J. Korenaga and Y. Ogawa (1995): Rejuvenation of 130 m.y.-old fabrics on the outer wall of the western Kuril Trench. *Proc. Japan Acad.*, 71(1), Ser. B, 5-9.

(原稿受理: 1995年6月16日)