## 12-9 日本海南部の震源断層 Seismogenic source faults in the southern part of the sea of Japan

東京大学地震研究所 佐藤比呂志・石山達也・Claringbould, J.S.・加藤直子 Hiroshi Sato, Tatsuya Ishiyama, J.S. Claringbould, Naoko Kato Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

## 1. はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震の甚大な津波災害を受けて、日本海沿岸における津波災害への対策も 喫緊の課題となった.日本海の震源断層は数多くの孤立した断層から構成され、それぞれの断層の位置 や形状については、不明な点が多い.日本海側も含めて津波防災を進めることは喫緊の課題であり、内閣 府・国交省・文科省は日本海津波検討会を設置し、日本海全体に影響を及ぼす可能性のある長さ 40 km の断層については、既存の資料をもとに断層モデルを構築し、津波高を推定した<sup>1)</sup>.しかし、根本的には 波源・震源断層を構築するための基本資料の収集が必要であり、文部科学省は 2013 年から「日本海地震 津波調査プロジェクト」を立ち上げ、地下構造探査に基づく震源・波源断層モデルの構築と、そのモデ ルによる津波・強震動予測を実施するためのプロジェクトが開始された.震源断層のモデル化は、発生 する強震動や津波予測の他、地震発生ポテンシャル評価にとっても重要である<sup>2)</sup>.ここでは、構造探査や 既存資料の解釈にもとづいて構築した震源断層モデルを紹介するとともに、それらの特徴や地学的な形 成プロセスについて取りまとめる.

## 2. 地殼構造探查

2013 年度から新潟沖から探査を開始し、地震研究所では傭船により、3020 もしくは 1950 cu.inのエア ガンと、4 もしくは 2 kmのストリーマケーブルを曳航し、一部二船式のマルチチャネル反射法地震探査 を実施した.海陸統合地殻構造探査としては富山県黒部から富山トラフ横断測線(2013 年度)、かほく-砺波測線(2014 年度)、舞鶴沖測線(2016 年度)、倉吉-倉吉沖測線(2017)において探査を行った<sup>3)</sup>. と くに 2013 および 2014 年度においては、海底ケーブルを使用して海陸の連続的なイメージを得ている. 新潟沖から日本海南部にかけて、海陸合わせた測線長は約 2,213 km となる. これらの構造探査などか ら、主要な断層の構造が明らかになってきた.

3. 震源断層の地質構造上の特徴

リフト軸周辺の震源断層:日本海の形成は、日本列島が現在の位置に定置させた過程で、日本列島周辺の地殻構造・断層の形成に大きな影響を及ぼしている.日本海の拡大は、単一のリフトが拡大して達成されたものではなく、複数のリフトの拡大によって達成されている.こうしたリフトは厚い堆積物・広域玄武岩の分布<sup>4</sup>の他,Hi-net などによる地震波トモグラフィにより、下部地殻のP 波高速度帯としても 識別することができる<sup>5</sup>.リフト帯では、苦鉄質岩石が迸入し、中下部地殻にリフト軸の外側に傾斜した 苦鉄質岩石に富む領域と、珪長質の大陸性地殻との境界が形成され、この物性境界が短縮変形を受ける 際に、逆断層が形成される.このようなリフト帯特有の震源断層は、新潟・北部フォッサの他<sup>6</sup>、富山ト ラフでも見られる<sup>7</sup>(第1図).

正断層の反転による逆断層・横ずれ断層運動:日本海南部には西南日本弧と平行する断層群が形成されているが、これらの断層は中角度の逆断層となっている.この断層は上盤側に厚い新第三系の堆積物が分布し、典型的な正断層の逆断層としての反転運動を示している.第2図に、若狭湾沖の例を示す.こうした反転運動は、鳥取県中部から沖合にかけての海陸統合断面(第3,4図)でもよく現れている.

この断面には日本海・大和海盆の形成に伴うグラーベン,ハーフグラーベンが顕著であるが,これらの 正断層群は,日本海拡大後まもなく南北方向からの短縮変形により,逆断層としての反転運動を行った. 反転が著しい測線南部の陸域に近い領域は,背弧域のポストリフト期の火山活動が活発であった地域と 重なっている.中新世に形成された褶曲-断層帯は,広くほぼ水平な鮮新統に覆われるが,一部の断層周 辺では逆断層運動に参加している.微弱な南北方向の圧縮応力場が継続したものと推定される.鳥取沖 東部断層の場合(第4図),海底下浅部では高角度の断層となり,断層を隔てた反射面のパターンが対応 しないことから,横ずれ運動が推定される.断層は活動様式は,正断層→逆断層→横ずれ断層と変化し ているが,その都度,異なる断層が形成されているわけではなく,同一の断層が広域応力場に対応して, 運動様式を変化させている.

島弧と直交する方向の高角断層:山口沖から北九州沖にかけての領域には,NNW-SSE 方向の高角な活断 層が分布している(第5図)<sup>8,9</sup>. これらの断層は,西南日本の伸びと平行な軸をもつ褶曲を切断するこ とから,鮮新世以降の島弧に直交する方向からの最大主圧縮応力状態のもとで形成された断層群である 可能性が高い.

4. 震源断層の矩形モデル

日本海南部の海底活断層の分布については,浅層高分解能の音波探査を用いてマッピングされている<sup>8,9</sup>. 既存の活断層の深部形状を,より深部を対象とした反射法地震探査資料を用いて,地震発生層中の傾斜 を推定し震源断層の矩形モデルを作成した(第6図).震源断層の下限については,大陸地殻については 15 km として作成した<sup>1)</sup>.海域における地震観測網の欠如と地震発生頻度から海域の地震発生層の下限 について,地震データから直接的に求めることが困難であるため,プロジェクトでは構成岩石のレオロ ジー特性について検討を進めている.尚,山陰沖の褶曲-断層帯では堆積層中のデタッチメントが発達し た thin-skinned 様式の変形が卓越し,基盤岩中の断層傾斜が推定が困難な断層がある(第6図青線の断層 トレース).

5. まとめ

一旦,形成された断層は,花崗岩の大規模な迸入などによる熱的に更新されない限り,断層は弱面として維持され,異なる応力場の元で再利用される.震源断層・波源断層の推定には,地球物理学的な探査が不可欠であるが,構造形成史を考慮した地質学的な推定も重要である.日本海南部に分布する断層群の活動様式は,西南日本に沈み込むプレートの特性(太平洋プレート,新しい四国海盆)や,それらの運動方向によって支配されており,震源断層の形状推定には沈み込み帯を構成する上盤プレート内変形の観点が重要である.

文献

- 1) 日本海における大規模地震に関する調査検討会:日本海における大規模地震に関する調査検討 会報告書, 43p., 2014.
- 2) 橋間昭徳・佐藤比呂志・石山達也・Andrew M. Freed・Thorsten W. Becker, 南海トラフの固着 による西南日本の震源断層における応力蓄積, *予知連会報*, 本誌, 2019.
- 3) 東京大学地震研究所・文部科学省研究開発局,日本海地震・津波調査研究プロジェクト報告書, http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/Japan\_Sea/houkokusyo.html
- 4) Sato, H., The relationship between late Cenozoic tectonic events and stress field and basin development in northeast Japan. J. Geophys. Res., 99, 22261-22274, 1994.
- Matsubara, M., H. Sato, T. Ishiyama, A. Van Horne, Configuration of the Moho discontinuity beneath the Japanese islands derived from three-dimensional seismic tomography, *Tectonophysics*, **710-711**, 97-107, 2017.

- 6) <u>佐藤 比呂志</u>, 最新の陸域構造調査. *予知連会報*, 90, 516-520, 2013.
- Ishiyama, T., H. Sato, N. Kato, S. Koshiya, S. Abe, K. Shiraishi. M. Matsubara, Structures and active tectonics of compressionally reactivated back-arc failed rift across the Toyama trough in the Sea of Japan, revealed by multiscale seismic profiling, *Tectonophysics*, **710-711**, 21-36, 2017.
- 8) 岡村行信・井上卓彦・阿部信太郎: 山陰西部および九州北部沖の第四紀断層.活断層・古地震研究報告,14,157-177, 2014.
- 9) Okamura, Y.: Active tectonics around the junction of Southwest Japan and Rykyu arcs: Control by subducting plate geometry and pre-Quaternary geologic structure. Island Arc, 25, 287-297, 2016.



- 第1図 黒部から南北に富山トラフを横断する反射法地震探査断面(13T1, 第5図)と地質学的解釈 (Ishiyama et al., 2017<sup>7)</sup>).
- Fig. 1 Seismic reflection profiles with geologic interpretation across the Toyama trough (13T1, Fig. 5; Ishiyama et al., 2017<sup>7</sup>).



- 第2図 若狭湾沖,越前碓列を横切る反射法地震探査断面(測線14W1,第6図)AC:音響基盤, 赤線:活断層,青線:中新世の逆断層,黒線:正断層.
- Fig. 2 Seismic reflection profile across the Echizen bank chain (14W1, Fig. 6). AC: acoustic basement, red line: active fault, blue line: Miocene reverse fault, black line: normal fault.



第3図 倉吉から大和海盆に至る反射法地震探査断面と地質学的解釈(測線 160KY, 第6図). Fig. 3 Seismic reflection profile Kurayoshi to Yamato basin (160KY, Fig. 6)



第4図 倉吉沖の反射法地震探査断面と地質学的解釈(第3図の南部区間の拡大).

Fig 4 Seismic reflection profile off-Kurayoshi and its geological interpretation (blow up of southern part of Fig. 3).



第5図 山口沖の反射法地震探査断面と地質学的解釈(測線15YK-4,第6図). Fig. 5 Seismic reflection profile off-Yamaguchi (15YK-4, Fig. 6).





Fig. 6 Distribution of seismogenic source faults in the southern part of the Sea of Japan. Pink rectangular: plane projection of a source fault, Red line: upper line of source fault, Blue line: fault trace unknown deep geometry, Black line: seismic lines shown in Fig. 1 to 5.