

12-4 地下構造探査による活断層-震源断層システムのイメージング Imaging of active – source fault systems by seismic reflection profiling

東京大学地震研究所 佐藤比呂志

Hiroshi Sato

Earthquake Research Institute, The university of Tokyo

1. はじめに

地表近傍の活断層・活褶曲とその地下に潜む震源断層を一つのシステムとして理解することは、発生する地震像や地震発生の長期予測を行う上で重要である。反射法地震探査は、活断層-震源断層のイメージングにとって有効な手法であり、とくに1995年の兵庫県南部地震以降、積極的に活断層調査に活用されるようになった。ここでは活断層-震源断層のイメージングによって明らかになった、日本列島の活断層-震源断層システムの重要な特徴について述べる。

2. 断層の再活動性

断層の再活動性は発掘による活動履歴調査の基礎となっているが、こうした現象はより長期間の地質学的な時間帯域についても当てはまる。とくに日本列島の基本構造が形成された大陸からの分離と日本海の形成期に活動した断層の多くは、活断層として継承されている場合が多い。東北日本では、伸張応力軸とその後の圧縮応力軸の方向が近いために正断層から逆断層への反転運動が多いが、形成時の応力と現在の応力軸が斜交する西南日本では、横ずれ成分を有する再活動が発生する。2007年能登半島地震では60度程度の傾斜を示すかつての正断層が、現在の造構応力場と調和的な大きな横ずれ成分を有する逆断層として活動した¹⁾(図1)。こうした断層の再活動は、断層の姿勢と応力状態、断層面の強度によって支配される。とくにプレート境界断層のような強度が低下している断層では、1923年の関東地震のように、低角度の断層が横ずれ運動をする例が知られている²⁾。西南日本の中央構造線も地質時代にプレート境界として挙動した断層であり、70万年以降中角度で横ずれ運動を行ってきた(図2)³⁾。また、東北地方南部太平洋側に位置する双葉断層も、地殻構造探査では中角度の西傾斜を示し(図3)⁴⁾、第四紀後期には横ずれ成分を有する逆断層としての活動してきた。震源断層の形状は、強震動予測ほか物理的な地震発生予測の高度化にとって重要であり、断層形成史の地質学的資料や直接的な震源断層のイメージングは、重要な資料となる。

3. プレート境界から分岐断層

国府津-松田断層は、プレート境界のメガスラストの上盤浅部に位置する活断層であるが、独立した活断層として評価されていた。文部科学省の大都市圏地殻構造調査⁵⁾や国府津-松田断層帯の重点的調査により、メガスラストから分岐する断層であることが明らかになった(図4)⁶⁾。国府津-松田断層のトレンチ調査などによって明らかになった活動履歴は、房総半島などの地震性隆起から推定されたメガスラストの活動時期⁷⁾と重複しており、分岐断層としての形状と調和的である。メガスラストの上盤側の深さ15km程度までに分布する断層は、メガスラストと直接的な構造的連続性を有している可能性が高い。三浦半島断層群などについても、構造的な関係については未解明であるが、活動履歴はメガスラストと重複し、分岐断層である可能性が高い⁶⁾。

4. 褶曲断層帯の活構造と震源断層

東北日本・西南日本の背弧域では、日本海東縁までの間、基本的には日本海拡大期にハーフグラバーベンが形成され、その後の圧縮変形によって逆断層や横ずれ断層として再活動するのが一般的である。リフト期の正断層群は、伸張変形に対して既存の地殻の弱い部分を使って破断するため、全体としての伸張量は走向方向にほぼ一定となるが、細かく見ると、リフトの伸びに直交す方向の断層によって隔てられ、セグメント化している(図5)。こうした、断層形成期のセグメンテーションを引き継いだ形で、断層が再活動するため、震源断層のセグメントにも引き継がれる場合が多い。日本海形成期のハーフグラバーベン型の正断層の再活動は、東北日本の太平洋側の地域などで典型的である(図5)。横断断層は反射法地震探査によって認識される他、地質構造、微小地震の配列などによっても総合的に認識される。

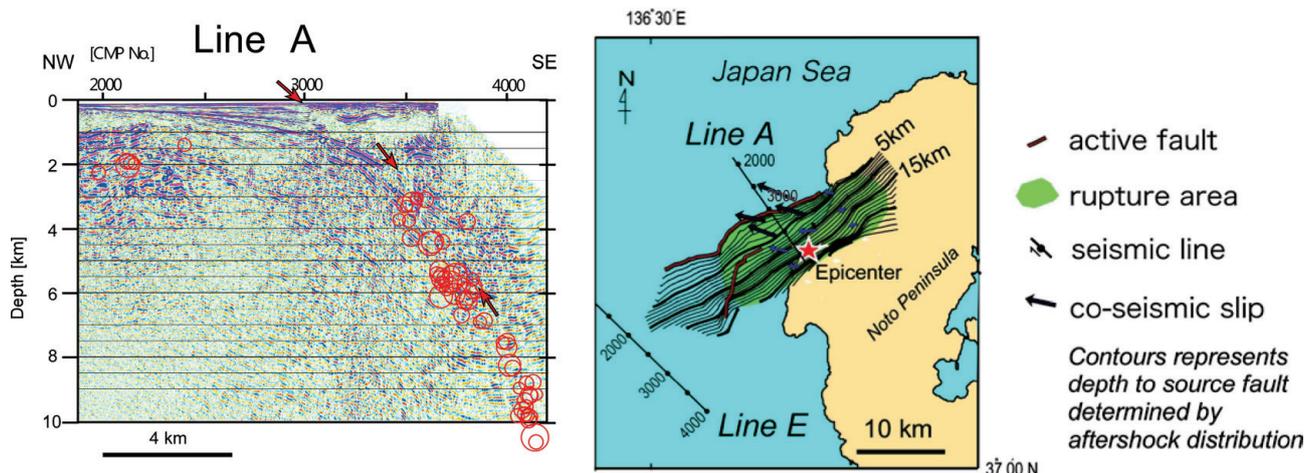
こうしたハーフグラバーベン型の正断層の再活動とは異なるタイプの変形が、日本海拡大期に日本海沿岸に形成された中絶リフト内で見られる。この領域は、新潟から北部フォッサマグナ、山形県北西部から秋田堆積盆地などが相当し、盆地底に背弧玄武岩が大規模に噴出している。それを覆って厚い堆積層が重なり、褶曲断層帯が形成されている。この中絶リフトの内では、下部地殻が顕著な高速度化が見られ⁸⁾、地殻のネッキング、マントル物質の下部地殻内への併入を示している。リフト縁の断層は、周辺のハーフグラバーベン型ではなく、リフト外側に傾斜する構造上の特徴を示している。このリフト縁の断層は、速度構造とボーリングなどから推定される玄武岩噴出岩とリフト前の花崗岩質な地殻構成岩との境界部に形成されている。この岩質境界は逆断層として再活動し、新潟平野東縁や長野盆地西縁では大規模な楔状断層が形成されている^{9,10)}。

文献

- 1) 佐藤比呂志・岩崎貴哉・金沢敏彦・宮崎真一・加藤直子・酒井慎一・山田知朗・宮内崇裕・伊藤谷生・平田直, 反射法地震探査・余震観測・地殻変動から見た2007年能登半島地震の特徴について, 東京大学地震研究所彙報, **82**, 369-379, 2007.
- 2) Kanamori, H., 1971, Faulting of the Great Kanto Earthquake of 1923 as Revealed by Seismological Data: Bulletin of the Earthquake Research Institute, v. 49, p. 13-18.
- 3) Sato, H., N. Kato, S. Abe, A. van Horn, T. Takeda, Reactivation of an old plate interface as a strike-slip fault in a slip-partitioned system: Median Tectonic Line, SW Japan, Tectonophysics, 644-645, 58-67, 2015.
- 4) 佐藤比呂志・石山達也・蔵下英司・岩崎貴哉, 相馬-米沢測線地殻構造探査 平成24年度成果報告書, 東北太平洋沖で発生する地震・津波の調査観測, 51-81, 2013.
- 5) Sato, H., N. Hirata, K. Koketsu, D. Okaya, T. Iwasaki, T. Ito, K. Kasahara, T. Ikawa, S. Abe, T. Kawanaka, M. Matsubara, R. Kobayashi, S. Harder, Earthquake source fault beneath the Tokyo, *Science*, **309** (5737), 462-464, 2005.
- 6) 佐藤比呂志・岩崎貴哉・石山達也, プレート境界から分岐した活断層の長期評価: 相模トラフ横断地殻構造探査, 科学, **80**, 8, 825-831, 2010.
- 7) 宍倉正展・鎌滝孝信・高田圭太・鈴木敬一・岡村行信, 房総半島西部における離水浜堤列の調査-大正型関東震の発生年代の推定-, 活断層古地震研究報告, 5, 51-68, 2005.
- 8) Matsubara, M. and Obara, K., 2011, The 2011 off Pacific coast of Tohoku earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate, EPS, 63, 663-667.
- 9) 佐藤比呂志. (2014) 日本列島の生い立ちと長期地殻応力・歪の起源. 予知連会報, **92**, 431-433.

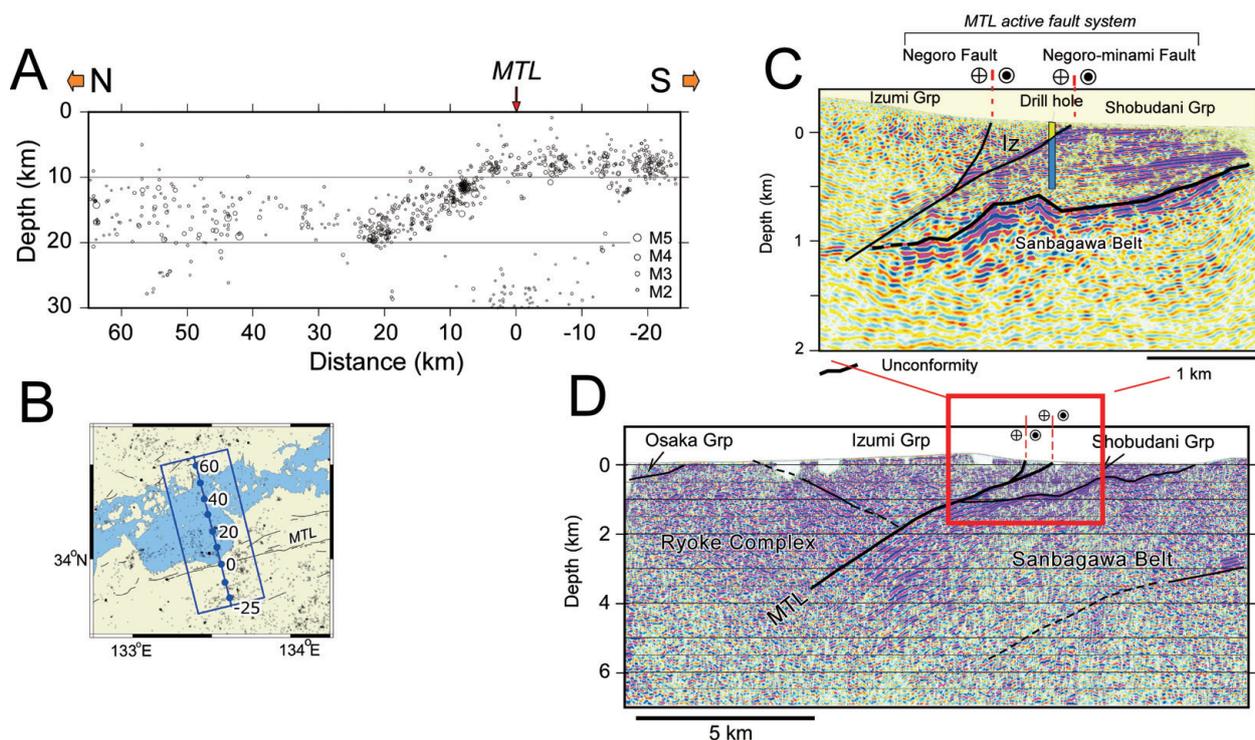
10) 佐藤 比呂志. (2013) 最新の陸域構造調査. *予知連会報*, **90**, 516-520.

11) Schlische, R. W. and Withjack, M. O., Origin of fault domains and fault-domain boundaries (transfer zones and accommodation zones) in extensional provinces: Result of random nucleation and self-organized fault growth, *J. Struct. Geol.*, 31, 910–925, 2009.



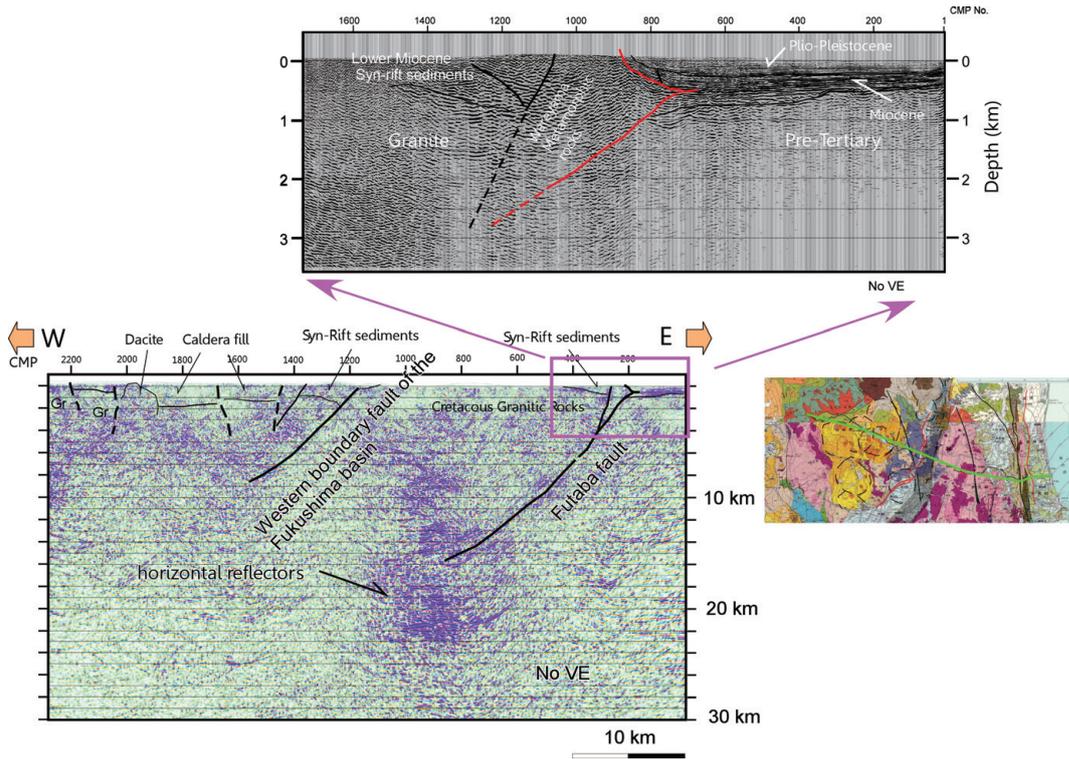
第1図 2007年能登半島地震の反射法地震探査断面（左）と余震活動から求めた震源断層の形状と測地データに基づく断層面上のすべり. 赤丸は震源分布. 佐藤ほか (2007)¹⁾による.

Fig1 Depth converted seismic reflection profile across the source fault of 2007 Noto-Hanto earthquake (Left) and geometry of source fault deduced from aftershock distribution and co-seismic slip based on geodetic information after Sato et al. (2007)¹⁾.

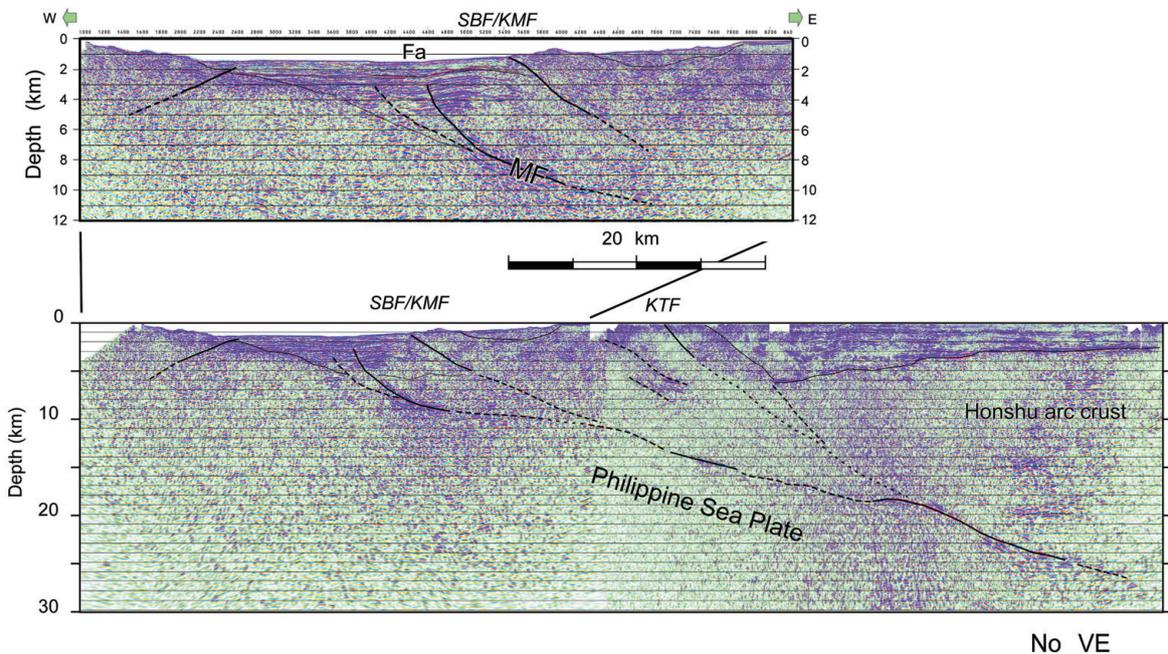


第2図 中央構造線の反射法地震探査断面と地震活動³⁾. A: 四国中部の震源分布, 領域はBに示す. 観測期間は2002/1/1-2012/6/30. C, D: 紀伊半島の中央構造線の反射法地震探査断面, Cは高分解能浅層反射.

Fig2 Hypocenter distributions for seismic events around the MTL in Shikoku (A, B) and seismic images in the Kii peninsula (C, D). The earthquake data is Hi-net 2002/1/1-2012/6/30.

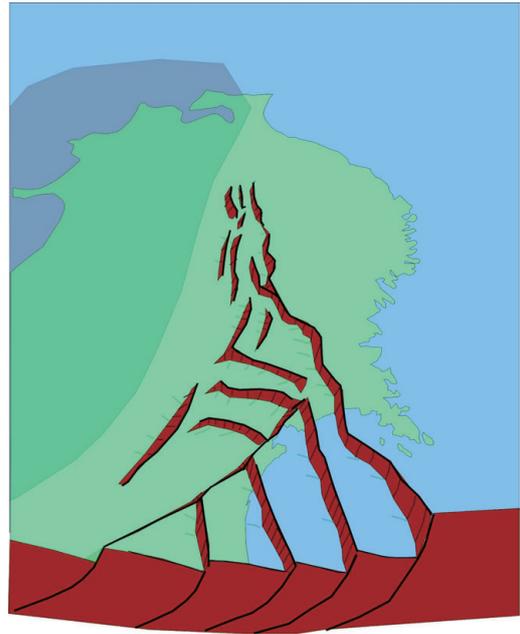
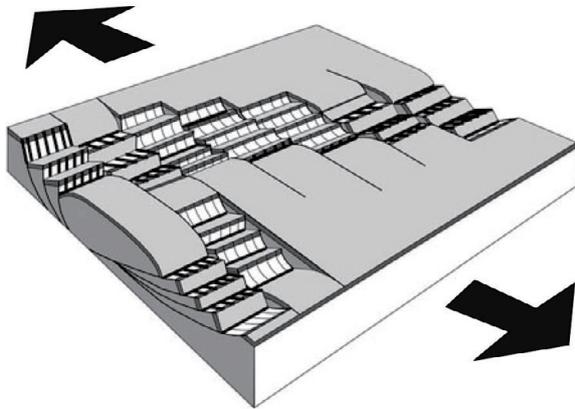


第3図 双葉断層を横切る反射法地震探査断面. 双葉断層は左横ずれと逆断層成分を有する活断層.
 Fig3 Seismic reflection section across the Futaba fault, reverse and left-lateral active fault.



第4図 相模湾を横断断面（上）と相模湾-東京湾統合反射法地震探査断面（下）⁶. SBF: 相模湾断層, KMF: 国府津-松田断層, Fa: 国府津-松田断層の南方延長, MF: プレート境界の主断層, KTF: 北武断層.

Fig4 Depth converted seismic section across Sagami bay (upper) and Sagami Bay to Tokyo Bay (lower). SBF: Sagami Bay fault, KMF: Kozu-Matsuda fault, Fa: southern extension of KMF, MT: megathrust, KTF: Kitatake fault.



第 5 図 リフトシステムの概念図¹¹⁾と東北日本太平洋側のリフト構造.

Fig5 Block diagrams of a normal fault system¹¹⁾ and Miocene rift system along the Pacific coast of northern Honshu, Japan.