

## 12-9 最新の陸域構造調査結果

### Recent deep seismic profiling in the Niigata fold-and-thrust belt, central Japan

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

東北日本の日本海側には褶曲-逆断層帯が形成され、2004年中越地震、2007年中越沖地震は、活褶曲帯で発生する内陸地震の問題を浮き彫りにした。新潟地域のような厚い堆積物に覆われ、衝上断層や褶曲が形成されている地域では、地下の震源断層と褶曲構造との関係は複雑で、震源断層の位置と形状が明らかになっていない。このため文部科学省の「ひずみ集中帯の重点的調査研究」の一環として、新潟地域において5測線を設定し(図1)、地殻構造探査を実施した<sup>1)</sup>。

#### 2. 地殻構造探査

地震発生層の下限付近までの深さの地殻構造を明らかにするため、測線の長さは70 km程度を基準とし、海陸統合探査として調査を実施した。海域では、震源として3000 cu. inchのエアガンを使用し、海陸の接合部には海底着底ケーブルを敷設して、連続的な海陸断面を得た。陸域では大型バイプロサイズなどを震源とし、固定展開による長大オフセットでのデータを取得した。解析は通常の共通反射点重合法による反射法地震探査の他、とくに屈折トモグラフィによる速度構造の解析を行った。得られた速度構造は、断層の傾斜などを含めた地殻構造の解析に極めて有効で、いままで明らかにされてこなかったグリーンタフと呼ばれる火山噴出岩や、基盤の形状などが明らかになった。新潟地域では石油・天然ガス資源の調査のために多数のボーリングが行われており、得られた反射断面は地下地質のデータも含めて、総合的に解釈した(図2)。

#### 3. 日本海拡大期の中絶リフトとしての新潟-北部フォッサマグナ堆積盆地

2009年には日本海洋開発機構などと共同で、会津から佐渡島を経て、大和海盆にいたる測線で大規模な地殻構造探査を実施した。顕著な特徴は大和海盆や富山トラフでは、佐渡島や白山瀬に存在する大陸地殻の上部に相当する速度構造の領域が欠如していることである。反射法地震探査の結果、佐渡海峡で地殻の厚さが薄化していることが明らかになっている。防災科学技術研究所の稠密自然地震観測

によるトモグラフィでは中部地殻での高速化が明らかになっており<sup>2)</sup>、苦鉄質岩の大規模な併入が推定される。自然地震の震源分布もこうした領域では、より深い場所で発生している(図2)。また、広域的なHi-netによるトモグラフィの結果<sup>3)</sup>では、堆積盆地の方向に配列する下部地殻の高速領域が分布しており、日本海拡大時のリフト軸の存在を示している。これらの地殻構造の特徴は、新潟平野下の中期中新世の大規模な玄武岩の分布や、その周辺での大量の珪長質火山噴出物の分布とよく対応する。同様の地殻構造は、北部フォッサマグナにおいても認められ、厚い新第三系の堆積物分布域下で下部地殻および上部マントルの高速度化と中部地殻までの及ぶ震源分布を示す。以上のことから、新潟から北部フォッサマグナにいたる堆積盆地は日本海拡大時に形成された中絶リフトであると判断される。

#### 4. 断層関連褶曲と伏在活断層

中越から上越地域では、日本海拡大後に堆積した厚い堆積物が断層関連褶曲を形成している。とくに三条-弥彦測線や東山-三島測線、六日町-直江津測線では基盤岩中の断層から断層関連褶曲に至

る構造が連続的に捉えられた。とくに 1300 万年前から 800 万年前に堆積した寺泊層と呼ばれる泥岩中では間隙水圧が大きく<sup>4)</sup>、デタッチメントが形成されやすいことが知られている。東山-三島測線西部の西山丘陵では、寺泊層中のデタッチメントを隔てて、上位と下位の構造が大きく異なることが、明らかになっている(図 3)。三条市の下田丘陵下の伏在活断層の反射法地震探査断面も、寺泊層中にデタッチメントが形成されており、石油地質学的な知見と調和する(図 4)。こうした断層関連褶曲では、変位の大部分が伏在するデタッチメントなどの伏在する断層群によって消費されるため、地表近傍の断層のすべり速度の計測のみでは、主断層の変位を過少評価することになる。長波長の変動地形学的資料を用いた滑り速度の推定が重要である。

#### 5. 大規模ウェッジスラストの形成

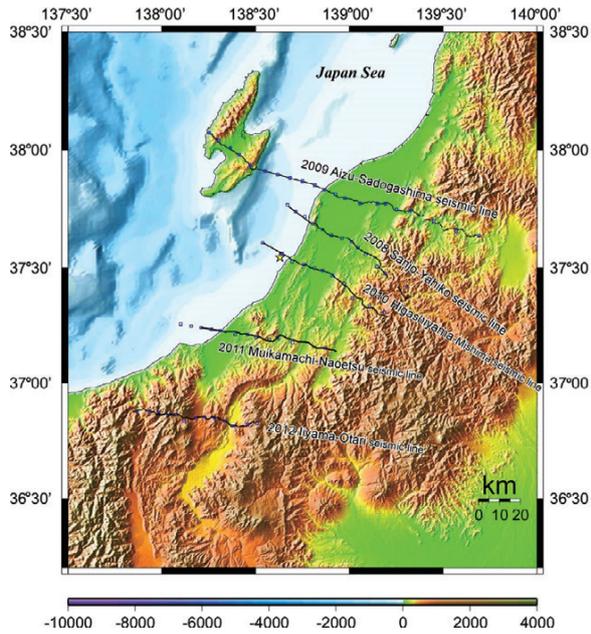
阿武隈川沿いの会津-佐渡測線や、北部フォッサマグナ横断測線において、大規模なウェッジスラストが形成されている可能性が高いことが明らかになった(図 2, 5)。越後平野東縁では地表近傍の活断層は、平野側に傾斜した逆断層ではあるが、稠密な反射法地震探査と屈折トモグラフィによる速度構造では全体としては山側に傾斜した断層である。北部フォッサマグナの東縁には北西傾斜の長野平野西縁断層帯が位置するが、1847 年の善光寺地震の被害分布と地殻構造探査から推定される断層の深部形状から、震源断層本体は南東傾斜の逆断層であり、大規模なウェッジスラストを形成していると推定される。これらに共通する特性は、地震波トモグラフィから見て、日本海拡大期のリフト軸が厚い堆積物の分布領域下に位置していた可能性が高い。リフト形成に伴う苦鉄質岩石の進入区域とその外側の大陸地殻との境界部は、底付けによりリフト軸の外側に傾斜した面が形成される(図 6)。その面が弱面となって短縮変形の際に逆断層として再活動し、大規模なウェッジスラストが形成されたものと推定される(図 6)。

#### 6. 震源断層のセグメンテーション

新潟-北部フォッサマグナ堆積盆地は、日本海形成時の背弧リフトであるが、当時のリフト軸の空間的な広がり是不安定で、リフト軸と直交する水平伸張量は補償されるものの、リフト軸方向には横断断層によって限られて、拡大軸の位置が変化している。本地域の逆断層はリフト形成時の正断層の逆断層としての再活動が基本的な様式であり、こうしたリフト形成時の横断断層が現在の震源断層を推定する上で極めて重要である。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。

#### 文献

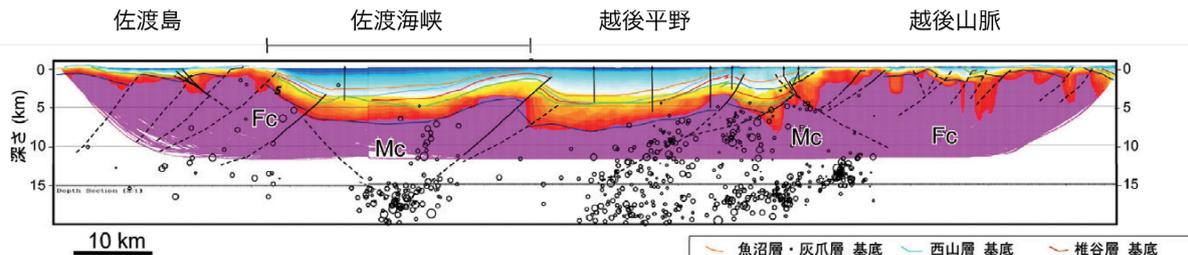
- 1) 佐藤比呂志, 2013, 反射法屈折法による地殻構造調査, ひずみ集中帯の重点的調査研究 総括報告書, (印刷中).
- 2) 関口渉次・武田哲也・浅野陽一・エネスクボクダン・汐見勝彦・松原誠・木村尚紀・松本拓己・斎藤竜彦・川端博文・幸田知子, 2013, 陸域における自然地震観測, ひずみ集中帯の重点的調査研究平成 24 年度成果報告書, 13-49.
- 3) Matsubara, M. and Obara, K., 2011, The 2011 off Pacific coast of Tohoku earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate, EPS, 63, 663-667.
- 4) 今村哲己, 2000, スラスト構造の解釈と評価-特に岩石物性と応力分布, 運動像からの予測(新潟堆積盆地での解析例を基礎として). 石油技術協会誌, 65, 28-39.
- 5) 小林巖雄・立石雅昭・小松原琢, 2002, 三条地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅). 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 98p.



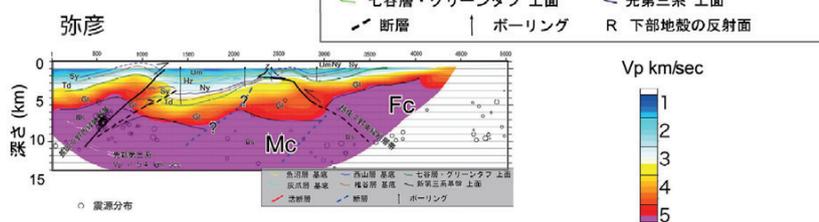
第1図 ひずみ集中帯地殻構造  
探査 (2008-2012年) の  
測線位置図.

Figure 1. Location of seismic  
line of deep seismic  
profiling in 2008 to  
2012.

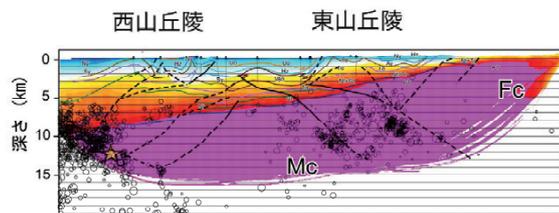
2009 Aizu-Sado



2008 Sanjo-Yahiko

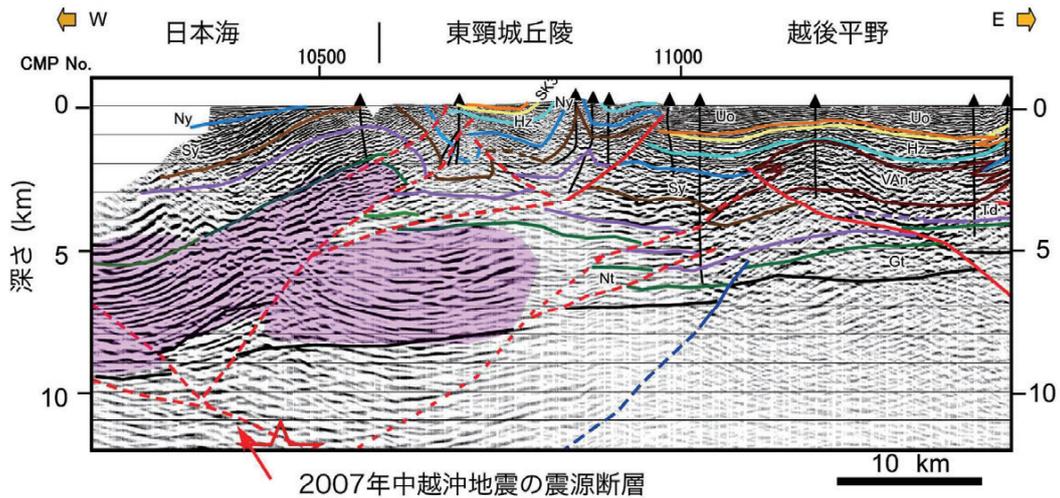


2010 Higashiyama-Mizhima

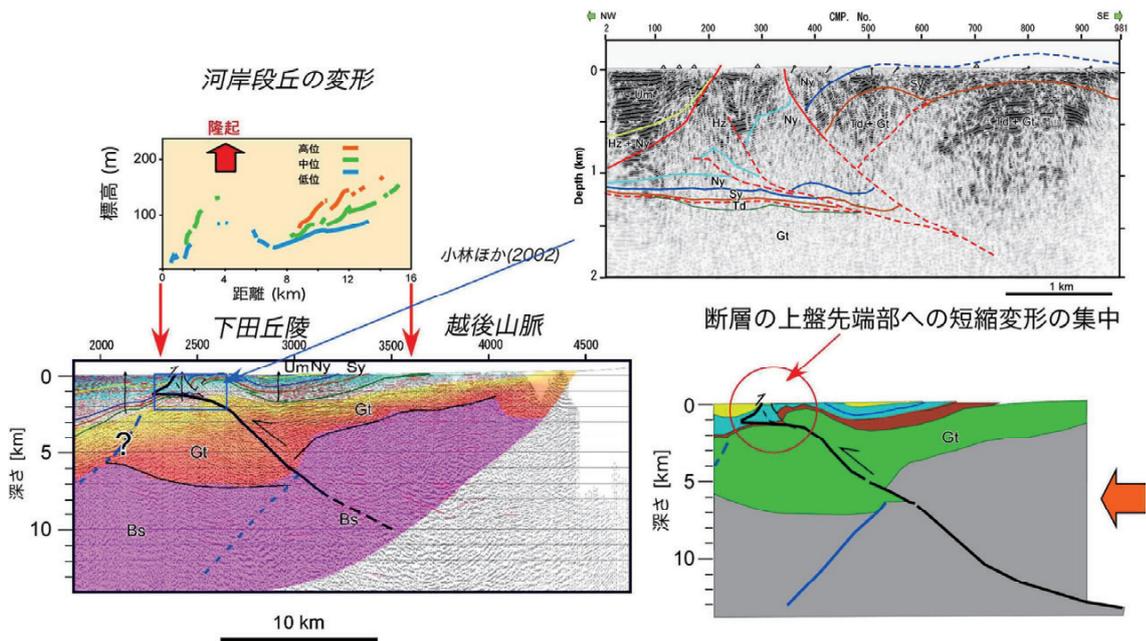


第2図 2009 会津-佐渡測線・2008 三条-弥彦測線・2010 東山-三島測線の速度構造断面と震源分布。  
震源分布は防災科学技術研究所による (2001/01-2011/7)。Fc: 大陸性地殻, Mc: 苦鉄質岩が  
大規模に併入した地殻。

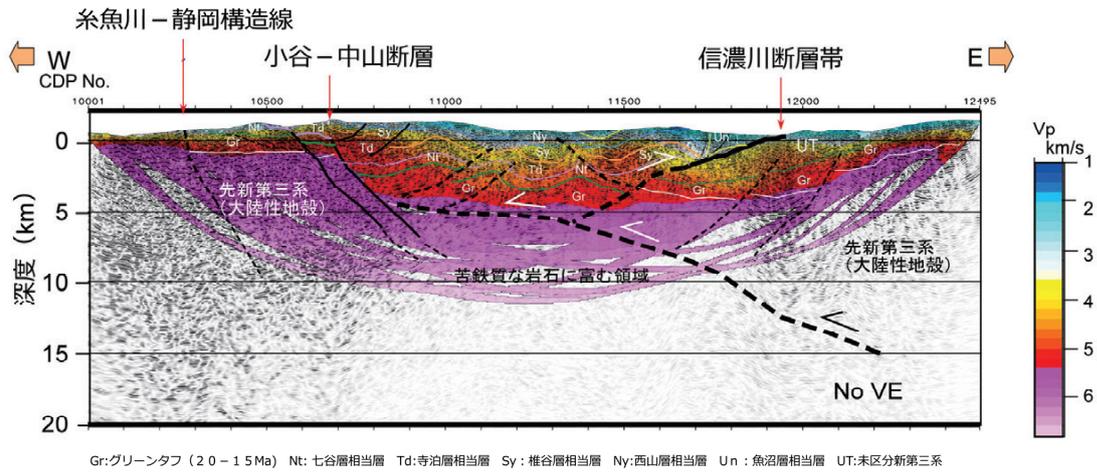
Figure 2. P-wave velocity profiles along 2008 to 2010 seismic lines and hypocentral distribution after NIED,  
observation period is 2001/01-2011/7. Fc: continental crust, Mc: crust with large amount of mafic  
intrusions.



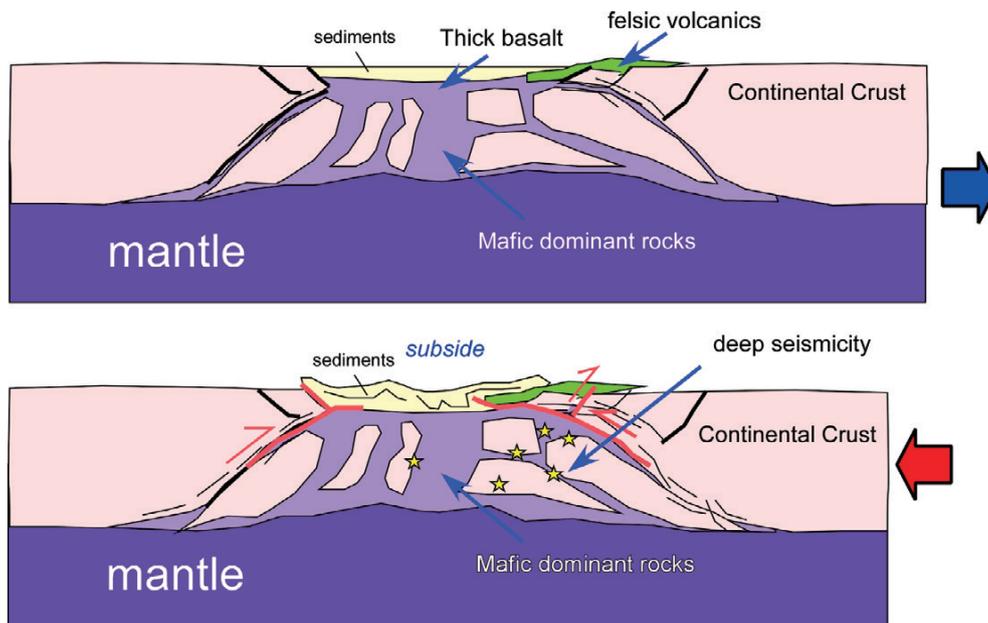
第3図 東山-三島測線西部の反射法断面。デタッチメントが発達し、浅部と深部の構造が異なる。  
 Figure 3. Seismic reflection section of the western half of the Higashiyama-Mishima seismic section.  
 Geologic structures of hanging wall of the detachment is very different from its footwall.



第4図 下田丘陵先端部のウェッジ・スラストの形成プロセス（変動地形は小林ほか（2002）<sup>5)</sup>による）。寺泊層中の間隙水圧の高い泥岩中にデタッチメントが形成される。変形の主体はデタッチメントで消費され、地表近傍の断層の変位はわずかである。  
 Figure 4. Development of wedge thrust at the Shitada hills along 2008 Sanjo-Yahiko seismic line. Detachment is developed within the Miocene over-pressured mudstone (Teradomari Fm). The main slip is accommodated along this detachment.



第 5 図 2012 飯山-小谷測線の P 波速度構造と反射断面への重ね合わせと地質学的解釈。  
 Figure 5. Geologic interpretation of 2012 Iiyama-Otari seismic section. Seismic section was overlaid with P-wave velocity profile.



第 6 図 新潟-北部フォッサにおける中絶リフトの形成と短縮変形の概念図。  
 Figure 6. Schematic diagram of the formation and shortening deformation of the aborted rift in the Niigata and northern Fossa magna.