

12 - 5 震源断層の長期評価に向けて

Towards a new model for assessing seismic risk in an overriding plate

佐藤 比呂志・石山 達也・橋間 昭徳 (東京大学地震研究所)

Hiroshi Sato, Tatsuya Ishiyama and Akinori Hashima

(Earthquake Research Institute, The university of Tokyo)

1. はじめに

上盤プレート内の被害地震の長期評価は、現在、活断層の活動履歴を中心に行われているが、活動履歴を明らかにできる断層の割合は高くない。20 世紀以降、日本列島の陸域周辺で発生した M6.5 の地殻内地震について、a) 活断層に対応した地震、b) 伏在した活断層－震源断層が明らかでないもの、c) 対応する震源断層が事前には予測できないものに区分した (図 1)。その結果、30 の地震の中でそれぞれの型の出現頻度は、37, 40, 23% である。長期評価の基礎になる活断層に対応した地震は約 4 割弱であり、履歴を求めることが困難な伏在断層や、震源断層を地質構造などと結びつけられない地震が過半数を超える。このことは、活断層の活動履歴に特化した長期評価では、被害を発生させる上盤プレート内の震源断層を十分に評価できないことを示している。ここでは、伏在活断層検出の重要性と、上盤プレートの物理モデルによる長期評価の可能性について述べる。

2. 伏在活断層の検出

被害地震の事前予測性を向上させるためには、伏在断層を検出していくことは重要である。1948 年に甚大な被害を引き起こした福井地震 (M7.1) については、伏在している断層を地質構造として捉えることは出来なかった。最近の多チャンネルの長大展開による高分解能反射法地震探査によって、伏在断層の存在が明らかになった¹⁾。他方、新潟平野のように第四紀後期も広域的な沈降運動が継続している場合があり、変動地形が埋積されることにより変動地形学的手法のみでは活構造の認定が困難になる場合がある²⁾ (図 2)。福井地震や兵庫県南部地震の例を挙げるまでもなく、平野下に伏在する活断層は都市部に甚大な被害を与える。1995 年の兵庫県南部地震を契機として多数の活断層調査が実施されているが、既存の活断層について実施されているもので、平野部の伏在断層調査自体、不十分なまま放置されている。伏在活断層を明らかにするためには、反射法地震探査が有効である。近年、独立型受振器を利用した多チャンネル展開、低周波発震などにより、深部から浅部までの断層の明瞭なイメージが得られるようになってきた。図 3 に示すのは 2019 年に日本海地震・津波調査プロジェクトで取得した庄内平野横断区間の反射法地震探査断面である。庄内平野では、1894 年に M7.0 の庄内地震が発生し、平野部に甚大な被害を与えた。反射法地震探査断面では、平野下の余目背斜の西翼部に伏在断層の存在が明らかになり、120 万年前以降の地層にも顕著な成長層を形成しており活断層と判断される。庄内地震の震源断層としては、庄内平野東縁断層帯が相当すると考えられているが、平野部直下の伏在断層が庄内地震の震源断層となった可能性が高い。

地質構造などに関連づけられない地震の例として、2000 年鳥取県西部地震 (M7.3) があげられる。Vp/Vs 比の地震波トモグラフィ³⁾による深さ 10 km での平面図では、震源断層は速度構造の変化領域に位置していることが指摘されており⁴⁾、地震波速度構造の重要性を示している。中国地方では変動地形的に活断層と認定できない地域で、微小地震の面状配列が顕著であり⁵⁾、自

然地震を利用した震源断層マッピングの可能性を示唆している。

2018 年の胆振東部地震は、基本的には cold nose と呼ばれるスラブの沈み込みにより温度が低下した上部マントルで発生した地震で⁶⁾、この地震はコールドノーズ地震の防災上の重要性を示唆したものと見なすことができる。尚、このタイプの地震については、事前に断層モデルを構築することは極めて困難であるが、地震発生ポテンシャルの評価としては今後対象にしていく必要がある。

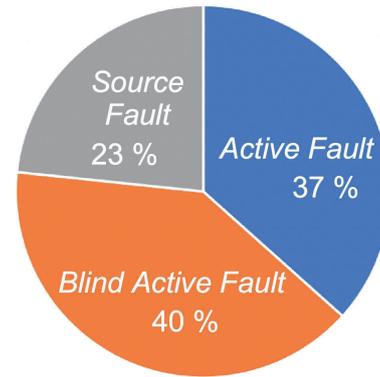
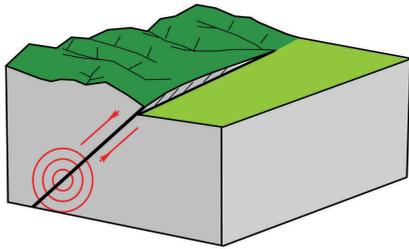
3. 上盤プレートの物理モデルによる地震発生ポテンシャルの評価

2011 年東北地方太平洋沖地震は、プレート境界面での固着状況が上盤プレートの地殻変動や応力状態に大きな影響を及ぼすことを明瞭に示唆した。稠密な地殻変動を再現できる上盤プレートの物理モデルを構築することにより、上盤プレート内の応力状態を計算することが可能になる。こうしたモデルの中で、震源断層が明らかにされていれば震源断層面でのクーロン応力の蓄積速度を求めることができる。2016 年熊本地震や 2005 年福岡西方沖地震のように、三次元有限要素法によるクーロン応力の計算が地震発生ポテンシャルの評価に有効であることが、明らかになってきた⁷⁾。現状では上盤プレートの構造、とくにリソスフェア・アセノスフェア境界 (LAB) に単純な形状を与えているが、今後、より現実的な形状・物性を取り込んだものにしていく必要がある。このためには、観測による LAB や震源断層のマッピングの他、断層の動き易さのパラメータである活断層の平均変位速度情報の収集が重要である。

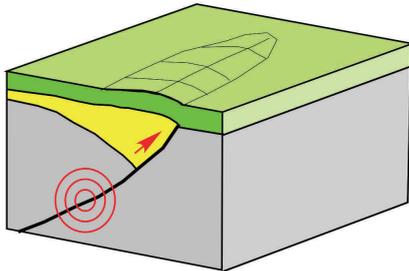
参考文献

- 1) Ishiyama, T., Kato, N., Sato, H., & Koshiya, S. (2017). Transfer fault earthquake in compressionally reactivated back-arc failed rift: 1948 Fukui earthquake (M7. 1), Japan. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 19, p. 11094).
- 2) 石山達也・加藤直子・佐藤比呂志・鈴木毅彦・戸田 茂・今泉俊文 (2010) 角田 - 弥彦断層の変動地形と浅部地下構造, *月刊地球*, **370**, 411-416.
- 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, *Earth, Planets and Space*, **63**, 663-667.
- 4) 石川正弘・坪川裕美子・高橋宏和 (2017) 構成岩石モデルの構築, 平成 28 年度「日本海地震・津波調査プロジェクト」成果報告書, 235-248.
- 5) Yano, T. E., T. Takeda, M. Matsubara, K. Shiomi (2017) Japan unified high-resolution relocated catalog for earthquakes (JUICE): Crustal seismicity beneath the Japanese Islands, *Tectonophysics*, 702, 19-28.
- 6) Iwasaki, T., N. Tsumura, T. Ito, K. Arita, M. Matsubara, H. Sato, E. Kurashimo, N. Hirata, S. Abe, K. Noda, A. Fujiwara, S. Kikuchi, K. Suzuki (2019) Structural heterogeneity in and around the fold-and-thrust belt of the Hidaka Collision Zone, Hokkaido, Japan and its relationship to the aftershock activity of the 2018 Hokkaido Eastern Iwate Earthquake, *Earth, Planets and Space*, **71**, 103. <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1081-z>.
- 7) 橋間昭徳・佐藤比呂志・石山達也・Andrew M. Freed・Thorsten W. Becker (2019) 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, *地震予知連絡会会報*, **102**, 431-433.
- 8) 土谷信之・大沢穠・池辺穰 (1984) 鶴岡地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 77 p.

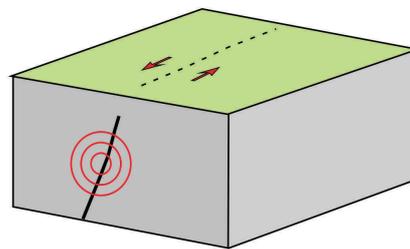
A. Active Fault



B. Blind Active Fault

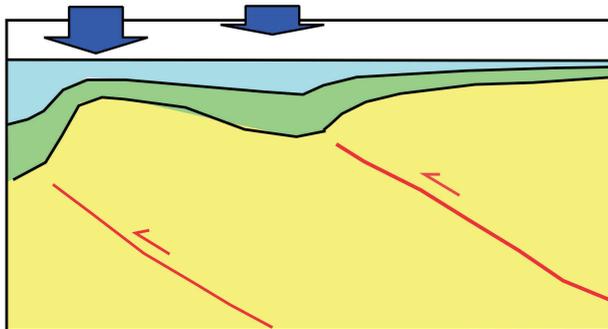


C. Source Fault



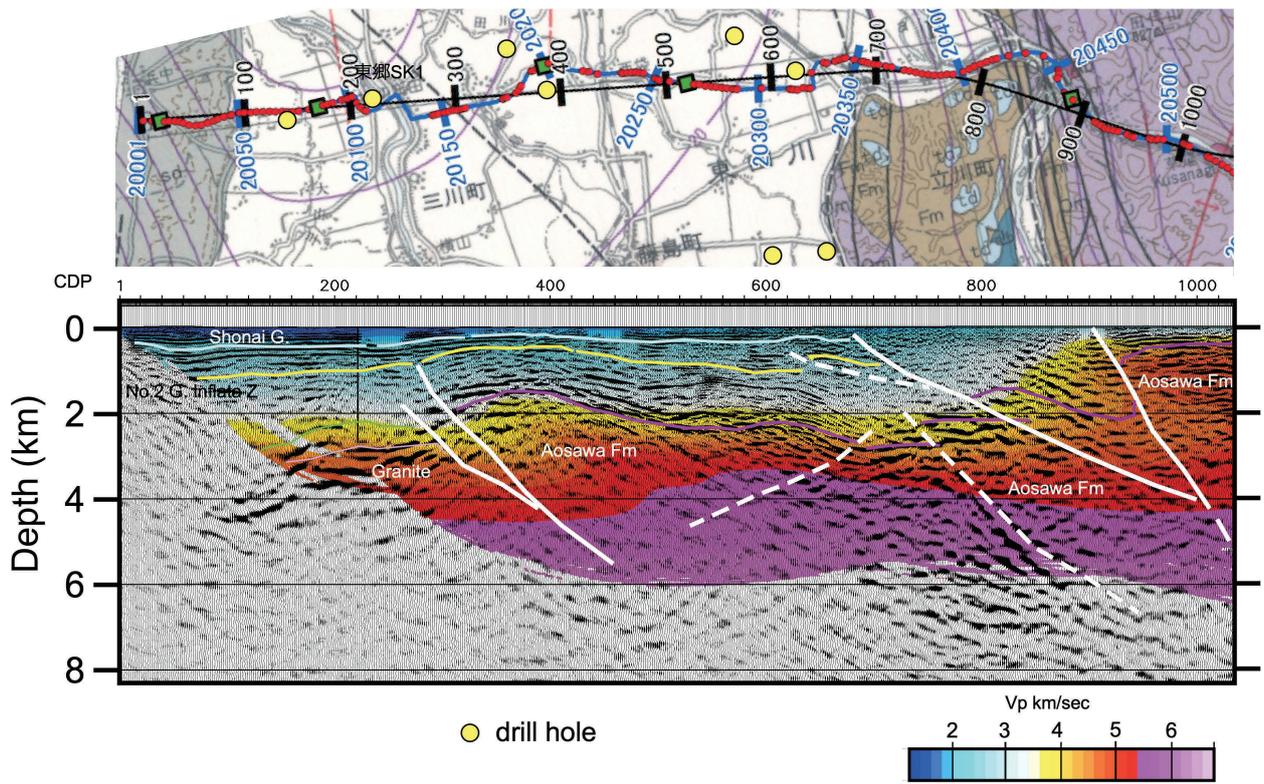
第 1 図 震源断層システムの区分 (A - C) と 20 世紀以降の日本列島周辺の M6.5 以上の上盤プレート内を発生させた震源断層の区分. A : 活断層型 (地表地震断層を伴う), B : 伏在活断層, C : 震源断層 (震源断層と地質構造の対応がつかないもの). 円グラフ中の数値は, 30 個の地震の中での割合

Fig. 1 Type of source fault systems (A -C) and the proportion of each types in the overriding plate earthquakes larger than Mj 6.5 in the Japanese islands since 1901.



第 2 図 沈降堆積盆地内での伏在活断層の概念図

Fig. 2 Schematic diagram showing the development of active blind fault in a subsided sedimentary basin.



第 3 図 庄内平野を横断する反射法地震探査断面と屈折トモグラフィ法による P 波速度構造. 地質構造解釈は暫定的. 上段の測線図の基図は, 土谷ほか (1984)⁸⁾ の 5 万分の 1 地質図による

Fig. 3 Seismic reflection and P-wave velocity profiles with temporal geologic interpretation across the Shonai basin, northern Honshu, Japan. Geological map showing the seismic line is after Tsuchiya et al. (1984)⁸⁾.