

12 - 7 活断層の長期評価における課題

Unsolved problems in evaluating long-term activities of active faults

石山 達也 (東京大学地震研究所)

Tatsuya Ishiyama (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震以降、活断層に関する調査研究が全国で展開され、位置・形状・活動性に関する多くのデータが蓄積されてきた。地震本部では、これらの基礎的データを活用し、主要活断層帯の長期評価および地域評価を行い、長期予測に取り組んできた。一方、過去 20 数年の調査観測研究やこれらを踏まえた長期評価の結果、浮かび上がってきた課題も多い。本稿では、このうち活断層の基礎的な調査観測データに関連した今後解決すべき課題について、以下にいくつか述べる。

2. 新しい観測技術に基づく活断層の位置・形状・活動性の解明

近年急速に整備された LiDAR など航空レーザー測量による高解像度地形標高データは、植生に被覆された山地域や人工物に覆われた平野域における活断層の抽出を容易にし、地理院活断層図等のプロジェクトで多くの活断層が新たに見出されつつある。国や地方自治体を中心に取得された航空レーザー測量データは、グリッドサイズ 1 m 未満の数値標高モデル (DEM) を作成するに十分な点群密度を有している場合が多い。このような航空レーザー測量への最新フィルタリング技術の適用によって作成される高分解能 DEM の地形解析は、これまで活断層の位置・変位様式などの認定に活用され始めたばかりであり¹⁾、特に山地域や沖積平野の活断層・変動地形の発見・認定に大きく貢献すると期待される。このような高分解能 DEM を、地理院活断層図等の活断層のマッピングを主とする調査観測研究に本格的に導入することが望まれる。また、ドローンや LiDAR スキャナーなどの簡便な精密測量技術 (例えば) の急速な進展と普及は、活断層による変位地形・地表地震断層のマッピングや変位量の超精密・多点測量・計測を容易にすることが期待され、観測への技術導入・応用が重要である。加えて、広帯域バイブレータ震源²⁾ や光ファイバーケーブルを用いた DAS-VSP による超高分解能探査等の最新の物理探査技術も、伏在活断層の位置・形状や長期間活動履歴・平均変位速度など活動性の解明に貢献することが期待される。

3. 多様な時空間スケールのすべりを考慮した活断層の長期予測

糸静線活断層系北部区間で発生した 2014 年長野県北部の地震は、活断層の長期評価に様々な課題を投げかけた。地震時変位量は、変動地形・古地震学的研究から予測されたより顕著に小さかった³⁾。また、従来逆断層主体と考えられてきた同区間にて、横ずれ主体の地表地震断層が出現した⁴⁾。さらに、地震を契機として変動地形を再検討した結果、新たに左横ずれ変位地形の存在が明らかになった⁵⁾⁶⁾。これらの現象は、糸静線活断層系のような複雑な地史を背景とした長大な活断層では、過去の M>7 級の地震活動が固有地震とはサイズ・すべり方向の異なる地震を含む可能性を示唆する。従って、多様な地震の規模・発生時期を変動地形・古地震学的アプローチから解読することが、大規模な活断層で発生する内陸地震の長期予測を向上させる上で求められる。また、地震発生様式の複雑性は個々のセグメントの構造の複雑さおよびセグメントごとの構造の違いを背景と

している可能性があり、より複雑になると予想される地表変位と震源断層との関係を解明することも重要である。一方、地形・地質学的観測からわかる断層変位地形や地質構造・平均変位速度は 10^5 - 10^6 年スケールの累積的な地表変位を表し、より頻繁に発生する地震の平均像を示すと考えられる。しかし、2016年熊本地震の際に広範に横ずれの地表地震断層⁷⁾が出現した布田川断層では、新たに横ずれ変位地形が明らかになった。⁸⁾⁹⁾。このように、長期評価を行う上で断層帯の活動性を示す重要なパラメーターである必要なスリップレートが未解明である主要断層帯は、横ずれ断層において未だ多い。従って、特に横ずれ断層において、上述した航空レーザー測量データや年代測定の新手法を導入した、平均変位速度の推定手法の確立と適用が必要である。このような多様な時空間スケールの古地震像のより詳細な解明・解読の取り組みが、地形・地質学的データを基礎とする長期予測の向上にとって重要である。

4. 伏在活断層の位置・形状・活動性の解明

20世紀以降に日本列島の内陸で発生したM6.8以上の地震のうち、震源が特定の活断層と関連づけられていないものは半数近くある。このうち、1948年福井地震(M7.1)¹⁰⁾や1891年濃尾地震(M8.0)時に破壊したとされる岐阜—一宮線¹¹⁾のように、堆積平野下に伏在する断層の活動は、都市部に甚大な被害をもたらしてきた。したがって、堆積平野下の伏在活断層の位置・形状・活動性を十分に把握することが、長期評価にとって重要であることは明らかである。しかし、現状では伏在活断層に関する情報は極めて不足している。一方、日本海PJなどのプロジェクト研究の一環で、北海道・東北日本から中部日本にかけて日本海沿岸に分布する第四紀堆積盆地にて反射法地震探査が行われた。その結果、多くの堆積平野内部において、厚い第四系が分布する平野の下に伏在する断層(あるいは断層関連褶曲)が多く見出された¹²⁾¹³⁾(第1図)。堆積盆地の縁辺部の多くには、活断層が存在し、盆地形成や山地・丘陵・平野の分化に寄与してきたと従来から考えられてきた¹⁴⁾。一方、平野内においては沖積面の変形などが捉えられてきたが¹⁵⁾、その構造的な実態はまだ不明な点が多い。これらの反射法の結果は、多くの第四系堆積平野下には、未知の伏在活断層が分布している可能性が高いことを示す。庄内平野や新潟平野の伏在活断層は平均変位速度も大きく、活動的であると考えられる。加えて、伏在活断層の存在が想定される堆積平野の多くには主要都市が位置していることから、日本海側に限らず主要堆積平野の伏在活断層の主要な特性(位置・長さ・形状・活動時期・平均変位速度)を解明することは内陸地震の長期評価の高度化にとって本質的に重要であり、残された課題である。これらの特性は、広帯域バイブレータ震源²⁾等の最新探査技術による物理探査と高精度ボーリング解析と、既存の反射法・重力・空中磁気などの地球物理学的データ解析を統合的に行うことによって、解明することが十分に可能な段階にある。

5. 海域活断層の位置・形状・活動性の解明

海域の活断層についても、「海域活断層の長期評価」として地震本部の長期評価が行われつつある。海底活断層については、分布や構造に関するデータが測線密度に制約されること、多くはシングルチャンネル反射法地震探査の結果によることから、マルチチャンネル反射法地震探査データの蓄積が必要である。これ以上に問題なのは、反射面と対比できる層序データが乏しいために、海底活断層の平均変位速度などの活動性はほとんど不明であることである。縦ずれ断層の場合、反射断面において、断層すべりに伴う断層関連褶曲の成長を示す地層が認められる場合、成長層の反射面と対比で

きる層序データがあれば活断層の長期的な変位速度を求めることができる。沿岸域には石油探鉱や国際深海科学掘削計画で掘削されたボーリングが複数存在することから、この様な利用可能な層序データを最大限に活用して層序と反射面の対比と構造解釈を行い、海底活断層の平均変位速度などの活動性を解明することが必要である。横ずれ断層の場合は、現状では横ずれ変位自体を直接的に推定することはほとんど行われておらず、詳細な海底地形の活用や3次元反射法探査による平均変位速度・活動時期の解明など新たな調査観測研究が必要である。

海陸境界部で発生する M7 級の大地震は、沿岸部に強震動・津波をもたらす危険性が高いが、沿岸域は漁業活動などにより物理探査の実施に困難が伴うため活断層の実態はほとんど分かっていない。実際に、1804 年象潟地震 (M7.0) などでは、海陸境界部から沿岸域で M7 級の大地震が発生し、一部では海岸の昇降を伴う地震性地殻変動が観察された。その実態を解明するためには、海陸を結ぶ反射法地震探査により活断層の分布を明らかにするとともに、前述した層序学的データや海成段丘などの長期的な地殻変動の証拠と結びつけて、活断層の活動性を明らかにすることが必要である。

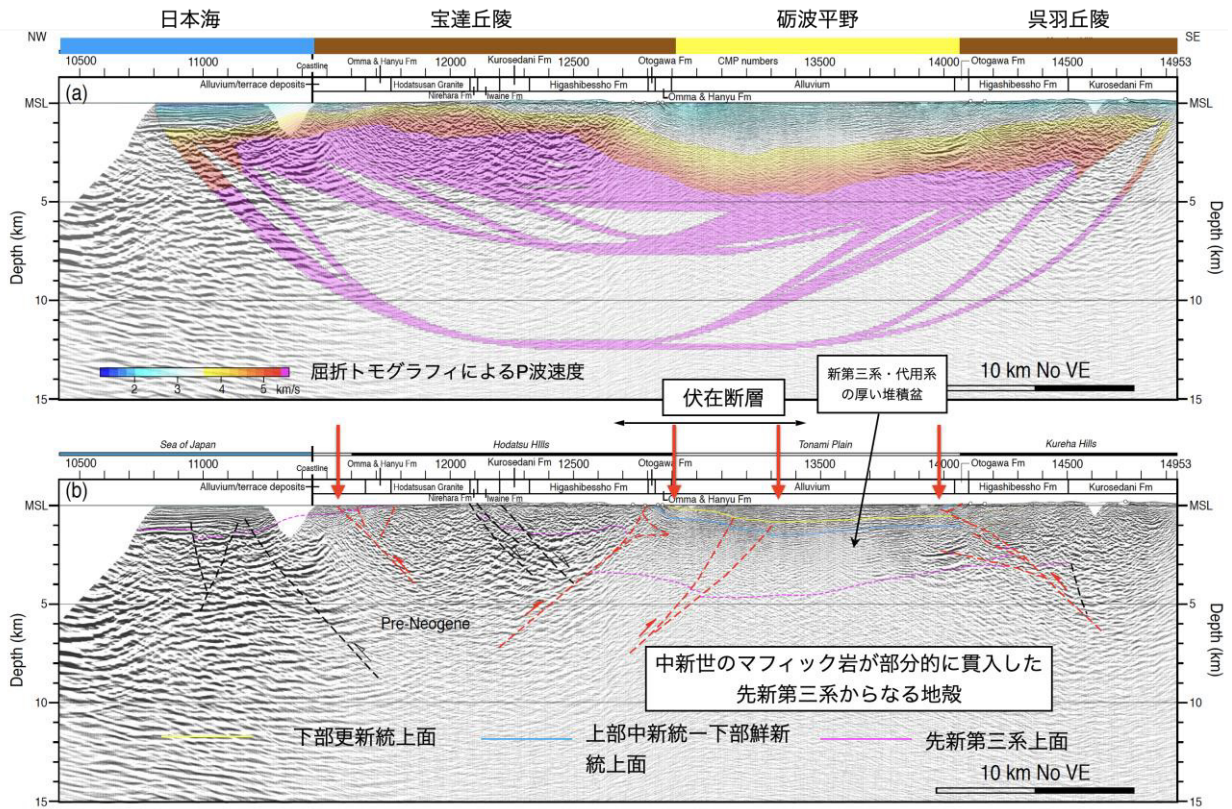
6. まとめ

活断層の長期評価における課題として、(1) 新しい観測技術に基づく活断層の位置・形状・活動性の解明、(2) 多様な時空間スケールのすべりを考慮した活断層の長期予測、(3) 伏在活断層の位置・形状・活動性の解明、(4) 海域活断層の位置・形状・活動性の解明、を挙げた。このような最新観測技術の導入・開発に立脚した、活断層の位置・形状・活動性に関する基礎的データの取得・蓄積は、内陸地震の長期評価の精度・確度向上を図る上で必要不可欠な取り組みである。加えて、長期評価に本質的な known unknowns を出来る限り少なくするべく、内陸地震の主要な発生源である断層帯の情報の整備と更新を進めることが、実際に地震防災対策に取り組む地方自治体の被害想定において本質的に重要である。同時に、震源断層モデルの構築¹⁶⁾や、プレート間相互作用の影響による応力蓄積を考慮した断層活動性の評価¹⁷⁾などの新しい取り組みが重要である。

参考文献

- 1) 鈴木ほか (2021) 令和 2 年度 成果報告書, 屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯 (恵那山-猿投山北断層帯) における重点的な調査観測, 文部科学省研究開発局・国立大学法人東海国立大学機構, 6-26.
- 2) 齋藤ほか (2021) 物理探査学会学術講演会講演論文集, **145**, 74-77.
- 3) 廣内ほか (2015) 活断層研究, **43**, 149-162.
- 4) 松多ほか (2016) 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SSS31-14.
- 5) 廣内ほか (2018) 地理院活断層図「大町 (改訂版)」D1-No.884, 国土地理院.
- 6) 松多ほか (2018) 地理院活断層図「白馬岳 (改訂版)」D1-No.884, 国土地理院.
- 7) Kumahara, Y. et al. (eds.) (2022) *Surface Ruptures Associated with the 2016 Kumamoto Earthquake Sequence in Southwest Japan*, Springer Nature Singapore.
- 8) 熊原ほか (2017) 地理院活断層図「熊本 (改訂版)」D1-No.868, 国土地理院.
- 9) 鈴木ほか (2017) 地理院活断層図「阿蘇」D1-No.868, 国土地理院.
- 10) Kanamori, H. (1973) *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **1**, 213-239.
- 11) Fukuyama, E., and Mikumo, T. (2006) *Bulletin of the Seismological Society of America*, **96**, 1257-1266.

- 12) Ishiyama, T. et al. (2017a) *Tectonophysics*, **710-711**, 21-36.
- 13) Ishiyama, T. et al. (2017b) *Tectonophysics*, **718**, 72-82.
- 14) 池田ほか編 (2002) *第四紀逆断層アトラス*, 東京大学出版会, 260 p.
- 15) 東郷 (2007) *法政大学多摩研究報告*, **22**, 1-8.
- 16) 佐藤ほか (2022) *予知連会報*, **108**, 635-639.
- 17) 橋間ほか (2022) *予知連会報*, **108**, 654-656.



第 1 図 日本海から砺波平野にかけての深部構造探査で明らかになった伏在活断層の構造¹²⁾。
 Fig. 1 Structures of active blind thrust in Tonami Plain imaged by deep seismic reflection profiling¹²⁾.