

地震後に書き加えられた能登半島 北岸沖の海底活断層

—反射断面による活断層認定の問題

後藤秀昭 ことう ひであき 広島大学

鈴木康弘 すずき やすひろ 名古屋大学

2024年能登半島地震を引き起こした海底活断層は事前に認定されていたものより明らかに長大であった。しかしながら、その海底活断層は、反射断面の読解によって地震前に認定されていたものと一致すると主張する論文がある。その当否を確かめるため、地震前に公表されていた資料を再検証した結果、一部の探査測線において地震後になって、新たに断層構造が書き加えられていることがわかった。海底活断層の正確な認定の重要性に注目が集まる中でこのような事後修正は適切ではなく、改めて従来手法の限界と新たな調査手法の導入を検討すべきである。

地震断層との比較により検証される活断層図

2024年1月1日に地震を引き起こした震源断層は能登半島の北部の地下に拡がり、その上端は北岸沖の海底面に達した。海底にずれが生じた場所を確認することにより、事前に作成されていた活断層図の正否が検証できる。今回の海底活断層については、地震対策上、十分想定されていなかったという反省にもとづいて、地震調査研究推進本部は日本海の海底活断層情報の公開を急いだ¹。しかし、今回の事前の予測に問題があった以上、従来の活断層認定の確からしさを検証しないままでは問題が繰り返される可能性がある。本稿では、

地震前に公表されていた活断層図を整理するとともに、2024年の変位が確認された場所について、事前予測の成否を検証する。そして予測と異なっている場合には何がその原因かを考察し、海底活断層調査の手法の改善を提案する。

2024年能登半島地震発生前の活断層図

2024年能登半島地震の震源域付近全体で、地震発生前に公開されていた詳しい海底活断層図は井上・岡村(2010)²のみであり、北岸沖の一部では後藤(2012)³が刊行されていた。井上・岡村(2010)は、高分解能の反射断面を取得、判読し、活断層図を作成した(図1A)。断層構造が連続しないことを根拠に、西から門前沖セグメント、猿山岬沖セグメント、輪島沖セグメント、珠洲沖セグメントに分け、4つの独立した活動区間を認定した。この段階では、輪島沖セグメントと珠洲沖セグメントの間(約10kmの区間)に、活断層が認定されていない地域があった。1729年の歴史地震は輪島沖セグメントで発生したとする研究⁴があるほか、この活断層図が地震後も研究者間で利用されている⁵。

一方、後藤(2012)³は、能登半島沖で陸上の活断層と同じ変動地形学的手法で海底地形から活断層を認定した。海岸線の一般走向に沿うように北東-南西方向に断層変位地形が連続して認められ、輪島沖セグメントと珠洲沖セグメントの不連続部でも、活断層を認定できるとした³。ここには、逆断層の断層運動により形成された特徴的な地形が海岸線にほぼ並行しており、海岸線や半島の地形形成に関与する活断層と解釈した。

東日本大震災の発生以降、主に津波を予測するため、日本海全体の活断層の検討が進み、そのなかで、能登半島北岸沖の活断層が小縮尺の地図で示された。2013年に開かれた国土交通省の「第2回日本海における大規模地震に関する調査検討会」の説明資料など^{6,7}では、輪島沖セグメントの断層線が数km東に「延伸」しているように見えるが、それでも珠洲沖セグメントと連続してはい

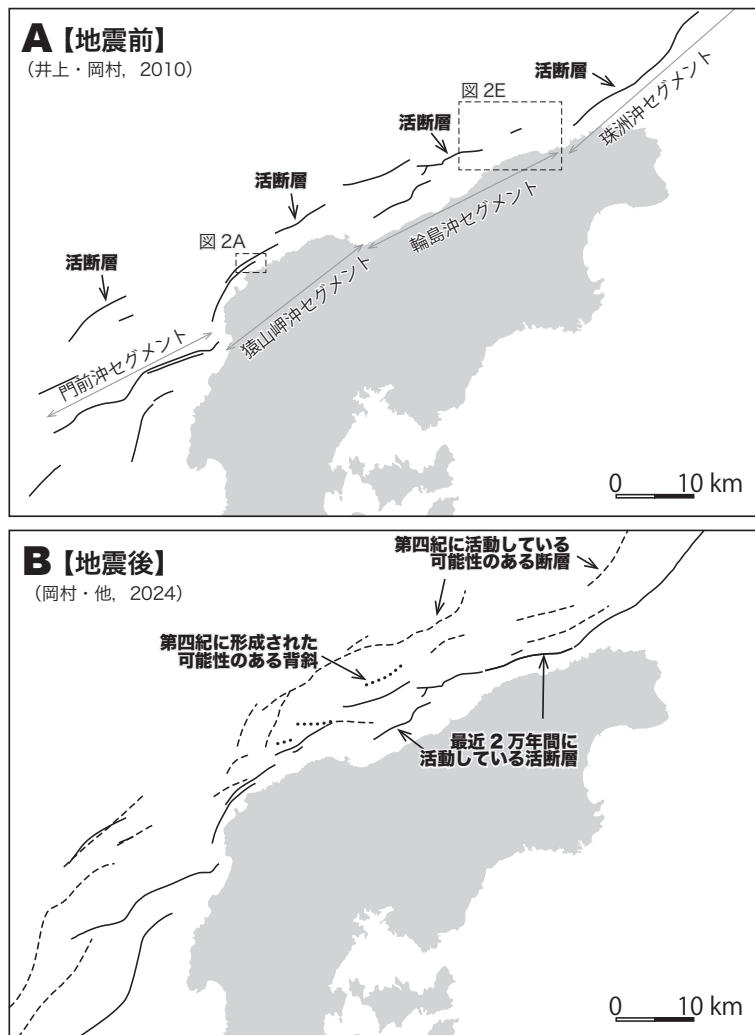


図1—地震前の活断層図(A)²と地震後の「構造図」(B)¹⁰

ない。また、「延伸」の具体的な理由は記されていない。

事前の活断層認定と2024年の地震断層の比較

2024年能登半島地震の後、海底に変位が生じたと考えられる地震断層を確認するための調査が複数の機関によって実施された。海上保安庁は、輪島市門前町樽見沖⁸と珠洲市仁江町沖⁹で海底の地変を公表しているため、これらの地図と既存の活断層図を重ねて活断層認定の成否が検証できる。

樽見沖では、事前に活断層が認定された場所の

近傍で変位が生じ⁸(図2A, B)、活断層が再活動したとも言える。しかし細かくみれば、2024年の隆起と沈降の境界は不規則な平面形態をなし、事前に認定した緩やかに湾曲する断層線とは必ずしも一致しない。これは探査測線の間隔が約4 kmであり、詳細な断層の位置特定が難しいことが影響している。

一方、珠洲市仁江町沖では、海岸線から1.5 km沖に長さ約12 kmの区間に変位を認め⁹(図2D)、その位置は、岡村・他(2024)¹⁰が「2万年間に活動した活断層」としたものと一致するとした(図2C)。しかし、地震前の公開資料である井上・岡村(2010)²においては、地下深くに断層や撓曲の存在

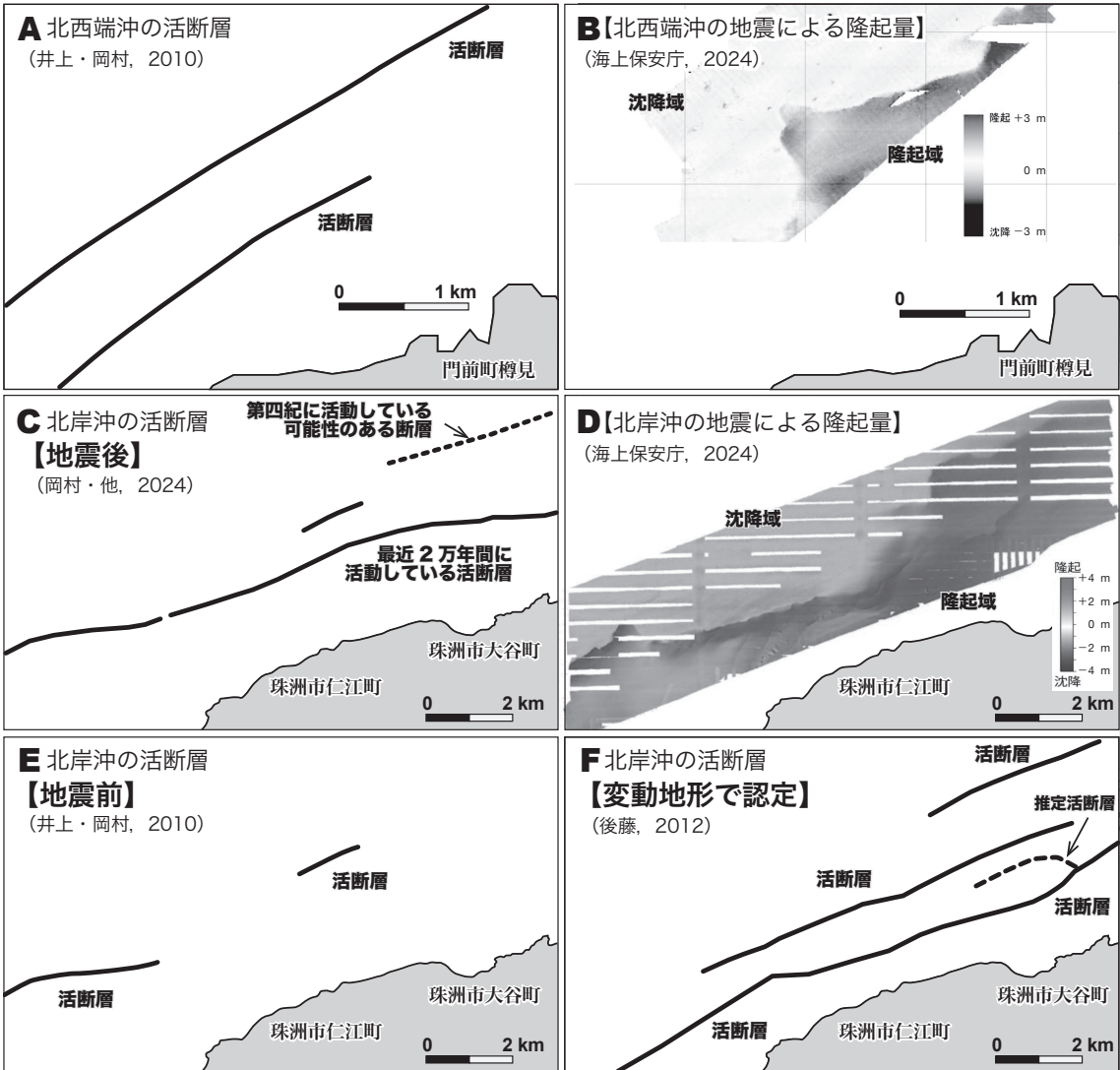


図2—地震前^{2,3}および地震後¹⁰の活断層図と2024年の変化量^{8,9}(輪島市門前町樽見沖(A, B)と珠洲市仁江町沖(C, D, E, F))

を認定していたものの、「活断層ではない」とされていた(図2E)。その理由は、鮮新世～更新世の地層に切断や撓曲を複数の反射断面で認めてはいるものの、約12.5万年前以降の後期更新世や約1万年前の完新世の堆積物には変位・変形が認められないと判断したためであった。しかし、地震後に岡村・他(2024)¹⁰は、新たな資料や解釈を示さないうまま、「2万年間に活動した活断層」と変更している(図2C, 図1B)。

こうしたことから、海上保安庁が確認した地震時変位⁹は、実際には反射断面から事前に認定され、公表されていた海底活断層(井上・岡村, 2010)²

とは一致していなかったということになる。なお、地震後の活断層図¹⁰では輪島沖セグメントと珠洲沖セグメントの断層線はほぼ連続して描かれており、セグメント境界の存在を否定している(図1B)が、地震本部の長期評価⁷では依然としてセグメントの境界とされている。

一方、海底地形から検討した活断層は概ね2024年の変位と一致しており(図2D, F)、海底の変動地形に沿って2024年の地震断層が生じた可能性が高い¹¹。図2DとFを比較すると、複数の並走する断層線の一部が大きく変位したと解釈できる。1995年兵庫県南部地震や2016年熊本地

震と同様に、2024年能登半島地震においても、海底の断層変位地形に沿って地震断層が出現したことになる。しかし詳細に見ると、事前に断層変位地形を確認できなかった一部の場所でも2024年の変位が生じている。これは、断層認定にとって十分な精度の地形データが不足しているためと考えられる。また、密度流やタービダイトなど、海底特有の地形形成要因が十分に解明されていないことも影響している可能性もある。今後、詳細な海底地形情報を取得し、海域の変動地形形成に関して検討を深める必要がある。

反射断面の読解による活断層認定の問題

さらに問題なのは、岡村・他(2024)¹²は井上・岡村(2010)²とは異なる反射断面の解釈を地震後に示していることである。岡村・他(2024)¹²では、活断層を反射断面にもとづいて認定するために「重要なのは最終氷期の浸食面に変位・変形があるかどうかである」とし、その例を5枚の図で説明したが、そのうち4枚は井上・岡村(2010)²とは異なる解釈である(図3)。岡村・他(2024)¹²の図2(a)と(e)には、最終氷期の不整合と完新世の堆積物が新たに追加された(図3A, D)。図2(d)では最終氷期の不整合(浸食面)の深度が5m以上(反射断面の縮模で4枚程度)変更された(図3C)。このように、変位の基準にすべき浸食面の認定が不確実なものであれば、解釈も容易に変わり得る。

さらに、岡村・他(2024)¹²は、「反射断面ではその下位層には変形がまったく認められない」として図2(c)を図示して、後藤の認定³を否定した。しかし、井上・岡村(2010)²では同じ反射断面(N24)において下位層の更新世の堆積物中に撓曲軸を認定している(図3B)。図2(c)に、なぜ撓曲軸が示されなかったのか、岡村・他(2024)¹²では説明されていない。

井上・岡村(2010)²を刊行した後に精査して解釈を変更することがあってもよいが、地震後に解釈を変更したのであれば地震前の評価が正しかったと主張することはできない。

認定基準にも疑問がある。活断層の一般的な定義は最近数十万年間に活動したものの¹³であり、岡村・他(2024)¹²が主張する「最終氷期の浸食面」を基準にしてしまうと、ほぼ1万年前以降に活動したもののしか活断層と認定しないことになる。これでは活断層の見落としが生じかねないし、ダブルスタンダードともなり得る。

活断層認定に不可欠な海底地形の判読

能登半島北岸沖の活断層の認定においては、海底地形情報の変動地形学的判読が重要であることが改めて確認された。岡村も、この点については「精度の高い海底地形図に変動地形が明瞭に現れている場合は、正確に断層トレースを認定することができる」としている⁷が、「その場合でも、変動地形と判断された崖や隆起帯が古い断層によって形成された可能性があるので、反射断面で活断層によって形成されたことを確認する必要がある」とし⁷、あくまでも反射断面こそが結論を決めるかのように読める。

しかし、反射断面の解釈には上述のような曖昧さがあるうえ、探査調査を行えば必ず断層が見えるとは限らない^{11, 14}。海底活断層図を作成する際、反射断面の判読を過度に重視した手法には問題がある。

反射断面の解釈が重視され、変動地形学的判読結果が軽視されてきたのは、能登半島周辺だけではない。北海道泊周辺海域¹⁵や佐渡海盆¹⁶でも、同様の問題が指摘されている。1792年の西津軽地震時に隆起した千畳敷や、男鹿半島の海成段丘の隆起を説明できる海底活断層も、これまでのところ確認されていない。

後藤は海底活断層についても陸上の活断層と同様の調査手法を適用すべきであるとした¹¹。海底でも陸上でも、詳細なデジタル地形データの取得が可能となり、これを3D画像で判読する研究手法の技術的な革新が進んだことをふまえ、海底でもまず詳細な地形調査を進めて変動地形学的な手法で面的な海底活断層認定を行ない、その上で断

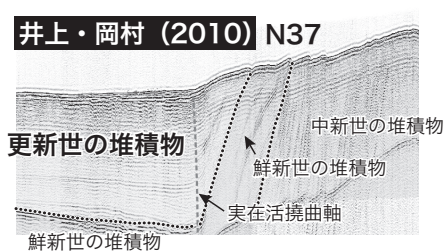
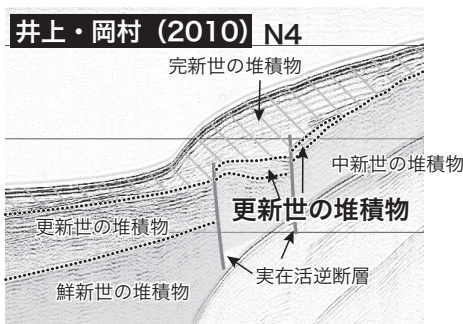
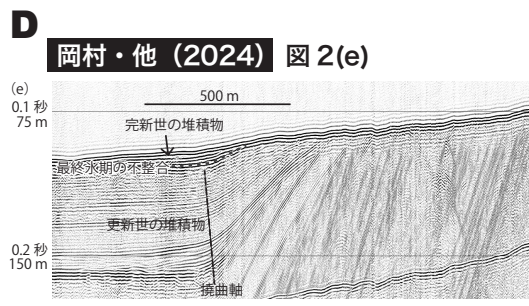
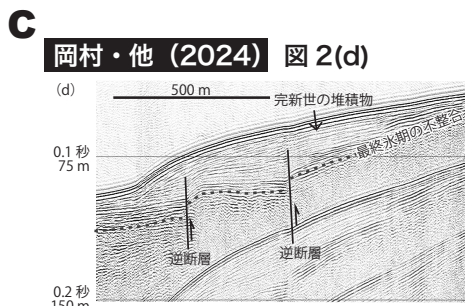
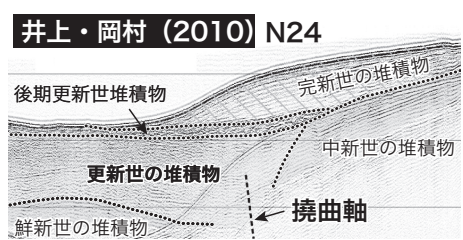
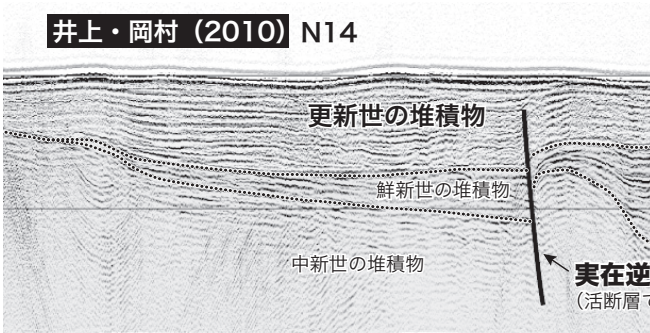
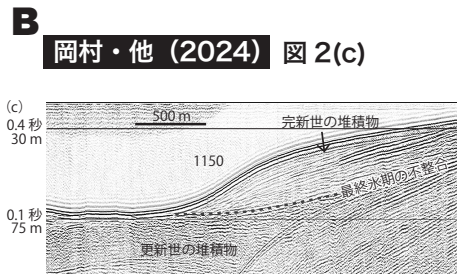
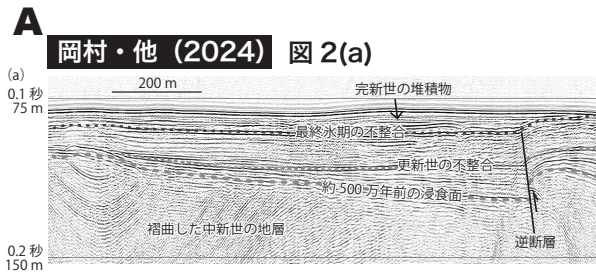


図3—岡村・他(2024)¹²⁾の図2と井上・岡村(2010)²⁾の解釈図の違い

層線を横切る反射断面と照合・検討することが合理的であると提言した。活断層認定の技術革新を取り入れ、より高精度な活断層図を作成することが、日本の研究者集団と防災行政にとって科学的・社会的責務と考える。

追記：本稿は本誌94巻7号(2024年7月号)に掲載された岡村・他(2024)¹²⁾に対する討論である。元論文の著者からの反論と同時に掲載されるべきものと考えているが、それが実現されなかったことは残念である。

文献

1—地震調査研究推進本部：「日本海側の海域活断層の長期評価

- 兵庫県北方沖～新潟県上越地方沖—(令和6年8月版)』(2024), https://www.jishin.go.jp/main/chousa/24aug_sea_of_japan/sea_of_japan_honbun.pdf
- 2—井上卓彦・岡村行信:『能登半島北部周辺20万分の1海域地質図及び説明書. 海陸シームレス地質情報集,「能登半島北部沿岸域」』数値地質図S-1, 地質調査総合センター(2010)
- 3—後藤秀昭: 広島大学大学院文学研究科論集特輯号, **72**(2012)
- 4—M. Hamada et al.: *Tectonophysics*, **670**, 38(2016)
- 5—穴倉正展: *科学*, **94**, 608(2024)
- 6—岡村行信: 第2回日本海における大規模地震に関する調査検討会 資料—2 岡村委員説明資料(2013), https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibojishinchousa/dai02kai/dai02kai_siryou2.pdf
- 7—岡村行信: *地震第2輯*, **71**, 185(2019)
- 8—海上保安庁:「能登半島沖の海底で約3メートルの隆起を確認」(2024), <https://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/r6/k240208/k240208.pdf>
- 9—海上保安庁:「珠洲市北方沖においても海底で約4メートルの隆起を確認」(2024), <https://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/post-1103.html>
- 10—岡村行信・他:「能登半島北部沿岸域の構造図と令和6年(2024年)能登半島地震の余震分布」(2024), <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/ното2024/ното2024-05.html>
- 11—後藤秀昭: *科学*, **94**, 626(2024)
- 12—岡村行信・他: *科学*, **94**, 620(2024)
- 13—地震調査委員会:「活断層の長期評価手法(暫定版)」報告書(2010). https://www.mext.go.jp/content/20200326-mxt_jishin01-5996_3.pdf
- 14—鈴木康弘・他: *科学*, **78**, 97(2008)
- 15—渡辺満久・鈴木康弘: *科学*, **85**, 721(2015)
- 16—渡辺満久・他: *活断層研究*, **33**, 27(2010)