

# 2007年能登半島地震の意味

防災のための活断層の考え方

平田 直\*<sup>1</sup>・佐藤比呂志\*<sup>2</sup>・能登半島地震合同余震観測グループ

ひらた なおし さとう ひろし

\*<sup>1</sup> 東京大学地震研究所(観測地震学)hirata@eri.u-tokyo.ac.jp, \*<sup>2</sup> 東京大学地震研究所(構造地質学)satow@eri.u-tokyo.ac.jp

2007年能登半島地震は、沿岸域の海底活断層が活動した内陸大地震であった。地下で地震波を放出した震源断層は海域から半島内部にまでおよんだ。しかし、陸上では対応する活断層は知られておらず、知られていたのは、最近数百万年間には活動した証拠のない地質構造であった。内陸大地震の発生予測をより確かなものにするためには、活断層の評価の他に、地下の活構造を評価する手法を組み合わせる必要がある。

2007年能登半島地震は、内陸の浅い地殻内で発生した地震である。これまで、こうした地震の発生予測は、活断層の同定、活動度の評価、活動履歴の調査にもとづいて行なわれてきた。地震調査研究推進本部が2005(平成17)年3月に公表した「全国を概観した地震動予測地図」<sup>(1)</sup>は、これらの調査研究の集大成である。ところが、最近発生した内陸の地震、たとえば、2004年新潟県中越地震、2005年福岡県西方沖の地震などは、この予測地図で強い揺れに見舞われる確率の比較的低いとされる地域で発生している。もちろん、いずれの地震の発生した場所も、確率がゼロではないので、こうした地域で地震が起きたことで、この予測地図の価値がなくなるとはいえないが、一般の感覚からすれば、なぜ確率の低いところで起きたのか知りたいところである。小論では、この地震を起こした地学的な背景とそこから学べる教訓は何かを論ずる。

## 能登半島地震の基本的性質

2007年3月25日午前9時42分に発生した今回の地震は、気象庁マグニチュード( $M$ )6.9の内陸部の浅い地震であった。本震の震源(破壊の開始点)は、能登半島西岸の深さ10 km程度にあり、

東北東-西南西走向の長さ20 km、幅13 km、傾斜角65度の地下の断層(震源断層)が破壊した。地震時には、西北西-東南東方向に短縮する逆断層運動を行ない、右横ずれ成分ももっていた。GPSによる測地データから平均の滑り量は1.6 mと推定された<sup>(2)</sup>。内陸の浅いところで起こったという意味で、この地震は、2004年の新潟県中越地震や、2005年福岡県西方沖の地震と類似の地震といえる。内陸の都市の直下で起きた地震では、地震の規模のわりに被害が大きくなる。今回の地震でも、死者1名、全壊家屋590棟、半壊1170棟(4月26日現在、消防庁)の被害が発生した。今回の地震では、震源域が海域と陸域の両方にまたがっていた。この地震では、津波注意報が発令され、石川県珠洲市で22 cmと金沢市で18 cmの津波が観測された。

## 海底活断層との関係

以上に述べたこの地震の基本的な性質は、リアルタイムで収集されている地震波のデータや、GPS観測データなどによって地震直後に明らかになった。また、この地震は津波を伴っていたことや、余震の発生領域が海域と陸域にまたがっていたことから、震源断層が海域におよんでいたこ

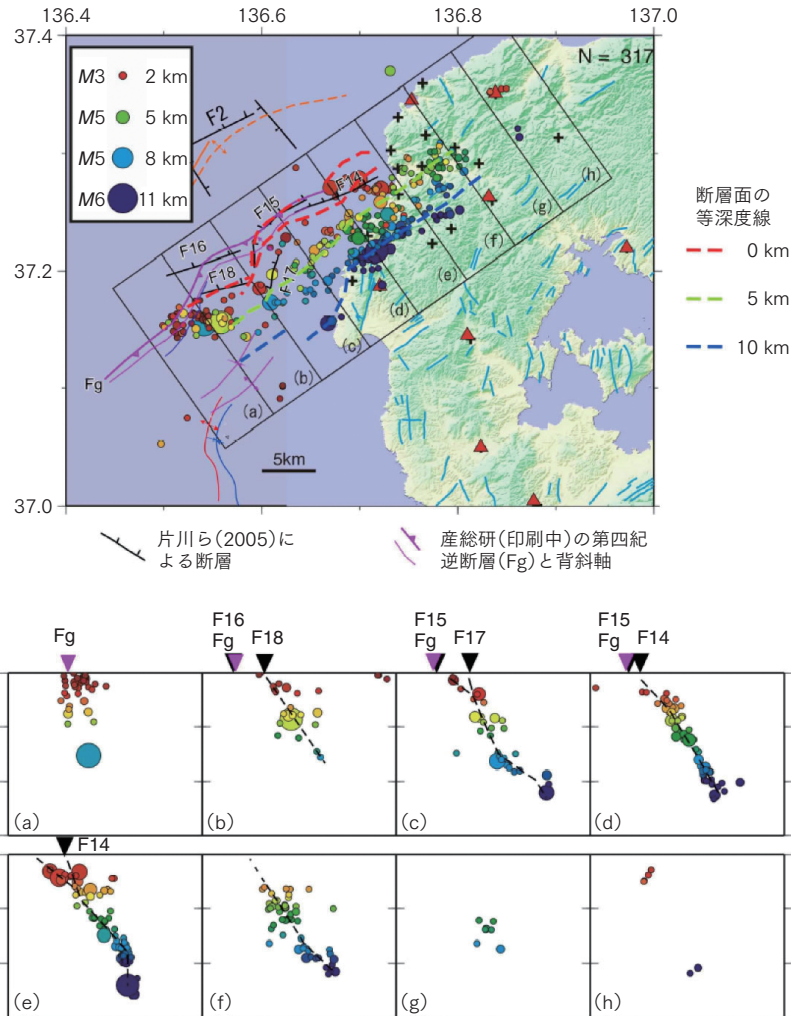


図1——2007年能登半島地震の余震分布と海底活構造。(上)2007年3月25日22時40分から3月29日10時50分に発生した主な余震の震央分布(平面図)。大きさはマグニチュード、色は深さを示す。2007年能登半島地震合同余震観測グループのデータ<sup>(9)</sup>を用いて求めた。(下)平面図に示した長方形(a)~(h)の範囲の余震を南西方向から見た断面図。海底活断層をF2, F14, F15, F15, F17<sup>(7)</sup>とFg<sup>(8)</sup>で示した。

とも確実であった。しかし、発生した地震が既知のどの断層で発生したか、あるいは既知の断層とは関係がなかったかを特定するには、現地での調査が必要であった。

内陸の地震では、発生直後に地表に地震による亀裂(地表地震断層)が発生したかを調べ、それが既知の活断層に対応していれば、特定の活断層が活動したことによって地震が発生したと判断できる。今回の地震発生直後にも、地表調査が行なわれ、輪島市門前町の3カ所で右横ずれの変位を示す亀裂が見いだされた<sup>(3)(4)(5)</sup>。しかし、いずれの変位も10 cm以下であり、亀裂が既に知られて

いた活断層に沿って現れていたわけではなかった。その後明らかになった合成開口レーダーによる地殻変動のパターン<sup>(6)</sup>や、陸域の浅い余震の欠如などから判断して、陸域では地表まで破壊がおよんだ可能性は低い。

一方、海底には反射法地震探査によって、活断層の分布が知られていた<sup>(7)(8)</sup>。片川ら(2005)によって報告されている海域の活断層が今回の地震と関係があることは、本震発生直後に行なわれた余震観測によって推定された。日本には、全国均一に約20 km間隔で地震観測点が配置され、常時データが気象庁に伝送されるシステムができあが

っている。このデータによって、本震、余震の位置(震源)が決められて公表されている(気象庁一元化震源)。しかし、この気象庁一元化震源は、既知の活断層と震源断層とを結びつけて議論するには、精度が不足する場合がある。一般に、一元化震源の水平位置(震央)の精度は十分よいが、深さの誤差が、数 km あることがある。震源断層が鉛直であれば、地図上の活断層と余震分布を対応させることが容易であるが、逆断層のように傾斜している場合には、深さの精度が不足すると、断層の地表出現位置に数 km の誤差が生じてしまう。今回の余震についても、大学の合同余震観測による余震の震源に比べ、一元化震源は約 2~3 km 深く報告されている。この差は、観測点の間隔が 20 km 程度では、数 km の深さで発生する地震の震源を正確に求めることが難しいことによる。大学の合同余震観測では、北海道大学が地震発生当日の夜に 2 点を設置して、4 月 6 日までに 79 点の観測点が展開された。震源域には、2 km 間隔の観測網が形成された。これらの観測データの一部を用いて緊急に解析された結果<sup>(9)</sup>を見ると、余震分布は、南東に傾き下がる傾斜面に分布し、その地表への延長は既知の海底活断層に一致していることがわかった(図 1)。もちろん、震源断層上の運動が、海底面まで達していたか否かは、海底の直接的な調査がすむまではわからない。今後、海上保安庁や産業総合技術研究所などによる海底調査が進むことで詳細が明らかになることが期待される。

### 陸上の地質構造

図 1 を見ると、片川ら(2005)が F14 および F15 と名づけた海底活断層と余震分布の海底への延長部が対応していることから、これらの海底活断層が活動したと推定できる。F14・F15 断層は北側低下の断層で、高角度の逆断層である。こうした断層の形状は、余震分布の並びから推定される南東傾斜の高角度の断層であることと整合的である。

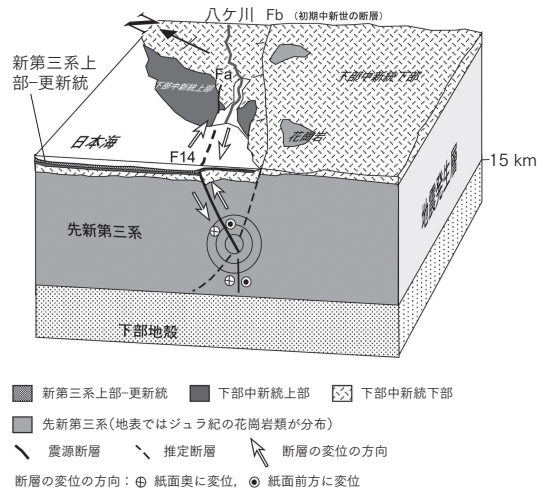


図 2—震源域周辺の地質概念図。本震の震源は、海底の活断層 F14・F15 と陸上の地質断層 Fa の深部延長で発生したと考えられる。

一方、陸上の地質図と海上の活断層図を比較すると、F14・F15 断層の東方延長に、八ヶ川右岸に東北東-西南西方向に伸びる断層が記載されている(図 2 の Fa)<sup>(10)</sup>。また、南方の丘陵にはジュラ紀の花崗岩が露出し、その分布の北縁を限るように、北側低下の東北東-西南西方向の断層が記載されている(図 2 の Fb)。両者ともに活断層ではないが、とくに南方の断層 Fb は、広域的に花崗岩の分布を規制しており、変位量の大きな地質断層である。これらの断層は基本的には日本海形成時に形成された正断層と推定され、その後の鮮新世以降の短縮変形によって、逆断層として活動した履歴を有するものと推定される。したがって、基本的には陸上の北側低下の東北東-西南西方向の断層は、南傾斜の高角度の断層形状をもっているものと考えられる。ただし、こうした断層は日本海形成期の急激な火山噴出活動や堆積物の供給と同時に活動しているため、しばしば地質図には表現されにくい。

### 沿岸部の地震の評価のためには

地震災害を軽減するためには、地震の発生場所と規模、時期(頻度)を予測して対策を講じることが必要である。しかし、今回のような地震の発生予測を、陸上の活断層の活動履歴の調査だけから

行なうことには限界がある。発生予測精度の向上のためには、以下の点が重要である。

第一に、陸上の活構造とつながる可能性のある沿岸部の海底活断層の調査を実施すべきである。新しい調査を行なう前に、既存の海底地形や、海底の浅層音波探査記録の統一的な再評価を行なって、陸上の活断層との関連で調べ直す必要もある。2005年の福岡県西方沖の地震の震源域のように、堆積物の少ない岩礁地域で、かつ陸域に活断層が知られている場合には、地質構造の把握を目的としたより深部の調査も有効であろう。第二に、今回の地震のように陸上部では活断層が知られていないが、地質構造から地下の不均質構造が地震を発生させる可能性のある地域では、3次元的地殻構造調査が有効である。さらに、それらの調査の結果を総合的に評価する方法を確立する必要がある。

2004年の新潟県中越地震では、地震後の調査

によって、地下15 kmまでに顕著な地質学的・地球物理学的の不均質構造が見出され、活断層や活褶曲などの活構造が地下でどのくらい連続的に広がるか、つまり、地震の場所と大きさを推定できるデータが得られた。地震の発生する前に、統一的な地下構造の3次元的な調査を行なう必要性がある。これは、沿岸域での地震発生の評価方法に限ったことではない。プレート境界から離れた場所で発生する内陸の浅い地震の発生評価を防災・減災に繋げるためには、地表の活断層調査のほかに、地震の発生する深さまでの構造の調査を進めることが重要であり、さらにその調査結果を発生予測に結びつける手法の開発が急がれる。

#### 文献

- (1) 地震調査研究推進本部, 地震調査委員会, 2005年3月23日, 2006年9月25日改訂: [http://www.jishin.go.jp/main/chousa/06\\_yosokuchizu/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/06_yosokuchizu/index.htm)
- (2) 地震調査研究推進本部, 地震調査委員会, 2007年4月11日: <http://www.jishin.go.jp/main/chousa/>

#### 本震発生0.5秒前の初期破壊と前震の意味

今回の能登半島地震では、本震の約12分前にM2.2の前震が本震のごく近傍で発生し、さらに、本震では、主要な破壊の開始0.5秒前に初期破壊とよばれる小さな地震が発生した。初期破壊の規模はM4.4と推定され、断層の大きさは本震が30 km×10 kmであるのに比べて、2.5 km×2.5 kmと小さく、前震はさらにその10分の1に満たない。本震の破壊は破壊域の中央部の下端で開始し、上方に伝播した。初期破壊は、本震破壊開始点のさらに下方で発生したらしい。しかも、初期破壊は、本震震源断層の傾斜角(約65度)より高角、ほぼ鉛直の断層で発生した。つまり、まず、ほぼ鉛直の右横ずれの小断層が破壊し、その0.5秒後に上方の傾斜した逆断層で主要な破壊が発生した。

実は、能登半島地震の震源域に働く水平方向の圧縮力によって、高角度(65度)に傾斜する逆断層を動かすことは力学的に難しい。初期破壊を起こした小断層の走向は、この地域の応力場で横ずれ断層を動かすことに有利な方向である。したがって、次のような地震発生のメカニズムを考えることができる。まず、この地域の広域応力場によ

って、震源断層周辺の<sup>せん断</sup>剪断応力が断層の強度に近づいていた。そのような、応力の臨界状態で、まず小断層が横ずれの破壊を起こした。その破壊によって集中した応力が、上方の断層を逆断層運動するように破壊させた。小断層の破壊による応力集中によって、広域応力だけでは逆断層運動できない高角の傾斜断層を破壊させることができたと考えられる。

さて、本震の12分前に発生したM2.2の小地震はこの地震発生にどのような役割を果たしたのであろうか。初期破壊も、前震の破壊も、本震の破壊開始点(本震震源)と1 km程度しか離れていないのに、臨界状態にある断層は、なぜ前震ではトリガーされなかったのであろうか。現時点で得られているデータからだけでは、この疑問に答えることはできない。しかし、筆者たちのグループは、この疑問に答えることが、内陸の地震の一般的な発生メカニズムを解明する鍵になるかもしれないと考えている。大学の合同余震観測によって得られる高精度の余震観測データと、防災科学技術研究所が観測している傾斜計のデータの解析によってこの謎の解明に立ち向かえる可能性がある。

- 07apr\_oto/index.htm
- (3) 石渡明, 金沢大学能登地震断層調査グループ:  
[http://earth.s.kanazawa-u.ac.jp/2007\\_notohanto-earthquake/2007\\_notohanto-earthquake.html](http://earth.s.kanazawa-u.ac.jp/2007_notohanto-earthquake/2007_notohanto-earthquake.html)
  - (4) 産業技術総合研究所ホームページ: <http://unit.aist.go.jp/actfault/katsudo/jishin/notohanto/report/070403.html>
  - (5) 東京大学地震研究所ホームページ: <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/topics/oto20070325/satou0329.html>
  - (6) 国土地理院ホームページ: <http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2007/0412.htm>
  - (7) 片川秀基ほか: 能登半島西方海域の新第三紀～第四紀地質構造形成, 地学雑誌, 114, 791(2005)
  - (8) 岡村行信: 能登半島西方海底地質図説明書, 地質調査総合センター(印刷中)
  - (9) 東京大学地震研究所, 第167回地震調査委員会資料, 2007年4月11日. この余震分布は, 2007年能登半島地震合同余震観測グループのデータを東京大学地震研究所が解析して求めた. データには, さらに, 跡津川断層帯集中帯合同観測データ, Hi-net, 気象庁のデータが含まれている.
  - (10) 北陸土木地質図編纂委員会: 北陸地方土木地質図および解説書, 国土開発技術研究センター(1990)p. 799