

## 2. 地震動

### 2.1 地質構造と震源断層

#### (1)新潟県中越地震と地質構造との関係

一連の地震は、東山丘陵南部から魚沼丘陵北部にかけての地下約5～20 km程度で発生し、北北東-南南西の軸を持つ分布をしている。周辺には、同様の走向を持つ西傾斜、東傾斜の逆断層が存在するが、震源の深さ、発震機構、余震分布、地殻変動および震源断層モデル等から、本震は、六日町盆地西縁断層、もしくはそれに平行な断層の深部が活動したものである。

東山、魚沼丘陵は、新発田-小出構造線と呼ばれる、北北東-南南西走向の地質構造境界の西に位置し、新第三紀(約2400万～180万年前)～第四紀(約180万年前以降)の地層が数kmの厚さで分布している。一方、東側の越後山地側では、新第三紀の海成層はほとんど分布していない。

新発田-小出構造線は、六日町盆地から新潟県北東部の新発田付近まで連続するが、2000～1500万年前の日本海拡大期に引張場で形成されたフォッサマグナ(地溝帯)の東縁に当たり、丘陵側(北西側)が沈降する正断層で、東側の陸域と西側の海域の境界となっていた。この正断層は上下に数千メートル以上の落差を形成し、沈降側に厚い海成層が堆積した。

この後約200万年前に東西圧縮の応力場が強まり、かつての正断層が逆断層として活動し(インバージョンテクトニクス)、この状況が現在も続いている。逆断層の運動により、比較的軟らかい上部の新第三紀から第四紀に堆積した海成層が大きく褶曲させられて、東山、魚沼丘陵などが形成された。今回の新潟中越地震はこれらの丘陵の下で発生していることから、丘陵を隆起させてきた地殻変動の一つであると考えられる。

この地域の逆断層の形態は複雑で、それは、上部を覆う新第三紀の地層の褶曲構造にも反映され、褶曲軸の曲がりや不連続などが見られる。特に、この地震の震源域は、西傾斜の逆断層から東傾斜の逆断層に地質構造が移り変わる境界部に位置する。丘陵内の褶曲構造も複雑であることから、震源域の断層

の形態も複雑であると考えられ、それが多くの余震が発生する一因となっている可能性が高い。

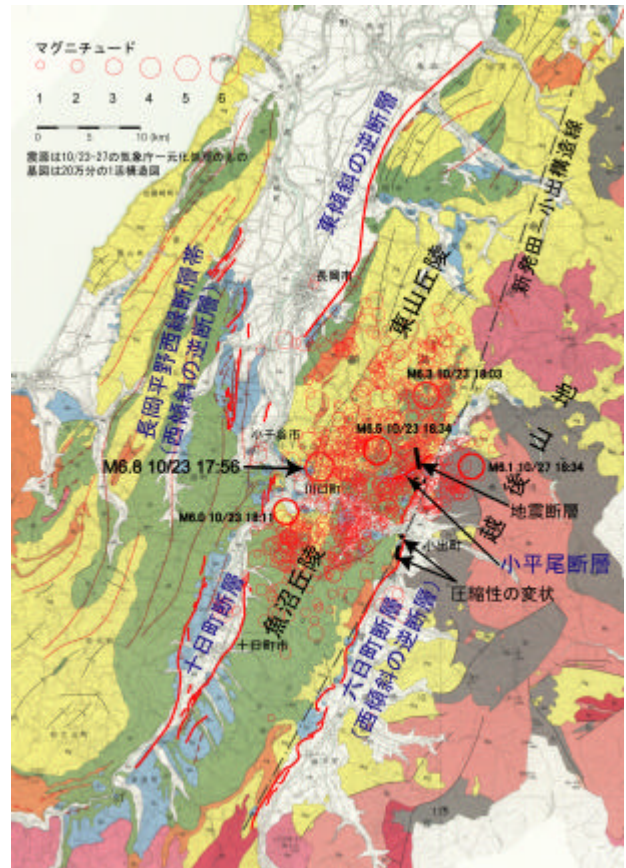


図2.1.1 震源域の地質構造. 20万分の1「信越地域活構造図」に、気象庁の一元化处理による2004年10月23日から27日までの震源分布を重ね書きしている。また、地表に地震断層や圧縮性の変状が確認された位置も示す。

#### (2)地震断層

地震断層の出現の有無と計測等の調査がさまざまな機関により行われている。産業技術総合研究所・活断層研究センターによると、地震断層とほぼ断定できるものが、旧広神村小平尾地区で、断続的に長さ1 km以上で確認されている。さらに、余震域南部、六日町盆地西縁断層沿いの小出地区および青島地区においても、小出地区で約300m、青島地区で約1 kmにわたって圧縮性の地表変状が断続的に観察された<sup>1)</sup>。図2.1.1中にこれらの位置を示す。図2.1.2に小平尾地区の西方の丘陵から地震断層を望んだ様子を示す。これらには、(1)圧縮変形に伴う変状が卓越する、(2)変状はほぼ南北方向に帯状に分布する、(3)水平短縮量はおおむね10 cm以下、(4)比高約10～15 cmの西上がり、という特徴がみられる。小平尾地区の地震断層は小平尾断層として知られていた断層のごく近くに現われたが、走向

はこれと斜交している．なお，小出，青島両地区では背後に大規模な地すべり地形が発達し，それらの一部は今回の地震に伴い活動しているため，現段階では両地区でみられた地表変状が，背後の地すべりによる圧縮変形である可能性を否定することはできない．



図 2.1.2 小平尾地区でみられる地震断層（矢印で示す）を西方の丘陵から望む（杉山撮影）．田んぼの中に出来た段差は，東側（写真中，向こう側）が低くなっているため，水が溜まり，曇り空を映して白く見えている．

### (3) 余震分布構造

東京大学のグループ<sup>2)</sup>，京都大学 - 九州大学のグループ<sup>3)</sup>などが余震震源決定を主目的とした臨時観測を行い，それらのデータをもとに精度の高い余震分布を発表している．図 2.1.3 には，東京大学のグループの加藤らが酒井らの震源分布を初期値としてダブルディファレンストモグラフィ法<sup>4)</sup>を用いて求めた余震分布と P 波速度不均質構造の，断層に直交する深さ断面図を示した<sup>5)</sup>．これらの余震分布は，複数のクラスターからなり，特に西側に急傾斜しおよそ 5km の間隔で並行する 2 つの面と，これらの南東側に位置しこれらとほぼ直交し低角に東へ傾斜する 1 つの面が顕著である．本震は，西傾斜の 2 つの面のうち西側のものに含まれるが，この面は，浅いところで小平尾断層近く，つまり，地表に地震断層が現れたあたりへと延びている．数多く起こった M6 以上の大きな余震はそれぞれいろいろなクラスターに含まれる．27 日の M6.1 の余震（図 2.1.1）は，小平尾断層より東側で起こり，その後この顕著な東傾斜の面をなす余震クラスターが生じた．

P 波速度の不均質は，余震分布を境とする西傾斜のゾーンを挟んで南東側が高速度，北西側が低速度

と求められており，地質学的に推定されている基盤構造と整合する．このような横方向の不均質が，深さ 10km を越えて続いているというのは興味深い．

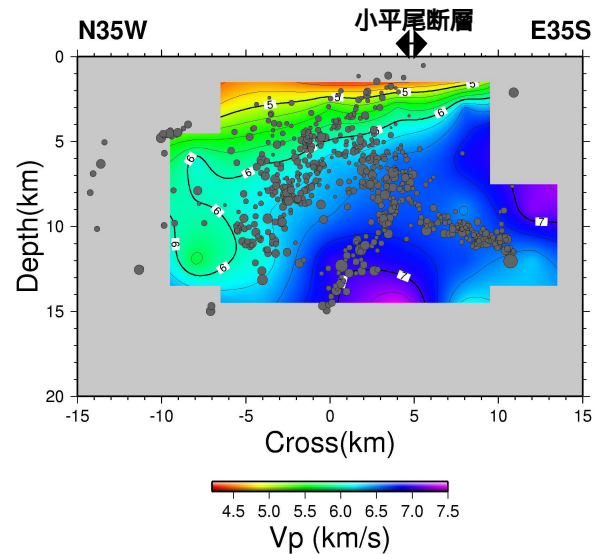


図 2.1.3 加藤らが酒井ら<sup>2)</sup>の震源分布を初期値としてダブルディファレンストモグラフィ法を用いて求めた余震分布と P 波速度不均質構造の深さ断面図<sup>5)</sup>．

### (4) 震源モデル

地震波形を使った震源過程の解析が複数のグループによって行われている．図 2.1.4 に，2004 年 12 月現在，各グループが公表可能なすべりや応力降下量の分布モデルを並べ，図 2.1.5 に断層面モデルと観測点を比較した．堀川<sup>6)</sup>，瀧澤ほか<sup>7)</sup>，浅野・岩田（私信），本多ほか<sup>8)</sup>，山中<sup>9)</sup>，八木<sup>10)</sup>は，理論グリーン関数による波形インバージョン解析，釜江<sup>11)</sup>は経験的グリーン関数法によるフォワードモデリングである．共通点は，多くの解が，破壊開始点付近に大きいアスペリティ（すべりが相対的に大きいところ），少し離れたところにもう 1 つか 2 つアスペリティを見出していること，アスペリティサイズが比較的小さいことである．小さなアスペリティがサブイベント的に散発しており，典型的な内陸型地震の震源像のように見える．しかし，詳細は相互にかなり違っている．これは，波形インバージョン解析に関しては，震源域周辺の地下構造の水平方向の不均質が強く，また，速度構造に関する情報に乏しいために，妥当な構造モデルが与えられていない場合が多いせいではないかと考えられる．地下構造の不均質の強い中で，構造モデルや観測点の選択の仕方でも震源像がいろいろにひずんでいる可能性がある．この点は，どのグループも認識しているようで，堀川，

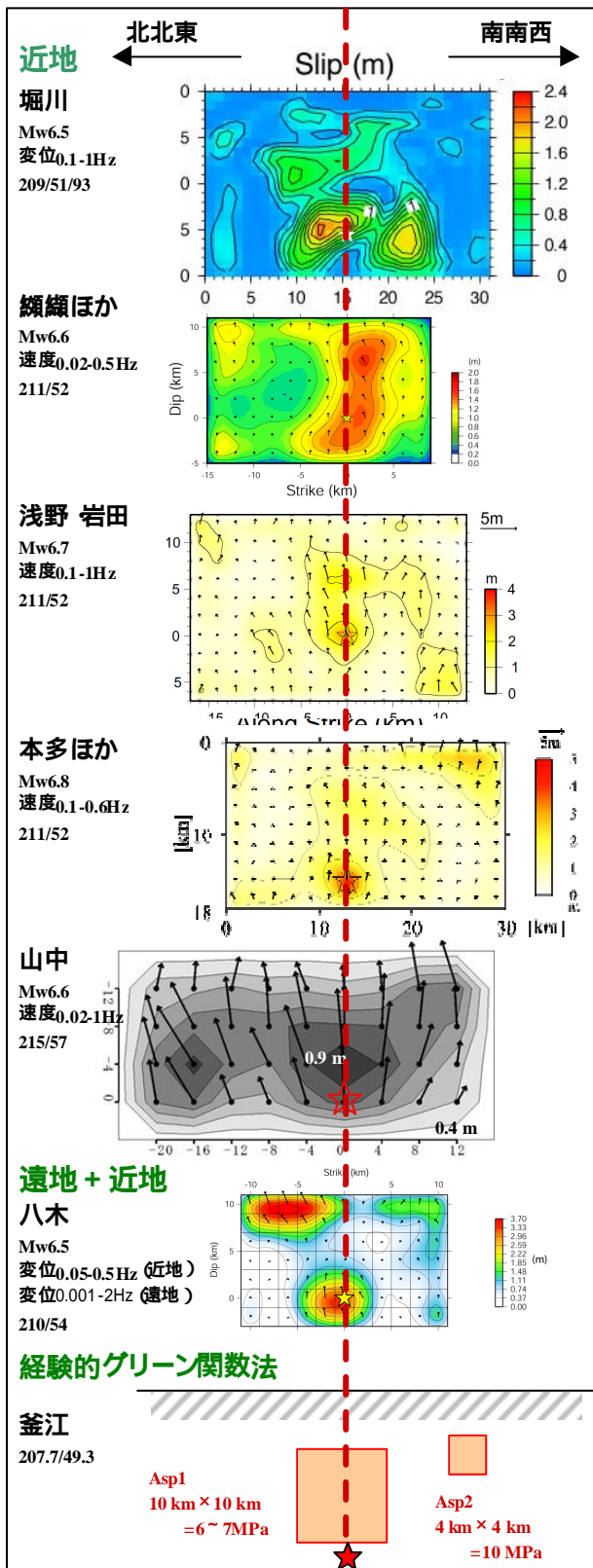


図 2.1.4 震源モデルの比較．断層面（西から見ている）上の波形インバージョン解析の解はすべり分布を，統計的グリーン関数法解析については，応力降下量の分布モデルを示す．各分布の左側に，震源モデルのモーメントマグニチュード，用いた波形タイプと周波数範囲，断層面の走向/傾斜/すべり角（固定の場合のみ）を示した．

纒繰ほか，山中，八木は，加藤ら<sup>5)</sup>のトモグラフィの結果や余震記録を参考にしたり，試行錯誤的探索をしたりして，観測点ごとに異なる速度構造モデルを推定している．また，浅野・岩田，本多他も現在，同様の方法で観測点ごとに地下構造をモデル化する作業を行っている．今後，それぞれの研究が進めば，震源モデルも近づいてくるものと期待される．

一方，釜江の経験的グリーン関数法による震源モデルでは，破壊開始点近くのアスペリティのほかに，南方の観測点のパルスを説明するために南にアスペリティを配している．さらに，北側にもアスペリティを置くと長岡市の観測記録をよりよく説明できる（釜江，私信）．

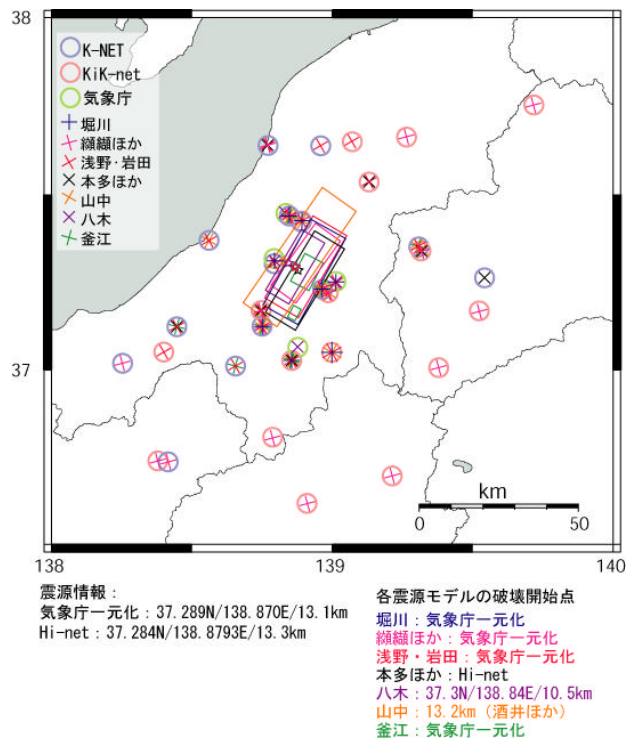


図 2.1.5 各グループが用いた断層面モデルと破壊開始点，近地強震動波形の観測点を示す．八木<sup>10)</sup>は，これ以外に遠地の 12 点を使用している．

謝辞：気象庁の一元化の震源位置データを使わせていただいた．酒井慎一氏，加藤愛太郎氏には，余震分布の図や関連する情報をご提供いただいた．浅野公之氏，引間和人氏，堀川晴央氏，本多亮氏，釜江克宏氏，八木勇治氏，山中佳子氏には，震源モデルの比較を行うについてご了解をいただき，図やその他の情報を提供していただいた．震源域の地質と地震断層に関する記述は，吉岡敏和氏にアドバイスをいただいた．杉山氏には，写真を提供していただいた．

また、多くの図は、GMT<sup>12)</sup>を用いて描いている。記して感謝の意を表す。

#### 【付録1】2.1節執筆者

関口春子(産業技術総合研究所活断層研究センター)

#### 【付録2】参考文献

- 1) 産業技術総合研究所活断層研究センター：  
2004年10月23日新潟県中越地震速報  
<http://unit.aist.go.jp/actfault/niigata/index.html>，2004。
- 2) 東京大学地震研究所：第160回地震予知連絡会（平成16年11月4日）資料，2004。
- 3) 京大・九大合同余震観測班：第161回地震予知連絡会（平成16年11月15日）資料，2004。
- 4) Zhang, H., and C. H. Thurber, Double-Difference Tomography: The Method and Its Application to the Hayward Fault, California, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **93**(5), pp.1875-1889, 2003.
- 5) 東京大学地震研究所：2004年新潟県中越地震，地震予知連会報，73，2005（印刷中）。
- 6) 堀川晴男：2004年中越地震の断層モデル（序報），  
<http://staff.aist.go.jp/h.horikawa/2004Chuetsu/source.html>，2004。
- 7) 纈纈一起・引間和人・三宅弘恵・田中康久：2004年新潟県中越地震 強震動と震源過程，  
<http://taro.eri.u-tokyo.ac.jp/saigai/chuetsu/chuetsu.html>，2004。
- 8) 防災科学技術研究所：2004年新潟県中越地震（10月23日17時56分）の地震動と震源過程，地震予知連会報，73，2005（印刷中）。
- 9) 山中佳子：E I C地震学ノート No.154+，近地強震計データ解析（暫定解），10月新潟県中越地方の地震（Mj6.8, Mj6.5, Mj6.1），  
[http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo\\_Note/2004/EIC154a.html](http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2004/EIC154a.html)，2004。
- 10) 八木勇治：2004年10月23日新潟県中越地震の破壊の様子（暫定），  
<http://iisee.kenken.go.jp/staff/yagi/eq/20041023/source.pdf>，2004。
- 11) 釜江克宏：強震記録から得られる震源過程，記念シンポジウム「日本の強震観測50年」- 歴史と展望 - ，つくば，2004.11。
- 12) Wessel, P., and W. H. F. Smith, 1998, New, Improved Version of Generic Mapping Tools Released, *EOS Trans., AGU*, **79** (47), p. 579.