

2007年新潟県中越沖地震の震源断層

——大地震をおこす「長岡平野西縁断層帯」と関係するか

平田 直*1 (ひらた なおし)・佐藤比呂志*2 (さとう ひろし)・酒井慎一*3 (さかい しんいち)・加藤愛太郎*4 (かとうあいたろう)

*1 東京大学地震研究所 (観測地震学) hirata@eri.u-tokyo.ac.jp

*2 東京大学地震研究所 (構造地質学) satow@eri.u-tokyo.ac.jp

*3 東京大学地震研究所 (観測地震学) coco@eri.u-tokyo.ac.jp

*4 東京大学地震研究所 (観測地震学) akato@eri.u-tokyo.ac.jp

中越沖地震発生直後から実施された緊急余震観測のデータに基づくと、余震は深さ 9 から 13 km 程度の西傾斜の面状と、それとは別のより深い東傾斜の面状に分布している。西傾斜の分布の地表への延長部は、長岡平野西縁断層帯の南部での深部位置と一致することから、中越沖地震は、長岡平野西縁断層帯の深部延長の周辺で発生した可能性が出てきた。この結論は、長岡平野西縁断層帯全体の地震活動の評価に重大な影響を及ぼす。

2004年新潟県中越地震 (M6.8)、2007年3月の能登半島地震 (M6.9) に引き続き、2007年7月16日に新潟県中越沖地震 (M6.8 気象庁暫定) が発生した。この地震では、死者11名、重軽傷者1,926名、全半壊家屋2,151棟 (消防庁、7月27日時点) の被害が発生した。

2007年新潟県中越沖地震(以下、中越沖地震)は、政府の地震調査研究推進本部が評価した主な活断層である長岡平野西縁断層帯の西側10kmから20kmで発生した。この断層帯は83kmの長さを有し、最大マグニチュード8程度の地震を発生させる可能性があると評価されている⁽¹⁾。しかしながら、本震の発震機構と余震分布から推定される震源断層の位置と傾斜の向き (東傾斜) が、この断層帯の西傾斜と調和せず、本震震央とこの断層帯の地表トレースとの距離が10から20kmあることから、中越沖地震は長岡平野西縁断層帯の活動と直接の関係はないと評価された⁽²⁾。しかし、この評価は、1) 余震分布は定常観測点のデータに基づき、水平方向の速度不均質の大きい中越地域では誤差が大きい⁽³⁾ こと、2) 褶曲帯の断層は堆積層中の層理面を利用して低角の断層が発達しやすく、2004年の中越地震の際にも震源断層の浅部延長が堆積層中で低角化していたこと⁽⁴⁾、を考慮すべきである。

大学の合同余震観測グループは、中越沖地震発生直後から臨時余震観測データを収集して、正確な余震分布の把握に努めた。小論では、臨時余震観測のデータを地震研究所が緊急に解析した結果と、地質学的資料から検討した中越沖地震の震源断層と長岡平野西縁断層帯の関係についての予察的結果を報告する。

緊急臨時余震観測による余震分布

2007年中越沖地震合同余震観測グループ⁽⁵⁾は、緊急臨時余震観測を実施した。2007年7月16日18時過ぎに地震研究所によって最初の現地収録型の観測点が設置され、22日までに、全国8大学によって47カ所の観測点が設置された。そのうち1点は、衛星通信を利用したテレメータ観測点で、7月20日の夜からは、気象庁にもデータが送信され、一元化処理に使われている。この観測データのうち、震源域近傍の8点のデータを22日に回収して、緊急に解析した。

震源を計算するために、2004年新潟県中越地震の余震解析を行った時に用いた中越地域の構造⁽³⁾を元に、震源域周辺で石油公団によって実施された基礎試錐で計測された弾性波速度のデータ⁽⁶⁾を考慮して、構造モデル作成した。この地域では、6kmを超える厚い堆積層が褶曲構造を呈し、水平方向に大きく速度構造が不均質である。また、堆積層より下の地殻の速度にも不確実性があり、今後の正確な構造調査が待たれる。震源の計算には、観測点補正値を用いた標準的な震源決定法⁽⁷⁾を用いた。さらに、この震源を初期値にして、地震間の相対的な精度を向上させるために二重差震源決定法⁽⁸⁾を用いて解析し、臨時観測点が設置される前に発生した余震の震源も推定した。

臨時観測点のデータ9点を加えて決定した余震分布を図1に示す。図に示した本震は、臨時余震観測データを用いて求めた余震をマスターとした修正マスターイベント法⁽³⁾で求めたものである。本震の深さは11kmとなった。この解析での震源の深さの誤差は最大で1km程度である。図1より、余震は本震(M6.8)を含む北西下がりの傾斜面と、15時37分の最大余震(M5.8)を含む南東下がりの傾斜面の2つの面の周辺に分布していることがわかる。本震の発震機構解は、北西-南東圧縮の逆断層型であり⁽⁹⁾、これらの傾斜した面状の分布は、発震機構解の2つの節面に対応している。本震発生直後の分布を調べると、余震は主として本震を含む北西傾斜の面で発生しているため、本震の震源断層は北西傾斜の面に対応していると考えられる。しかし、本震後1時間程度で既に南東傾斜の余震分布が形成されている。本震の震源過程、本震後の応力の再配分による余震の発生過程は、極めて複雑であったことが示唆され、今後の詳細な研究の進展が待たれる。以下では、本震の震源断層が北西傾斜であるとした場合について、地質学見地からの考察を行う。

中越地域の地質構造と中越沖地震

震源域は、日本海拡大の末期に形成されたリフト(地溝帯)の内部に位置している。2千万年前から1千5百万年前にかけて、この地域は玄武岩を主とし珪長質火山岩を伴う火山噴出活動とともに沈降し、越後山脈と佐渡島の間広大な堆積盆地が形成された。この凹地には厚い堆積物が堆積し、長岡平野ではボーリングによって地下6.3km以上に及ぶ堆積物の分布が確認されている⁽¹⁰⁾。この堆積盆地は、主として現在の北西-南東方向からの引

っ張りによって形成されたもので⁽¹¹⁾、北東ないし北北東方向の正断層の他、これと直交する北西-南東方向の高角な横ずれ断層（トランスファー断層）が形成されている。リフト内にはこれら多数の断層が形成され、鮮新世以降の圧縮テクトニクスにより、正断層の逆断層としての反転運動や新たな逆断層の形成をともなって短縮変形が進行した。新第三系の変形から見た東北日本の短縮率はこのリフト系内で最大となり⁽¹²⁾、地質学的にも歪みの集中域となっている。この領域の地質学的な特徴は、この地域が伸張変形を被った大陸地殻から構成されていることである。大規模な伸張変形によって、柔らかい新第三系の基盤を構成する岩石の厚さが、リフト内では薄くなっており、側方からの力に対して強度が相対的に低下している。歪みの集中には、北米・ユーラシアのプレート相対運動も作用しているが、これらの所謂「プレート境界」は単一の断層システムで形成されているものではなく、短縮歪みは日本海東縁の広範囲に及んでいる。

余震分布の広がりパターンは、その東側の地質構造と明瞭な関係がある。震源域の北端は、出雲崎周辺の図 2 の矢印で示した北北東方向の褶曲軸の不連続から認定されている北西方向の断層の西方延長と一致する。これは褶曲を形成した断層の形状が、その走向方向に不連続的に変化していることを示している。また、余震域の南限は、古くから柏崎-銚子線⁽¹³⁾として知られる北西方向の構造線で限られる。具体的には褶曲軸の屈曲、褶曲の軸傾斜（プランジ）や消滅によって認識できる。さらに、震源域東側の地質構造を見ると、出雲崎から北北東にのびる丘陵の南限で、北西方向の線を境とした褶曲形態の変化が見られる。こうした地質構造上の特徴から、震源域は北東方向にさらに二つの領域に区分され、地質構造を形成してきた主要な断層形状の変化に対応している可能性が高い。この地質構造から認識できる境界部を境に、北部と南部では余震分布のパターンも変化している。

震源域の東方には長岡平野西縁断層帯⁽¹⁾が、北北東走向で分布する。この断層帯は走向がやや異なるいくつかの西傾斜の断層帯から構成され、3m/千年程度の垂直平均変位速度が推定されている。断層帯中南部の鳥越断層は西側の褶曲軸の走向と平行なN30°Eの走向を示し、断層帯南部の南北走向の片貝断層とは斜交する。

本震に関連した余震分布は、約40度前後の西傾斜で地下15kmほどまで広がっており、その浅部延長は震源域北部の海岸沿いに平行して伸びる正のブーゲー異常（高重力異常）帯⁽¹⁴⁾の東翼部と一致する（図2b）。一方、鳥越断層を横切る反射法地震探査やボーリングデータから、2-3km以深で低角化する形状が推定されている⁽¹⁵⁾。上盤側で両翼が急傾斜の背斜が分布し、断層関連褶曲の形成メカニズムを考慮すると、断層の低角度化は十分考えられる。この低角度化した断層の深部延長は、余震分布の浅部延長と接合することになる（図2b）。これらの構造の特徴は、本震を引き起こした40度程度西に傾斜する断層の運動の累積によって、海岸沿いの隆起帯が形成されて来たことを示している。また、この断層の浅部延長は堆積層中の層理面を利用した低角度の断層によって東方に伝搬し、断層関連褶曲が形成され、その東翼に鳥越断層が位置している可能性が高い。

震源域南部については、震源域北部と同様、北北東方向の軸を示す褶曲が分布するが、

この方向を示す活断層は報告されていない。褶曲の形態からも西傾斜の断層の位置、形状を推定する十分な地下構造についての資料がない。長岡平野西縁断層帯に含まれている関原断層・片貝断層（図 2a）などは南北の走向を示し、今回の震源断層と連結する可能性は低い。南部については、伏在する断層運動による歪みは厚い堆積層の変形によって吸収され浅層部まで達していない可能性がある。

ただし、いわゆる「長岡平野西縁断層帯」は、北西方向の高角な横ずれ断層（トランスファー断層）でいくつかのセグメントに区分される。したがって、マグニチュード 8 クラスの巨大地震を伴って一括して活動する可能性は極めて小さい。しかしながら、大きな平均変位速度を有しており M7 程度の内陸地震を発生させる可能性は大きく、将来発生する地震の姿を予測するためには、地表の活断層と地下の震源断層との関係を明らかにしていく調査・研究が必要となっている。

結論

2007 年新潟県中越沖地震の臨時余震観測のデータと定常テレメータ観測データを緊急に解析した結果、本震発生後一週間の余震分布は、北西傾斜と南東傾斜の 2 つの面状に分布していることがわかった。このうち、本震の震源断層に対応するのは、北西傾斜と推定される。一方、中越地域の地質データを再検討した結果、長岡平野西縁断層帯の中南部を構成する鳥越断層の深部延長は、余震から推定される震源断層に接合する可能性がある。長岡平野西縁断層帯は平均変位速度の大きい断層であり、今回の地震による断層帯の活動への影響が懸念される。早急にこの断層の深部形状についての調査を行い、今後の地震活動の再評価を行う必要がある。

文献

- (1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会、長岡平野西縁断層帯の長期評価について、2004 年 10 月 13 日。http://www.jishin.go.jp/main/chousa/04oct_nagaoka/index.htm
- (2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会、平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震の評価、2007 年 7 月 17 日。
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/07jul_chuetsu_oki/index.htm
- (3) Sakai, S., N. Hirata, A. Kato, *et al.*, Multi-fault system of the 2004 Mid-Niigata Prefecture Earthquake and its aftershocks, *Earth Planets Space*, 57, 417-422, 2005.
- (4) Sato, H. and N. Kato, Relationship between the geologic structure and source fault of the 2004 Mid-Niigata prefecture earthquake, central Japan, *Earth Planet Space*, 57, 453-457, 2005.
- (5) 小論のデータは、2007 年新潟県中越沖地震合同余震観測グループによって取得された。グループには、東大地震研（幹事機関）、北海道大、弘前大、東北大、名古屋大、京都大防災研、九州大、鹿児島大の研究者が参加している。

- (6) 速度構造モデルの作製には、石油公団による国内石油天然ガス基礎調査基礎試錐「柏崎沖」(昭和 62 年度)、「東頸城」(平成元年度) 「三島」(平成 3 年度)、「小国」(平成 11 年度) の調査報告書を参照した。
- (7) Hirata, N. and M. Matsu'ura (1987), Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 47, 50-61.
- (8) Waldhauser, F., and W. L. Ellsworth (2000), A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward fault, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 90, 1353- 1368.
- (9) 気象庁、2007 年 7 月 16 日 10 時 13 分ころ新潟県上中越沖で発生した地震について、2007 年 7 月 16 日。 <http://www.jma.go.jp/jma/press/0707/16a/20070716.html>
- (10) 加藤邦弘 (1993) 基礎試推「三島」, 最近の我が国の石油開発 石油技術協会創立 60 周年記念, 105-108, 石油技術協会.
- (11) Sato, H. (1994) The relationship between late Cenozoic tectonic events and stress field and basin development in northeast Japan. *J. Geophys. Res.*, 99, 22261-22274.
- (12) 佐藤比呂志 (1989) 東北本州弧における後期新生界の変形度について. 地質学論集, 32, 257-268.
- (13) 山下 昇(1970) 柏崎-銚子線の提唱. 星野・青木編 島弧と海洋, 179-191, 東海大学出版会.
- (14) 広島俊男・駒沢正夫・中塚 正 (1993) 新潟地域重力図 (ブーゲー異常), 重力図, 地質調査所.
- (15) 石油公団(1999) 平成 10 年度国内石油・天然ガス基礎調査 陸上基礎物理探査 「西山・中央油帯」 調査報告書, 61p. 文献 (1) の図 5.
- (16) 小林巖雄ほか (1991) :長岡地域の地質, 小林巖雄ほか(1993): 出雲崎地域の地質, 小林巖雄ほか (1995) :柏崎地域の地質, 小林巖雄ほか(2002), 三条地域の地質, 柳沢幸夫ほか(1986):小千谷地域の地質.
- (17) 影山邦夫・金子信行(1992), 新潟県中部地域 (1 : 100, 000) , 日本油田・ガス田図 13, 地質調査所.

図の説明

- 図1. 緊急臨時観測データ解析によって求められた余震分布。2007年7月16日10:16から22日15:00までの余震と本震を再解析した。色の付いた丸は本震と余震を表す。大きな赤○は16日10時13分の本震(M6.8)、青○が7月16日15時37分の最大余震(M5.8)。余震の丸の大きさはマグニチュードに比例し、色は深さを表す。臨時余震観測データを加えた527個の余震と、それらを用いて定常観測点だけで決められた本震、余震104個の計631個を示す。(a)平面図。黒い▲は臨時観測点、黒い■は定常観測点(東大地震研、気象庁、防災科学技術研究所)を示す。(b)(a)の長方形の震源を南西からN35Eの方向に見た鉛直断面図。X-Y面に投影した。本震を含む北西に傾き下がる面と、最大余震を含む南東に傾き下がる面の周りに余震が分布している。
- 図2. 震源域の地質構造と余震分布の関係。(a)震源域周辺の地質概略図。震央分布は図1と同様。地質構造の概略は、産総研(旧地質調査所)から出版されている5万分の1地質図⁽¹⁶⁾に基づく。(b)余震分布と地質断面の解釈図。本震の位置から約40度の北西傾斜で震源断層面を延長すると、出雲崎から宮川に北北東に延びる高重力異常(ブーゲ異常)帯の付け根に当たる。鳥越断層の下部延長は厚い堆積層の下部にデタッチメントを有する低角度の衝上断層の存在が推定される。地質断面は石油関連調査^(10,15)の他地質調査所の報告⁽¹⁷⁾による。

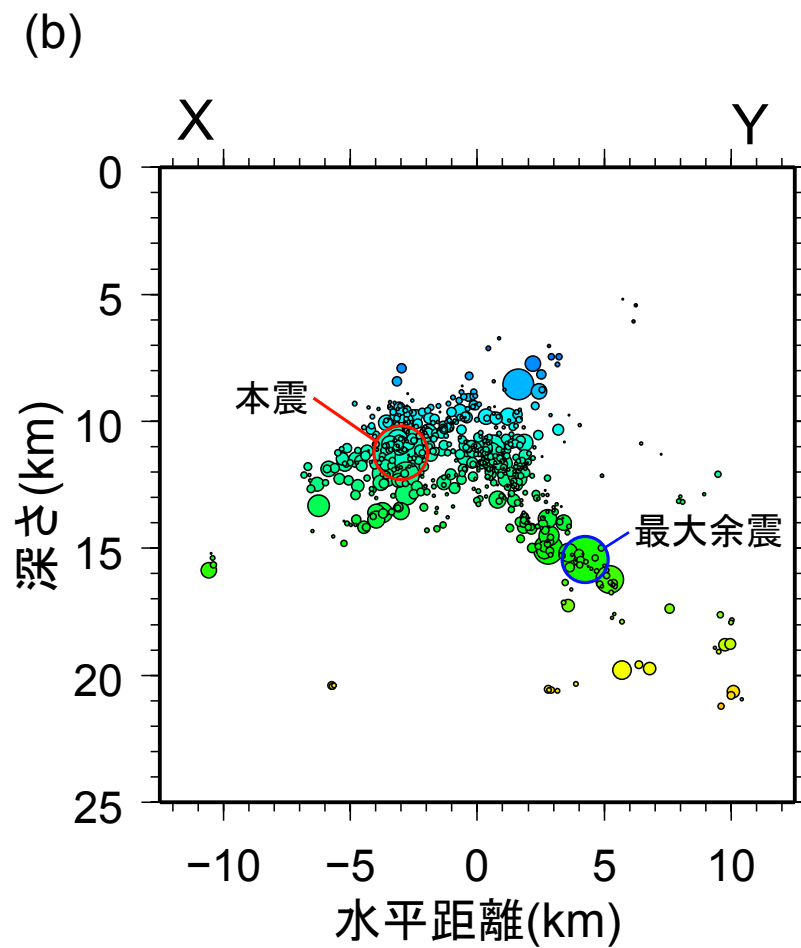
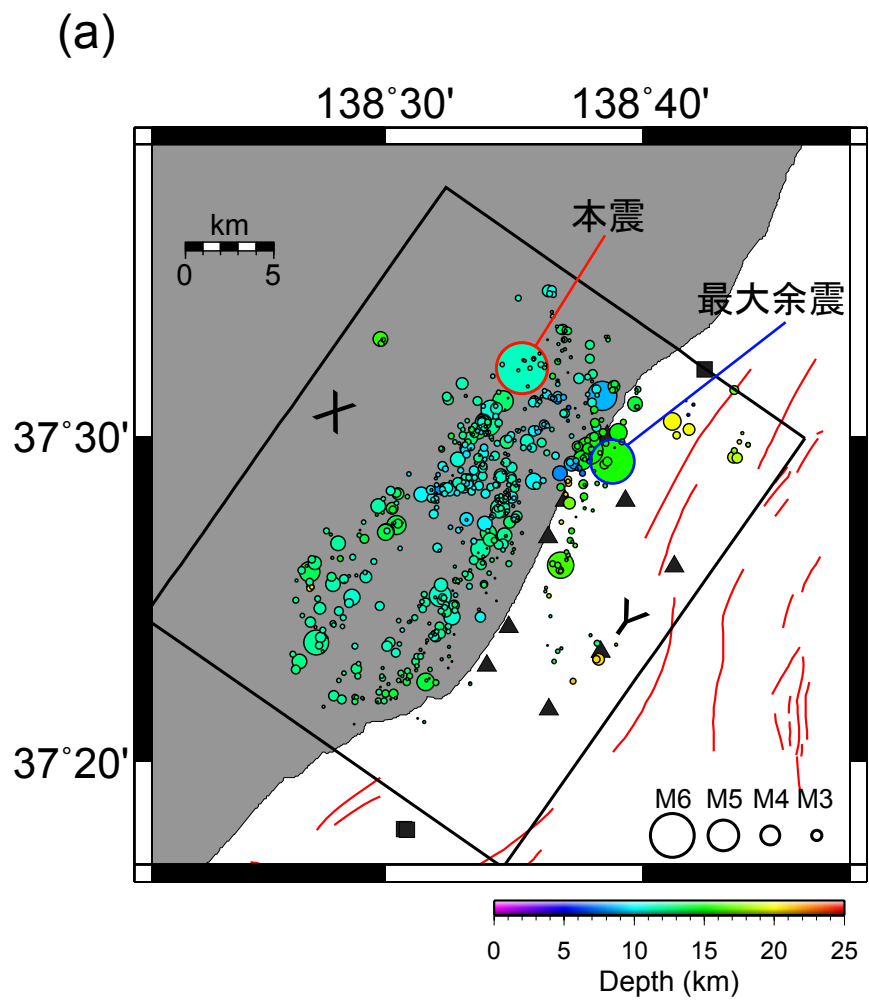


图 1 .

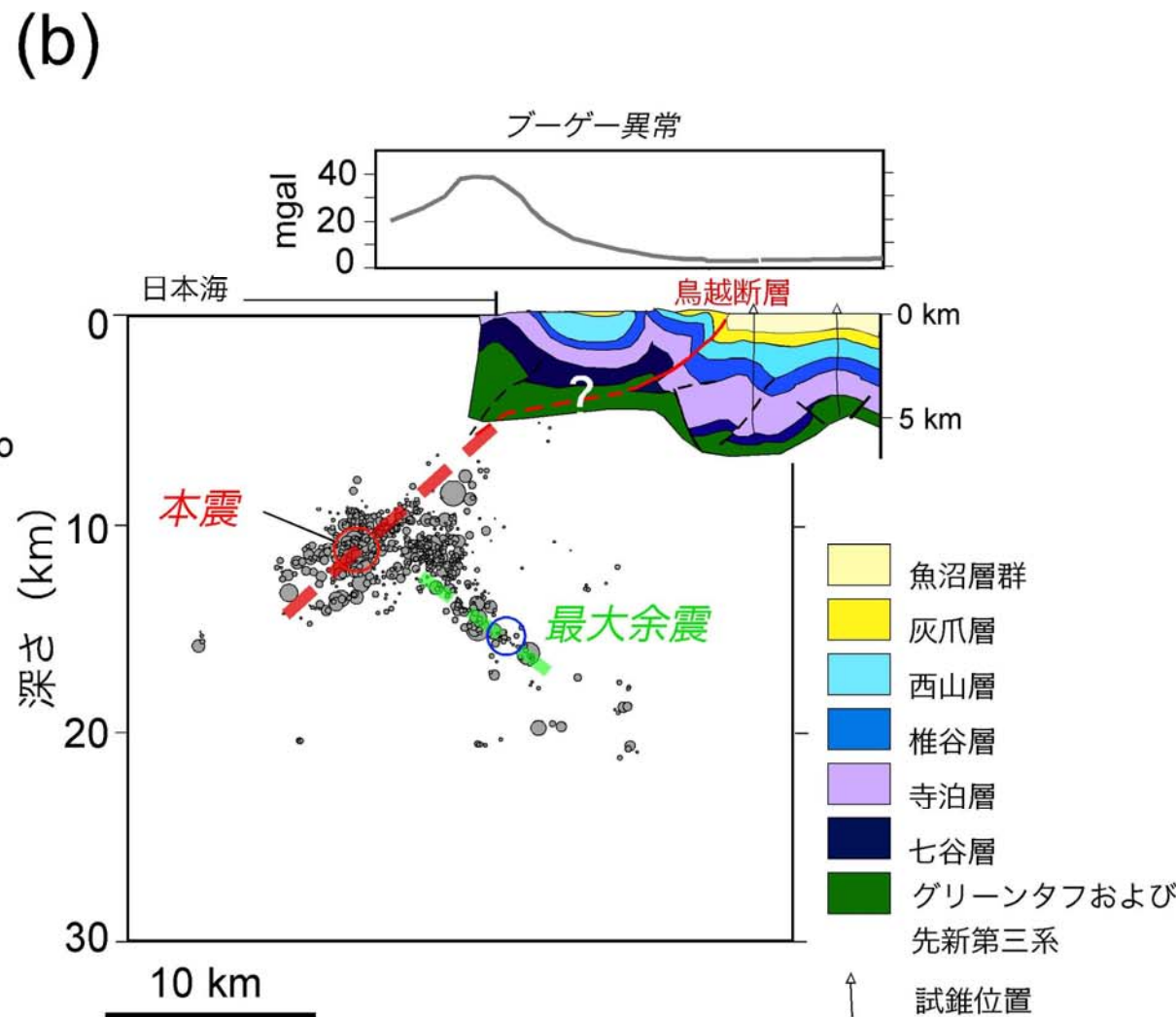
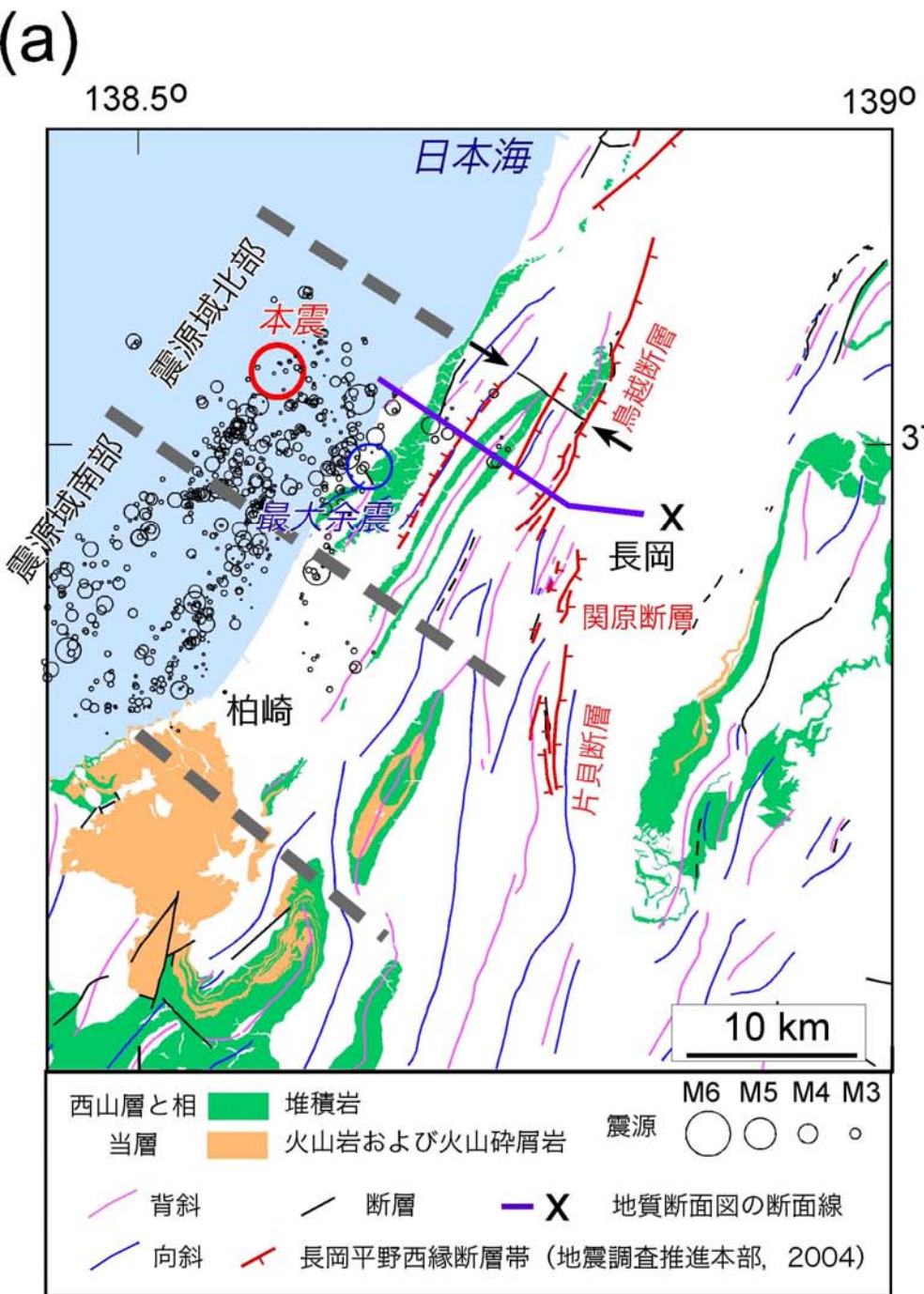


図 2