

3月12日長野県北部の地震に伴う地変と栄村周辺地域の活断層

廣内大助¹・松多信尚²・杉戸信彦²・竹下欣宏¹

¹信州大学, ²名古屋大学

Surface deformation caused by the northern part of Nagano earthquake

Daisuke Hirouchi (Shinshu Univ.) Nobuhisa Matsuta, Nobuhiko Sugito (Nagoya Univ.), and Yoshihiro Takeshita (Shinshu Univ.)

1. はじめに (長野県北部の地震の概要)

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震から約13時間後の3月12日午前3時59分、長野県北部を震源とする気象庁マグニチュード6.7の地震が発生した(図1)。この地震により、長野県北部の栄村で震度6強を観測したほか、新潟県十日町市、津南町で震度6弱、新潟県、長野県、群馬県で震度5を記録した。長野県栄村ではJR飯山線が路盤崩落により不通となり、国道も通行止めになるなど、地域社会に大きな支障をきたした。この地震は東北地方太平洋沖地震直後に全国各地で活発化した誘発地震のひとつと考えられ、その中でも最大規模の地震である。

2. 地域概要

震源付近には十日町断層帯の西端に位置する宮野原断層、その西方には青倉断層、平滝断層などが報告されている(活断層研究会編, 1991; 池田ほか, 2002など)。この付近の地形を眺めると、県境を北流する志久見川を境に、新潟県側は河成段丘が広く発達するのに対し、長野県側は千曲川沿いに細長く河成段丘が分布する特徴が見てとれる(図2)。

十日町断層帯の東側には魚沼丘陵を挟んで六日町断層帯が併走しており、その北端部付近では

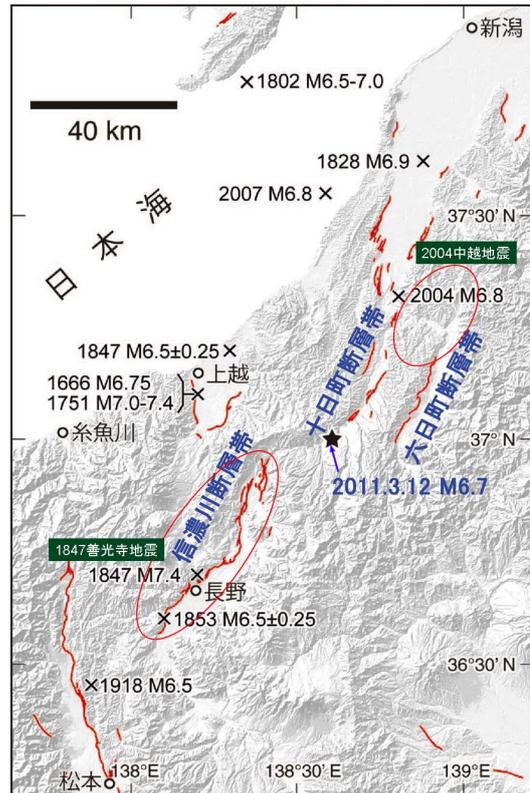


図1 研究地域

2004年中越地震時に地表地震断層が出現している。十日町断層帯の南西側には、活断層の連続性が悪い区間を挟み、信濃川断層帯(長野盆地西縁断層帯)が分布する。信濃川断層帯は1847年に推定マグニチュードが7.4の善光寺地震を起



図2 栄村周辺地域の地形面区分図

こしており、十日町断層帯は、2004年中越地震と1847年の善光寺地震の震源域の間に位置している。今回の地震はその南端付近で発生したことになる（図1）。

十日町断層帯は関田山地の東縁を区切って分布する（図3）。関田山地は鮮新統の浅海性堆積物によって構成され、北東-南西走向の軸を持つ著しい褶曲変形を受けている。この褶曲構造は十日町断層帯の分布域から信濃川断層帯の分布域にかけて断続的に分布する。松之山地区には非対称で西翼が急傾斜な松之山背斜とよばれるデイサイト軽石凝灰岩が軸部に露出するややスケールの小さい背斜が存在する。竹内ほか（2000）

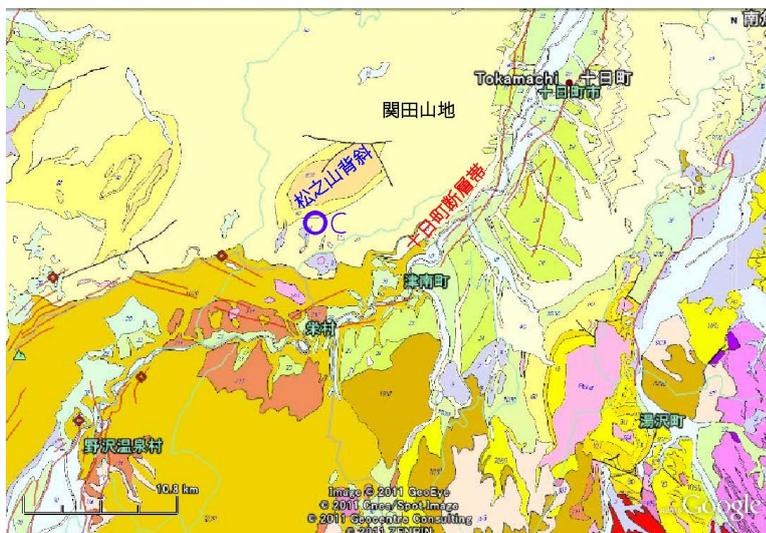


図3 研究地域周辺の地質図
地質および活断層は、統合地質図データベース（GeoMapDB）、基図はGoogle earth. 一部加工

では、層序関係の非連続性から西翼部に松之山断層を認定しているが、断層の直接的な観察事実は無く、地層の側方変化の可能性もあると指摘されている。また松之山背斜周辺には、これ以外に顕著な地質断層は認められていない。

この地域はGPS観測によるひずみ集中帯に位置し、東西方向に短縮している。鷲谷ほか（2011）は稠密なGPS観測により、東頸城丘陵は特に歪が集中する地域で、非弾性的な変形を指摘している。

3. 活断層と地表変形

長野県北部の地震の規模はマグニチュード6.7、震源の深さは地下約8kmとされ、その発震機構は北西-南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型の地震とされる（気象庁、2011a）。この地震は活断層によって引き起こされた内陸直下型地震であることは明白であり、地表地震断層の出現可能性があることから、我々は震源域の長野県下水内郡栄村から新潟県中魚沼郡津南町、十日町市周辺一帯にかけて現地調査を実施した。また国土地理院撮影1万分1、林野庁撮影2万分1の空中写真を判読し、調査地域の活断層や変動地形の抽出を行った。

現地調査は、地震発生翌日の3月13日より2日間を含め、延べ8日間おこなった。地震直後は積雪が軒並み1.5m以上あり、生活道路等以外は除雪されておらず、立入禁止区域もあったため、局所的な観察にとどまった（松多ほか、2011）。3月の調査では、宮野原断層亀岡付近の北側隆起の撓曲崖（池田ほか編、2002）を横切る舗装道路において、圧縮性の亀裂を確認した（写真1, 2；地点A図2）。このトレース沿いの東方延長部には大規模な重力性崩壊が認められ、断層変位に誘発された可能性が考えられた。一方、亀岡より北東の低位段丘3面に位置する断層延長部では、地表変状は認められなかった。また津南町～十日町市にかけての十日町盆地西縁断層の南西部、長野盆地西縁断層帯の北東端部についても地表変状は認められなかった。

4月調査では、3月に積雪のため入れなかった青倉地区北東の貯水池付近の青倉断層を調査したが、地表地震断層と判断できる地変は認められなかった。

横倉では栄村立栄小学校の校庭において多数の亀裂を認めた。そのうちほぼ東西走向の亀裂で、畑の畝に数センチの右横ずれを観察した。これは、単純な地すべりでは説明がつかなかったが、周囲に変動地形が認められず、亀裂の連続性も乏しいことから、地表地震断層の出現を示唆する

ものとは認定できなかった。また3月調査で地表地震断層の可能性を指摘した宮野原断層に沿う地変を再調査した結果、重力性の土塊移動で説明がつくと判断した。しかしながら、3月調査で確認した細かい変位は失われており、本震の地震性変位の後に、余震と融雪に伴うと考えられる土塊移動が加わり上書きされた可能性も捨てきれない。

新潟県津南町上郷上田の上野地区から上野小池地区を経て穴山地区にかけては、空中写真判読から新たに活断層の可能性のある北側上がりの低崖や鞍部などの変動地形を発見し、現地調査を行った(図2)。ここでは道路を中心に多くの割れ目が確認できた(写真3;地点B図2)。穴山地区では開口型の割れ目と収束型の割れ目の収支が合わず、横ずれ変位も見られたことから地表地震断層の可能性を捨て切れないが、亀裂は断片的で連続性は悪く、また変位方向の系統性にも乏しいことから、積極的に地表地震断層と判断するには至らなかった。

松之山地区は松之山天水越などで著しい道路の破損が認められたが、地すべりが連続する以上の系統だった地変は見いだせなかった。

6月の調査時には、松之山地区を中心に調査を実施した。大巖寺高原北方では、応用地質(2011)が地表地震断層の可能性のある地変の存在を指摘している。この地変は山側が低下する低崖が断片的に分布しており、単純な地すべりには見えないものである。しかしながら、この地区の水田は大規模な構造改善が行われており、地変は整備前の地形境界の方向に整合的な方向を示すこと、



写真1 赤線が宮野原断層(図2地点Aより東側)



写真2 宮野原断層の撓曲崖に見られた路面の圧縮破壊
写真中央の路面の高まりは、奥から手前へのし上げていく(図2地点A)



写真3 上田小池の道路変状
写真奥から手前へ直線状の谷が連続する。谷を横切る路面に短縮破壊が見られるが、亀裂や変形は路面のみで亀裂の走向方向へはほとんど連続しない(図2地点B)



写真4 地盤の短縮で奥へずれ込んだコンクリート製の用水路
写真左が斜面側で、上流側には座屈変形が続く(写真外)(図3地点C)

より周囲を見ると、地変より尾根部では開口性割れ目が所々認められたこと、また地変より下の谷では、排水路に顕著な短縮破壊や座屈変形が存在する（写真4；地点C図3）ことなどから、これら変形が地表地震断層であるとの指摘を完全に否定できるものではないが、おそらく土塊がブロック状に滑ることで、一部に見かけ上、谷側が隆起した地変が出現したものと考えられる。

4. 建物の被害集中地域

建物・道路等の被害は、千曲川～信濃川沿いの栄村豊栄平滝付近～津南町上郷大井平付近の長さ数 km の地域できわめて大きく、松之山地区西部および室野地区、志久見川沿いなどでやや大きな被害が認められた。被害の大きな地域は尾根部、斜面、段丘の縁部、段丘上の旧河道や浅い開析谷といった窪地で被害が大きい傾向があるなど、不安定な斜面とその近傍や、軟弱堆積物の分布域と概ね一致している。たとえば、青倉地区では国道近傍の段丘の縁ほど倒壊率が高く、段丘の山側ではほとんど全半壊家屋が見られない。森宮野原駅前や大井平地区の宮野原断層低下側で液状化による路面の破壊や、これに伴うマンホールの抜け上がりがみられるが、これらは段丘の開析谷や窪地であり、軟弱な細粒物質が堆積し地下水位が高いことから、強震動による液状化被害が大きくなったと考えられる。

5. 地球物理学的観測によって得られた地殻変動

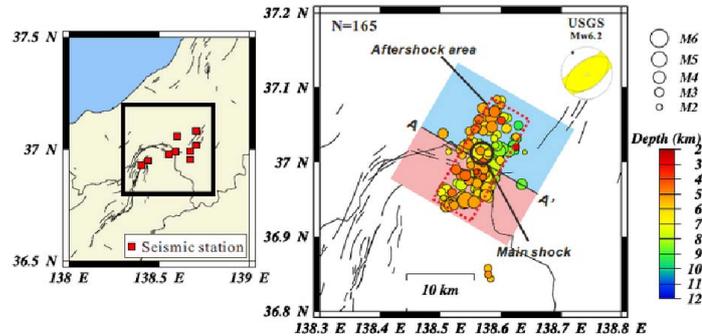
本震の地震規模はマグニチュード6.7と発表されているが（気象庁，2011a）、USGS（2011）による実体波波形解析によるモーメントマグニチュードは6.2で、地震の規模は気象庁の発表より小さい。発震機構は気象庁（2011a）によると北西-南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型の地震で、これはUSGS（2011）による結果もほぼ同じである。地震調査委員会（2011）は、本地震の震源断層は北北西-南南東方向に圧力軸を持つ逆断層としている。隣接する地域で発生した2007年中越沖地震や2004年中越地震の発震機構は北西-南東方向の圧縮軸を持ち、3月12日の本震とほぼ同様と考えられる。

余震は本震直後の3月12日午前4時31分にM5.8、同5時42分にM5.3が発生し、栄村では震度6弱を観測した。また4月12日には本震から約20 km南でM5.6の地震が発生している（気象庁，2011b）。本震直後の余震は震源の深さが1 km、4 kmときわめて浅く（鶴岡，1998）、場所によっては強い揺れを被った可能性があり、青倉地区ではこの余震によって倒壊した建物もあった。余震分布は北北東-南南西走向に17 km程度の広がりを持ち、北東側では南東傾斜に面状に分布し、断層面を示唆するのに対し、余震域南西側では余震は面状に分布していないとしている（防災科学技術研究所，2011）（図4）。余震域は時間とともに津南町方向に広がり、また4月12日の地震の余震分布は西北西-東南東走向で時間とともに北北西方向に広がった。

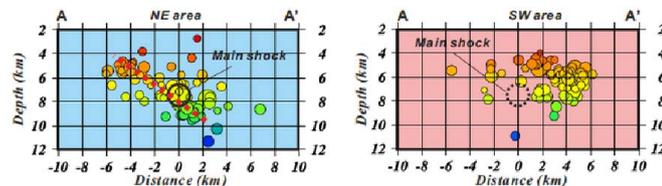
一方、地殻変動は国土地理院のGeoNETによって観測されている。この地域でも東北日本太平洋沖地震に伴う地殻変動が観測され、震源域から十分遠方の島根県三隅町を固定点とした場合、50 cm程度東に移動した（国土地理院，2011a）。同様に三隅町を固定点として、長野県・新潟県県境付近の地震の前後で比較すると、東北地方太平洋沖地震に伴う余効変動で周辺が東に2 cm程度、鉛直に1～2 cm隆起している中で、松之山観測点が北北東に39.3 cm移動し、鉛直に23 cm隆起と有意に大きな値を示している。周辺の長野県観測点で北に4.2 cm、鉛直に3.4 cmの隆起があり、安塚観測点で南東に6.8 cm、鉛直に1.2 cm程度の変動が見られた（国土地理院，2011b）（図5）。

人工衛星「だいち」に搭載されたLバンド合成開口レーダ（SAR）を使い、地震前後に取得したデータの差分干渉解析を行った結果が、衛星から遠ざかっている（沈降した、または東に移動した）領域と衛星に近づいている（隆起した、または西に移動した）領域が複数存在すると報告されている（宇宙航空開発機構，2011）。これらSARの結果には明瞭な不連続は認められず、顕

著な地表地震断層が出現した可能性は低いと考えられる。震源域南西部に隆起または西に移動した地域が確認でき、震源域北東側では、沈降または東に移動した地域が確認できる。震源域北側の松之山周辺では積雪の影響と思われるデータのばらつきが見られ、地殻変動の様子は明らかではない。同様なデータから国土地理院 (2011a)も解析を行っており、ほぼ同様な結果が得られている。



波形相関データを用いたDD法による精密震央分布 (2011 3/11 21:00 - 3/12 9:00)。アメリカ地質調査所 (USGS) の実体波波形解析による発震機構解を合わせて示す。



A-A'断面に震源を投影した図(左は北東域、右は南西域)。

図4 3月12日長野県北部の地震と余震の震源分布図 (防災科学技術研究所, 2011より抜粋)
余震域の北部は南東傾斜の断層面を持つ

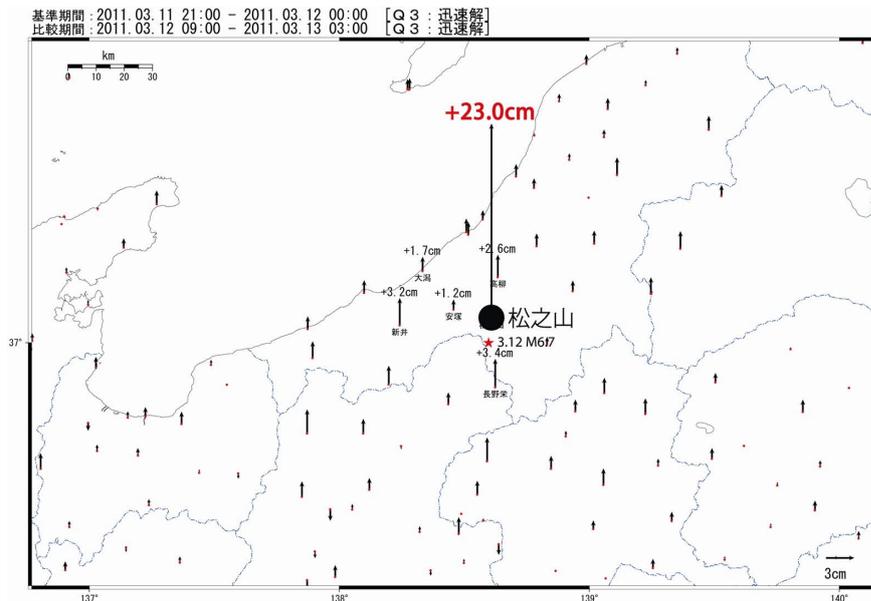


図5 長野県北部の地震前後を比較した上下方向の地殻変動 (国土地理院, 2011b) を一部加工
松之山は 23.0m 隆起した

6. 長野県北部の地震を引き起こした活断層とは？

3月12日の長野県北部の地震は、北西—南東方向の圧縮軸を持つ南東傾斜の逆断層であった。この断層運動によって明瞭な地表地震断層は出現しなかったと考えられる。断層面の走向は、本地域に卓越する北東—南西方向に軸を持つ褶曲構造や十日町断層の走向とほぼ同じであることから、既存の活構造に支配された断層面と考えられる。本震後数時間内にやや大きな余震が2回あり、これらの震源は極めて浅く、本震の南西側で発生している。震源域の南西側で見られるSARによって見られる局所的な地殻変動や複雑な余震分布は本震後のやや大きな余震の影響である可能性が高く、本震の断層面は余震域北東側の南東傾斜の余震分布域に対応する可能性が高い。この南東傾斜の断層面は十日町断層をそのまま延長し関田丘陵を成長させるような北西傾斜の断層ではない。余震分布の震源域には松之山背斜が位置することから、この南東傾斜の断層は松之山背斜と関連した断層構造である可能性が高い(図6)。松之山が隆起しているGPS解析結果はこの解釈と調和的であり、本地震によって松之山背斜が成長した可能性がある。

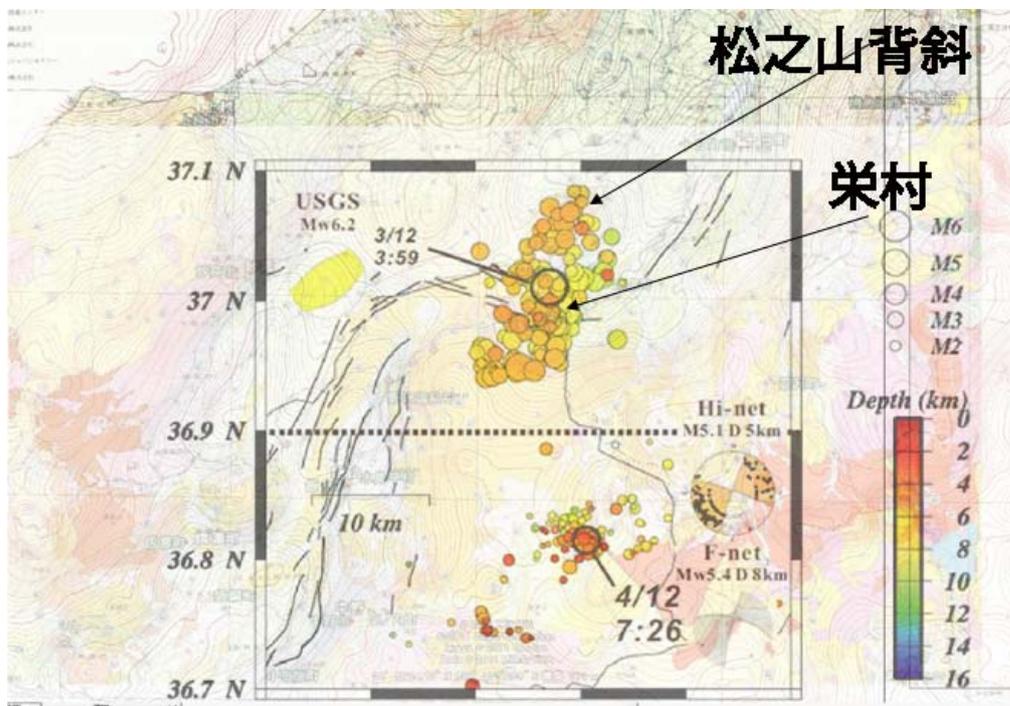


図6 余震分布図と地質図、重力異常図を重ねたもの(防災科学技術研究所, 2011; 竹内ほか, 2000)を一部加工
栄村は震源直上に位置し、余震分布の北端は、松之山背斜にほぼ一致する

7. おわりに

3月12日に発生した長野県北部の地震は、十日町断層帯の南西端部付近で発生したが、断層面は十日町断層とは逆の南東傾斜であり、十日町断層には直接連続しない。一方余震の発生箇所は北に移動し、十日町断層の震源域と重なる部分もある。また2004年中越地震では六日町断層帯北部が活動し、南西の信濃川断層帯(長野盆地西縁断層帯)は、1847年の善光寺地震で活動している。その間の一部が3月12日の地震で活動したと考えれば、十日町断層帯を地震の空白域と考えることも可能である。いずれにせよ今後注視する必要がある。

文献

- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2011, 2011年3月12日長野県・新潟県境付近の地震の評価, 2011年3月13日WEB公開, <http://www.jishin.go.jp/main/index.html>.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2010, 十日町断層帯の長期評価の一部改訂について, PDF版, 32p, <http://www.jishin.go.jp/main/index.html>.
- 防災科学技術研究所, 2011, 2011年3月12日・4月12日 長野県北部の地震, 2011年4月7日発表, 4月12日Web更新, <http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/n-nagano110312/>.
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編, 2002, 「第四紀逆断層アトラス」, 東京大学出版会, 254p.
- 活断層研究会編, 1991, 「新編日本の活断層一分布図と資料一」, 東京大学出版会, 437p.
- 気象庁, 2011, 平成23年3月12日03時59分頃の長野県北部の地震について(第2報), 2011年3月12日WEB公開, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>.
- 気象庁, 2011b, 平成23年4月12日07時26分頃の長野県北部の地震について, 2011年4月12日WEB公開, <http://www.jma.go.jp/jma/press/1104/12a/kaisetsu201104120920.pdf>.
- 国土地理院, 2011a, 東北地方太平洋沖地震と主な余震等による地殻変動について, <http://gisstar.gsi.go.jp/yoshin2/>.
- 国土地理院, 2011b, 平成23年(2011年)3月12日3時59分頃の長野県北部の地震に伴う地殻変動について, 2011年3月13日WEB公開, <http://www.gsi.go.jp/>.
- 松多信尚・杉戸信彦・廣内大助, 2011, 2011年3月12日長野県・新潟県境付近の地震に伴う地表変状(速報), http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/INFO/tohoku20110311/chiyou_110317.pdf.
- 宮内崇裕・東郷正美・堤 浩之・金 幸隆・武田大典・宇根 寛・小田切聡子, 2000, 「1:25,000都市圏活断層図「飯山」」, 国土地理院技術資料D・1-No.375.
- 中田 高・今泉俊文編, 2002, 「活断層詳細デジタルマップ」, 東京大学出版会, 68p+DVD-ROM2枚+付図1葉.
- 応用地質, 2011, 2011年6月10日WEB公開, http://www.oyoene-db.com/web/topics_h_003.html.
- 鷺谷 威・小澤和浩・歪み集中帯GPS観測グループ, 2011, 地震間・地震時・地震後の応答から見る東北日本島弧の変形特性, 日本地震学会2011年秋季大会予稿集, 25.
- 鈴木康弘・東郷正美・渡辺満久・金 幸隆・佐藤尚登, 2001, 「1:25,000都市圏活断層図「十日町」」, 国土地理院技術資料D・1-No.388.
- 竹内圭史・吉川敏之・釜井俊孝, 2000, 松之山温泉地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 76p.
- 鶴岡 弘, 1998, 地震カタログデータベースの紹介, 地震研究所広報, No.22(1998年9月).
- 宇宙航空開発機構, 2011, 陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)による中部地方の観測結果, 2011年4月18日WEB公開, http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_pal_chubueq_110411.htm.
- USGS, 2011, Quick Epicenter Determinations, http://neic.usgs.gov/neis/weekly/qed_abbrev.html.