

## 第5章 余震・誘発地震

### 5.4 長野県北部の地震

#### 5.4.1 地震の概要

長野県北部の地震は、2011年3月12日3時59分15秒頃、長野県北部の新潟県との県境付近で発生した（気象庁、2013a）。気象庁マグニチュード ( $M_j$ ) は 6.7、震源の深さは8km、長野県栄村で最大震度6強を観測した（気象庁、2011）。顕著な災害を起こした自然現象に対しては気象庁が命名することになっているが、この地震は基準に達していないため命名はされていない。そのため、長野県北部の地震（気象庁、2011）、新潟・長野県境地震（秦ら、2012）などと呼ばれている。最も大きな被害の出た長野県栄村では栄村大震災（長野県栄村、2013a）とも呼称している。主な被害は、災害関連死が3名（長野県栄村）、住家全壊が73棟（うち、長野県34棟、新潟県39棟）、住家半壊が427棟である（長野県危機管理部、2012；新潟県防災局危機対策課、2012）。その他、多数の土砂崩れや雪崩が発生し、土木構造物に大きな被害を与えた（長野県栄村、2013b）。

本地震は、2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震の影響を受けて発生したと考えられている（名古屋大学大学院環境学研究科、2013）。一般に本震で破壊した震源断層付近で発生した地震を余震と呼ぶので、震源断層から数百キロ離れた場所で発生した本地震は誘発地震と呼ばれることが多い。

本震の約30分後の4時31分には $M_j 5.9$ の最大余震が、約1時間半後の5時42分には $M_j 5.3$ の余震が発生した（図-5.4.1）。どちらの余震も最大震度は長野県栄村の6弱であった。

#### 5.4.2 地震の震源モデル

長野県北部の地震の震源断層は、用いるデータによってメカニズムが異なっており、単純な矩形断層で表現することは困難である。

図-5.4.2に3月1日～31日の気象庁一元化震源カタログの震源分布を示す。余震分布から推定される地震の断層面は、走向 $300^\circ$  傾斜角 $45^\circ$  の北東傾斜にて（秦ら、2012）断層サイズは概ね $10\text{km} \times 20\text{km}$ である（山田ら、2011）。しかしながら、気象庁の初動発震機構解（図-5.4.3）は

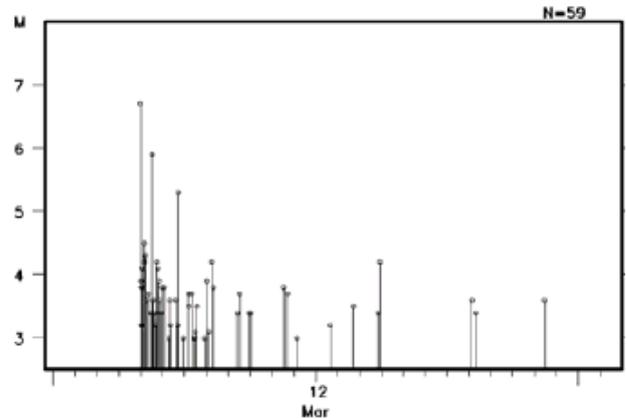


図-5.4.1 長野県北部の地震の震源断層直上における3月12日0時から13日1時までの地震活動経過図（地震調査研究推進本部、2011）

縦ずれあるいは傾斜角の大きい右横ずれ断層、F-netおよび気象庁のCMT解（図-5.4.3）は北西側あるいは南東側に傾斜する逆断層を示唆している。このように、初動発震機構解とCMT解が大きく異なる時は、断層面が複数あったり、すべりの向きが途中で変化している可能性が考えられる。

干渉合成開口レーダーで捉えられた地殻変動では、震央の北西側の地域が隆起または西側へ移動していることを示している（中埜ら、2012）。このような変動パターンは、南東傾斜の逆断層型の断層において、震源断層の推定地表到達域の東側が隆起または西側へ動いたと考えると整合的である（図-5.4.4）。GPS観測の結果によると、本震の発生に伴って、松之山観測点（新潟県）が約39cm北東に移動するなどの地殻変動が観測されている（図-5.4.5, 5.4.6）。震源断層を現地調査した報告はいくつか存在するが（例えば、松多ら、2011；廣内ら、2012；中埜ら、2012）、明確な地表地震断層を確認するには至っていない。震源付近には東北東-西南西走向の宮野原断層が認定されている（池田ら、2002）が、観測された地殻変動と整合しないことから、今回の地震は未知の活断層の活動により発生したと考えられる（中埜ら、2012）。

近地で観測された強震波形を用いたインバージョン解析の結果を図-5.4.7に示す。2つの解析結果に共通して、主なすべりは初期破壊開始点の北東方向に進行している。また、初期破壊開始点の南西側の浅い領域にもやや大き

めのすべりがあった。気象庁(2012)の結果では破壊伝播速度を2.0km/sと仮定しており、最大すべりは1.3m、モーメントマグニチュードは6.3である。

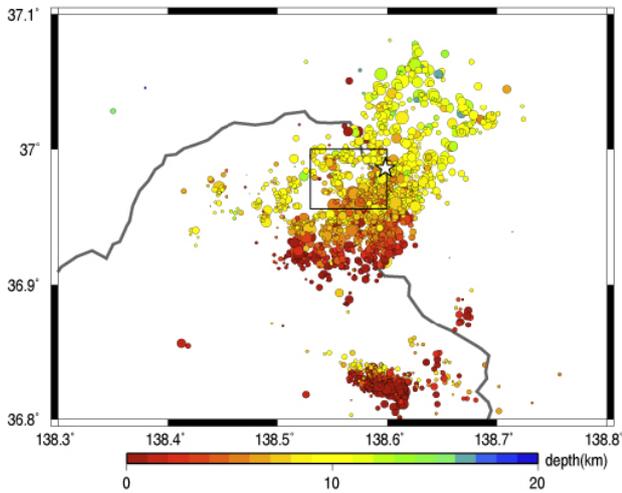


図-5.4.2 3月1日～31日の気象庁一元化地震カタログの震源分布図。丸印のカラーは震源の深さを示す。中央の四角は図4の範囲、星印は震源を示す。太線は長野県と新潟県の県境を示す。(山田ら, 2012)

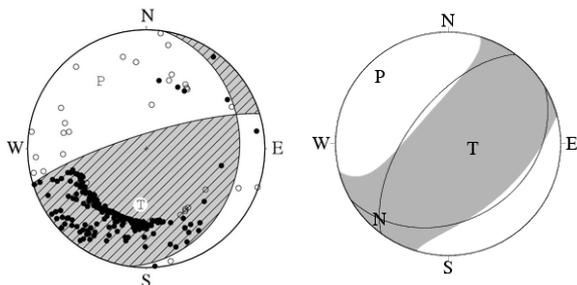


図-5.4.3 気象庁の初動発震機構解(左)とCMT解(右)(気象庁, 2013a, 2013b)

### 5.4.3 地震動の特徴

本地震では、防災科学技術研究所のK-NET, KiK-net, および気象庁によって観測された地震動が公開されている。震度分布を図-5.4.9に示す。震度は概ね震源からの距離に従って減衰するが、関東地方では表層地盤増幅の影響を受けて周辺よりも大きめの震度が観測されている。震度6強を観測したのは長野県栄村、震度6弱を観測したのは、新潟県津南町、新潟県十日町市松代、新潟県十日町市松之山、新潟県十日町市上山の4地点である。

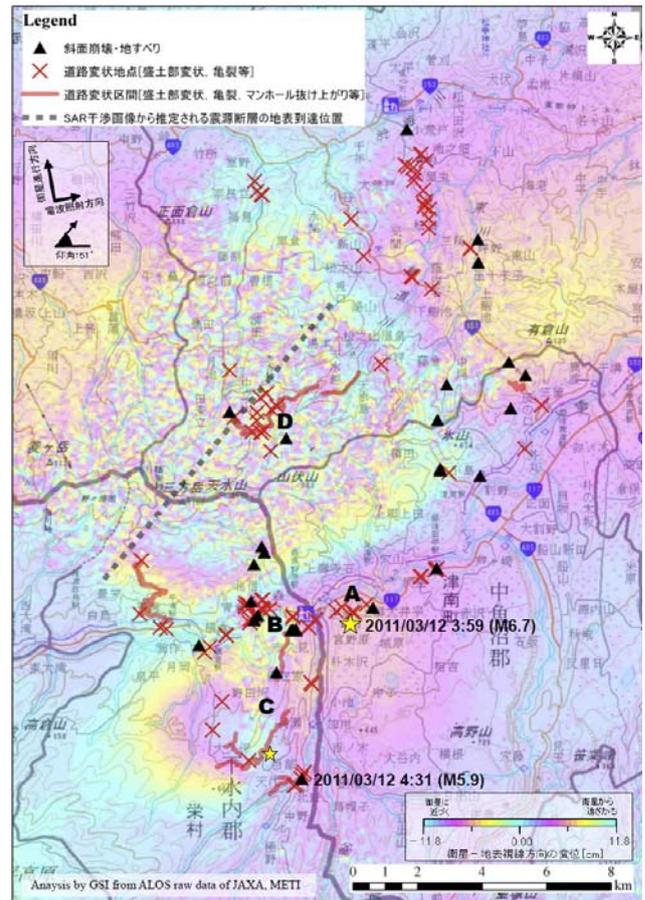


図-5.4.4 SAR干渉画像と主な被害分布。灰色点線は推定される震源断層の地表到達位置、▲印が斜面崩壊や地すべりの分布、×印が道路変状地点、☆印が本震と最大余震の震央、背景は電子国土基本図。(中埜ら, 2012)

図-5.4.8 に長野県栄村の震度計で観測された本震の加速度波形と速度波形を示す(東京大学地震研究所, 2013)。震度計は加速度を記録しており、得られた加速度記録からDC成分を取り除き、Boore (2001) の手法で基線補正を行った後、時刻歴で積分することによって速度記録を得た。加速度記録は、EW, NS ともに $900\text{cm/s}^2$ を超えており、最大速度はEW成分で $110\text{cm/s}$ を超えている。図-5.4.10 は同記録の加速度応答スペクトル(5%減衰)を示している。特にEW成分は0.9秒あたりに大きなピークがあり、木造建物の構造被害に大きな影響を与えるといわれている1-2秒の周期と近い(境ら, 2006)。これらの結果から、震源近傍の地震動は、木造建物に深刻な被害をもたらすパワーを持っていたと考えられる。

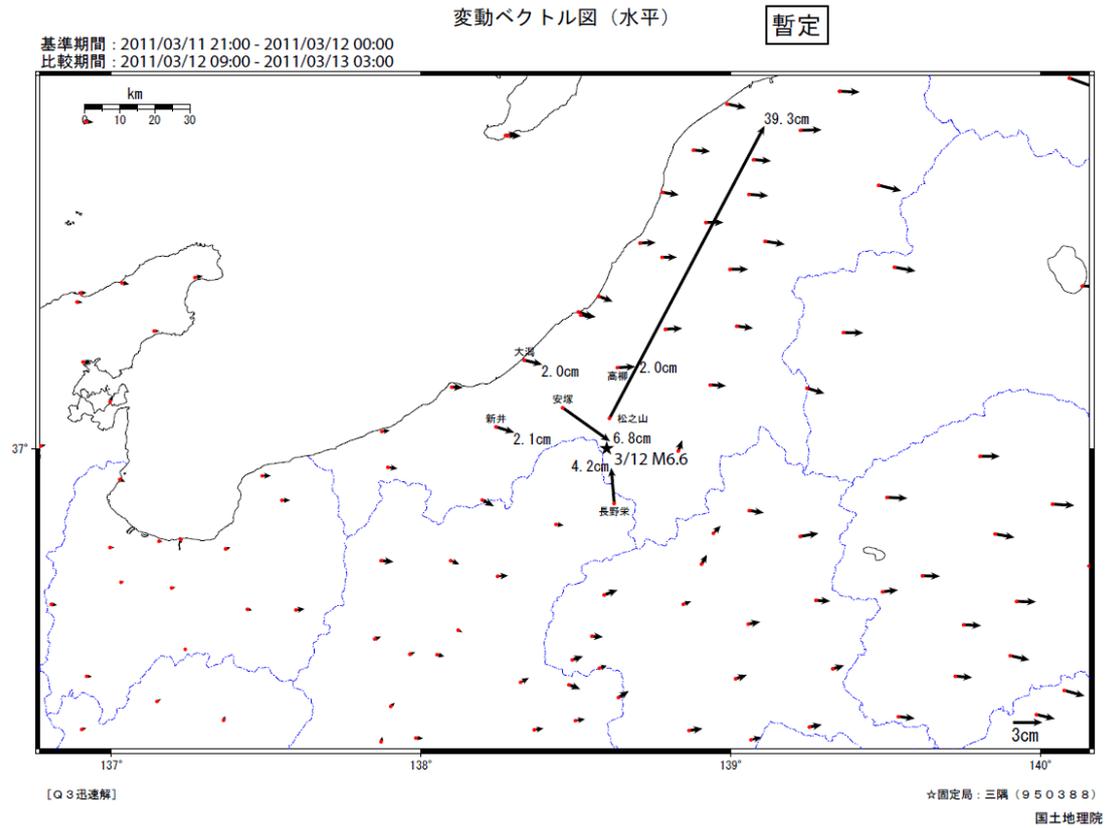


図-5.4.5 長野県北部の地震のGPS変動ベクトル図（水平成分）．（国土地理院、2013）

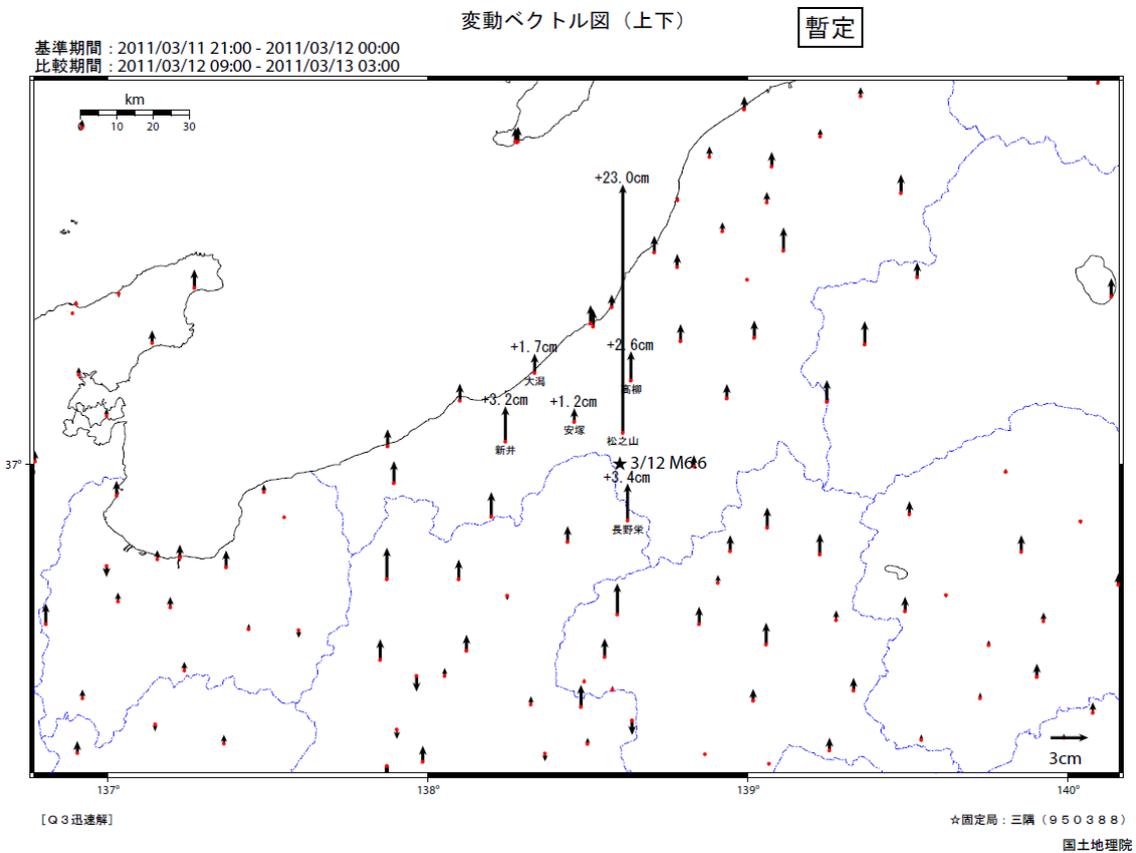
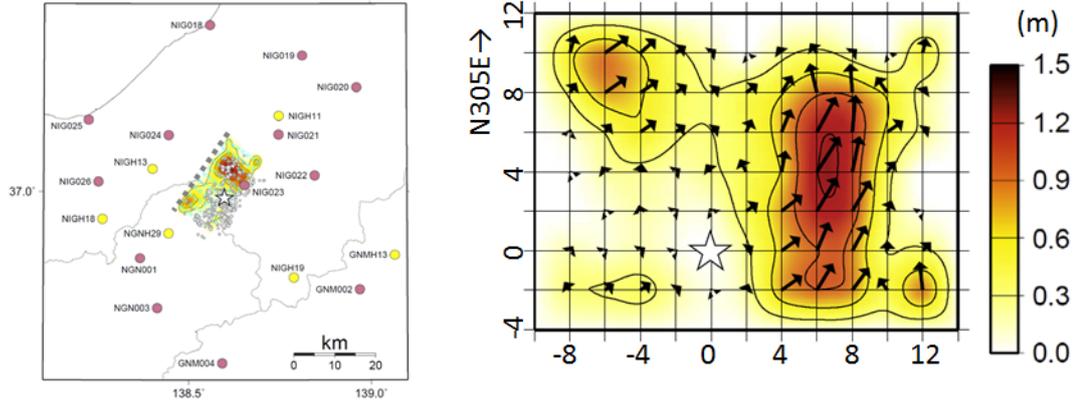


図-5.4.6 長野県北部の地震のGPS変動ベクトル図（鉛直成分）．（国土地理院、2013）

(a) 気象庁, 2012



(b) 秦ら, 2012

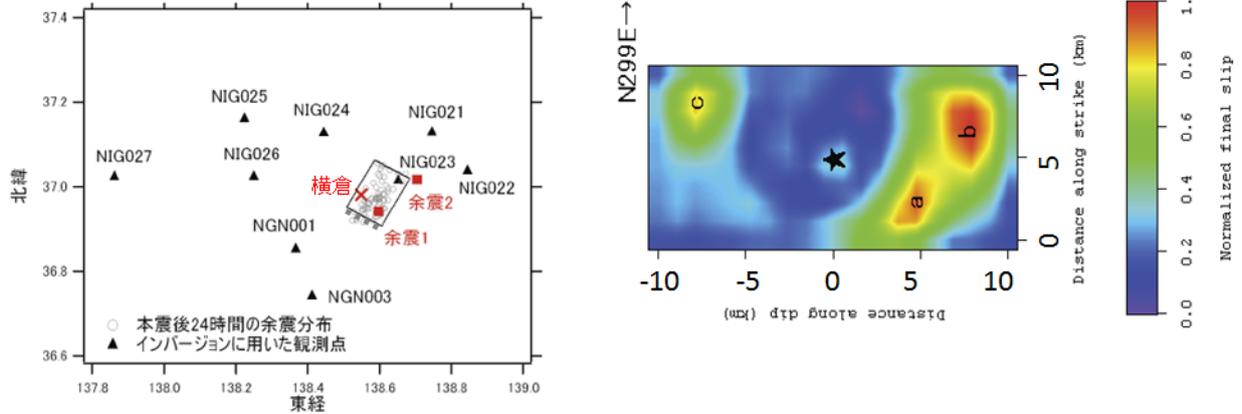


図-5.47 近地強震波形による震源過程解析. 左側に設定した断層面 (点線が断層上端) 及び使用した近地観測点, 右側にすべり分布が示されている. 上は気象庁 (2013c) の解析結果, 下は秦ら (2012) の解析結果.

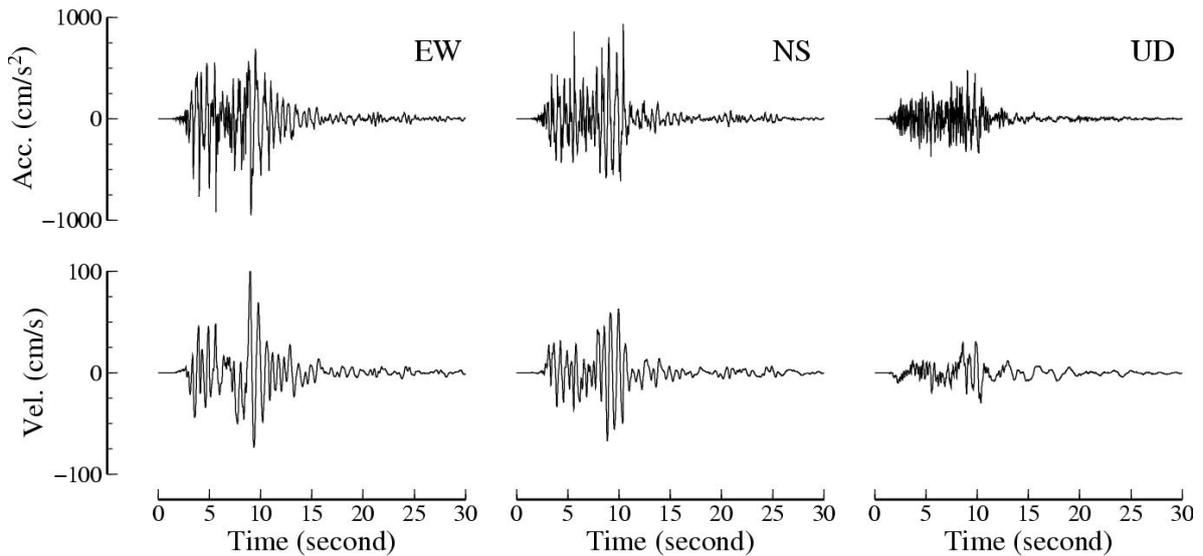


図-5.48 本震時に長野県栄村で観測された加速度波形 (上) と速度波形 (下). 左からEW, NS, UD成分をプロットしている. (山田ら, 2012)

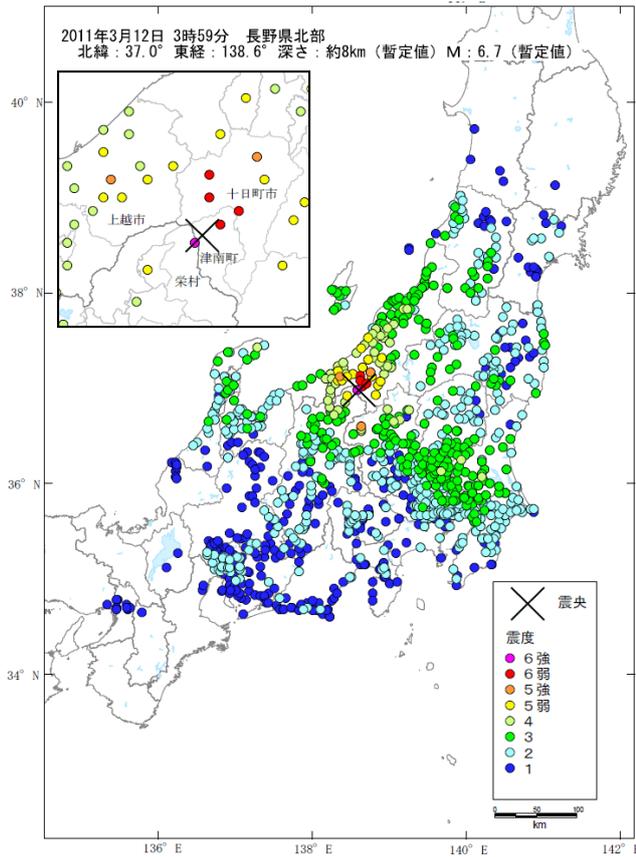


図-5.4.9 長野県北部の地震の震度分布図。(地震調査研究推進本部, 2011)

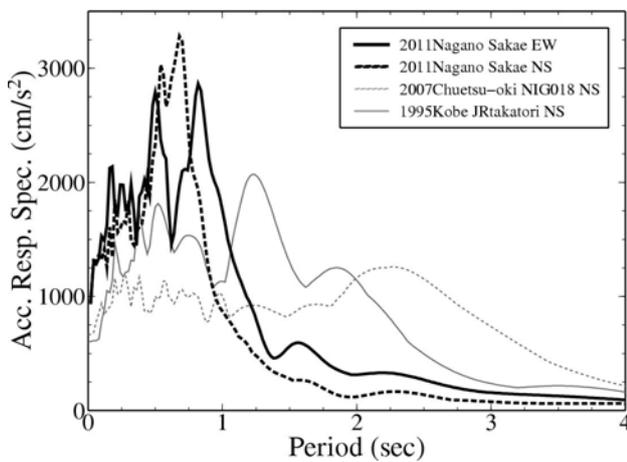


図-5.4.10 長野県栄村で記録された波形の加速度応答スペクトルと、2007年中越沖地震K-NET柏崎、1995年兵庫県南部地震JR鷹取駅で記録された波形の加速度応答スペクトル(すべて5%減衰)(山田ら, 2012)。

#### 5.4.4 栄村村内で推定された地震動

図-5.4.11は長野県栄村と新潟県津南町各集落の木造建物全壊率を示している。特に全壊率が高かったのは、長野県栄村の青倉地区と横倉地区である。このような被

害のばらつきを説明するために、地盤探査などの現地調査が行われ、本震時の地震動が推定されている。

山田ら(2012)は、震源域で高密度の常時微動計測を行い、建物被害の大きかった長野県栄村青倉地区、地震観測記録の得られている長野県栄村森地区の本震時の詳細な地震動分布を推定している。その結果によれば、青倉地区の地震動は観測された地震動よりも大きく、震度7相当であったと考えられる。このようにサイト特性の違いによって増幅された地震動が、青倉地区により深刻な建物被害をもたらした可能性がある。秦ら(2012)は震源近傍の長野県栄村横倉地区で余震観測を行い、余震記録から横倉地区の本震時の地震動を推定した。横倉地区と周辺の地震観測点とはサイト特性が異なっており、本震時には森地区の地震観測点よりも大きな地震動を受けたとしている。計測震度も7相当であったと推定されている。前田ら(2011)は森地区の栄中学校と横倉地区の栄小学校にて微動アレー探査を行い、両者の分散曲線の違いを示した。分散曲線とボーリング資料から推測して、森地区の地盤構造は表層のS波速度200m/s程度の地盤が7m程度堆積したモデル、横倉地区の地盤構造はS波速度100m/s程度の軟弱層が地表から5m程度堆積したモデルを提案している。

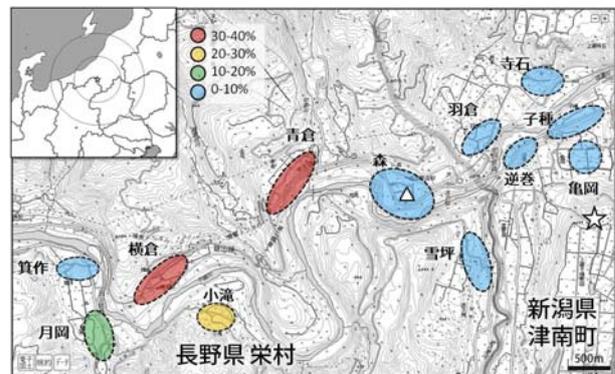


図-5.4.11 各集落での全壊建物(D4以上)の割合。特に被害率が高かったのは青倉・横倉の2地区である。森地区の三角印は地震観測点、星印は震源を示す(山田ら, 2012)。

#### 5.4.5 まとめ

本節では、2012年3月12日に発生した長野県北部の地震の地震・地震動の特徴を紹介した。この地震は長野県北部の新潟県との県境付近で発生し、大きさはM<sub>6.7</sub>、震源の深さは8kmである。最大震度は長野県栄村で6強を観測している。用いるデータによってメカニズムが異なっているため、震源メカニズムの推定は困難であるが、南東傾斜あるいは北東傾斜を支持するモデルが多いよう

である。

長野県栄村で観測された強震波形は、最大速度が110cm/sを超えており、1秒弱の周期帯にピークがあった。この地震動を受けて、特に長野県栄村で木造住宅に深刻な被害が発生した。

長野県栄村の村内の地震動を推定した解析結果が複数発表されており、観測記録を得た森地区よりも被害の大きかった青倉地区、横倉地区は地震動が大きく、本震時に震度7相当の強い地震動を受けたと推定している。

## 参考文献

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: 第四紀逆断層アトラス, 東京大学出版会, 2002.

気象庁: 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), <http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/12d/kaisetsu201103120800.pdf>, 2011年3月12日発表, 2011.

気象庁: 3月12日長野県北部の地震—近地強震波形による震源過程解析(暫定)—<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/sourceprocess/event/201103120359near.pdf>, 2012年6月19日更新, 2012.

気象庁: 初動発震機構解のページ, <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/mech/cmt/fig/cmt20110312035915.html>, 2013年1月10日閲覧, 2013a.

気象庁: 2011年03月12日03時59分長野県北部 M 6.7, <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/mech/ini/fig/mc20110312035915.html>, 2013年1月10日閲覧, 2013b.

国土地理院: 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, [http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi\\_naganohokubu.html](http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi_naganohokubu.html), 2013年1月10日閲覧, 2013.

境有紀, 中村友紀子, 大月俊典, 小杉慎司: 2004年新潟県中越地震で発生した地震動と建物被害の対応性, 日本建築学会構造系論文集 No. 601, 2006年, pp.69-73.

地震調査推進本部: 2011年3月12日長野県・新潟県県境付近の地震に関する情報, [http://www.jishin.go.jp/main/oshirase/20110312\\_nagano.htm](http://www.jishin.go.jp/main/oshirase/20110312_nagano.htm), 2011年3月13日更新, 2011.

東京大学地震研究所: 首都圏強震動総合ネットワーク(SK-net) <http://www.sknet.eri.u-tokyo.ac.jp/>, 2013年1月10日閲覧, 2013.

中埜貴元・小荒井 衛・乙井康成・小林知勝: 2011年3月12日長野県・新潟県県境付近の地震に伴う災害の特徴, 国土地理院時報, No.123, 2012.

長野県危機管理部: 長野県北部の地震による県内への影響について, <http://www.pref.nagano.lg.jp/kikikan/bosai/happyou/201210011500.pdf>, 2012年10月1日発表, 2012.

長野県栄村: お知らせ, <http://www.vill.sakae.nagano.jp/topics/oshirase3.html>, 2013年1月10日閲覧, 2013a.

長野県栄村: 被害状況と復旧状況, [http://www.vill.sakae.nagano.jp/topics/oshirase\\_jisin.html](http://www.vill.sakae.nagano.jp/topics/oshirase_jisin.html), 2013年1月10日閲覧, 2013b.

名古屋大学大学院環境学研究科: 日本列島陸域における誘発地震活動について, [http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/INFO/tohoku\\_20110311/yuhatsu.html](http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/INFO/tohoku_20110311/yuhatsu.html), 2013年1月10日閲覧, 2013.

新潟県防災局危機対策課: 「平成23年3月12日03時59分頃の長野県北部の地震」の被害状況について(第26報), [http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML\\_Article/545/360/26houdousiryou201203091300,0.pdf](http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/545/360/26houdousiryou201203091300,0.pdf), 2012年3月9日発表, 2012.

秦吉弥, 村田晶, 野津厚, 宮島昌克: サイト特性置換手法に基づく2011年長野・新潟県境地震における栄村横倉集落での地震動の評価, 日本地震工学会論文集 12(2), 2\_60-2\_77, 2012.

廣内大助, 松多信尚, 杉戸信彦, 竹下欣宏: 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, 信州大学山岳科学総合研究所, 長野県北部地震災害調査研究報告, 2012年1月27日発行, 2012.

前田寿朗, 木村友彦, 加藤敦士: 2011年長野県北部地震の栄村被害に関連した微動測定結果, 日本地震工学会・大会-2011梗概集, pp.488-489, 2011.

松多信尚, 杉戸信彦, 廣内大助: 2011年3月12日長野県・新潟県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/chihyou\\_110317.pdf](http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/INFO/tohoku20110311/chihyou_110317.pdf), 2011年3月18日, 2011.

山田真澄, 山田雅行, 福田由惟, スマイス・クリスティン, 藤野義範, 羽田浩二: 2011年長野県北部の地震の震源近傍における高密度の地震動推定と木造建物被害との比較, 日本地震工学会論文集, Vol.12, No.1, pp.20-30, 2012.

Boore, D.: Effect of Baseline Corrections on Displacements and Response Spectra for Several Recordings of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91, 2001, pp.1199-1211.