

長野県神城断層地震が提起する 活断層評価の問題

鈴木康弘
渡辺満久
廣内大助

すずき やすひろ
名古屋大学
わたなべ みつひさ
東洋大学
ひろうち だいすけ
但州大学

2014年11月22日、長野県白馬村付近を震源にマグニチュード(M)6.7の地震が発生した。気象庁は2014年長野県北部の地震と呼び、長野県は神城断層地震と名付けた。長野県小谷村などで最大震度6弱(白馬村で震度5強)が記録された。この地震は、①政府の地震調査研究推進本部により110の「主要活断層」が定められて以来、初めてそのうちのひとつである糸魚川-静岡構造線(糸静線)が活動して起きたものである。②震源断層面が浅いために局地的に震度7に近い揺れが発生した可能性があり、白馬村神城・堀之内地区では甚大な被害が生じた。③地表のずれ(地表地震断層)は、既存の活断層地図で示された場所に出現した。しかし、④糸静線のごく一部が小規模に活動した地震であり、政府が予測した地震ではなかった。地震規模が小さく死者は出なかったが、活断層地震の長期評価(発生確率)や防災対策に再考を促す重要な地震であった。

地震断層認定の難しさ

2014年長野県北部の地震(神城断層地震)は、糸魚川-静岡構造線活断層(糸静線)の最北部に位置する神城断層の活動によるものであった。白馬村において、従来から活断層地図に描かれていた神城断層に沿って南北約9kmの範囲で地表地震断層が現れた(図1)。主な変位は糸静線と調和的な東上がりの逆断層であった。

地震発生直後、白馬村北部(北城)の南北約2kmの範囲においては、地震断層の出現が速報された

(写真1, 2)¹⁾。東西方向に延びる道路上に比高50~90cm程度の東上がりの明瞭な崖が出現した。既存の活断層地図の真上であったこともあり、断層運動以外の原因で生じたものではないことが容易に了解された。

しかし、白馬村中部では姫川にほぼ沿う位置に活断層があるため、地震断層のずれがわかりにくかった。飯森付近では、道路上に変形が現れたことが直後にわかったが、道路の西の水田内に撓み上がり(撓曲)が生じていることが確認されたのは数日後だった(写真3)²⁾。白馬村南部(神城)においても、地震の2日後に地震断層が確認された(写真4)。活断層図にその存在が示されていた場所で、水田内に20~30cmの北東上がりの隆起と見かけ上の左横ずれが確認された。さらに1週間後に周辺を測量すると、写真4の地点の南側の水田内にも変形が現れていることが発見された(写真5)。もともと水平だった水田が傾いて、降雨後に水田の片側のみが湛水していた。これらの地域で測量を行うと、両写真の地点ともいわゆる崖としてのずれ量は少ないものの、緩やかに撓み上がる量を加えると変位量は40~50cmに達する。今後さらに詳細な検討が必要であるが、地震断層が2列あるとすれば足し合わせて検討する必要がある。神城における断層変位量は北城のそれに匹敵する可能性もある。神城中部では、東西方向の道路上に東上がり数十cmの段差が生じ、路肩のガードレールは逆断層運動に伴う水平短縮により折り曲げられた(写真6)。

一方、余震活動や地殻変動からは、震源断層は

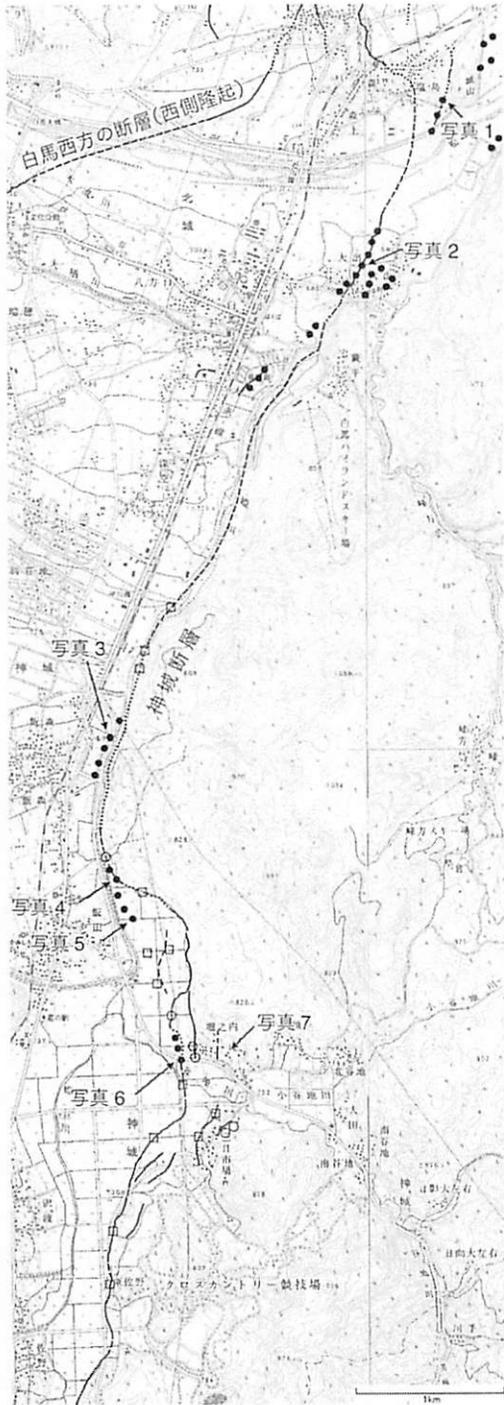


図1—活断層と地表地震断層の対応

●：地震断層確認地点，○：産総研による地震断層確認地点，□：産総研が地盤変状を確認した地点。活断層は糸静線断層帯重点的調査観測変動地形グループ²⁾に一部加筆。実線は位置確定，破線および点線は位置不確定。



写真1—白馬村北城，塩島地区の地震断層(北方を望む，杉戸信彦氏撮影)¹⁾



写真2—白馬村北城，大出地区の地震断層(東方を望む，波辺撮影)

白馬村よりもさらに北方へ約10km近く姫川沿いに延びると推定されるが，ここは地すべり地帯のため，地震断層および活断層を地形調査により認定することは難しい。

以上のように，地震断層の認定は，明瞭な崖が出現すれば容易であるが，撓みを伴う場合には綿密な地形調査を必要とする。地すべりなど，二次的な変状との区別が重要なことは言うまでもない。断層線上のみでなく周辺を含めた地形条件を，変動地形学(地形の成因を総合的に解明する方法論)にもとづいて慎重に考察する必要がある³⁾。

地震直後の航空写真(実体視可能な垂直写真)も重要である。今回は被害程度が大きいと判断されたため，行政機関による撮影は行われなかった。そこで中日本航空に協力を仰ぎ，自前で撮影し



写真3 白馬村飯森地区の地震断層(南方を望む、鈴木撮影)



写真4 白馬村神城北部の地震断層(北方を望む、鈴木撮影)

た⁴。この写真を詳細に判読しながら、地震後に全国の10大学と2研究所の研究者が連携して集中的な緊急調査を行った。晩秋に地震が起きたため、10日後には雪に閉ざされてしまったが、緊急調査によりかろうじて全体像が明らかになった。

こうした状況は、過去の地震断層認定に対して再考を促すものでもある。神城における地震断層の認定は、もともと水平であることが確実な水田が、いわば水準儀の役割を果たしたからこそ可能



写真5 白馬村神城北部の水田の変状(北方を望む、鈴木撮影)



写真6 白馬村神城の道路面の変状(西方を望む、渡辺撮影)
路面に段差が生じ、直後に補修。ガードレールが水平短縮。

になった。数十cm規模の地震断層の認定は、その出現を検知できる好条件の場所でのみ確認できる。筆者らは2004年中越地震においてもこのことを痛感していた⁵。そして過去の地震の際には、そこまで詳細な調査が行われていたかどうかという疑問を感じた。

都市内であれば、こうした地震断層を検出することは絶望的である。1995年の阪神・淡路大震災の際に問題になった「震災の帯」直下の伏在活断層は、その存在は確実であるが、1995年には「明瞭な地震断層を出現させなかった」とされている⁶。しかしそれは「活動しなかった」ことを意味しない⁷。地震断層の検出限界について、十分な考慮が必要である。

政府の長期予測よりも 「ひとまわり小さい」地震

1995年阪神・淡路大震災を教訓に発足した政府の地震調査研究推進本部(地震本部)は、発足直後の1996年に、地震発生予測情報の第一弾として糸静線の評価結果を公表した。その内容は「現在を含めた今後数百年以内に、 $M8$ 程度($M7.5\sim 8.5$)の規模の地震が発生する可能性が高い。しかし、地震を発生させる断層区間(場所)がどこまでかは判断できない」というものであった⁸。今回の地震は、この予測に比べて明らかに「ひとまわり」規模が小さかった。

1995年以降、地震本部が評価対象とした活断層が地震を起こしたことはこれまでなかった。2004年中越地震は、六日町盆地西縁断層およびその北方の小平尾断層が小規模に活動し「ひとまわり小さな地震」を起こした^{9,10}。しかしこの活断層は「都市圏活断層圏」(国土地理院)には明記されていたものの、一般には周知されておらず、地震本部も評価対象としていなかった。2007年能登半島地震と中越沖地震は既存の活断層が起こしたが、海域であったために評価対象ではなかった¹¹。2008年岩手・宮城内陸地震も活断層が認定されていない場所で起きた¹²。このため最近20年間、活断層が地震を起こしても、地震本部は常に「評価対象の地震ではない」と言わざるを得ず、国民の期待に応えられなかった。

こうした中で、神城断層地震は、評価対象の活断層が起こした初の地震として位置づけられる。しかし今回もまた、想定していたものより「ひとまわり小さな地震」であり、そのような地震が起こり得ることについて何も言及していなかったことから、予測が当たったわけではない。この問題は、2010年11月に地震調査委員会が公表した「活断層の長期評価手法(暫定版)」¹³において、改善の必要性が強く提案されてきたことであり、対応が遅れたと言わざるを得ない。

なぜ予測が外れたか

2005~2009年度に地震本部は、糸静線に関する「重点的な調査観測」を実施した。筆者らもこれに加わり、神城断層は3~5m程度の上下変位を過去5000年間に3回繰り返し、発生間隔は概ね千数百年であると評価した¹⁴。こうした評価は、地形に現れている過去の断層活動の累積性に注目する変動地形学的調査と、トレンチ掘削による地質学的調査を組み合わせて行われてきた。

過去5000年間に3回という評価は、トレンチ調査に依存する。そこから発生間隔が推定される。一方、1回のずれは、地形面に現れた断層変位の累積性(平均変位速度)と発生間隔から算出される。こうして算出された3~5mという値は、最も新しい地形面に認められるずれの量とも一致するため、妥当な推定であろうと考えてきた。また断層の長さとずれ量との間の経験式からも、少なくともこの程度のずれは起こるものと考えられた。その結果、マグニチュードも7.5程度になると推定してきた。

しかし今回の地震はこの推定と合わない。今回の地震は例外であるという考えもあるかもしれないが、1mのずれは無視できるほど小さくはない。過去にも同様の活動が繰り返された可能性もあるため、「千数百年に一度、3~5mのずれが起きる」という評価自体を見直さざるを得ない。トレンチ調査において断層活動の回数を少なく見積もっていたか、変動地形調査において、より新しい地形面の変位を検出し損なっていないか、早急に見直す必要がある。

従来想定してきたものは、活断層の全域が本格的に活動する地震であった。活断層ごとに地震規模は決まっている(すなわち活断層ごとに「固有地震」が起きる)ということをも前提にしてきた。確かにそのような大きな地震も起きるが、一方でひとまわり小さい地震も起きる。1995年の兵庫県南部地震も、淡路島西岸においては固有地震であったが、神戸にとってはひとまわり小さな地震であったと

評価されている¹⁵。

これまで20年間の活断層評価は、兵庫県南部地震の反省に立って、M7以上の地震発生が起り得る地域を見つけることに主眼が置かれてきた。活断層を過小評価しないように、地形学的に確認される活断層の長さだけでなく、地下に伏在する断層も含めて評価することにも気を配ってきた。

今回の地震は予測より規模が小さかったことで、防災上、とくに問題ではないとの見方もあるかもしれないが、マグニチュードを過大評価すると、その反動で地震発生確率が過小評価されるという問題がある。すなわち、「1000年に一度だけM7.5の地震が起きる」と考えれば発生確率は低いが、「M6.7~6.9程度の地震が数百年に一度起きる」とすれば発生確率は高まる。規模の大きな地震が希に起こることだけを想定することに対しては、かねてから疑問が投げかけられていた^{16,17}。また、トレンチ調査では地震活動の回数を過小評価しがちであることについても指摘されてきた¹⁸。活断層が実際にどのような地震活動を繰り返しているかについて、不明な点が多いことを再度確認し、地震本部としてどのような地震発生予測を行うべきかについて再検討する必要がある。

上述の報告書(「活断層の長期評価手法(暫定版)」)はこの問題を指摘した上で、「今後は、長大な起震断層(筆者注:地震を起こす活断層)について、活動履歴以外の情報にもとづいて起震断層を分割する方法を検討することが必要である」としている。

堀之内地区に被害が集中した原因

白馬村堀之内地区の被害は甚大だった(写真7)。なぜここに被害が集中したかについて、軟弱な地盤の存在を指摘する意見が開かれるが、ここは断層の上盤側(隆起側)で段丘化しているため、その可能性は低い。断層より西の神城盆地の中央部では2.8万年前のAT火山灰が深度53m付近にあり¹⁹、その上を砂やシルトの細粒堆積物が厚く覆うが、堀之内地区は2万~3万年前にはすでに離水している(その後は洪水の影響を受けない)ため、少な



写真7—白馬村神城、堀之内地区の家屋被害(東方を望む、鈴木撮影)

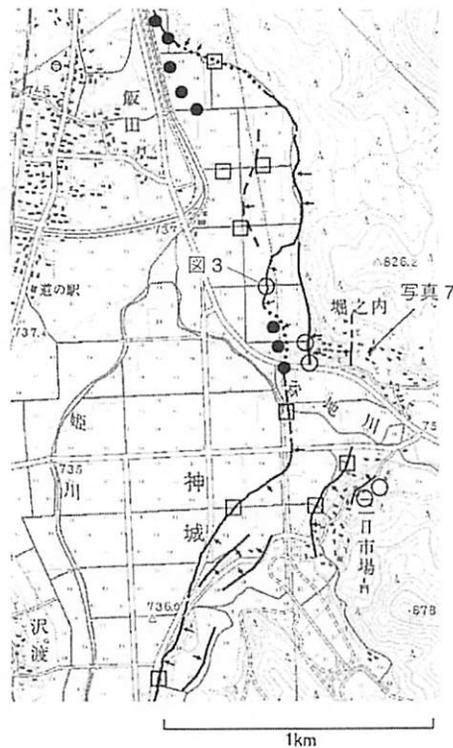


図2—神城、堀之内地区周辺の活断層
矢印は撓曲の向きを示す。その他の凡例は図1と同じ。

くともこの時期以降の細粒堆積物は堀之内地区にはない。

また、軟弱地盤の影響であれば、神城断層の低下側(神城盆地内)で、より被害が大きくなるはずであるが、そこでは家屋に目立った被害はなく、墓石の倒壊も少ない。甚大な被害は上盤側に限られ、

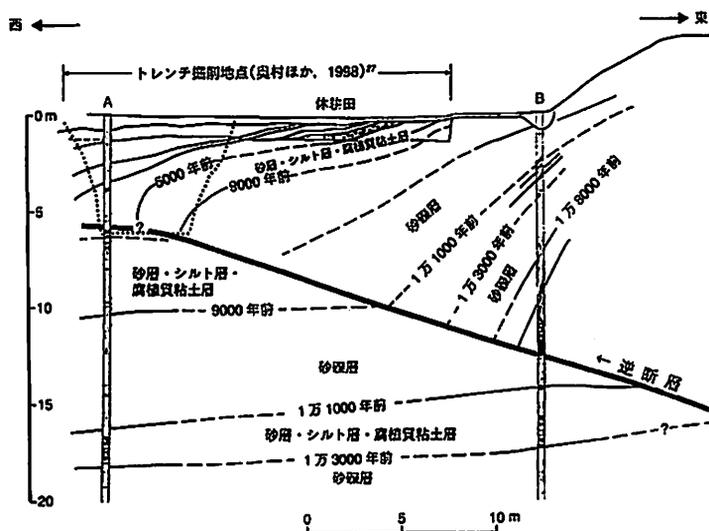


図3—神城盆地の断層構造(堀之内より数百m西方地点)
今泉・他²⁴⁾を簡略化。図中の「年前」は yr.BP で1950年を基点にした放射性炭素測定年代を示す。

しかも神城断層に近接した地域に集中している。

神城断層の活断層地図は、1999年に国土地理院から都市圏活断層図^{20,21)}として刊行され、その後、糸静線断層帯重点的調査観測変動地形グループが2007年にこれを改訂している^{22,23)}。今回の地震断層の出現地点は、ほとんどの箇所と一致し、とくに後者との整合性が高い。しかし後者もなお不十分な箇所があることが、様々な年次に撮影された航空写真を地震後に改めて判読し直すことで判明した。

神城(堀之内地区)周辺の活断層分布図(最新版)は図2に示す通りである。神城盆地の東縁を限る断層は複数あり、このうち少なくとも数列は今回の地震時にずれを生じた。図3は、掘削調査により判明した最も西側に位置する神城断層の断面で、低角逆断層の特徴を示している²⁴⁾。東寄りの活断層は堀之内地区に接している。この断層も断面が東に傾斜する逆断層であることから、堀之内地区の直下の浅部に地震断層面があることになる。さらに集落内に逆向き(西側隆起)の副次的な断層も認められ、堀之内地区は図4に示されるような複雑な変形帯に位置する可能性が高い。

一方、さらに南方の三日市場地区にも活断層が数列分布する。集落の西側(神城盆地側)に東側隆起の逆断層があり、集落の東に逆向き(西側隆起)の副次的な断層を伴う。三日市場集落は、両者に挟ま

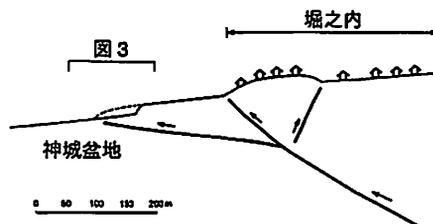


図4—神城盆地の模式的東西断面(推定図)
地形起伏のみ鉛直方向に5倍誇張。

れてポップアップした高まりの上に立地している。産業技術総合研究所は、逆向き断層に沿って地表のずれが生じていることを報告している²⁵⁾。この断層は副次的なものであるため、これが動いたからには主断層(東側隆起)も当然活動したものと判断される。今回の地震による三日市場地区の被害も甚大だった。

以上のことから、堀之内地区や三日市場地区に被害が集中した原因は、第一義的に逆断層の上盤側に発生した激しい揺れにあったと考えられる。複数の断層からなる複雑な構造も、要因になった可能性がある。また、堀之内地区の北方の山地斜面には古い地すべり地形も見られ、堀之内集落が載る段丘は地すべり起源である可能性もある。そのため地盤が不安定であったことも被害拡大に効いている可能性がある。

堀之内地区の被害は驚愕に値する。家屋倒壊率

は優に3割を超え、震度7相当であったと思われる。地盤に亀裂が入って倒壊した家屋もあるが、墓石が激しく破壊されている様子は、激しい地震動が起きたことを証明している。気象庁は、計測地震計のみの記録を発表する方針であるようだが、それでは局地的な被害の検証に対応できない。被害集中の原因を議論して対策を講ずるためにも、震度7認定が行われないことの弊害は大きい。

「新編 日本被害地震総覧」²⁹⁾によれば、1714年の信濃小谷地震の際にも堀之内地区の被害は甚大で、「48戸潰れ、死者14名」とされる。この時にも神城断層が活動し、今回の地震は300年ぶりの活動であったかもしれない。300年前の地表地震断層の痕跡の有無を確認し、それと今回の地震断層を比較することは今後の課題のひとつである。

本研究は文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地盤火山観測研究計画」の支援を受けました。

文献

1—廣内大助・他:「2014年11月22日長野県北部の地震(長野県神城断層地震)に伴う地盤変位と活断層」, 活断層研究, 41号, I(2014)

2—勝部垂夫・他:「2014年長野県北部の地震——神城盆地周辺の地表地震断層」, 活断層研究, 41号, v(2014)

3—渡辺清久: 土地の「未来」は地形でわかる——災害を予測する変動地形学の世界」, 日経BP社(2014)

4—鈴木康弘・他:「2014年長野県北部の地震による地変——発生直後の航空写真による観察」, 活断層研究, 41号, III(2014)

5—鈴木康弘・渡辺清久:「新潟県中越地震に見る変動地形学の地震解明・地震防災への貢献——地表地震断層認定の本質的意義」, E-Journal GEO, 1(1), 30(2006)

6—渡辺清久・他:「神戸・芦屋・西宮市街地の活断層と兵庫県南部地震に伴う震災の帯」, 地形, 18(3), 223(1997)

7—鈴木康弘: 活断層大地震に備える, ちくま新書(2001)

8—地震調査研究推進本部地震調査委員会: 糸魚川-静岡構造線活断層系の調査結果と評価について(1996), http://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/41_42_44_itoigawa-shizuo_ka.pdf

9—鈴木康弘・他:「2004年新潟県中越地震の地表地震断層」, 地学雑誌, 113(6), 861(2004)

10—渡辺清久・他:「変動地形に基づく2004年中越地震の断層モデル」, 地震, 58, 297(2005)

11—鈴木康弘・他:「原発耐震安全審査における活断層評価の根本的問題——活断層を見逃さないために何が必要か?」, 科学, 78, 97(2008)

12—鈴木康弘:「岩手・宮城内陸地震と活断層——「想定外」地震を招いた要因」, 科学, 79, 206(2009)

13—地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会:「活断層の長期評価手法(暫定版)」, (2010)

14—鈴木康弘・他:「平均変位速度分布に基づく糸魚川-静岡構造線断層帯北部の地震発生予測」, 活断層研究, 33, 1(2010)

15—地震調査研究推進本部地震調査委員会:「六甲・淡路島断層帯の長期評価について」(2005), http://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/79_rokko_awaaji.pdf

16—渡辺清久:「地震調査研究推進本部地震調査委員会の活断層評価への疑問(2)——北上低地帯」, 地球惑星科学国際学会2002年合同大会予稿集, J-029(2002)

17—鈴木康弘・熊本洋太:「2003年7月26日宮城県北部地震M6.4が起した地震動予測地図と活断層評価の課題」, 日本地震工学会論文集, 4, 1(2004)

18—島崎邦彦:「活断層で発生する大地震の長期評価:発生頻度推定の課題」, 活断層研究, 28, 41(2008)

19—松多・他: 糸魚川-静岡構造線活断層系北部神城断層の浅部構造と平均すべり速度(浅部反射法地震探査とボーリングの結果)」, 活断層研究, 20, 59(2001)

20—東郷正典・他: 都市圏活断層図[大町]. 国土地理院技術資料, D. 1-No. 368(1999)

21—澤祥・他: 都市圏活断層図[白馬岳]. 国土地理院技術資料, D. 1-No. 368(1999)

22—糸静線断層帯重点的調査観測変動地形グループ:「糸魚川-静岡構造線断層帯変動地形資料集 No. 1 北部(白馬-松本間)」, 32 p, (2007), <http://danso.env.nagoya-u.ac.jp/istl-gls/>

23—鈴木康弘・他:「糸魚川-静岡構造線活断層情報ステーション——Web-GISベースのシステム構築とその意義」, E-Journal GEO, 4, 37(2009)

24—今泉俊文・他:「地層抜き取り調査とボーリング調査による糸静線活断層系・神城断層のスリップレートの検討」, 活断層研究, 16, 35(1997)

25—近藤久雄・他: 第三報地質地震断層緊急調査報告(2)[2014年12月9日], 産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページ(2014), https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/nagano_kenhokubu2014/

26—宇佐美龍夫: 新編 日本被害地震総覧, 東京大学出版会(1996)

27—奥村晃史・他:「糸魚川-静岡構造線活断層系北部の最近の断層活動——神城断層・松本盆地東縁断層トレンチ発掘調査」, 地震第2報, 50, 別冊, 35(1998)