

4. 全体成果概要

本業務では、平成 26 年 11 月 22 日の長野県北部の地震 (M=6.7) (以後、平成 26 年長野県北部地震) の発生を受け、この地震の地震像解明と周辺の地殻活動状況の把握と糸魚川-静岡構造線断層帯 (以後、糸静線) 北部における地震規模および長期的な発生時期予測の向上を目的とした。以下に示す 2 つのサブテーマを設定し、調査観測研究を行った。

(1) 活断層の活動区間を正確に把握するための詳細位置・形状等を解明するための航空レーザ測量・地殻変動解析・地震活動解析・反射法地震探査・湖底地形調査。

(2) 断層活動履歴や平均変位速度の解明のための群列ボーリング調査・トレンチ調査・音波探査・ピストンコアリング調査。

本業務は単年度実施であったため、既存の成果を最大限活用することを意識し、かつ各調査の連携を図りつつ調査を行った。以下に各調査の研究成果の概要を示す。

(1) 活断層の活動区間を正確に把握するための詳細位置・形状等の調査

・航空レーザ測量

地震断層の位置・性状と平成 26 年長野県北部地震の変位量の把握を行うため、航空レーザ計測および地震前の数値地形モデルを用いた差分解析を実施した。その結果、既に報告されている地震断層上にて明瞭な地震時変位が認められた。解析誤差を上回る有意な上下変位 (0.2 m 以上) は、長野県北安曇野郡白馬村塩島～堀之内で認められた。一方、上下変位が認められる範囲の南北延長部に東西方向の水平短縮が生じていることが示唆された。東西方向の水平短縮が生じている場所について、北延長部は姫川に沿って長野県北安曇野郡小谷村千国よりさらに北へ、南延長部は青木湖まで認められる。これらのことから、上下変位は塩島～堀之内間で生じ、地表踏査による地震断層出現区間と一致する。一方、上下変位を伴わないものの水平短縮が及ぶ範囲は地震断層出現区間を大幅に超え、千国～青木湖の南北約 20 km 以上となる。これら水平短縮が認められる区間は、干渉 SAR の結果や地震波インバージョン・余震分布による震源断層域とも調和的である。また本手法では、上下と水平 (南北・東西) の 3 成分に分離することで、より詳細な地震時変位の特徴を捉えることができた。

・地殻変動解析

GNSS 観測データの解析および合成開口レーダーの干渉解析により、平成 26 年長野県北部地震に伴う地殻変動の全容を明らかにした。震源付近では、最大で約 90cm の衛星視線方向変位や断層の地表変位に対応する地殻変動パターンを見出した。この地殻変動データを逆解析して断層モデルの推定を行った結果、この地震の主たる震源域は高角で東傾斜する逆断層であり、地表付近では低角の逆断層に破壊が伝播したというモデルで説明可能であることがわかった。従来、地震間の地殻変動分布からは、神城断層では低角の断層が深さ 2.5km 付近までクリープしていると考えていたが、今回の地震はこのクリープしている断層で区切られた下盤内で破壊を開始しており、その準備過程を地表付近の観測データから推定することは大変困難であると推測される。

・地震活動解析

2014年11月に発生した長野県北部の地震の発生前後の地震活動解析を実施した。絶対走時データに加えて、相対走時差データも使用してDD法を適用することで計1608個の地震を再決定し、震源断層の分布・形状を推定した。

・反射法地震探査

長野県北安曇郡白馬村三日市場および堀之内を通り平成26年長野県北部地震により出現した地表地震断層、従来から指摘されていた糸静線活断層帯北部の神城断層、その東側に位置する大峰帯、この3つの構造を横断する約4.2kmの測線において、反射法地震探査を実施した。得られたデータを詳細に解析および解釈し、平成26年長野県北部地震に伴う地表地震断層位置よりもさらに西側の地表下100m程度に先端を持つ糸魚川-静岡構造線活断層帯北部の主断層と考えられる東傾斜の活断層の可能性を明らかにした。この活断層は、地表下100~450mまでは約30°の東傾斜であるが、地表下450m付近ではほぼ水平なジオメトリへと変化し、2014年の地表地震断層および既知の神城断層の深部延長と地下約450mで収斂すると考えられる。そして、さらに深部へ約30°の傾斜で連続するとみられる。また、測線東部では、小谷-中山断層が約65°の東傾斜で深部に連続していることから、糸魚川-静岡構造線活断層帯北部の主断層は、小谷-中山断層とも地下2km程度で収斂すると考えられる。

・湖底地形調査

平成26年長野県北部地震に伴う地表地震断層出現位置のさらに南側に位置する青木湖において、湖底地形調査を実施した。まず、地表地震断層の有無を検討するためにサイドスキャンソナーを用いた地形計測を行い、さらに地震前の湖底地形との比較(差分)を行い、地震に伴う変位の有無を検討した。その結果、測深機器の分解能・検出限界を超える有意な地表地震断層は湖底には現れておらず、差分結果においても断層変位に伴うと考えられる変位は認められなかった。このことから、平成26年長野県北部地震の際には青木湖に位置する活断層は地表に有意な変位を与えていないと推定される。

(2) 断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測

・群列ボーリング調査

神城断層上盤側で断層を貫く掘削長40mおよび45mの2本のボーリングコアを掘削し、CT画像撮影、岩相・傾斜の記載および¹⁴C年代測定を行った。掘削したコア試料の層序と年代と既報の地下層序を用いて神城断層近傍における極浅層部の地下地質・地下形状を把握した。その結果、古い地層ほど上下変位量が大きく、変位の累積を確認することができた。また、コア堆積物の岩相や傾斜の明瞭な変化を示す層準と¹⁴C年代測定値に基づいて2本のコアの断層位置を推定した。断層は30°程度の傾斜を有し、表層付近で低角化することが推定できた。さらに、断層変位基準となる地層の年代と上盤側と下盤側での比高に基づき、神城断層の過去1~3万年間の上下変位速度を推定した。過去1万年間の上下変位

速度は 1.2～1.4 mm/年、過去 2 万 5 千～3 万年間の上下変位速度は 1.6 mm/年以上と見積もられた。

・トレンチ調査

平成 26 年長野県北部地震の地表地震断層の 2 個所でトレンチ掘削調査を実施した。北部の大出地点では、逆向き低断層崖の低下側にトラップされた細粒堆積物に低位段丘構成礫層が衝上する断層が露出した。壁面観察と年代測定の結果、1,500 年前～1,200 年以降に平成 26 年地震を含めて 3 回～4 回の断層活動が認められた。南部の飯田地点では、完新世の扇状地性堆積物と 400 年前以降の姫川の河川性堆積物を切断する断層帯が露出し、5,300 年前～2,500 年前以降 5 回の地震イベントが見いだされた。両地点とも平均活動間隔は 1,000 年を下回る可能性がある。平成 26 年長野県北部地震に先行する活動は、両地点ともに 300 年前以降に発生しており、歴史地震等を考慮すると、1714 年（正徳 4 年）の小谷地震（M6 1/4）である可能性が高い。その場合、最近 2 回の活動間隔は 300 年となり、上記の平均活動間隔よりも有意に短い。古地震時の変位量に関しては、大出地点では平成 26 年地震では撓曲変形のみであったのに対し、先行する断層活動では露出範囲で上下 1 m 以上の断層変位が確認された。2014 年地震では航空レーザ計測差分解析から 80cm の上下変位とわかっており、同等かそれ以上であったと考えられる。飯田地点でも平成 26 年長野県北部地震と同等かそれ以上の地震時変位量の証拠が断片的に露出した。これらのことから、神城断層の活動間隔と変位量は一定ではなく、変動していることも考えられる。現時点のデータからは、2014 年地震は地表変位を生じる地震としては最小規模のものであった可能性が高い。

・音波探査・ピストンコアリング調査

神城断層が分布する青木湖において、湖域の活構造の把握および過去の地震活動を検出するために音波探査とピストンコアリング調査を行った。その結果、音波探査断面では累積的な断層変位が認められ、ピストンコアリングでは湖成堆積物中にイベント堆積物（テフラ、タービダイト）が認められた。これらデータを組み合わせて、湖域内の反射断面に年代値を与えて、音波探査断面で読み取れる変形イベントの活動時期を推定した。得られた変形イベントは 1.2 万年間で少なくとも 8 回あり、その平均的な活動間隔は約 1350 年となった。ただし、最近数回は短い活動間隔（1000 年未満）を示している。