

新潟県中越地震のメカニズム解明に挑む

現地調査とデータの解明から 地震災害の軽減につなげる

2004年10月23日17時56分に新潟県の中越地方で起こったマグニチュード6.8の大地震は、新潟県小千谷市で震度6強を記録したのをはじめ、甲信越地方を中心とする各地で強い揺れを感じさせた。被災地に大きな犠牲と傷跡を残し、その後も続くマグニチュード5クラスの余震が生活する人々を苦しめている。

産総研では、10月25日から活断層研究センターの緊急調査チームを現地へ派遣し、今回の地震に関係する情報を収集している。これまでに得られた数々の情報から、今回の群発地震がどのようなメカニズムで起きたのかがわかってきた。活断層による地震発生のメカニズムを解明し、災害の軽減に結びつけるための努力が日々続けられている。

活断層による現地調査から得られた様々な情報は、地質調査総合センターのウェブページ(下記)で、随時公表している。
http://www.gsj.jp/jishin/chuetsu_1023/index.html

地震の震源と地質構造

今回の一連の地震は、魚沼丘陵と呼ばれる地域の地下約5～20 km程度で発生している。「魚沼丘陵」は、信濃川の東側に沿って幅15～20kmで北北東-南南西方向に連続している丘陵地全体を指している。

この丘陵は大きく二つに分かれ、魚野川の北側を東山丘陵、南側を魚沼丘陵と呼んでいる。2つの丘陵の

東側には越後山地が分布し、丘陵と山地の間には六日町盆地と呼ばれる北北東-南南西方向の低地が形成されている(図1)。東山丘陵・魚沼丘陵には、新第三紀及び第四紀地層が数kmの厚さで分布している。これらの地層は、今から約200万年前までの間に、西北西-東南東方向からの圧縮応力を受けて形成された逆断層の活動により褶曲した(図2・図3)もので、現在も成長を続けるこれらの褶曲構造は、活褶曲と呼ばれている。

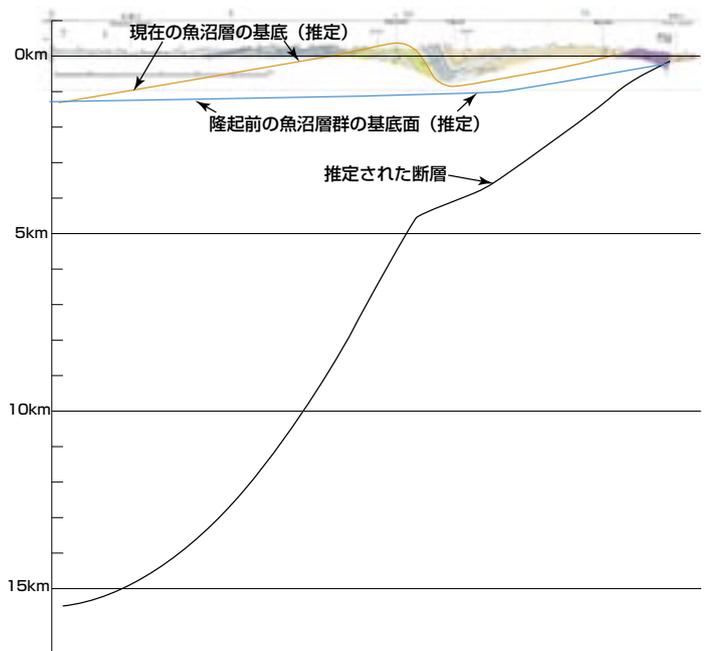
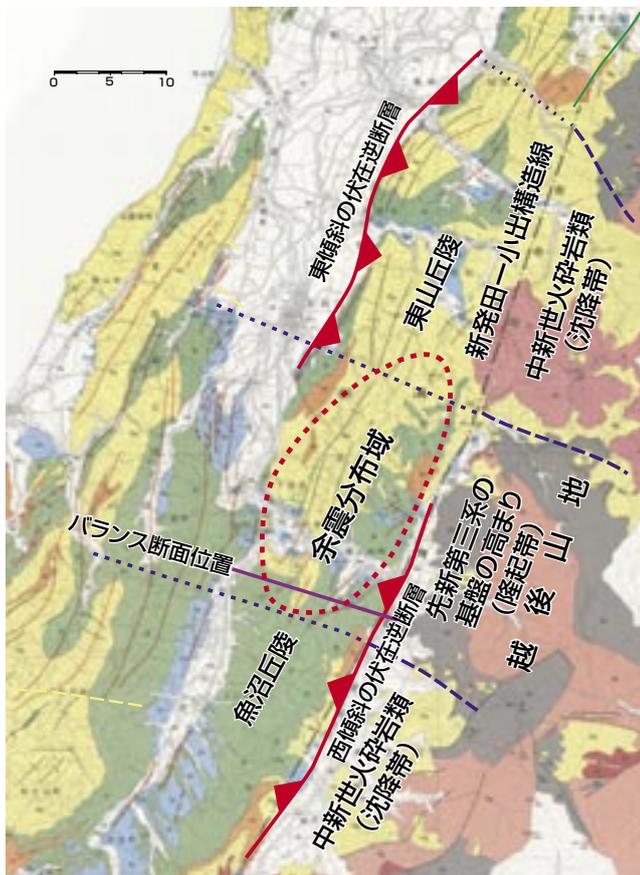


図1 地質構造解析図(左)と断面構造推定図(上)

魚沼丘陵の地質断面図から、魚沼層群の褶曲構造と魚沼丘陵隆起前の魚沼層群の形態を推定し、バランス断面法を用いて、丘陵下の断層の形態を求めた。この図は1つの可能性を示すもので、分岐断層が存在すれば断層の形態も異なってくる。

左図：20万分の1「信越地域活構造図」を基図として、岡村・柳沢・高橋が作図
 上図：5万分の1地質図「小千谷」の魚沼丘陵の地質断面図を基図として、岡村が作図

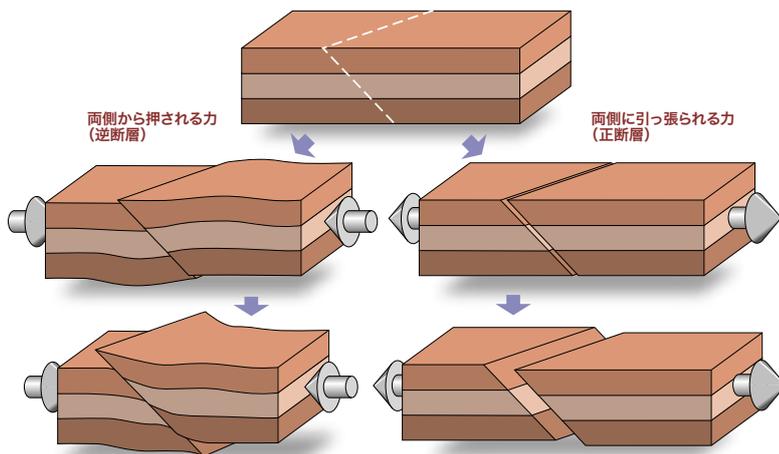


図2 逆断層と正断層

今回の地震の発生に大きく関連を持つと思われるのは、左側の逆断層

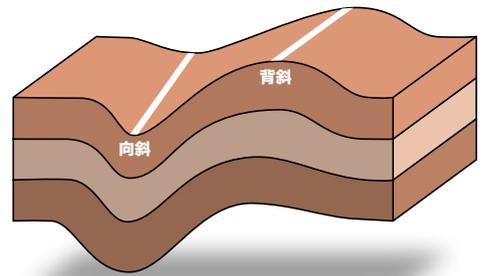


図3 地層の褶曲構造における向斜と背斜

圧縮応力（図の左右から中心に向けて押し縮める力）を受けて撓んだ地層で、下側に凹むように撓んだ構造を向斜、上側に凸状に撓んだ構造を背斜と呼ぶ。図中の白線部分を褶曲軸（向斜軸・背斜軸）と呼ぶ

今回の新潟中越地震は、この丘陵の下で発生していることから、丘陵を隆起させてきた地殻変動の一つであると考えられる。

東山丘陵・魚沼丘陵と越後山地の境界は「新発田-小出構造線」と呼ばれ、六日町盆地から新潟県北東部の新発田付近まで連続している。この断層は2000-1500万年前に日本海が拡大する際に形成された、丘陵側（北西側）が沈降する正断層（図2）で、陸域と海域の境界だったと考えられる。約200万年前、東西圧縮応力が強くなることによって、かつての正断層が逆断層として再活動し、その運動によって丘陵が隆起してきたと考えられる。東山丘陵・魚沼丘陵に分布する新第三紀の地層は大きく褶曲しているが、褶曲構造の特徴は場所によって大きく違う。最も南側の魚沼丘陵は比較的単純な背斜構造（図3）で、背斜の東側の地層が急傾斜していることから、西傾斜の逆断層運動によって隆起したと考えられる。一方、長岡市街の東方から北側の東山丘陵を形成する背斜構造は西側の地層が急傾斜していることから、東傾斜の逆断層が伏在している可能性が高いと考えられる。

特にこれらの境界では褶曲の数が多く、複雑な地質構造が見られる。越後山地の北西-南東方向の構造境界（隆起帯と沈降帯の境界）の北西延長上では、褶曲軸（図3）が曲がったり不連続になったりしながら連続している。これは、越後山地の基盤構造が地下深部の構造として、北西側に連続していることを示すものである。

今回の震源域は、魚沼丘陵の北部から東山丘陵の南部にまたがり、西傾斜の逆断層から東傾斜の逆断層に地質構造が移り変わる境界部に位置している。その褶

曲構造の複雑さから、震源域の断層の形態も複雑であることが十分考えられる。また、それが多くの余震が発生する一因となっている可能性が高いと思われる。さらに、震源域の南縁と北縁は、越後山地から伸びる北西-南東方向の構造境界線上に位置し、震源域の形成に影響を与えているように見える。

中規模余震が多発する理由

中越地震では、発生直後から、かなり多くの余震が発生している（図4）。これは伏在逆断層運動特有の応力再配分と、この地域の潜在的な中規模断層の多さに関係すると考えられる。

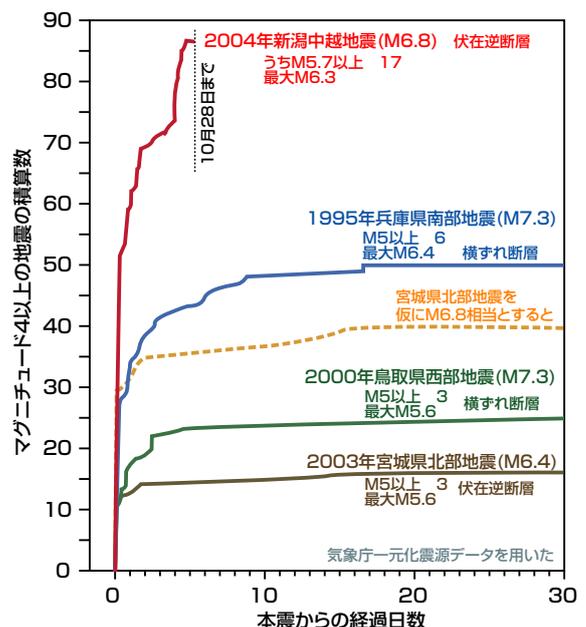


図4 中規模余震が続く今回の地震と、過去の地震との対比

伏在逆断層（図5：中）では、断層による“ずれ”が地表まで明瞭に到達した場合（図5：上）と異なり、歪みが解消しきれない。それどころか、かえって逆断層運動を誘発する地域が増えることになる（図5：中暖色地域）。また、そのような地域で既存の中規模断層が刺激されM5-6の大きな余震が起こる可能性もある（最下図）。今回の地震では、余震分布から本震を起こした断層面がよくみえないことが特徴としてあげられるが、その原因にも影響していると思われる。

現地調査で活断層の実態を追う

産総研の緊急調査チームは、現地で精力的な調査を続け、地表に現れた地震の傷跡から地下の活断層の様子を推測するための情報を集めている（写真1～10）。

現地調査の最中にも余震が起こることから、調査に携わる研究者は「揺れの体験」から地下の様子を推し量ることもある。活断層の現地調査は、地上に残された僅かな痕跡から地下に起こった大きな変位を推測する目的で行われ、地震のメカニズムを解明し、将来の地震発生を予測するために不可欠な作業といえる。

小平尾断層付近における地表変形調査

魚沼市の旧広神村小平尾^{おびろう}で地震に伴う断層の地表変位調査を実施した。広神村小平尾集落を通過している国道352号線の旧道では、消雪パイプが圧縮を受け座屈変形（写真1）や路面の圧縮による変形（写真2）が認められた。これらの変形量（水平短縮）は2-3cm程度と見積もられ、今回の地震によるズレの一部が地表に達した可能性もあると考えられる。



写真1 国道352号線(旧道)の小平尾地内にみられる消雪パイプの座屈変形
数cm程度の水平短縮が生じたものと思われる



写真2 国道352号線(旧道)の小平尾地内にみられる舗装路面の圧縮変形



写真3 畑を横切る逆断層状の変形

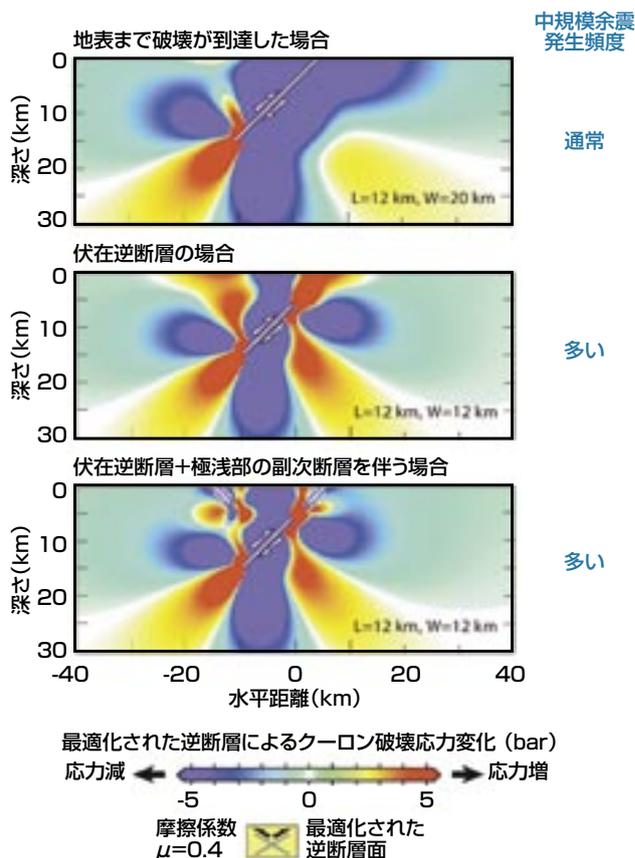


図5 本震後の応力変化（逆断層を胴切りにする断面）

Lin & Stein, 2003 に遠田が加筆・修正して作図

さらにその後の調査では、前回の調査地点の間を結ぶ線上において、畑を横切る逆断層状の変形（写真3）や、道路の短縮変形が断続的に確認できた。

小平尾断層に沿っては、沖積面上で断層に対して斜交する道路が傾動するとともに、逆断層運動と調和的な見かけの横ずれを示していた。ただし、これより一段高い面には目立った変位は認められない。



写真4



写真5



写真6



写真7



写真8

六日町盆地西縁断層帯の北方延長部における地表変形調査

写真4: 集落北東の国道352号線では、路面を横切ってたわみによる段差が生じていた地震の揺れによる不同沈下の可能性もある。

写真5: 写真3の地点の南東約30mの神社北側の地点では、圧縮によるコンクリート製の集水桝の変形がみられた

写真6: 路面の圧縮による変形が認められた。圧縮により盛り上がった側溝の高さは、26日午後3時頃の計測では約12cmだったが、28日午後3時頃の計測では約13cmと大きくなっていた

写真7: 小平尾集落南部の舗装道路では、消雪パイプのコンクリート枠が圧縮を受け跳ね上がっているのが発見された

写真8: 広神村小庭名の国道352号線の旧道では、道路側面のコンクリート水路が圧縮により変形しているのがみられた

ヘリからの観察による地盤災害の概要

写真9: 山古志村南平でみられた既存の地すべり土塊の崩落による流動性の高い地すべり。

写真10: 与板町市街地付近の信濃川河川敷でみられた地盤の液状化による噴砂現象



写真9



写真10

六日町盆地西縁断層帯北東延長部では、前回調査(写真8) 地点の西方延長の水田に、干上がり方の違いからわずかな撓曲(北東側上がり)が推定された。

六日町盆地西縁断層帯北方延長部地表変形調査

六日町盆地西縁断層帯の北方延長部で、長さ約1.7kmの区間に渡って3地域の計5地点で、断層活動によると推定される地表変形が認められた(写真4~8)。

これらの変形量(水平短縮)は、28日午後3時頃の調査時点で最大数cm程度と見積もられ、今回の地震の本震と一連の余震活動に誘発された、小規模な断層活動によって形成されてきた可能性がある。

地盤災害の概要調査

共同通信社の取材ヘリに同乗して、短時間ではあるが空からの観察を中心に、地盤災害の状況調査を実施した。今回の地震では、東山丘陵を中心に既存の地すべり地域で大きな土砂災害が発生した。とくに土砂災害が多かった山古志村では、既存の地すべり土塊が崩落して流動性の高い地すべりとなった事例(写真9)と、既存の滑落崖で山崩れが起こった事例とがみられた。また、信濃川沿いの河川敷や旧河道では、液状化によって噴砂現象があらわれ(写真10)、その北限は少なくとも震央から40km余り離れた寺泊市岩方付近にまで達していることが確認できた。

●問い合わせ

独立行政法人 産業技術総合研究所

地質調査総合センター

E-mail : secr@gsj.jp