

# 新潟県中越地震における地震断層と地表変状の 構造地質学的調査

豊島剛志<sup>1</sup>・小林健太<sup>1</sup>・岩下享平<sup>1</sup>・大塚洋之<sup>1</sup>・佐藤早苗<sup>2</sup>・氏原英敏<sup>2</sup>・  
大川直樹<sup>2</sup>・大橋聖和<sup>2</sup>・和田幸永<sup>1</sup>・小安孝幸<sup>1</sup>・小河原孝彦<sup>1</sup>・山本 亮<sup>4</sup>・  
渡部直喜<sup>3</sup>・立石雅昭<sup>2</sup>・島津光夫<sup>5</sup>

1：新潟大学大学院，2：新潟大学積雪地域災害研究センター，3：新潟大学理学部，4：帝国石油株式会社，  
5：新潟大学名誉教授

## 1. はじめに

2004年10月23日午後5時56分，2004年新潟県中越地震（以下，中越地震）が発生しました。地震の規模を表すマグニチュードは6.8で最大震度7が記録され，甚大な被害が発生しました。我々は，中越地震の本震・余震域周辺地域において，構造地質学的視点から地表変状を観察・調査し，それらの特徴を押さえながら，地震断層探査を行いました。小論では，その結果を報告します。

結果を報告する前に，いくつかの用語（断層，震源断層，震源，震央，地震断層，褶曲，活褶曲，本震，余震）について説明します。まず，断層とは，地球内部に生じた破壊面で，面沿いにずれています。中越地震によっても地表や地下深部に多数の破壊面がずれを伴って生じましたが，それらの多くが地震を引き起こした断層と直接的には無関係な断層です。地震を直接発生させた断層は震源断層と呼ばれます。震源断層沿いには地震時の破壊の出発点である震源があり，その地表への投影は震央と呼ばれています。地震時には，震源から断層沿いにずれ（破壊）が伝播していきますが，そのずれが地表に達することはそれほど多くありません。震源断層のずれが地表まで達し，地表に破壊面として現れたものは地震断層，あるいは地表地震断層と呼ばれます（図1）。また，震源断層や地震断層が第四紀（過去200万年間）に繰り返し活動し，今後も活動する可能性の高い場合，それらを活断層と呼んでいます。簡単に言うと，“生きている断層”です。地表に現れていない（達していない）活断層を，伏在活断層と呼びます。新潟や長岡のような平野部には伏在活断層が多数存在している可能性があります。

褶曲とは，もと平らだった地層や岩盤が力を受けて，波状に曲げられたもの（構造）です。中越地域の丘陵や平野の地下には，約200万年前から

成長し続けている褶曲があります。これらを作る力が中越地震を引き起こしたとも言えます。活褶曲とは，活断層同様，現在あるいは最近（第四紀に）波状に曲げられたものです。傾いた段丘面（段丘面はほぼ水平にできますが，後生的に傾けられたもの）などにより認識され，測地学的手法によって，研究されています。中越地域のいくつかの褶曲が活褶曲として認定されています。

中越地震の本震・余震域周辺には，「新潟トレンド」と呼ばれる北北東-南南西方向に延びて互いに並走し合う，多数の地下構造（断層，褶曲（活断層，活褶曲を含む））が発達しています（図2）。活断層として，六日町盆地西縁断層，小平尾断層，吉野屋断層，悠久山断層，山本山断層，鳥越断層，片貝断層などが言われています。活褶曲として，小栗田原向斜，越路原背斜があります。規模の大きな断層としては，新発田-小出構造線，鋸山断層，板倉山断層などが示されています。規模の大きい褶曲としては，梶屋敷向斜，田河川背斜，小屋柄川向斜，小松倉背斜，下島向斜，田麦山背斜，梶金向斜，金毘羅山向斜，小高向斜，東山背斜，小千谷向斜，時水背斜，渋海川向斜，八石背斜など

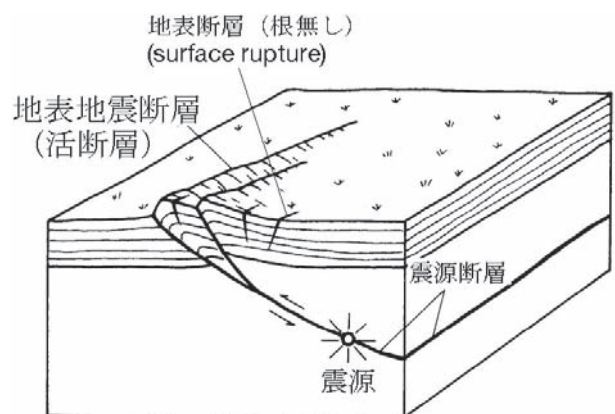


図1 震源，震源断層，地震断層（活断層）の関係（松田，1995：「活断層」の図10に加筆）。

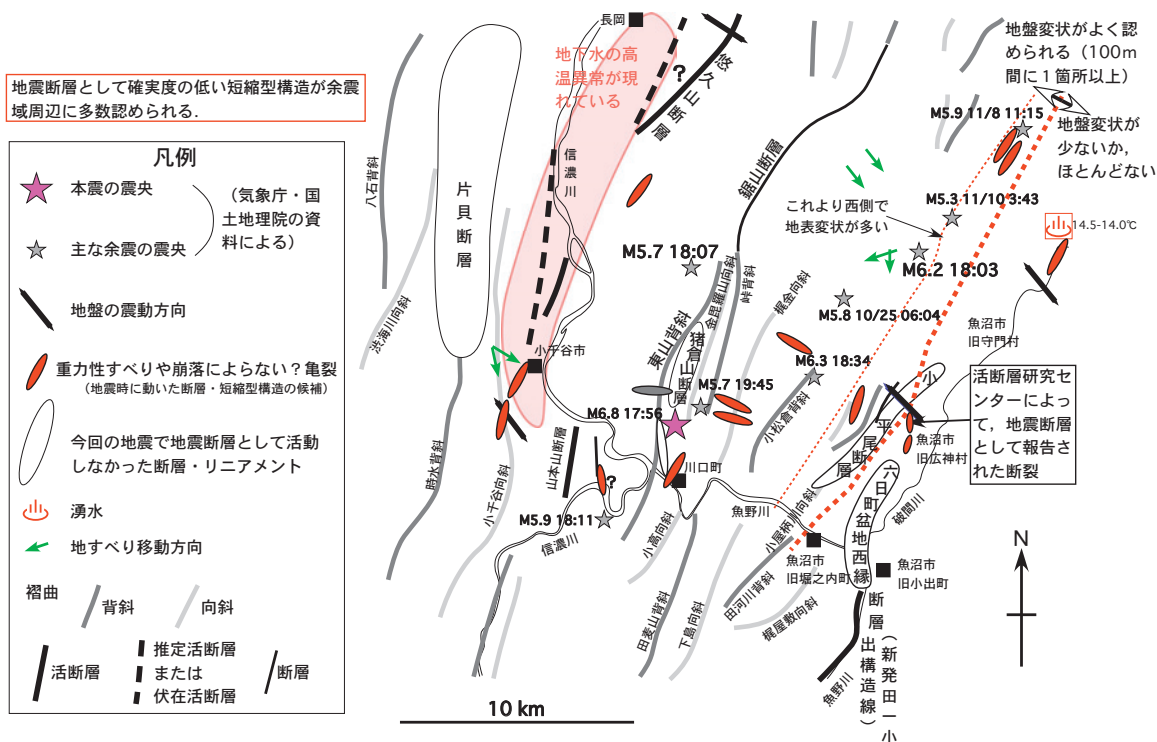


図2 新潟県中越地震の本震・余震域における地下構造と地震断層候補（確実度は低い）の分布。褶曲・断層・活断層の記入にあたっては、柳沢ほか（1986）、小林ほか（1989）、小林ほか（1991）、影山・金子（1992）、新潟県（2000）、堤ほか（2001）、渡辺ほか（2001）、中田・今泉編（2002）を使用しました。

多数が認められています。中越地域の丘陵や平野、盆地といった地形も、これら地下構造と平行に延びており、褶曲や断層の成長によって作られたものです。したがって、丘陵や平野を作る運動が中越地震を引き起こしたと考えることができます。小論では、これら地下構造と中越地震の関係についても言及されます。

続いて、気象庁のホームページの「余震とは何ですか？」（[http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/aftershocks/kiso\\_aftershock.html](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/aftershocks/kiso_aftershock.html)）や、フリー百科事典「ウィキペディア（Wikipedia）」（<http://ja.wikipedia.org/wiki/余震>）を参考にして、本震と余震について説明します。比較的大きな地震が発生すると、そのすぐ後に最初の地震より小さな地震が続発します。この最初の大きな地震を本震、その後に引き続き起こる地震を余震といいます。このような地震活動のパターンを「本震－余震型」といいます。震源が浅い大きな地震は、ほとんどの場合、余震を伴います。本震に匹敵する規模の余震が発生することもあります。余震の回数は数10回から1000回と多様で、余震期間も数日から数ヶ月と地震により違ってきます。余震の原因は、本震時に解放されきれなかったエネルギーが後で放出されるためです。余震は震源域（震源断層）に沿って発生するので余震の分布を見ること

によって、震源断層の形態や、どの断層が動いたかを確定させる事ができます。

## 2. 中越地震の特徴

中越地震の本震は、東山丘陵の南端部に位置しています（図2）。中越地震は、活断層の発達している地域との地域、すなわち、これまで地表で活断層が知られていない地域にあたる東山丘陵内部で発生しました。

中越地震は、中山間地に大きな被害を起こさせたことで特徴付けられますが、地震活動自体の特徴としては、以下の4つが挙げられます。(i) 余震の数が多いこと（図3）、(ii) 大きい余震が多かったこと（震度5以上の強い余震が21回も発生しました）、(iii) 余震の続く期間が長かったこと、そして(iv) 余震の多くが本震の震源断層沿いから外れた場所で起こったことです。

(i)、(ii) や (iii) の特徴を示す地震としては、1943年の鳥取地震と1945年の三河地震が知られています（図3：気象庁ホームページより）。中越地震とともにこれらの地震は、1995年兵庫県南部地震（余震数：約50回）、2000年鳥取県西部地震（余震数：約25回）や2003年宮城県北部地震とは異なった余震活動を示します（図3）。また、

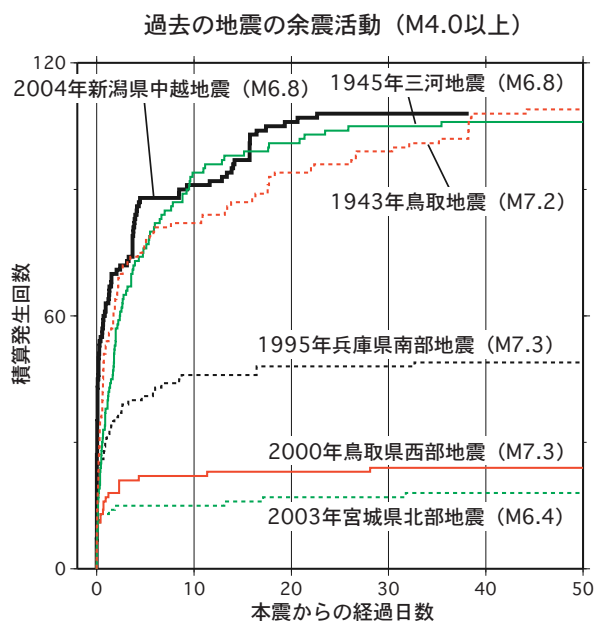


図3 いくつかの過去の地震の余震活動の推移（マグニチュード（M）4.0以上）。中越地震については、11月30日24:00までのデータ。気象庁ホームページ（[http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/aftershocks/kako\\_aftershock.html](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/aftershocks/kako_aftershock.html)）からダウンロード。

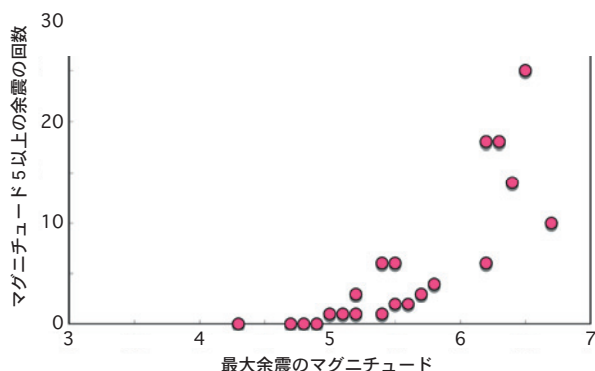


図4 内陸（深さ30 km以浅）で発生した本震（M6.5以上）に伴う余震の回数（2004年11月22日の気象庁報道資料のデータから作製）

内陸（深さ30 km以浅）で発生した本震（M6.5以上）に伴う余震の回数を比較すると、最大余震のマグニチュードが大きいほど、大きい余震を多数伴う傾向があります（図4）。中越地震は、それらの中でも、大きい余震を最も多く発生させた地震です（2004年12月28日までに876回の余震が発生し、震度5弱以上の余震が19回、マグニチュード以上の余震が21回起こりました）。1995年兵庫県南部地震と比較しても、本震後に大きな余震が頻繁に起こって、余震全体の回数も多くなっています（図5）。

（iv）の特徴を別の言い方で説明すると、「本震・

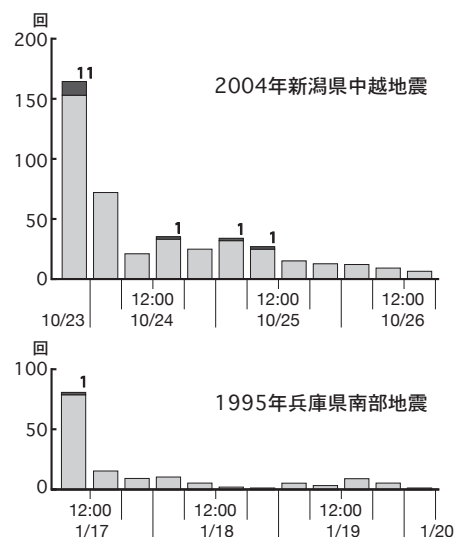


図5 新潟県中越地震と兵庫県南部地震における6時間毎の地震発生回数。黒い部分■は震度5以上の地震の回数（■の肩の数字も）。本震発生直後は最初の6時間を含めました。気象庁のデータを使用。

余震の震源断層として、北北東-南南西方向で傾斜が同じ、もしくは逆の、大小の、複数の断層（断層面）が、相次いで逆方向に動いた」ということです。中越地震の本震は、地震波の解析、余震分布、GPS測量などからみて、西北西に傾く震源断層を境に、上盤（西北西側の地盤）が東南東側に乗り上げて発生したと言われています（気象庁の2004年10月23日報道発表資料など）。余震のいくつかは、これと逆に東南東に傾いた震源断層沿いに、東南東側の地盤が西北西側に乗り上げるようにして起こりました。気象庁が11月8日に発表した報道発表用資料によると、主に3つの断層が動いています。東京大学地震研究所が第160回地震予知連絡会で発表した資料では、4つの断層が動いたとしています。京都大学防災研究所予知研究センター・九州大学地震火山観測研究センターの合同観測班は、第160回、161回地震予知連絡会資料の中で、中越地震では5ないし6つの断層が動いたことを示しました。これらの断層はいずれも、傾斜方向と逆向きに岩盤が乗り上げる断層であり、逆断層と言われます。

以上のような中越地震の特徴は、中越地震の起こり方や原因に関係しています。これらの特徴を生んだ原因として以下のようなことが考えられます。

（A）本震の震源断層が伏在逆断層だったため（遠田，2004；遠田・近藤，2005）：地震による破壊面が地表に到達しなかったため、地下の歪が解消しきれず、本震後の地下深部での力のバランスが



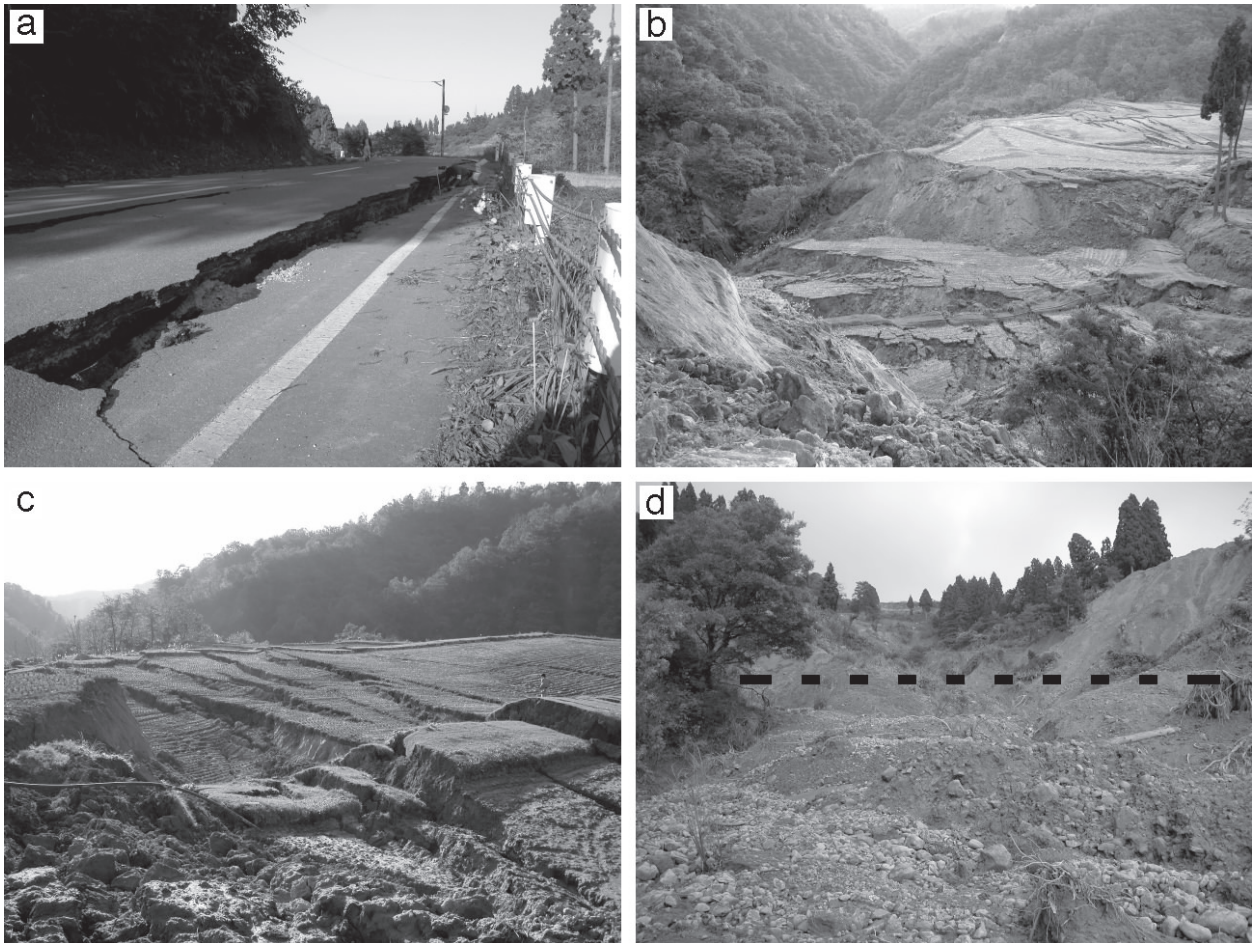


図6 中越地震に伴って発生した地すべりおよび重力性の崩落. a: 栴尾市半蔵金地区の道路をずらす逆断層. b, c: 魚沼市旧広神村の田圃における大規模な重力性の崩落と地すべり. d: 川口町荒谷東方の猪倉山断層付近における大規模な土砂や土塊の崩落

崩れた。このため、地下深部で局所的に力が集中して、震源断層だけでなく周辺の他の断層も動きやすい状況が生まれた。

(B) 規模の大きい余震は“本震”として発生した：上述の資料によると、本震時と規模の大きい余震時とで、違う震源断層が動いたとみなすことができる。言い換えると、規模の大きい余震を起こした震源断層が、あたかも本震のように振る舞い、それぞれ独自に“通常”の数と規模の余震を引き起こしたことが考えられる。したがって、複数の“本震”が引き起こした余震の総和は、“通常”の余震の数と規模から大きくかけ離れてしまった。地下に複数の中規模断層が存在すること、地下構造が複雑であることが理由であるかもしれない（遠田，2004；岡村・柳沢，2004；遠田・近藤，2005 など）。

(C) 未成熟な断層活動：これまで地表で活断層が知られていない場所での破壊現象。できたばかりの断層による地震だったので、地震による破壊が広い範囲に分散した。すなわち、1つの断層に集中して破壊が起こらなかった。

これらの特徴や特徴を生んだ原因は、中越地震による地表変状とどのように関わっているか、地表変状からみてどれが妥当か、を考えたい。しかし、まずは、中越地震による地表変状を概観し、本震・余震域の大規模地下構造との関連性を述べよう。

### 3. 中越地震に伴う地表変状と地震動災害

中越地震によって、亀裂、陥没、隆起、地すべり、崩落、噴砂など、様々な地表変状が生じました。これらのほとんどが地震動（地震の揺れ）に伴った破壊や重力性の構造です。重力生の構造とは、重力によって高い方から低い方に物体が動くことで生じた構造です。地震の揺れによる亀裂に沿ってすべり落ちた岩盤もその例です。中越地震では、重力性の崩落、地すべりに伴って形成したと考えられる西傾斜の逆断層も認められます（図6a）。過去の断層面を使い、地震に伴って大規模な地すべりが発生している場合もあります（図6b, c）。



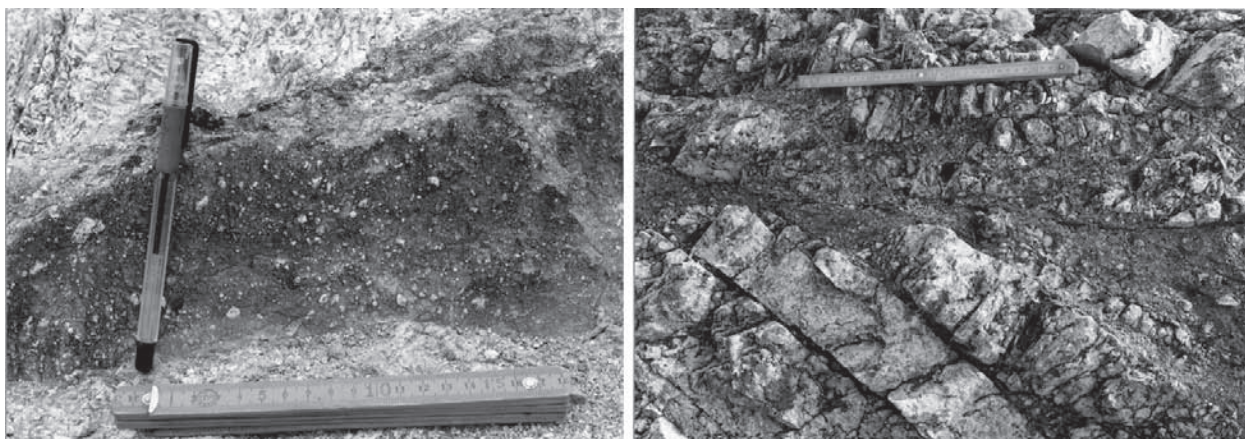


図7 新発田 - 小出構造線沿いの花崗岩起源の脆性断層岩

小千谷市街にも様々な地表変状が形成されました。その詳細については、本報告書に掲載の「2004年新潟県中越地震に伴う小千谷市街周辺の地盤変状（岩下ほか）」をご覧ください。ここでは、岩下ほか（本報告書）の概略を説明するにとどめます。小千谷市街の変状には、亀裂、重力性滑動（表層地すべり）、噴砂・陥没、マンホールの隆起（抜け上がり）、電柱の傾動、西北西 - 東南東方向の高速短縮（変位）などがありました。これらの変状は、1 - 2 kmの幅を持って、北北東 - 南南西に延びる複数のゾーンに集中しています。これらの延びの方向は、本震・余震分布や震源断層の延びの方向と平行です。岩下ほか（本報告）は、これらと地形的特徴、リニアメントとの関連を述べ、小千谷市街中央部に北北東 - 南南西方向に延びる伏在活断層を推定しています。これは、本震の震源断層に連なる可能性は低いかもしれませんが、小千谷市街における強振動を引き起こしたと考えられます（岩下ほか、本報告書）。

#### 4. 中越地震本震・余震域の地下構造と地表変状、震源断層

主な地下構造（大規模断層、活断層）周辺における地震断層の探查結果を以下に示します（図2）。本調査は、中越地震によって、主要な地下構造が動いたかどうかの確認の意味もあります。

##### 1) 新発田 - 小出構造線

###### (1) 破間川中流域（魚沼市旧守門村長鳥南方）

破間川中流域の河岸、新発田 - 小出構造線沿いには、粉碎・破砕された花崗岩（主にカタクレーサイトと呼ばれる脆性断層岩類）が幅数 100m の幅で分布しています（図7）。西側の第三紀層との

境界断層は露出していませんが、断層岩類や花崗岩の中に、中越地震の際に再活動・再変形した形跡や、地震断層と判断される新しいすべり面は認められませんでした。断層岩類を被っている段丘礫層や不整合面の変位も見つかっていません。したがって、新発田 - 小出構造線沿いの古傷（断層岩類）は地震時に動かなかったと結論されます。なお、この地点における段丘面形成後の累積変位は、存在しないかどうかです。

##### (2) 魚沼市旧守門村長鳥～西名地域

長鳥東方の段丘面上の農道において、アスファルト舗装の破壊とコンクリート製側溝の湾曲が観察されました（図8a, b）。アスファルト舗装には、北西 - 南東、北東 - 南西、南北、東西などの方向に亀裂が形成され、それらに境された舗装ブロックが北西および南東に水平変位しています（図8a, b）。これらは、表層だけが動いており、地震時の震動による地表変状と考えられます。

守門村西名南部の道路と畑において、N30° - 35° E 方向の亀裂と N45° - 50° E 方向の亀裂が雁行配列をして、亀裂帯を形成しているのが観察されました（図8c）。亀裂帯は N30° - 35° E 方向に延びて、左ずれを示していました。現地の地形や斜面方向（北側に下っている）からみると、左ずれを示すこれらの亀裂が地震時の重力性崩落や地すべりによって形成されたとは考え難いものがあります。なお、この変状が観察された地点は、新発田 - 小出構造線が通過する位置にあたります。

##### (3) 本震・余震域周辺地域における消雪井戸地下水の変化と、魚沼市旧守門村西名東部の湧水

中越地震に伴って、本震・余震域周辺地域では広い範囲で、消雪井戸の地下水に変化が生じました。また、魚沼市旧守門村西名東部では、地震に伴って新発田 - 小出構造線上に湧水が生じました。



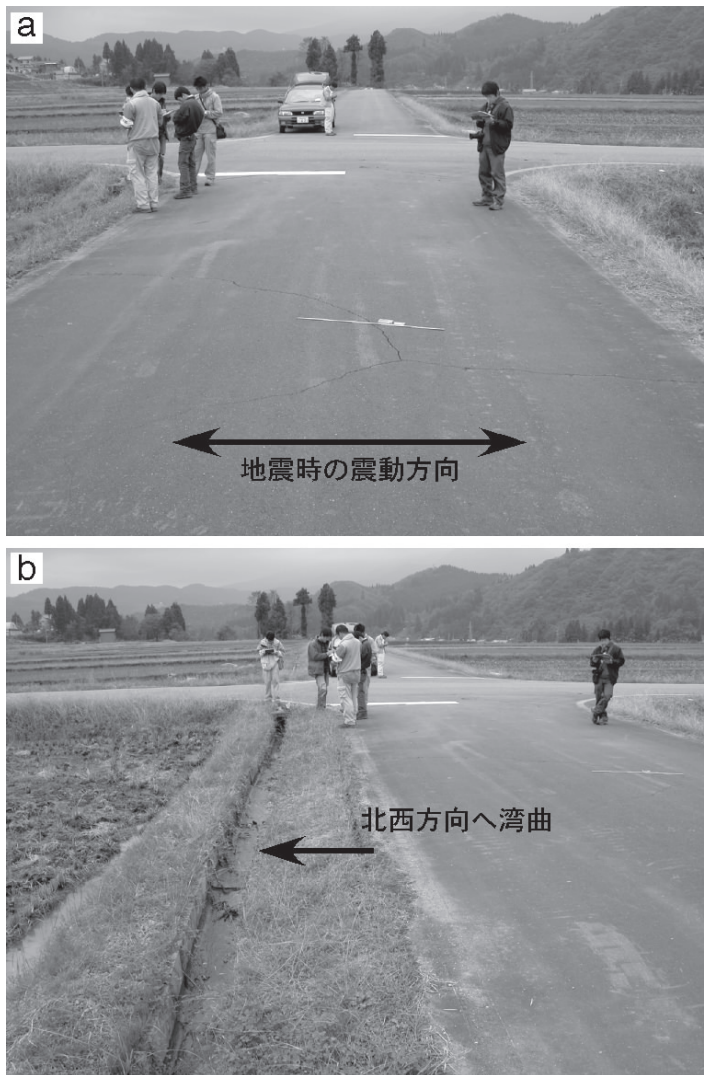


図8 魚沼市旧守門村長鳥 - 西名地域における新発田 - 小出構造線に沿った地表変状. a: アスファルト舗装の破壊 (長鳥), b: コンクリート製側溝の湾曲 (長鳥), c: 左ずれを示す亀裂群 (西名).

これら地下水の変動・異常は、中越地震に伴って発生した複数の断層や割れ目に沿って、地下深部の高温地下水が上昇したことを示すと考えられます。つまり、中越地震に伴う断層や割れ目の形成が、地下深部の地下水循環を促したことになります。これらの詳細については、本報告書に掲載の「2004年新潟県中越地震による地下水異常（佐藤ほか）」をご覧ください。

## 2) 猪倉山断層

東山背斜の東翼にあたる中越地震の本震付近には、猪倉山断層が通ると推定されています（柳沢ほか，1986 など）。中越地震時に猪倉山断層が動いたかどうかを確かめるべく現地調査を行いました。その結果、猪倉山断層が推定されている多くの場所が地層の傾斜の急変帯にあたり、地表には断層の無いことが明らかとなりました。それらの場所では、地震断層はもちろん認められませんが、著しい崩壊が発生していることがあります（図2, 6 d）。また、東山背斜西方に位置する荒谷トン

ネル内北部には、ほぼ  $N80^{\circ} W$  方向の亀裂が複数生じており、最大 3.5 cm の左横ずれ変位を示していました。

## 3) 小平尾断層

魚沼市旧広神村小平尾周辺地域における地表変状を調査し、小平尾断層の地震断層としての可能性について検討しました（図9）。その結果は、以下の通りです。

(i) 国道 352 号線の旧道で小平尾断層が通るとされている地点付近では、アスファルト舗装の端部と消雪パイプ設置のコンクリート部が盛り上がっている（図10 a, b）が、すぐ横の家屋やコンクリート製側溝には変形が無い。したがって、逆断層（地震断層）による変状ではなく、地震に伴って舗装部分だけが道路（路床）上を横滑りし、埋設された消雪パイプが歪んだため、局所的に盛り上がった可能性が高い。

(ii) その北東方の地盤には、小平尾断層にほぼ平行（北東－南西）な地震時に形成された開口亀





図9 魚沼市旧広神村小平尾地区—旧堀之内町下倉地区における地表変状の分布図。

裂がある（図10c）。その部分は、盛り土の南東端（斜面下方側）にあたり、本震後に斜面側が沈下しつつ開口が進んでいる（地元の方の話）。またコンクリート製溝の斜面側へのたわみが認められる。亀裂の北東延長部では新たな亀裂が盛り土の中で開口しつつある。これらは、地震に伴う表層地すべりや重力性崩落によって引き起こされた可能性が非常に高い。

(iii) 地表変状が発生している場所は、斜面や地

形の傾斜が大きく変わる所（傾斜の急変点）や、盛り土地盤と天然地盤の境界部である（図10d）。

(iv) 小平尾地区では、地すべりや重力性の崩落、不同沈下によるとみなされる小規模な地表変状が、小平尾断層付近でも、離れた地点でも同等の発達程度で認められる（図9）。ただし、南東側の親柄や国道252号線付近では、地表変状の発達が全般に著しく弱くなる。小平尾地区南部から北西側では、小平尾断層に沿った地表変状密集帯を特定で





図10 小平尾断層周辺の地表変状（魚沼市旧広神村小平尾地区）。a：アスファルト舗装の端部と消雪パイプ設置のコンクリート部のみの隆起。他の部分には変状はない。b：消雪パイプ設置のコンクリート部のみ隆起。c：小平尾断層にほぼ平行（北東－南西）な地震時に形成された開口亀裂（盛り土の南東端）。d：国道352号線の盛り土と天然地盤の境界部における不同沈下。

きない（図9）。

（v）小平尾断層延長部の他の地域で、まれに認められる地表変状は、全て重力性の崩落や地すべり、不同沈下に伴うものであり、地震断層を示す地表変状は認められない。

（vi）小平尾断層とは関係なく、斜面や地形の傾斜急変点、盛り土地盤と天然地盤の境界部において、地表変状の著しい場所がある。

（vii）小平尾地区周辺に水平方向の短縮を示唆する亀裂が認められるが、短縮方向に定向性が認められず、北西－南東方向の短縮を示す構造が小平尾断層に沿って集中していない（図9）。

（viii）小平尾地区南部には、産総研活断層研究センターによって地震断層として報告された北北西－南南東方向の亀裂が、500 m弱の長さで認められる（丸山・伏島，2004；丸山ほか，2004など）。これは、しかし、想定される震源断層の延びと大きく斜交している（図9）。この亀裂によって、

南西側の地盤が若干隆起している。小平尾地区の市街に延びる北側半分は、重力性変状の可能性が大きい。

（ix）小平尾断層から離れた小庭名地区や茂沢地区に、西北西－東南東方向の短縮を示して北北東－南南西方向に延びる小規模な亀裂が認められたが、地震断層との関連は不明である。

（x）これらのことから、小平尾断層が地震断層として活動した可能性は低いと結論される（図2）。

#### 4）六日町盆地西縁断層北部

魚沼市旧堀之内町東部の下倉地域における地表変状を調査し、六日町盆地西縁断層（六日町断層）北部の地震断層としての可能性について検討しました。六日町断層は新発田－小出構造線の南部に相当しています。調査結果は、以下の通りです（図2，9）。

（i）堀之内町下倉地区付近では、マンホール・



コンクリート製側溝・盛り土地盤と天然地盤境界付近における不同沈下、電柱の傾動がわずかに認められる（図9）。六日町盆地西縁断層が通過する場所は、盛り土地盤と天然地盤境界や地形傾斜の急変点に位置する。そこでの変状は、人工の構造物に由来するわずかな不同沈下のみである。国道17号線には変状が認められない。国道17号線は、写真の左側で、六日町盆地西縁断層を横切っている。

(ii) 関越道の下倉トンネル出口付近には、盛り土地盤と天然地盤の境界で不同沈下が生じている。道路（盛り土側）の沈降が認められるものの、周囲のコンクリート擁壁や高速道路下のコンクリート製トンネル・水路には変状が認められない。

(iii) 下倉地区を含む堀之内町東部では、六日町盆地西縁断層付近に地表変状が集中しない。

(iv) 二度目の調査（11月13日に実施）関越道下のトンネル・水路の継ぎ目で、新たに最大1cmのずれが複数生じていたが、ずれのセンスは一定でない。

(v) 以上のことから、小平尾断層と同様、六日町盆地西縁断層北部は地震断層として活動した可能性は極めて低いと考えられる（図2）。

## 5. 小平尾断層と六日町盆地西縁断層は地表地震断層か？

政府の地震調査委員会は2004年10月24日臨時会において、中越地震が長岡平野西縁断層帯の活動によるものではないと言っています。さらに、地震予知連絡会会長は、中越地震が六日町断層の活動によって起こったのではないかという見解を示しました。東京大学地震研究所や京都大学防災研究所予知研究センター・九州大学地震火山観測研究センターによる地震予知連絡会資料によると、本震震源断層が伏在逆断層として動いたことが示されています。

鈴木ほか（2004a, b, c, d）によると、魚沼市旧小出町、堀之内町下倉地区を通る六日町盆地西縁断層（六日町断層）と、魚沼市旧広神村の小平尾断層が中越地震の地表地震断層として現れているとの見解が出されました。また、産総研活断層研究センターの丸山・伏島（2004）、丸山ほか（2004）によって、小平尾地区の南部に北北西-南南東方向の地表地震断層が出現したと発表されました。しかし、この方向は小平尾断層や六日町断層と大きく斜交しています。Maruyama et al.（2005）では地震断層という表現をせずに、

surface rupture（地表に現れた破壊面という意味、地表破壊面あるいは地表断層、図1）を用いています。また、Kato et al.（2005）では、本震震源断層として逆断層である六日町断層深部が想定され、小平尾地区南部の地表破壊面（地表断層）と連続することが推定されています。

我々の調査結果によると、水平短縮を示す地表地震断層の候補は、小平尾地区だけでなく、本震・余震域周辺地域に散在しています。つまり、小平尾地区や小出町南部にて報告されている短縮構造（上述の研究報告）は、小平尾断層・六日町断層沿いだけに見られる訳ではありません。しかも、それらの連続性の低さだけでなく、他の成因を否定できない所から、それらの地震断層としての確実度が低いと考えざるを得ません。上述のような地表変状の産状・特徴から見て、特に、小平尾断層や魚沼市下倉地区の六日町断層が地震断層として動いた可能性はきわめて低いと判断されます。これは、鈴木ほか（2004d など）と全く異なる見解です。また、小平尾地区南部の地表破壊面の田圃に現れた部分は、中越地震によって形成された破壊面の内、最も地震断層らしいものですが、その方向性や姿勢から見て、震源断層から派生した二次的な断層面（地表断層、図1）であると考えられます。すなわち、震源断層そのものが直接地表に現れたものではないだろうということです。以上のように、小平尾地区南部の地表破壊面が地下の震源断層に直接連続する断層かどうかについては、議論の余地があるが、いずれにしても、中越地震の震源断層は地表に「十分に」到達しているとは言えません。中越地震による「明瞭な」地震断層はないということです。

## 6. 中越地震の特徴を生んだ原因は何か？

先の頁で、中越地震の特徴を生んだ原因として、以下の3つを挙げました。

(A) 伏在逆断層

(B) 規模の大きい余震は“本震”として発生した。

(C) 未成熟な断層への変形の分散

これらを簡単に検証してみましょう。まず、(A) ですが、同じく伏在逆断層によって起こった2003年宮城県北部地震では、余震の回数が少なかったことから、それほど大きな影響を及ぼさなかったと考えられます。ただし、中規模断層が周辺に複数存在すると、(A)の効果がよく現れてくるらしい（遠田・近藤、2005）。(B)は、余震活動の推移をよく説明しているように見えます。(B)が起

こるための素地として、(C)を捉えることができます。(B)や(C)を考える前に、中越地震の本震・余震域周辺の地質学的環境(地下構造)を見てみましょう。

中越地震の本震・余震域は、北の東山丘陵北西側の東傾斜伏在活断層(悠久山断層)から、南の魚沼丘陵南東側の西傾斜伏在活断層(六日町断層)へと、活断層の姿勢が移り変わる場所に位置しています(岡村・柳沢, 2004)。したがって、本震・余震震源域の丘陵内の褶曲構造が複雑となったために、断層の形態も複雑で、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言われています(岡村・柳沢, 2004)。このような場所には潜在的な中規模断層が多いと考えられます(遠田, 2004; 遠田・近藤, 2005)。これらの地質学的環境からみると、大規模な断層が発達していない(未成熟な断層であった)ために、中規模断層に破壊が分散して、たくさんの“本震”が発生し、さながら群発地震めいた余震活動となってしまったと考えられます。このことは、確実度は低いけれど、地震断層候補である水平短縮型の地表変状が余震域周辺に散在していることを、最もよく説明していると考えられます。以上をまとめると、(A)と(C)の両方が間接的原因(下地)として存在し、その結果(B)が直接的原因として機能して、中越地震の特徴をもたらした、と結論されます。

## 7. 結果・結論

2004年新潟県中越地震の余震域において、構造地質学的視点から地表変状を観察・調査しました。その結果、以下のような結論を得ました。

(1) 従来知られていた活断層(六日町盆地西縁断層、小平尾断層、信濃川低地西縁断層:片貝断層など、同東縁断層:悠久山断層など)、他の大規模な断層・地質境界(猪倉山断層、新発田-小出構造線)沿いに、明瞭な地震断層は認められない。主だった活断層・断層は、地震断層として、ほとんど活動していないらしい。

(2) それらの近傍では、地表・建造物の破壊がより顕著になる場合がある。斜面などの地形的特徴による被害の増大に加えて、一部では地表付近で地震動が増幅されたと考えられる。

(3) 地震断層の候補として、確実度の低い短縮型構造が、余震域周辺に多数認められる。それらの多くは、地震に伴う地表付近での二次的なずれを示すと考えられるが、地震に伴って発生した重

力性の崩落や地すべりに起因した変状である可能性も捨てきれない。

(4) 国土地理院のホームページにて公開されている空中写真を見ると、猪倉山断層の東方に、数百m~約2kmにわたって連続する、北西-南東方向の断層が複数認められる(図2)。余震域には、これら断層に代表されるような、震源断層と直交あるいは大きく斜交する断層も存在する。

(5) 深部起源の湧水や消雪井戸の水温異常からみて、魚沼市旧守門村~旧広神村周辺の新発田-小出構造線、六日町盆地西縁断層の北方延長として推定される伏在断層、悠久山断層、悠久山断層の南東延長として推定される伏在断層は、深部~地表直下までが震源断層として活動した可能性がある(佐藤ほか、本大会講演要旨を参照)。

(6) 猪倉山断層は、地表に露出していない可能性が大きい。猪倉山断層が通ると推定されている地域は、地層面の走向・傾斜が急変する場所にあたる。

(7) 過去の断層面を使って、地震に伴う地すべりが発生している場所もある。

(8) 消雪井戸水などの地下水の異常は、魚沼市旧守門村~旧広神村周辺の新発田-小出構造線、六日町盆地西縁断層の北方延長として推定される伏在断層、悠久山断層、悠久山断層の南東延長として推定される伏在断層、小千谷市周辺信濃川西岸の伏在断層が、地表直下まで震源断層として活動した可能性を示している。

(9) 「未成熟な複数の伏在逆断層が活動して、変形が分散したこと」が間接的原因(下地)となり、その結果起こった直接的原因「規模の大きい余震が“本震”として発生したこと」が機能して、中越地震の特徴をもたらした、と結論されます。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、被災地の方々、国や県および市町村などの公的機関や各種自治体の方々、民間企業の方々に数々のご協力をいただきました。記して深謝いたします。そして、地質科学教室をはじめ、新潟大学の方々に様々なご援助を頂きました。感謝いたします。また、本研究は、新潟大学学長裁量経費や平成16年度科学技術振興調整費(2004年新潟県中越地震に関する緊急研究)、科学研究費特別研究促進費(課題番号:16800054、代表:平田 直)、財団法人内田エネルギー科学振興財団の研究助成などによって、財政的援助を受けました。ここに記して関係各位に感謝いたします。



末筆ながら、地震によって亡くなられた方々に心よりお悔やみを申し上げますとともに、被災された方々に慎んでお見舞い申し上げます。そして、一日も早い復興をお祈り申し上げます。

### 引用文献

- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編, 2002, 第四期逆断層アトラス. 東京大学出版会, 260p.
- 岩下享平・小林健太・豊島剛志・構造地質学研究チーム, 2005, 2004年新潟県中越地震に伴う小千谷市街周辺の地盤変状. 本報告書.
- 影山邦夫・金子信行, 1992, 日本油田・ガス田図 13「新潟県中部地域」(10万分の1図幅). 地質調査所.
- 活断層研究会編, 1980, 日本の活断層 - 分布図と資料. 東京大学出版会, 363pp.
- 活断層研究会編, 1991, 新編 日本の活断層 - 分布図と資料. 東京大学出版会, 437pp.
- 気象庁, 2004, 2004年10月23日17時56分の新潟県中越地方の地震について. 2004年10月23日19時10分報道発表資料 (<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/gaikyo/kaisetsu200410231910.pdf>)
- 気象庁, 2004, 平成16年(2004年)新潟県中越地震について(定例記者レク参考資料). 2004年11月8日16時00分報道発表資料 ([http://www.jma.go.jp/JMA\\_HP/jma/press/0411/08b/niigata1108.pdf](http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jma/press/0411/08b/niigata1108.pdf)).
- 京都大学防災研究所予知研究センター・九州大学地震火山観測研究センター合同観測班, 2004, 第160回地震予知連絡会資料.
- 京都大学防災研究所予知研究センター・九州大学地震火山観測研究センター合同観測班, 2004, 第161回地震予知連絡会資料.
- 小林巖雄・立石雅昭・吉岡敏和・島津光夫, 1991, 長岡地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 132pp.
- 小林巖雄・立石雅昭・黒川勝己・吉村尚久・加藤碩一, 1989, 岡野町地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 110pp.
- 丸山・伏島, 2004, 緊急調査報告第6報「地震断層を確認」. 産総研活断層研究センターホームページ ([http://unit.aist.go.jp/actfault/niigata/report/04.11.29\\_06/index.html](http://unit.aist.go.jp/actfault/niigata/report/04.11.29_06/index.html)).
- 丸山 正・伏島祐一郎・吉岡敏和・栗田泰夫, 2004, 緊急調査報告「小平尾地区に現れた地震断層」. 産総研ホームページ (<http://unit.aist.go.jp/actfault/niigata/report/04.11.30/index.html>).
- Maruyama, T., Fusejima, Y., Yoshioka, T., Awata, Y. and Matsu'ura, T., 2004, Morphological characteristics of the surface rupture associated with the 2004 Mid Niigata Prefecture earthquake. Abstracts of 2005 Japan Earth and Planetary Science Joint Meeting.
- 松田時彦, 1995, 活断層. 岩波新書, 423, 242p.
- 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, 60pp.
- 新潟県, 2000, 新潟県地質図(2000年版1:200,000)及び説明書. 新潟県地質図改訂委員会, 200pp.
- 岡村行信・柳沢幸夫, 2004, 信濃川東側の東山丘陵の地質構造と新潟中越地震との関係. 産総研「2004年10月23日新潟県中越地震速報」ホームページ(<http://unit.aist.go.jp/actfault/niigata/chishitsu.html>).
- 佐藤早苗・氏原英敏・豊島剛志・小林健太・渡部直喜・大川直樹・和田幸永・小河原孝彦・播磨雄太, 2005, 2004年新潟県中越地震による地下水異常. 本報告書.
- 鈴木康弘・渡辺満久・廣内大助, 2004a, 活断層調査報告 20041028 速報「六日町断層北方の小平尾断層沿いで新潟県中越地震の際の地形変位を発見!」. 名古屋大学大学院環境学研究科付属地震火山・防災研究センターホームページ (<http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/INFO/niigata/reportAF1024.html>).
- 鈴木康弘・渡辺満久・廣内大助, 2004b, 活断層調査報告 20041031 速報2「六日町盆地西縁断層沿いにも中越地震の地震断層!」. 名古屋大学大学院環境学研究科付属地震火山・防災研究センターホームページ (<http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/INFO/niigata/reportAF1024.html>).
- 鈴木康弘・渡辺満久・廣内大助, 2004c, 活断層調査報告「地震断層調査の結論 20041117」. 名古屋大学大学院環境学研究科付属地震火山・防災研究センターホームページ (<http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/INFO/niigata/reportAF1024.html>).
- 鈴木康弘・渡辺満久・廣内大助, 2004d, 2004年新潟県中越地震の地表地震断層. 地学雑誌, 113, 861-870.
- 遠田晋次, 2004, 中越地震の中規模余震多発の理由(考えられる理由). 産総研「2004年10月23日新潟県中越地震速報」ホームページ ([http://staff.aist.go.jp/s-toda/Chuetsu/More\\_aftershocks.html](http://staff.aist.go.jp/s-toda/Chuetsu/More_aftershocks.html)).
- 遠田晋次・近藤久雄, 2005, 新潟県中越地震の余震はなぜ多発したのか: 歪み解放効率と地震サイズ分布との関係. 地球惑星科学関連学会2005年合同大会予稿集.
- 堤 浩之・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「長岡」, 国土地理院技術資料D・1-No.388.
- 東京大学地震研究所, 2004, 第160回地震予知連絡会資料.
- 渡辺満久・堤 浩之・鈴木康弘・金 幸隆・佐藤尚登, 2001, 1:25,000 都市圏活断層図「小千谷」. 国土地理院技術資料D・1-No.388.
- 柳沢幸夫・小林巖雄・竹内圭史・立石雅昭・茅原一也・加藤碩一, 1986, 小千谷地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 177pp.