変動地形に基づく 2004 年中越地震の断層モデル

東洋大学社会学部* 渡辺 満 久

名古屋大学大学院環境学研究科地震火山・防災研究センター** 鈴木 康 弘・伊 藤 武 男

Fault Model for the 2004 Mid-Niigata Prefecture Earthquake Built on the Distinct Tectonic Landforms

Mitsuhisa WATANABE

Faculty of Sociology, Toyo University, 5-28-20 Hakusan, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8606, Japan

Yasuhiro SUZUKI and Takeo Ito

Research Center for Seismology, Volcanology and Disaster Mitigation, Graduate School of
Environmental Studies, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, Japan

(Received June 30, 2005; Accepted October 29, 2005)

The fault model for the 2004 Mid-Niigata Prefecture Earthquake is examined based on the nature of surface fault, the results of leveling survey and the aftershock activity. The surface faults of the Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004 were found along the pre-existing active fault traces; the Obiro fault and the northern part of the western marginal fault of the Muikamachi basin (WFM). The amount of vertical displacement was 10 to 30 cm. The elevation change of benchmarks indicates that the southwestward extension of the Obiro Fault (Suwa-toge Flexure) corresponds to the source fault. The slip on the fault was ca. 1.8 m. The hypocenter distribution shows that the Obiro Fault is dipping toward WNW with about 50 degrees, and that the WFM extends to the north with the same dip as the Obiro Fault. In the central part of epicentral area, there is a double planar structure composed of these faults. Both the slip on the Obiro Fault and the small displacement of the surface earthquake fault (WFM) have proved indispensable in matching the calculated deformation with the observed one. There are two fault models for the earthquake; 1) low-angle thrust (WFM) branches off from the tip of the high-angle Obiro Fault at a depth of 2.8 km (upward-flattening structure), 2) WFM is a high-angle reverse fault parallel to the Obiro Fault (double planar structure). Geomorphologically, the double planar structure is the most probable one. The Obiro Fault is responsible for the main shock. The WFM can be correlated with the source fault of the largest aftershock with a small amount of slip.

Key words: 2004 Mid-Niigata Prefecture Earthquake, Surface earthquake fault, Leveling survey, Aftershock activity, Fault model

§1. はじめに

2004 年 10 月 23 日に、魚沼丘陵下を震源域とする新潟県中越地震が発生した。この震源域は、第四紀の地殻変動が活発な地域として知られており [加藤・山崎 (1979), 新潟県 (2000), 高野 (1989)], 多数の明瞭な断層変位地形が確認されている [池田・他 (2002), 活断層研究会 (1980, 1991), 金 (2001), 鈴木・他 (2001), 堤・他

(2001), 渡辺・他 (2001)]。この地域では、NNE-SSW 走向の逆断層が卓越している。中越地震の本震および主な余震は、いずれも NNE-SSW 走向の逆断層運動によるものであり [Aoki *et al.* (2005) など], 変動地形から想定されている断層活動様式とほぼ一致している。

地震直後の現地調査により、魚沼丘陵の東南縁に沿って地表地震断層が現れたことが報告され [丸山・他 (2005), 鈴木・他 (2004)], 魚沼川沿いの国道に設置された水準点の改測結果も公表されている [国土地理院 (2004a)]。これらのデータは、中越地震を引き起こした

* 〒112-8606 東京都文京区白山 5-28-20

** 〒464-8601 名古屋市中種区不老町

Fig. 1. Shaded-relief topographic map of the epicentral area. The surface faults of the Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004 were found along the pre-existing active fault traces of the Obiro fault and the northern part of the western marginal fault of the Muikamachi basin (WFM). Paddy fields, gardens, water ways, roads and houses are displaced 10–30 cm vertically. The dashed black boxes indicate the fault planes provided by GSI. Solid square indicates the location of Figs. 2 and 4. WFT and EFT correspond to the western marginal fault and the eastern marginal fault of the Tokamachi Basin, respectively. Dashed line is the leveling route across these active faults.

断層運動を直接反映するものである。しかしながら、これまでの研究においては、地下における震源分布や反射法地震探査結果に基づく断層構造解析は進められているものの、上記データが十分に検討されているとはいえない。筆者らは、地表地震断層の活動や水準点変動結果を満足させる断層モデルを提示し、これに変動地形学的検

討を加える。

§ 2. 震源域周辺の活断層

地震発生地域付近の魚沼丘陵の東西両縁には、複数の活断層が並走している (Fig. 1)。ただし、これらの活断層の多くは、金 (2001)、中田・今泉 (2002)、太田・鈴木

Fig. 2. Map showing active tectonics in the central part of source area. The surface faults emerged along the Obiro fault and the northern part of WFM. Location of this area is indicated by box in Fig. 1.

(2002), 太田・他(1997, 1998), 鈴木・他(2001), 田中(2000), 堤・他(2001), 渡辺・他(2001)らの研究によって1990年代後半以降に認定されたものであり, 活断層研究会(1991)には図示されていないものが多い。

余震分布[Aoki *et al.* (2005)]や地殻変動のデータ解析の結果[国土地理院(2004a)]によれば, 震源断層面は西側傾斜である。したがって, 上記の活断層のうち, 中越地震の起震断層として注目されるのは, 魚沼丘陵南東縁を限る, 六日町盆地西縁断層と小平尾断層である。

活断層研究会(1991)では, 魚沼丘陵南東縁部に認定されていた活断層は, 石打付近の長さ8 kmのものだけであった。このため, 本地域は, 地震調査研究推進本部の「98断層」の選定地域から漏れていた。しかし, 2001年刊行の都市圏活断層図「十日町」[鈴木・他(2001)], 「小千谷」[渡辺・他(2001)]図幅には活断層線が明記さ

れ, 六日町盆地西縁断層と小平尾断層と呼称されることとなった。それぞれ断層線の長さは, 六日町盆地西縁断層が34 km以上, 小平尾断層が6 km以上である。両活断層のトレースは, 震源域において1 km程度にまで近接し, 雁行配列をしている。両活断層は深部では一連の活断層を構成している可能性もある。

§ 3. 中越地震の断層モデル

3.1 中越地震時の地表地震断層

中越地震の際には, 鉛直変位量が10~30 cm程度の地表地震断層が現れた[丸山・他(2005), 鈴木・他(2004)]。これらが確認された位置を, Figs. 1, 2に示す。鈴木・他(2004)では, 魚沼市小平尾-魚沼市青島間の複数の地点において, 地表地震断層を確認している。これらの地表地震断層は, 切土・盛土の境界部に位置する部

Photo 1. Surface earthquake fault at Aono, Uonuma City. Vertical dislocation was occurred on October 23 in this site. Co-seismic vertical displacement is ca. 20 cm.

分もあるため、地形学の専門家以外の研究者には、振動による不同沈下によって形成された地変として認識される可能性もある。しかし、鈴木・他(2004)に詳しく述べられているように、変形は切土部分に認められ、盛土部分にはクラックなどの変状がないこと、圧縮変形が卓越することなどから、小平尾断層・六日町盆地西縁断層に沿って、地表地震断層が出現したことは確実である。

青島地区では、比高 10-20 cm 程度の地表地震断層が確認された (Photo 1)。現地での聞き取り調査によると、この変位が現れたのは本震時 (17 時 56 分) であるのか、最大余震時 (18 時 34 分) であるのかは定かではないものの、10 月 23 日に現れたことは確実である。丸山・他 (2005) は、青島地区の地表変位は地すべりの影響である可能性があるとしている。しかし、著者らの調査では、この地点に直接影響を及ぼすような地すべりは確認できない。また、SAR の解析結果によると、断層トレスを挟んだ両側で変位が認められている [Ozawa *et al.* (2005)]。したがって、地すべりによる 2 次的な変位であるとは考えられない。なお、Ozawa *et al.* (2005) は、9 月 30 日・10 月 24 日・11 月 17 日に観測を実施し、

10 月 24 日～11 月 17 日の間において、数 cm 程度の断層変位が現れているとしている。しかし、10 月 23 日には地表変位が現れていることは確実であるので、この観測結果は、本震あるいは最大余震時に現れた変位が後に成長した可能性を示している。

このように、調査者によっては、地表地震断層の評価が異なる部分がある。しかしながら、魚沼丘陵東縁を限る小平尾断層・六日町盆地西縁断層北部に沿って地表地震断層が現れたということでは一致している。

3.2 水準点変動

ほぼ国道 17 号線に沿うように、震源域を横断するような水準路線が設けられており (Fig. 1)、中越地震直後には改測が実施された。国土地理院 (2004a, b) は、GPS 観測結果をもとに、本震・10 月 27 日の余震・11 月 8 日の余震についての断層モデルを作成し、それらは水準測量結果もおおむね説明することを示している。なお、国土地理院 (2004a, b) が提示した断層モデルのうち、水準変動にかかわるのは前 2 者である。これらをそれぞれ、断層面 A・断層面 B (Fig. 1) と呼ぶ。断層面はいずれも N30°E 程度の走向をもち、断層面上端は地表面に

Table 1. Fault parameters provided by GSI.

Fault plane*	Length (km)	Depth (km) upper-lower	Strike (°)	Dip (°)	Slip (m)
A	20.9	2.8-10.9	210	53	1.82
B	9.2	10.2-13.0	24	34	0.53

* shown in Fig. 1

は到達しておらず、本震時のすべり量は約 1.8 m である (Table 1). 11 月 8 日の余震を引き起こしたとされる断層面は水準路線から離れており、その変位量も小さく、水準路線付近で期待される鉛直変位量は約 1 mm と非常に小さい。このため、水準点変動との関係においては、この断層の影響は無視できる。

観測値と計算結果をより詳細に比較するために、上記の断層構造、実際的水準点変動パターンと計算結果を、Fig. 1 の X-X' に投影して示す (Fig. 3(a)). 鉛直変位量の計算は、Manshinha and Smylie (1971) に基づいて行った。地理院が提示したモデルに基づく計算結果と実際的水準点変動は、変動の幅やピークの位置など、かなりよく一致している。水準点の変動と対応させるのであれば、断層面 A の走向の自由度はかなり大きく、数度～10 度程度違っていても、ほぼ同様の計算結果が得られる。しかし、断層面の傾斜や上端・下端の位置はほとんど動かさない。これらを変えてしまうと、観測値と計算値はかなり異なってくる。

地下に想定される断層面 A をそのまま地表へ延長させた位置は、水準点 3588 と 3590 の間にあり、それは鮮新-更新統を東へ急斜させる諏訪峠撓曲 [柳沢・他 (1986)] の基部にほぼ一致している (Fig. 2). この諏訪峠撓曲は、地形的には必ずしも明瞭ではないが、河成段丘面にも変位を与える [金 (2004)] とされており、北方の小平尾断層の南西への延長部にあたる。諏訪峠撓曲を含めた小平尾断層の一般走向は、国土地理院が提示した断層面のそれとは数度異なる (Fig. 1). しかし、提示された断層面は単純な矩形で代表されていることから、断層面 A が小平尾断層の南西への延長であると考えても大きな矛盾はないであろう。水準点変動から判断すると、中越地震は小平尾断層と、その南西への延長部にある諏訪峠撓曲が引き起こした地震であると考えられる。

ところで、水準点 3586-3588 および 3595-3767 の区間の実測値は、厳密には計算値とは一致していない。このうち、前者の不一致に関しては、後述するように、地表地震断層の動きを加えることによって解消できると考えられる。後者に関しては、バックスラストの動きなどを想定することによって説明可能であるが、現地では

そのような地変を確認していないので、詳しい検討は行わない。

3.3 余震分布と地下構造

小平尾断層の地下での活動を確認するため、GMT [Wessel and Smith (1998)] を用いて、気象庁の震源データ解析を行った (Fig. 4). この震源データは、Aoki *et al.* (2005) で示されているものとほぼ同じである。使用したデータは、10 月 23 日～12 月 20 日のものであるが、本震にかかわる余震活動を際立たせるため、10 月 27 日～11 月 9 日のデータを抜いてある (11 月 9 日に特に意味はない)。変動地形の観点からは、北から、小平尾断層だけのトレースが見られる地域、小平尾断層と六日町盆地西縁断層の 2 つのトレースが見られる地域、六日町盆地西縁断層のトレースだけが見られる地域がある。このため、5 つの地域に分けて、震源分布の特徴を検討した。

最も北の 2 地域 (A-A', B-B') では、余震分布は傾斜約 50 度の 1 枚の断層面を示しているように見える。またその地表への延長部は、まさに小平尾断層の地表トレースの位置と一致している。その南の、小平尾断層と六日町盆地西縁断層のトレースが見られる地域 (C-C', D-D') では、地下にも 2 枚の断層面 (傾斜約 50 度) が解析される。C-C' では、これらの断層面の地表への延長部は、それぞれ小平尾断層・六日町盆地西縁断層の地表トレースと一致する。なお、D-D' では、地表トレースと震源分布との一致はよくない。10 月 23 日の本震と最大余震は、それぞれ小平尾断層・六日町盆地西縁断層が引き起こしたように見える。さらに南方では、六日町盆地西縁断層の地表トレースに続くような、傾斜約 50 度の 1 枚の断層面だけが認識される (E-E').

余震分布が 2 枚の断層面を表すという結論は、Aoki *et al.* (2005), Sakai *et al.* (2005) の解析結果とも一致している。ただし、震源域全体に 2 枚の断層面があるわけではないことに注意が必要である。震源域の中央部付近で、北から延長してくる小平尾断層と南から伸びてくる六日町盆地西縁断層が雁行配列しているのである。D-D' においてのみ、余震分布と地表の活断層トレースの位置が約 5 km ずれるが、その理由は不明である。

震源域の南部 (Fig. 4 の X) では、西傾斜の断層面の下端部付近から、東傾斜の断層面 (十日町盆地東縁断層) が派生しているように見える。これらの余震活動は、東傾斜の十日町盆地東縁断層 [鈴木・他 (2001), 渡辺・他 (2001)] の延長部で起こっているように見える。十日町盆地の東縁部においても被害の集中帯を確認しており、水準点変動にも見られるように、六日町盆地西縁断層のバックスラストとして、十日町盆地東縁断層も活動した可能性がある。

なお、Aoki *et al.* (2005) と Sakai *et al.* (2005) とでは、想定している地下の速度構造などが違うため、震源の位置が 4~5 km 程度異なり、後者の方が北西側に位置している。どちらの精度が高いかは判断し兼ねるが、変動地形の立場から言えば、本論でも扱っている、Aoki *et al.* (2005) の余震分布の方が活断層との適合性は高い。

3.4 断層モデル

すでに述べたように、水準点 3586-3588 の区間の実測値は計算値とは一致していない (Fig. 3(a)). このような不一致は、地表地震断層の動きを加えることによって解消できる。地表地震断層は、ほぼ Fig. 2 の範囲内に出現した。地表地震断層のトレースは直線的ではないが、計算では、走向 N30°E で長さ 10 km の単純な矩形の断層面を想定する。観測された鉛直変位量は 10~30 cm である [鈴木・他 (2004), 丸山・他 (2005)].

なお、地表地震断層を考慮することによって、水平変位の計算値にも多少の変化が出ると予想される。しかし、追加される断層変位量が小さくその影響は少ないと予想されること、水平変位の基準点の数が少なく詳細な検討はできないこと、本論文の主題は鉛直変位量であることから、水平変位については議論しない。

想定される断層構造の 1 つは、断層面 A (小平尾断層ないし諏訪峠撓曲) の上端から地表地震断層確認位置まで、低角逆断層を派生させるモデルである (Fig. 3(b)). このようなモデルに関しては、魚沼丘陵の地質構造に基づく構造解析 [岡村・柳沢 (2005)] や、反射法地震探査結果の解析 [Kato *et al.* (2005), Sato and Kato (2005)]

でも示されている。

これらの研究では、小平尾断層 (諏訪峠撓曲) は地下数 km から低角化し、断層面上端は六日町盆地西縁断層の地表トレースと一致するように描かれている。このようなモデルを想定すると、低角逆断層の傾斜は約 18 度となる。ずれの量は約 35 cm とすると、観測結果をほぼ満足させることができる。

ところで、余震分布から明らかになったように、震源域中央部の地下には、傾斜約 50 度の 2 枚の西傾斜の断層面が想定され、地表の活断層トレースとの関係では、それぞれ小平尾断層・六日町盆地西縁断層に一致している。中越地震の本震と最大余震の震源は、それぞれ小平尾断層・六日町盆地西縁断層上に位置しており (Fig. 4), 地表地震断層は六日町盆地西縁断層に沿って現れている (Figs. 1, 3). このため、地表地震断層と本震を引き起こした断層とは別の断層であるとも考えることも可能である。そのようなモデルを想定して、地表地震断層の傾斜を断層面 A と同じ 53 度とした。このとき、18 cm のずれを与えると、観測結果はほぼ完全に説明できる (Fig. 3 (c)).

このように、地下の高角逆断層 (小平尾断層ないしは諏訪峠撓曲) から地表地震断層が派生するモデルと、本震とは別に地表地震断層が並走するモデルを想定できる。いずれの場合も、計算から求められる鉛直変位量は観測値とはほぼ一致している。

§4. 議 論

地表地震断層の分布と性状、震源域を横断する水準点変動、余震分布から推定される地下構造などをもとに、中越地震を引き起こした断層活動を検討した。中越地震の本震は、地下約 3 km 以深で小平尾断層 (諏訪峠撓曲) が活動して発生したと考えられる。そのときのずれの量は約 1.8 m である。地表地震断層 (六日町盆地西縁断層) は、小平尾断層 (諏訪峠撓曲) の上端から派生した低角逆断層か、小平尾断層と並走する高角逆断層の活動によって現れたと考えられる。前者の場合は、六日町盆地

Fig. 3. Displacement profile along the line X-X' in Fig. 1. The elevation changes of benchmarks (3585-3761) and the geometries of fault planes A and B are provided by GSI (2004). Calculated displacement of ground surface is based on dislocation models after Mansinha and Smylie (1971). (a) Comparison between the observation and calculated displacement based on the fault model provided by GSI. Leveling data indicates that the source fault is west-dipping reverse fault. The updip extension of the fault plane A intersects the ground surface between 3588 and 3590, which indicates that this fault corresponds to the southwestward extension of the Obiro Fault (Suwa-toge Flexure, see Fig. 2). Thus, the southwestward extension of the Obiro Fault (Suwa-toge Flexure) must be the source fault. The fault model based on the upward-flattening structure and that based on the multi planar structure are shown in (b) and (c), respectively.

Table 2. Parameters of the surface earthquake fault.

	Length (km)	Depth (km) upper-lower	Strike (°)	Dip (°)	Slip (m)
Upward-flattening structure	10	0-2.8	210	18	0.35
Multi planar structure	10	0-10.9	210	53	0.18

西縁断層は小平尾断層の地表への延長部にあたり、後者の場合は、少なくとも地下 10 km の部分では、両活断層は別々の断層であるということになる。ただし、より深部では、両者が収斂している可能性が高いであろう。このように、中越地震にかかわる 2 つの断層モデルを提示することができる。このうち、筆者らは、後者の可能性が強いと考えている。その理由は下記のとおりである。

六日町盆地西縁断層は、中越地震の震源域から南西方向へ、30 km 以上連続する活断層である (Fig. 1)。一方、小平尾断層の南西への延長は不明瞭であり、諏訪峠撓曲周辺より南西への連続を認定することは非常に困難である。また、高角な小平尾断層から低角な六日町盆地西縁断層が派生するという構造が連続しているとすれば、ずれの量がどのように変わっても、小平尾断層（諏訪峠撓曲）と六日町盆地西縁断層の地表トレースの位置付近に大きな地形境界が形成されなければならない。魚野川流域 (Fig. 2) では、そのような地形境界が認められるが、より南西方向では、六日町盆地西縁断層のみが明瞭な地形境界を形成しており、これと並走するような活構造は魚沼丘陵の中には認められない (Fig. 1)。中越地震の震源域より南西では、六日町盆地西縁断層の活動による変動地形のみが認められるのである。

Sato and Kato (2005) は、中越地震は地表近くで低角化する六日町盆地西縁断層が引き起こした地震であるが、今回の震源域の南では六日町盆地西縁断層は地表付近から高角度で傾斜する活断層であるとしている。すなわち、六日町盆地西縁断層は、断層トレースは連続するものの、明らかに傾斜の異なる 2 つの起震断層から構成されているとした。そのように性状の異なる活断層が接する場合には、両者が接する部分に明瞭な地形境界が形

成されなければならない。しかしながら、魚沼丘陵において、そのような地形境界を確認することはできない (Fig. 1)。

以上述べたように、小平尾断層の上端から六日町盆地西縁断層が派生するモデルと、両者が併走するモデルが想定できるが、前者のモデルは変動地形とは調和していない。小平尾断層（諏訪峠撓曲）と六日町盆地西縁断層は、ともに傾斜約 50 度の逆断層である可能性が高い。前者は北から、後者は南から連続し、震源域中央部の少なくとも地下約 10 km までの地殻上部では、両者が並走していると考えられる。

中越地震は、小平尾断層の変位により引き起こされた直下地震であり、六日町盆地西縁断層は、最大余震時に僅かに 20 cm 程度動いたと考えられる。変動地形の明瞭さから言えば、小平尾断層より六日町盆地西縁断層の方がはるかに活動的であるように見える。中越地震の規模 (M 6.8) は、小平尾断層が引き起こす地震の固有規模に相当する可能性があるが、六日町盆地西縁断層は本格的な活動を示したとは言えない。今後、六日町盆地西縁断層の活動を注意深く監視する必要がある。

§ 5. ま と め

(1) 中越地震発生直後には、小平尾断層・六日町盆地西縁断層に沿って地表地震断層が出現した。その鉛直変位量は数十 cm 以下である。

(2) GPS の水平・上下変動や水準点改測結果によれば、中越地震の本震時の断層活動は、地下約 2.8 km 以深における小平尾断層（諏訪峠撓曲）の活動に対応し、ずれの量は 1.8 m 程度である。

(3) 余震分布の特徴から、西北西に 50 度程度傾斜す

Fig. 4. Map viewing hypocenter distribution and vertical cross sections. The events which occurred from Oct. 23 to Oct. 26 and from Nov. 10 to Dec. 20 in 2004 are shown. We chose these periods to eliminate the influences of aftershock (M_{JMA} 6.1) on Oct. 27, and to make the west-dipping structures much clear. In northern part (A-A', B-B'), there is single-planar structure dipping to WNW with about 50 degrees. It corresponds to the Obiro Fault. Along the C-C' and D-D' line, double planar structure with a distance 5 km parallel dipping to WNW with about 50 degrees. The upper one is the extension of the Obiro Fault, and the lower one is the WFM. They presumably generated the main shock and largest after shock, respectively. The WFM extend to southern part accompanied by the EFT as back thrust (E-E').

る2枚の断層面が解析できる。これらは、それぞれ小平尾断層と六日町盆地西縁断層に対応するように見える。前者は北から、後者は南から連続し、震源域の中央部付近では雁行配列している。

(4) 水準点変動パターンを説明するためには、小平尾断層の変位だけでなく、地表地震断層(六日町盆地西縁断層)の変位も考慮する必要がある。両断層の関係としては、高角(50度程度)な小平尾断層の上端から低角(18度程度)逆断層(六日町盆地西縁断層)が派生するモデルと、ともに高角な小平尾断層と六日町盆地西縁断層が並走するモデルが想定できる。

(5) 震源域周辺の変動地形の特徴を考慮すると、小平尾断層と六日町盆地西縁断層は並走する高角逆断層であり、中越地震は、小平尾断層の変位により引き起こされた直下地震である可能性が高い。六日町盆地西縁断層は、最大余震時に、約20 cm動いたに過ぎないと考えられる。

謝 辞

被災地の皆さまには、地震直後にもかかわらず調査に対するご理解・ご協力を賜り、心より御礼申し上げます。以前から震源域となった地域の活構造調査を実施しており、阪神淡路大震災以降にはトレンチ調査なども実施してまいりましたのに、地域の防災力向上のためには何もお役に立てなかったことを申し訳なく思っています。これからも、この地域での調査研究を継続し、活構造の正確な理解を目指していきます。犠牲となられた方々のご冥福をお祈りし、被災地の日も早い復興を心から祈念いたします。また、本論文では、国土地理院による水準測定の結果と気象庁による一元化震源データを使用させていただきました。ここに記して感謝いたします。

文 献

- Aoki, S., M. Nishi, K. Nakamura, T. Hashimoto, S. Yoshikawa and H. Ito, 2005, Multi-planar structures in the aftershock distribution of the Mid Niigata prefecture Earthquake in 2004, *Earth Planets Space*, **57**, 411-416.
- 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, 第四紀逆断層アトラス, 東京大学出版会, 253 pp.
- Kato, N., T. Echigo, H. Sato, M. Tateishi, S. Ogino, S. Sakai, S. Toda, S. Koshiya, T. Ito, T. Toyoshima, T. Imaizumi, H. Kato and S. Abe, 2005, Geologic fault model based on the high-resolution seismic reflection profile and aftershock distribution associated with the 2004 Mid-Niigata Prefecture earthquake (*M* 6.8), central Japan, *Earth Planets Space*, **57**, 447-452.
- 加藤碩一・山崎晴雄, 1979, 信越地域活構造図, 構造図 No. 5, 地質調査所.
- 活断層研究会, 1980, 日本の活断層—分布図と資料, 東京大学出版会, 437 pp.
- 活断層研究会, 1991, 新編日本の活断層—分布図と資料, 東京大学出版会, 437 pp.
- 金 幸隆, 2001, 六日町盆地北西縁の活断層, 第四紀研究, **40**, 161-168.
- 金 幸隆, 2004, 魚沼丘陵の隆起過程と六日町断層の活動累積, 活断層研究, **24**, 63-75.
- 国土地理院, 2004a, 平成16年(2004年)新潟県中越地震に伴う緊急測量結果について—地震による大きな地殻変動を把握—, <<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2004/1227.htm>>(参照2005-6-20).
- 国土地理院, 2004b, 平成16年(2004年)新潟県中越地震に伴う地殻変動(第6報), <<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2004/1108-2.htm>>(参照2005-6-20).
- Mansinha, L. and D.E. Smylie, 1971, The displacement field of inclined fault, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **61**, 1433-1440.
- 丸山 正・伏島祐一郎・吉岡敏和・栗田泰夫, 2005, 平成16年(2004年)新潟県中越地震に伴い地表に現れた地震断層の性状, 地質ニュース, **607**, 9-12.
- 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, 68 pp.
- 新潟県, 2000, 新潟県地質図(1:200,000)および同説明書, 200 pp.
- 岡村行信・柳沢幸夫, 2005, 新潟県中越地震と地質構造との関係, 地質ニュース, **607**, 13-17.
- 太田陽子・渡辺満久・小林真弓・鈴木郁夫・澤 祥・鈴木康弘・金 幸隆・廣内大助・尾崎陽子・谷口 薫・信濃川断層発掘グループ, 1997, 信濃川沿岸鳥越断層および十日町断層の変位地形とトレンチ調査, 日本地理学会講演要旨集, **51**, 116-117.
- 太田陽子・渡辺満久・鈴木郁夫・鈴木康弘・澤 祥・谷口 薫・尾崎陽子, 1998, 十日町盆地東部における活断層の認定とトレンチ調査からみた十日町断層の性質と活動期, 日本地理学会講演要旨集, **53**, 80-81.
- 太田陽子・鈴木康弘, 2002, 陸域の活断層と古地震, 大竹政和・平 朝彦・太田陽子(編), 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス, 東京大学出版会, 70-94.
- Ozawa, T., S. Nishimura, Y. Wada and H. Ohkura, 2005, Coseismic deformation of the Mid Niigata prefecture Earthquake in 2004 detected by RADARSAT/InSAR, *Earth Planets Space*, **57**, 423-428.
- Sakai, S., N. Hirata, A. Kato, E. Kurashimo, T. Iwasaki and T. Kanazawa, 2005, Multi-fault system of the 2004 Mid-Niigata Prefecture Earthquake and its aftershocks, *Earth Planets Space*, **57**, 417-422.
- Sato, H. and N. Kato, 2005, Relationship between geologic structure and the source fault of the 2004 Mid-Niigata Prefecture earthquake (*M* 6.8), central Japan, *Earth Planets Space*, **57**, 453-457.

- 鈴木康弘・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「十日町」, 国土地理
院技術資料, D・1-No. 388.
- 鈴木康弘・渡辺満久・廣内大助, 2004, 2004 年新潟県
中越地震の地表地震断層, 地学雑誌, **113**, 861-870.
- 高野武男, 1989, 新潟県魚沼地方の地形から見た地殻変
動と六日町盆地の形成過程, 地球科学, **43**, 366-391.
- 田中真弓, 2000, 信濃川中流域, 十日町盆地における河
成段丘の変位からみた活褶曲と活断層の関係, 第四紀
研究, **39**, 411-426.
- 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.
- 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.
- Wessel, P. and W.H. Smith, 1998, New improved
version of Generic Mapping Tools released, EOS
Trans. Am. Geophys. Union, **79**, 579.
- 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, 177 pp.