

7-20 新潟県中越地震の震源域およびその周辺の活構造

Active geologic structures in and around the source region of the Tyuestu, central Japan, earthquake of October 23, 2004

東京大学大学院理学系研究科

Faculty of Science, University of Tokyo

東北日本の日本海沿岸域には、異常に厚い（最大～10 km）堆積層で充填されたトラフ（羽越堆積盆）が存在し、その南端は北部フォッサマグナまで追跡できる。このトラフは、日本海拡大時のリフティングに伴って、地殻の上部数 km～10 km が欠損することにより形成されたと推定される（第1図A～B）。東北日本における現在のテクトニクスは、この構造に強く支配されているらしい。鮮新世以降、東北日本は圧縮場に転じ、日本海拡大時に形成された正断層は、逆断層となって再活動をしていると推定される。その結果、トラフ充填堆積物は著しい短縮変形を被り、羽越褶曲帯が形成された（第1図C）。羽越堆積盆の中新世における伸張量は40～60 km であり、鮮新世から現在までの総短縮量は20 km 程度である¹⁾²⁾³⁾。

鮮新世以降のテクトニック・インバージョンに伴ってこの堆積盆地に生じた変形は極めて複雑である。地下のデタッチメント断層が直接地表まで達して東傾斜の逆断層を生じているところは、糸魚川静岡構造線活断層帯北部や本荘沖の海底活断層など、数えるほどしかない。逆に、堆積盆地内には西傾斜の逆断層や東翼が急な非対称褶曲（西傾斜の伏在断層により生じる）が発達する場合がしばしばある。第1図Bに模式的に示したように、デタッチメント断層の上盤先端部は roll-over anticline によって楔状の形態をなし、これを覆ってトラフ充填堆積物が厚く堆積する。この状態でテクトニック・インバージョンが始まると、堆積層は楔型の断層先端部にかき上げられて西傾斜の back thrust を生じることが多いらしい（第1図C）；新潟堆積盆の東縁（いわゆる「新発田－小出構造線」およびその南方延長の「津南－松本線」）に沿って、このタイプの back thrust が発達する（新潟平野東縁断層帯、六日町断層帯、および長野盆地西縁断層帯）。

第3図と第4図は、新潟堆積盆を東西に横切る地下構造断面図である。これらの断面の中で、今回の中越地震の震源域と最も似た断面は、第4図に示す直江津－塩沢断面である。六日町盆地と越後山地（図の東端部）の地下に想定される基盤岩中の水平なデタッチメント断層は、中新世初期にリフトベースンを形成した正断層が逆断層として再活動したものである。この断層は、リフトベースンを埋積した新第三系の最下部・七谷層中の剪断強度の小さい面に沿って、前方へと伝播していったと考えられる。信濃川の西方には幅約10 km の構造的高まりがあり、信濃川を軸とする極めて深い魚沼層の堆積盆を形成している。一方その西方には、幅約10 km の構想的高まりがあり、両者の境界には魚沼層まで巻き込んだ大規模な撓曲帯とそれに伴う西傾斜の逆断層（十日町盆地西縁断層）が存在する。このような構造は、七谷層中に落差2 km 程度の ramp が存在すると仮定することで合理的に説明できる。この部分でのデタッチメント断層の総すべり量は、約12 km である。六日町断層は、基盤岩上盤側の roll-over 背斜上に堆積した新第三系の基底部に、層面すべり断層として発生した back thrust であると解釈される。この断層の発生時期は新しく、魚沼層堆積後である。六日町断層の総すべり量は3～6 km に達する。このモデルから予想される新潟堆積盆の水平短縮量は15～18 km であり、テクトニック・インバージョンの開始時期を3～3.5 Ma とすれば、平均短縮速度は4.3～6.0 mm/yr となる¹⁾。

地下深部でのデタッチメント断層上でのすべりが地震性 (seismic) であるか非地震性 (aseismic) のクリープすべりであるかは、内陸で発生する大地震の震源位置と地震発生プロセスを予測する上で重要であ

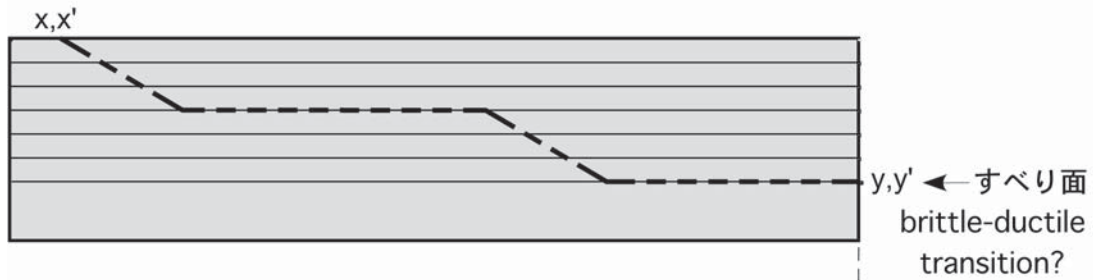
る。深い方のフラットは脆性一延性境界付近に位置すると考えられるので、クリープしている可能性がある。出羽丘陵／越後山地の地下に想定される様なランプは、応力集中を引き起こし、大地震の破壊開始点となる可能性がある¹⁾。

(池田安隆)

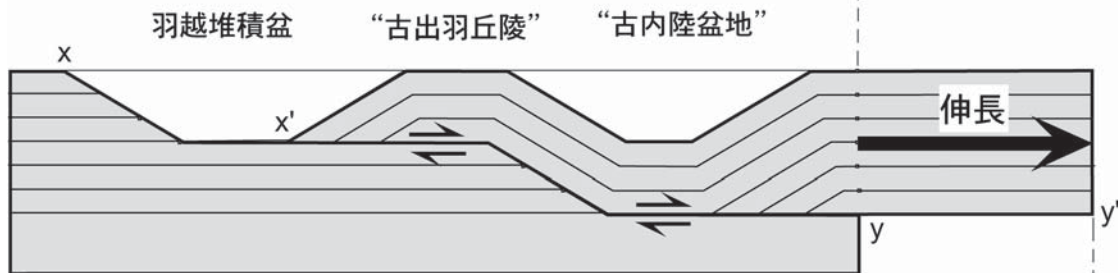
参 考 文 献

- 1) 池田安隆・今泉俊文・佐藤比呂志・東郷正美・宮内崇裕・平川一臣, 2002, 「第四紀逆断層アトラス」, 東京大学出版会, 240 p.
- 2) 佐藤比呂志・池田安隆, 1999, 月刊地球, 21, 569-575 / 月刊地球号外, 27, 135-141.
- 3) Sato, H., Iwasaki, T., Kawasaki, S., Ikeda, Y., Matsuta, N., Takeda, T., Hirata, N. and Kawanaka, T., 2004, Tectonophysics, 388, 47-58.
- 4) 天然ガス鉱業会, 1969, 「日本の石油・天然ガス資源」, 283p.
- 5) 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1992, 「改訂版・日本の石油・天然ガス資源」, 520p.

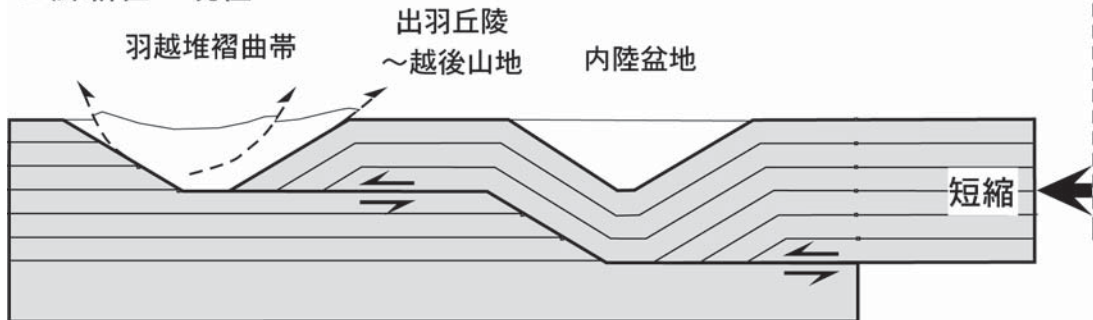
A. Rifting 前の状態



B. 中新世中期 (rifting 末期)

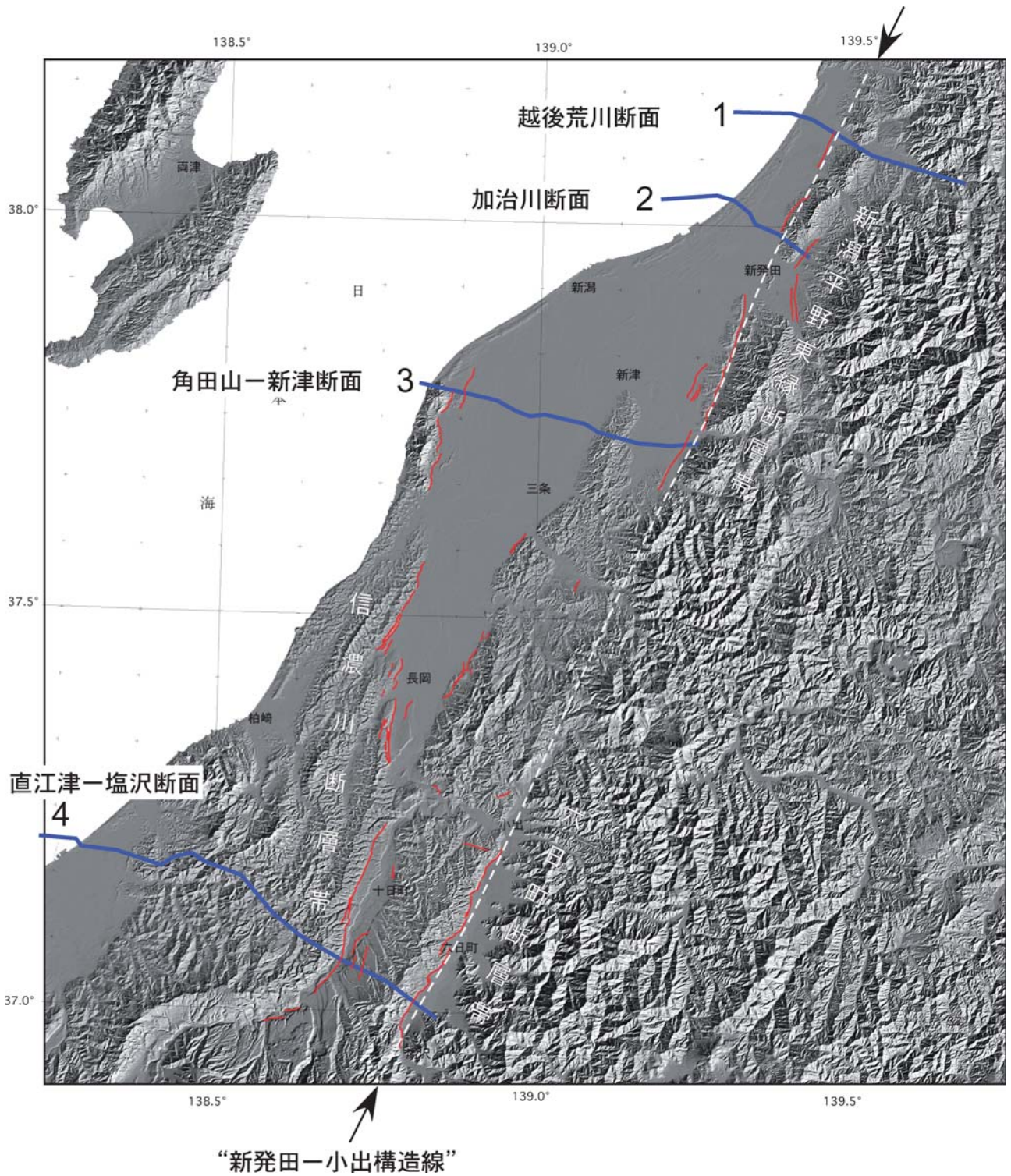


C. 鮮新世～現在



第 1 図 二つのランプを有するデタッチメント断層によって，東北日本弧内帯の中新世におけるリフティングと鮮新世以降における短縮変形とを説明するモデル（池田ほか，2002 に加筆）。（A）リフティング前の状態（太破線の位置に断層が生じる）。（B）リフティング直後の状態。中新世に於ける異常に深い羽越堆積盆の形成は，listric な正断層上で大きなすべりを与え，地殻の一部を欠損させることにより実現できる。出羽丘陵・越後山地やその背後の内陸盆地の形成も，デタッチメント断層の深部にランプを想定することで説明可能である。断層先端部の上盤側には roll-over 背斜が形成される。（C）鮮新世～現在。中新世に形成されたデタッチメント断層が逆断層として再活動をはじめた。その結果，羽越堆積盆を埋積した厚い地層は，褶曲・断層を伴う短縮変形を被った。

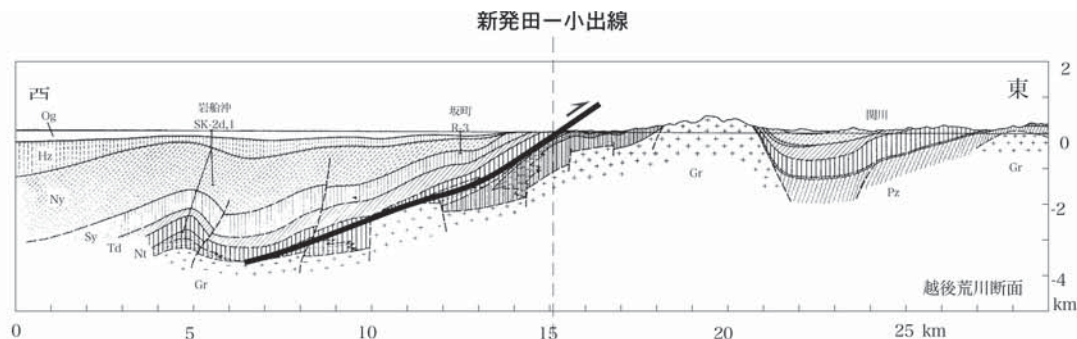
Fig.1 A detachment fault model with two flats and ramps, explaining the Miocene rifting and subsequent Pliocene-Quaternary shortening on the Japan Sea side of Northeast Japan (modified from Ikeda et al., 2002). (A) Pre-rifting stage. A thick dashed line indicates the position of detachment faulting in Early to Middle Miocene time. (B) Final stage of rifting (Middle Miocene time). (C) Tectonic inversion in Pliocene time to the present has resulted in horizontal shortening in basin fill sediments.



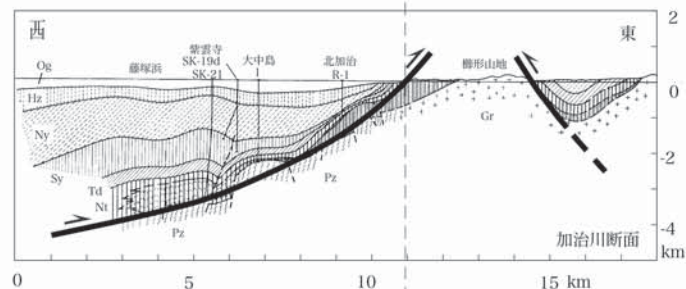
第2図 新潟平野とその周辺の活構造 (池田ほか, 2002).

Fig.2 Active faults and folds in the Niigata basin and its surroundings (Ikeda et al., 2002).

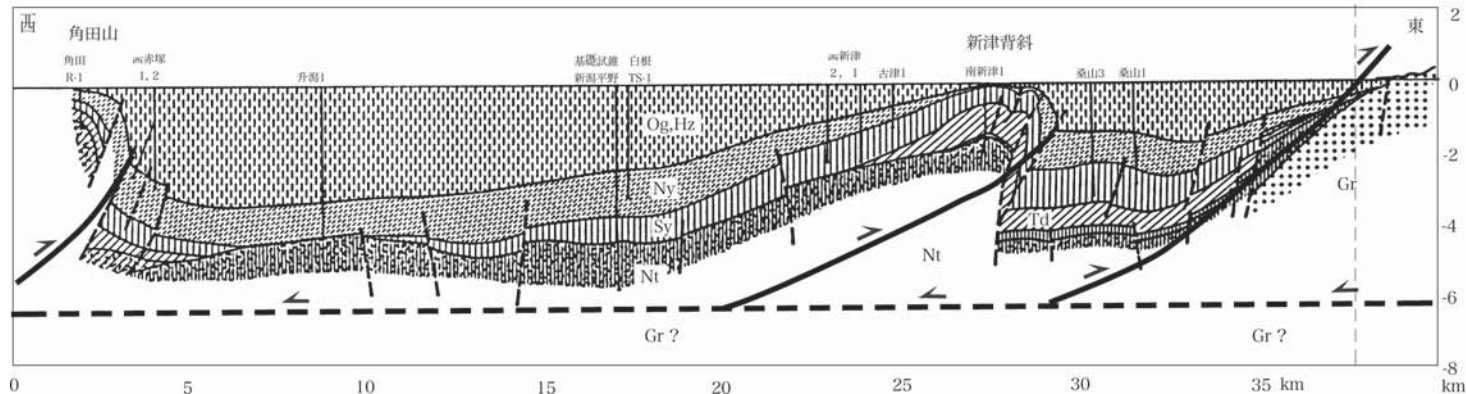
1. 越後荒川断面



2. 加治川断面



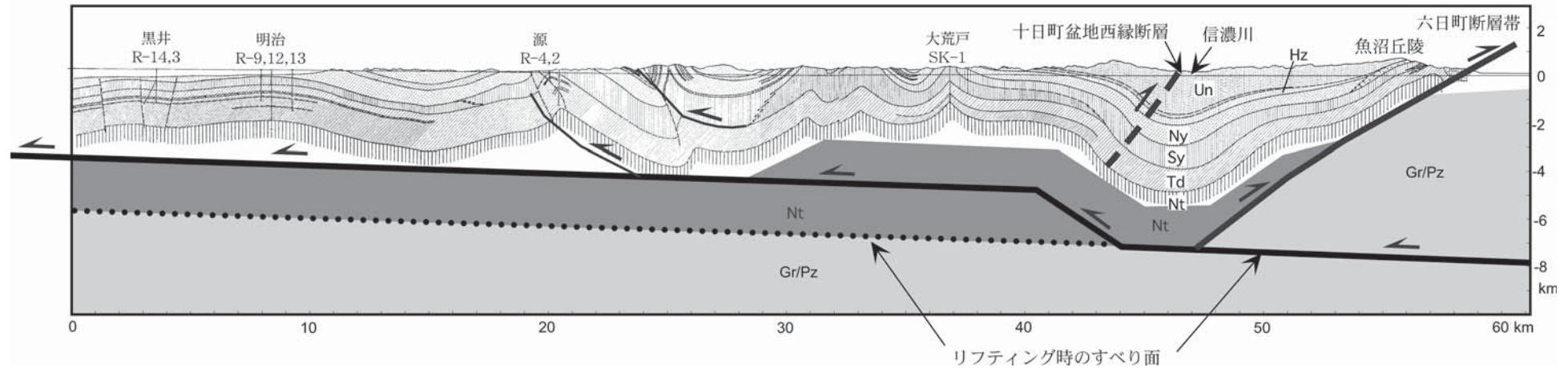
3. 角田山一新津断面



第3図 新潟平野中・北部の地下構造(池田ほか, 2002, による)。天然ガス工業界(1969)および天然ガス工業界・大陸棚石油開発協会(1992)による地質断面図に推定される断層位置(太実線)を加筆した。断面の位置は第2図参照。地層名は上位から:Og, 小国層;Hz, 灰爪層(以上第四紀);Ny, 西山層(第四紀前期~鮮新世);Sy, 椎谷層(前期鮮新世~後期中新世);Td, 寺泊層(後期~中期中新世);Nt, 七谷層(前期中新世);Gr, 先第三紀花崗岩類;Pz, 古生界。「新発田-小出構造線」は、基本的には羽越堆積盆の新第三紀層とその東側(越後山地)の中古生層との不整合面であるが、鮮新世以降この不整合面に沿って層面すべり断層(逆断層)が発達するところがある。下図(角田山-新津断面)において、新津背斜の東翼を限る断層と角田山東縁断層は2 km以上の垂直変位量を有する大規模な構造であるが、第四紀後期の動きは軽微であり、既に活動を停止しつつあるらしい。

Fig.3 Geologic cross sections of the northern and middle part of the Niigata basin (Ikeda et al., 2002). Major faults (indicated by thick solid lines) are added to geologic sections published by Japan Natural Gas Association (1969) and Japan Natural Gas Association and Japan Offshore Petroleum Development Association (1992). See Figure 2 for location of each section. Geologic units: Og, Oguni Formation (Quaternary); Hz, Haizume Formation (Quaternary); Ny, Nishiyama Formation (lower Quaternary-Pliocene); Sy, Shiiya Formation (lower Pliocene-upper Miocene); Td, Teradomari Formation (upper-middle Miocene); Nt, Nanatani Formation (lower Miocene); Gr, pre-Tertiary granite; Pz, Mesozoic-Paleozoic rocks. The "Shibata-Koide Tectonic Line" was an unconformity between rift-fill sediments and pre-Tertiary basement at the southeastern margin, and has been activated in places as a bedding-slip fault.

4. 直江津—塩沢断面



第4図 高田沖から松之山，十日町市水沢を経て六日町盆地南部に至る地質断面と推定深部地下構造（池田ほか，2002 による）。天然ガス工業界（1969）による地質断面図に推定される断層位置（太実線および太破線）を加筆した。断面の位置は第2図参照。地層名は第3図に同じ（ただし，最上部のUnは魚沼層）。基盤岩中に想定される水平なデタッチメント断層は，中新世初期にリフトベースンを形成した正断層が逆断層として再活動したものと考える。魚沼丘陵の地下にある楔状の基盤岩は，デタッチメント断層の上盤先端部に形成された rollover 背斜を起源とする（第2図参照）。テクトニックインバージョンを起こしたデタッチメント断層は，リフトベースンを埋積した新第三系の基底（七谷層中）に沿って前方へ伝播していったと考えられる。信濃川付近を軸とする魚沼層（Un）の深い堆積盆の形成と，松之山周辺の構造的高まりの形成は，七谷層中に落差2 km程度の ramp が存在すると仮定することで合理的に説明できる。この部分でのデタッチメント断層の総すべり量は，約12 kmである。六日町断層は，基盤岩上盤側の roll-over 背斜上に堆積した新第三系の基底に，層面すべり断層として発生した back thrust である。この断層の発生時期は新しく，魚沼層堆積後である。六日町断層の総すべり量は3 - 6 kmに達する。

Fig.4 Geologic cross section from Naoetsu to Shiozawa (Ikeda et al., 2002). Major faults (indicated by thick solid lines) are added to the geologic section published by Japan Natural Gas Association (1969). See Figure 2 for location. Geologic units: Un, Uonuma Formation (Quaternary); see the caption of Figure 3 for the other units. The wedge-shaped basement block beneath the Uonuma Hills was a rollover anticline that was formed on the hanging-wall side of the low-angle normal fault in Early to Middle Miocene time. After the tectonic inversion occurred, the low-angle basement fault has propagated up-dip (westward) along the base of the basin fills. The formation of a structural high at Matsunoyama and a deep basin of the Uonuma Formation (Quaternary) behind it requires a ~2 km high ramp in the detachment. The total amount of slip on the main detachment fault after the tectonic inversion is estimated at ~12 km. The Muikamachi fault is a back thrust that was developed along the unconformity at the east flank of the rift basin. The total amount of slip on the Muikamachi fault is 3-6 km.