

# 反射法地震探査による 新潟県十日町断層帯周辺の地下構造

横倉 隆伸<sup>1)</sup>・伊藤 忍<sup>1)</sup>・山口 和雄<sup>1)</sup>・加野 直巳<sup>1)</sup>  
大滝 壽樹<sup>1)</sup>・牧野 雅彦<sup>1)2)</sup>・住田 達哉<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

信濃川周辺は「信濃川地震帯」あるいは「信濃川活褶曲帯」などと呼ばれ、古くから活褶曲・活断層の存在や活発な地震活動で知られている。当地域は近年のGPS観測によって見出された「新潟-神戸歪み集中帯」(Sagiya *et al.*, 2000)に属しており、2004年新潟県中越地震や2007年新潟県中越沖地震はこの歪み集中帯内で発生している。

信濃川中流域の十日町盆地は、西方の東頸城丘陵と東方の魚沼丘陵に挟まれた盆地であり、2004年新潟県中越地震震源域の南方に位置している。ここでは、中央を流れる信濃川の作る段丘の変形などから、東西両岸に断層の存在が想定されている。しかし被害地震の存在は今のところ確認されていない。

十日町盆地周辺の断層帯の地下構造および魚沼丘陵・東頸城丘陵周辺の地質構造との関わりを解明するため、東頸城丘陵東端から十日町断層帯を横断し、魚沼丘陵中央付近に達する約10kmの測線において反射法地震探査を実施した。本項ではその結果について報告する。

## 2. 断層の分布

東頸城丘陵は著しく褶曲しており、信濃川に向かって比較的急傾斜をなしている。一方魚沼丘陵はその山稜が東に偏っており、著しく非対称な山容を示す。そのため東方の六日町盆地側斜面は急傾斜であるが、西側斜面は信濃川に向かって緩やかに傾斜しているだけである。この地形は丘陵を形作る魚沼層群の地質構造と調和的であり、構造運動と密接に関連して地形が形作られてきたことを示している。

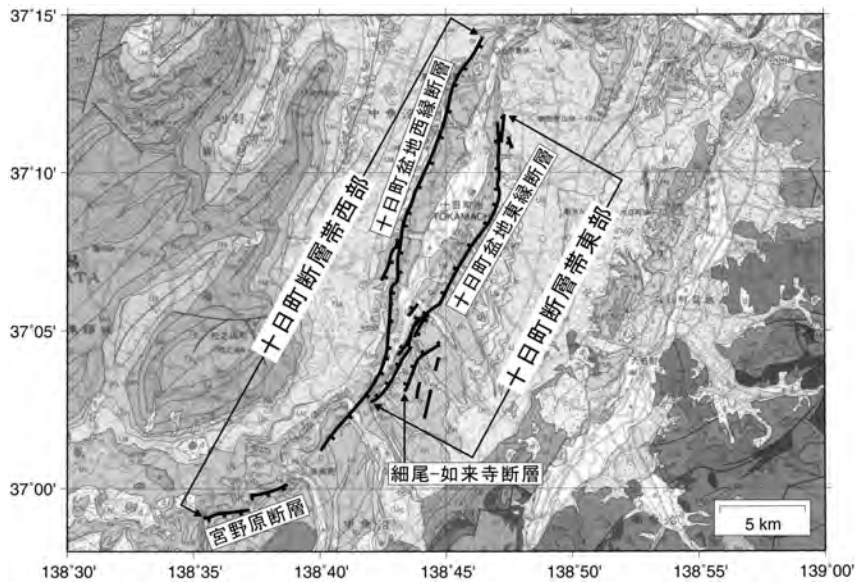
信濃川東岸では、いくつかの断層が知られており、その名称は研究者により様々である。当初信濃川東岸の十日町市土市周辺の段丘上で認められた断層は、西上りの逆断層であり(町田・池田, 1969)、その後十日町断層と呼ばれるようになった。「新編日本の活断層」(活断層研究会編, 1991)でもこれを踏襲している。その後太田らのグループは、精力的な地形調査・トレンチ調査により(小林, 1997; 太田ほか, 1997, 1998a, b, c, 1999; 太田, 1998; 渡辺ほか, 1998; 田中, 2000; 太田・鈴木, 2002)、この西上り逆断層の西方に、新たに東上りの一部A級の活動度を有する数条の逆断層を発見した。また活動度から言って、東上りの逆断層が主断層であり、従来の西上りの十日町断層は副次的な断層であるとした。そしてこれら数条の断層を含む東上りの逆断層系を新たに十日町断層として再定義した(太田ほか, 1998a, b)。これらの成果を含む詳細な断層分布が1:25,000都市圏活断層図「小千谷」(渡辺ほか, 2001)、同「十日町」(鈴木ほか, 2001)や、「活断層詳細デジタルマップ」(中田・今泉編, 2002)に示されている。渡辺ほか(2001)、鈴木ほか(2001)ではこれらを十日町盆地東縁断層と呼んでいる。しかし「第四紀逆断層アトラス」(池田ほか編, 2002)には土市周辺で西上りの断層のみが記載されている。

一方信濃川西岸に沿って、一部不明瞭となりながらも、小千谷市から十日町市を経て津南町へと続く西上りの幅広い撓曲帯が認められ、(渡辺ほか, 2001)、鈴木ほか(2001)、池田ほか編(2002)はこれを十日町盆地西縁断層と呼んでいる。

地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005)は、十日町盆地周辺の断層全体を「十日町断層帯」と呼称している(第1図)。そのうち、上記十日町盆地東縁断

1) 産総研 地質情報研究部門  
2) 現在 地質調査情報センター

キーワード: 十日町断層帯, 魚沼丘陵, 東頸城丘陵, 反射法地震探査, 大型バイブレータ



第1図 十日町断層帯の位置. 断層のトレース・名称は地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005)による. ケバのある方が低下側を表す. 基図: 20万分の1地質図幅「高田」(竹内ほか, 1994).

層およびその南東方に存在する細尾-如来寺断層などを含めた断層長約19kmを「十日町断層帯東部」と、また十日町盆地西縁断層とその南方に存在する宮野原断層などを含めた断層長約33kmを「十日町断層帯西部」と、それぞれ呼んでいる。その長期評価によれば、十日町断層帯西部では津南町叩ノ木付近での推定にもとづき1m/千年程度、東部では十日町市中条付近、同伊達付近での推定値にもとづき0.2-0.4m/千年程度、という平均変位速度(上下成分)を有する断層であるとされている。

### 3. 測線および探査諸元

第2図に探査測線(図中にTokamachiと付してある測線、以下、十日町測線と呼ぶ)を示す。測線位置を20万分の1地質図「高田」(竹内ほか, 1994)に重ねて示している。測線は、東頸城丘陵東斜面の鉢付近から鉢沢川北岸の県道真田高島線に沿い、十日町盆地西縁断層・信濃川・東縁断層を横切り、ほぼ入間川沿いの県道当間土市停車場線を通って、魚沼丘陵中央部まで続く約10kmの測線である。

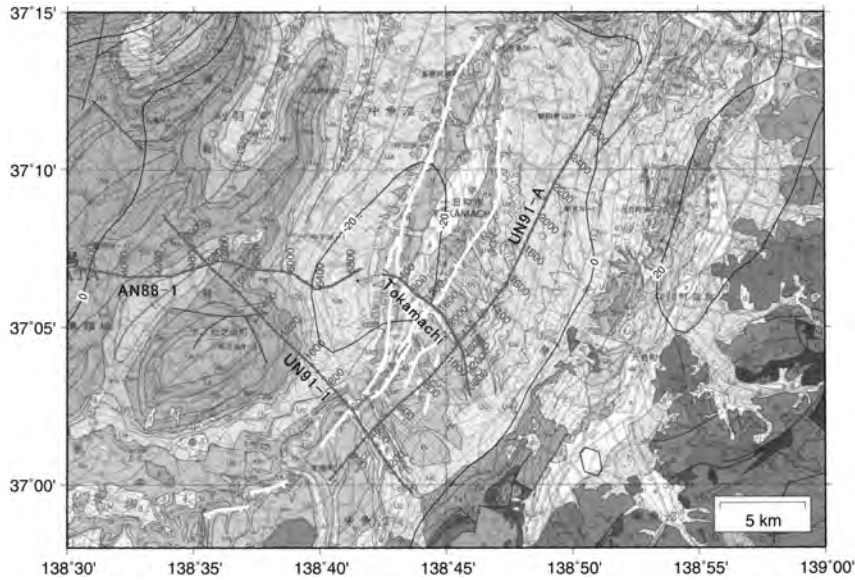
調査に当たり、第1表に示すように、固有周波数10 Hzの受振器を使用し、受振点間隔10m、192chの固

定展開でデータ収録を行った。信濃川を横断する際は288chの固定展開とした。震源は大型パイプレータ(Y-2400)を1台使用し、発震間隔5m、スイープ長18s、相互相関前記録長24s、スイープ周波数8-60Hzとしてデータ収録した。この野外データからCMP間隔2.5m、記録長(相互相関後)6sのCMP編集データを作成し、データ処理を行った。

十日町測線の西方約1.3kmに石油公団(現・独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構)が国内石油・天然ガス基礎調査のために実施した陸上基礎物理探査の新井~中子測線(AN88-1)東端が位置し、同じく魚沼A測線(UN91-A)が十日町測線のCMP2500付近で交差している。また南西方約7kmには魚沼1測線(UN91-1)がほぼ平行に走っている。第2図にこれら3測線も図示した。石油公団の調査は透過力の大きいダイナマイトを40m間隔で発破するという大規模な仕様となっている。この3測線に対する石油公団の解釈を参照・対比することにより、十日町測線で得られた各反射面を同定することが可能となる。

### 4. 処理結果と解釈

処理結果のマイグレーション後時間断面・深度断面



第2図 十日町測線と周辺測線との位置関係。Tokamachiと付してあるのが十日町測線。いずれもCMP重合測線を示す。白抜き実線は第1図の十日町断層帯と同じもの。基図：20万分の1地質図幅「高田」(竹内ほか, 1994)。コンター：新たにオーバーレイした、仮定密度を2.67g/cm<sup>3</sup>とした場合のブーゲー重力異常(駒澤(2000)にもとづく)。

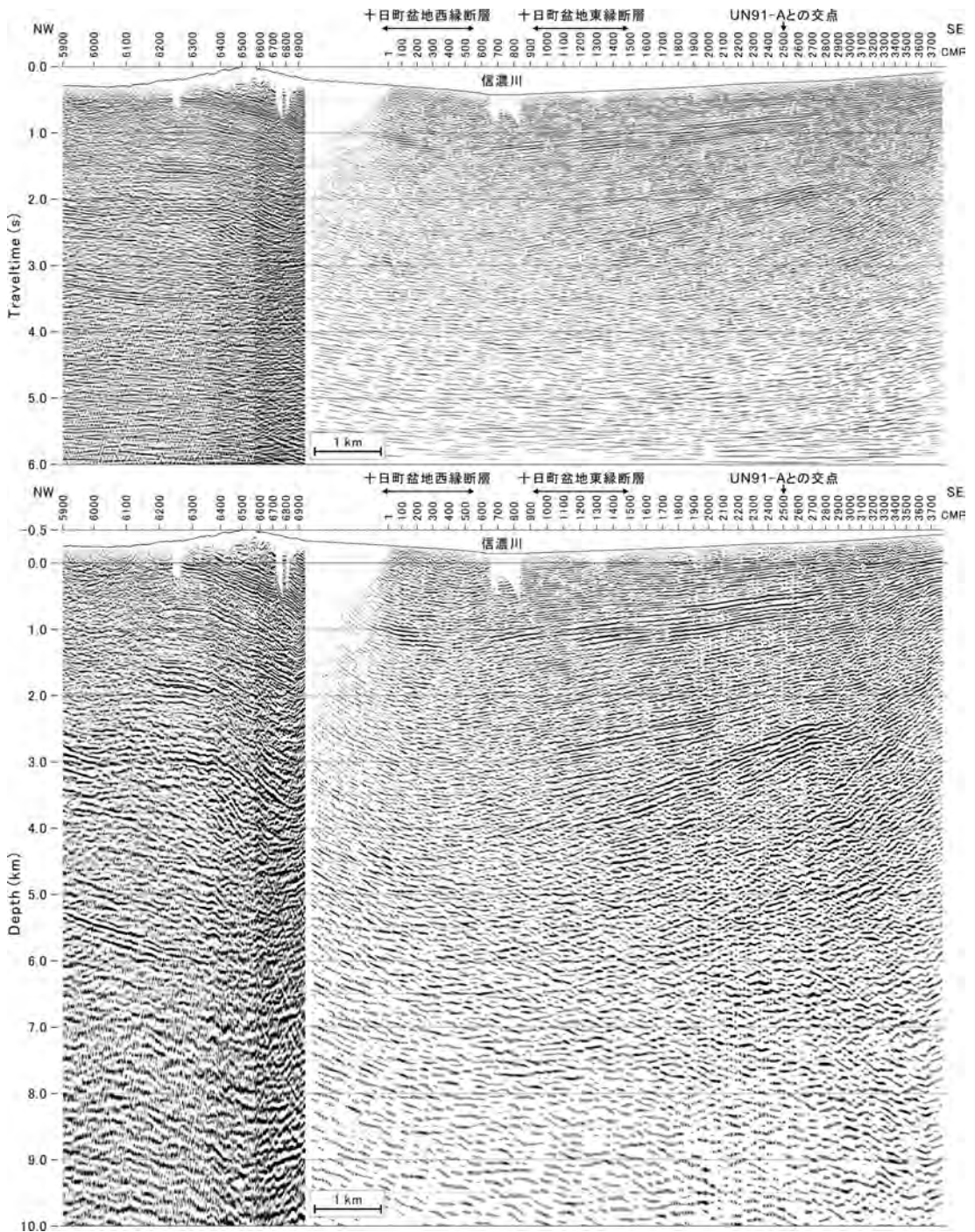
第1表 十日町測線探査仕様。

測線長	約10km
記録系	
探鉱器	DAS-1
台数	2式(標準), 4式(信濃川部)
Channel数	192(標準), 288(信濃川部)
Sample間隔	2ms
記録長	24s(uncorrelated)
垂直重合数	3(標準)
震源系	
震源	Y-2400 1台
発震点間隔	5m(標準)
発震点数	1644点
Sweep長	18s
Sweep周波数	8-60Hz
受振系	
受振器	UM-2 (f <sub>0</sub> =10Hz)
受振器/点	6個
受振点間隔	10m
総受振点数	960点
展開	192ch 固定(標準), 288ch 固定(信濃川部)

を第3図に示す。上下段の両図の左側および右側は、AN88-1測線東端部および十日町測線にそれぞれ対応する。十日町測線のマイグレーション前時間断面の西端付近には多くの東傾斜の反射面が存在しており、マイグレーションの際それらのかかなりの部分が西方へ移動し、測線範囲から外れてしまう。それを避けるためマイグレーションの計算範囲を500トレース(1.25 km)分西方に拡張し、計算を行った。また構造把握を容易にするため、当地域の大局的な構造方向に直交する方向(N54°W)に断面を投影している。

場所によりS/Nの善し悪しの差が大きいデータであるが、良好なところでは往復走時4s以上まで有意な反射面が認められる。測線南東側から信濃川に向かって傾斜した反射面が顕著である。その傾斜は深部ほど大きい傾向がある。一方北西側からも信濃川に向かって急傾斜しており、大局的には信濃川を軸とする向斜構造を形作っている。また信濃川付近では、4-5s付近に低周波のほぼ水平な反射波が断片的に認められる。断層に関しては、信濃川西岸では信濃川付近から北西傾斜の断層が認められる。一方東岸では、このスケールで見ると断層の存在はそれほど明瞭ではない。





第3図 処理結果。上段：マイグレーション後時間断面，下段：マイグレーション後深度断面。図左側は石油公団によるAN88-1の東端部，右側は十日町測線の拡張された断面，いずれも当地域の大局的な構造方向に直交する方向(N54°W)に断面を投影している。

本解釈作業で用いた地質層序	凝灰岩鍵層 有孔虫マーカー	底生有孔虫による化石帯
魚沼層群		
灰爪層	■ No.1 Gr.inf bed	Criboerophidium yabei Zone
西山層	■ No.3 Gr.inf bed	Uvigerina akitaensis Zone
椎谷層		Miliammina echigoensis Zone
上部寺泊層	寺泊層 Pタフ Qタフ Blue Zone Sタフ Tタフ	Martinottiella communis - Spirosgmoilnella compressa
下部寺泊層		Cribrostomoides renzi - Dorothia sp. Zonule
七谷層 (泥岩相)		Hopkinsina morimachiensis Zone
グリーンタフ (七谷期 緑色凝灰岩類)		

第4図 石油公団が魚沼地域陸上基礎物理探査で解釈に用いた地質層序。

石油公団では広域的な対比を行うため、地域ごとの地層名を使用せず、魚沼層群、灰爪層、西山層、椎谷層、寺泊層、七谷層(泥岩部)、そして当地域の音響基盤であるグリーンタフ、からなる新潟標準層序名を使用している。しかし魚沼地域と新井～中子地域とで若干異なる層序に基づいて解釈しているため、ここでは魚沼地域の層序(第4図)に基づいて、AN88-1測線のうち、UN91-1測線との交点から東側部分の解釈をやり直した。

石油公団の解釈はマイグレーション後時間断面で与えられているので、ここでもマイグレーション後時間断面を比較した。解釈にあたっては、UN91-1、UN91-A測線の地層境界の解釈を正しいものとし、AN88-1測線とUN91-1測線の交点、また十日町測線とUN91-A測線の交点においてそれぞれ対応する顕著な反射面を求め、その連続する反射面をAN88-1測線と十日町測線のそれぞれの断面上で追跡した。追跡は比較的容易であったが、AN88-1測線ではグリーンタフ上面はノイズのため連続性が悪く、七谷層上面とほぼ平行するところに見られた断続的な反射面をグリーンタフ上面と見なした。十日町測線では寺泊層の上面より下の地層境界を深部へ追跡することはやはりノイズの問題で難しかった。

この時間断面の解釈をもとに深度断面での解釈を

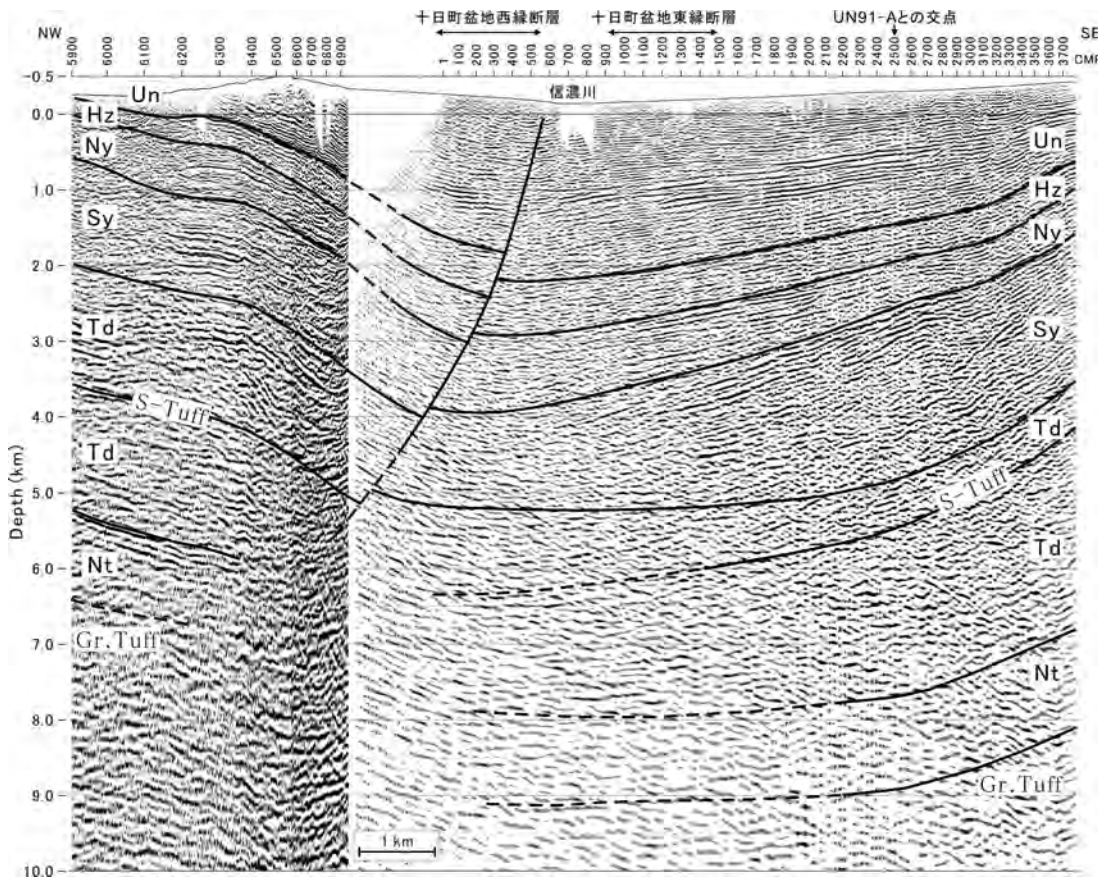
書き入れた。その結果を第5図に示す。第5図でも、構造把握を容易にするため、当地域の大局的な構造方向に直交する方向(N54°W)に断面を投影している。図中のUn, Hz, Ny, Sy, Td, S-Tuff, Nt, Gr.Tuffはそれぞれ魚沼層群、灰爪層、西山層、椎谷層、寺泊層、寺泊層中のキーとなる凝灰岩層(第4図参照)、七谷層(泥岩部)、グリーンタフを意味している。

その結果、AN88-1測線では、もとの解釈に比べて、椎谷層基底以深の地層境界が深くなり、西山層基底以浅は変更がなかった。椎谷層は500mほど厚く、寺泊層はほぼ倍の厚さに、七谷層(泥岩部)はほぼ半分の厚さに、それぞれ求まった。これにより寺泊層、七谷層(泥岩部)の層厚は魚沼丘陵側(十日町測線東部)と東頸城丘陵側でほぼ同等の厚さとなった。

第4図にあるように、使用した地質層序では灰爪層の基底をNo.1 Globorotalia inflata bed(浮遊性有孔虫の年代マーカーのひとつ)の下限としているため、通常の灰爪層とは異なる定義となっている。また当地域の5万分の1地質図幅「松之山温泉」(竹内ほか、2000)、同「十日町」(柳沢ほか、1985)では「魚沼層」という地層名が用いられているが、この「魚沼層」は年代的に第4図の魚沼層群から灰爪層、そして西山層の一部までを含むものに相当する。以下では第4図の地層名を使用して、構造を議論する。

魚沼層群・灰爪層・西山層は信濃川向斜部(十日町盆地西縁断層付近)で最も厚くなっており、椎谷層は魚沼丘陵中央部付近(十日町測線東部)で最も厚くなっている。寺泊層以下は第5図の断面全体に渡ってほぼ層厚が一定に近いものと推測できる。十日町盆地西縁断層付近で見ると、椎谷層以下は断層を挟んで層厚に大きな差はなく、このことは椎谷層堆積期末期までに断層活動がほとんどなかったことを示す。一方、西山層・灰爪層・魚沼層群は断層を挟んで層厚が異なっており、古い層ほどその層厚差が大きいが、すなわち西山層堆積期以降は断層活動にともなう層厚差(言い換えれば断層変位)が累積して、現在に至っていると言える。したがって十日町盆地西縁断層が活動を開始したのは、西山層堆積期初期あるいは椎谷層堆積期末期頃であったと推測される。また深部については確度が落ちるが、当地域の音響基盤となるグリーンタフ上面までの堆積層は約9kmの層厚を持つと推定される。UN91-1測線においても信濃川向斜部で堆積層厚が約8kmと見積もられてい





第5図 深度断面の解釈図. Un:魚沼層群, Hz:灰爪層, Ny:西山層, Sy:椎谷層, Td:寺泊層, S-Tuff:寺泊層中の凝灰岩鍵層S-タフ, Nt:七谷層(泥岩部), Gr.Tuff:グリーンタフ.

る(石油公団, 1992). UN91-1測線に比べて十日町測線は, 第2図の重力異常の中心により近いところを通っていることから, 9kmという数字はそれほどおかしなものではないと考えられる.

## 5. 断層の活動度

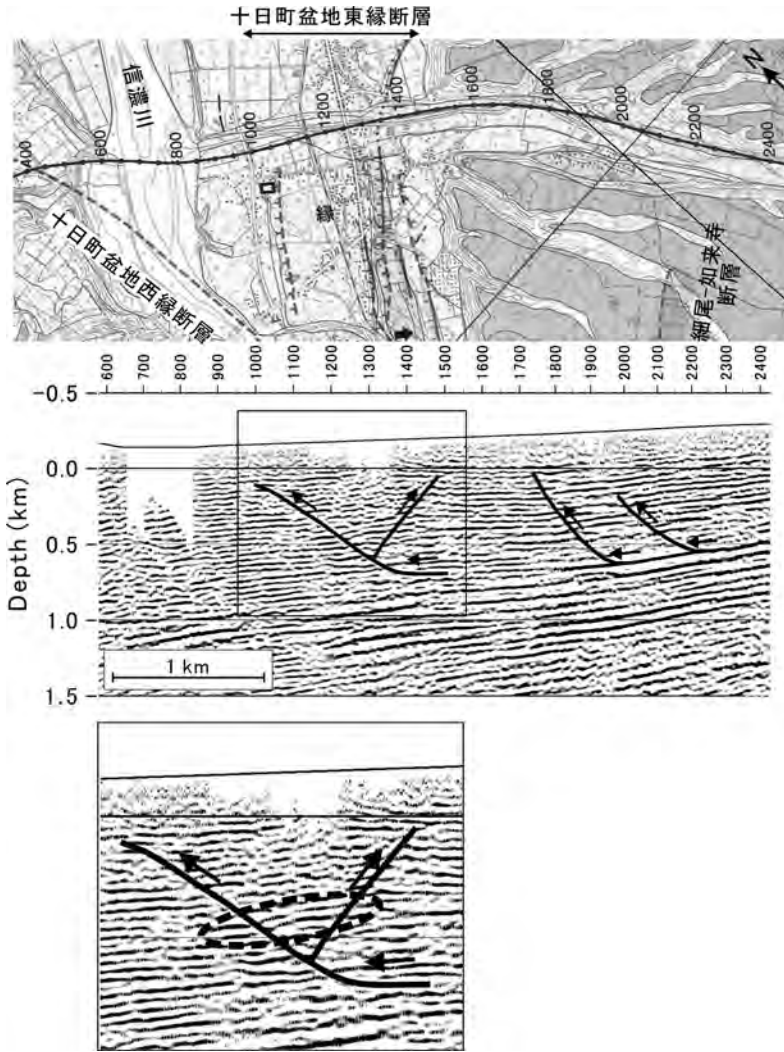
### 5.1 十日町盆地東縁断層

十日町盆地東縁断層から地下深部まで続くような断層面は認められず, これは根無しの断層であると考えられる. 全体として見ると, この断層は, 東西方向の圧縮により二つの断層で挟まれた部分が上方へ押し出されたような構造(pop-up状の構造)を呈しており, 魚沼層群中の顕著な反射面で層面すべりを起こしていることに起因する可能性がある(第6図). 少し南東側の緩い撓曲様の構造も層面すべりと関連して

生じている可能性がある. またこのpop-up状の構造の中いくつかの小断層が存在するように見える. pop-up部分の下部, 深度400m前後のよく似ている反射面のずれ(第6図下段の楕円部分)から類推すると, 変位は最大で数10-100m程度と推定される. 浅部に向かうにつれ変位は減少しているように見える. すなわち, 根無しの断層であるにもかかわらず, 累積的な活動をしている可能性がある. その説明として, 東方の六日町盆地西縁断層帯の間欠的な活動により魚沼丘陵が急激に隆起した際に, その影響を受けて, すべり面より上盤側の魚沼層群が間欠的に西方へすべり動くことにより引き起こされた, というようなことが考えられるかもしれない.

### 5.2 十日町盆地西縁断層

十日町測線では, 十日町盆地西縁断層に沿って魚



第6図 十日町盆地東縁断層帯付近の形状。上段：都市圏活断層図「十日町」(鈴木ほか, 2001)に十日町測線を重ねたもの。中段：十日町盆地東縁断層帯の形状。下段：中段の四角部分の拡大。

沼層群の基底が約400m, 灰爪層基底が約500m, 西山層の基底が約1,000m変位している。残念ながら、今のところそれより浅部に年代の分かる反射面はない。またUN91-1測線でも十日町盆地西縁断層が確認されており、灰爪層の基底で約300m強, 西山層の基底で約600mの変位がある(石油公団, 1992)。

この陸上基礎物理探査では灰爪層の基底にNo.1 Globorotalia inflata bedの下限(年代は文献によって異なるが、およそ1.0-0.8Ma)があるとしている(第4図)ことから、十日町測線では過去100万年間程度の

平均で見れば0.5-0.6m/千年の平均変位速度ということになる。またUN91-1測線では、同様に0.3-0.4m/千年程度以上の平均変位速度が得られる。これらの値は、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005)が津南町卯ノ木付近のデータに基づき評価した約1m/千年という値より若干小さい。

また西山層の基底はNo.3 Globorotalia inflata bedの下限(これも年代は文献によって異なるが、およそ3-4Ma程度)に相当することから、西山層堆積期の平均変位速度を求めると、十日町測線ではおよそ0.2-



0.3m/千年程度、UN91-1測線では0.1-0.2m/千年程度となる。したがって最近の100万年間の方が変位速度は2-3倍程度大きくできていると考えられる。

## 6. まとめ

以上のように、東西両縁の断層はきわめて異なった形態をしている。十日町盆地東縁断層帯は魚沼層群内の顕著な反射面をすべり面とするpop-up状の構造であり、その規模は小さい、いわゆる根無し断層であり、起震断層ではないと考えられる。しかし東方の六日町盆地西縁断層の活動と関連して滑っている可能性もあり、その断層活動時期の推定に役立つかもしれない。また起震断層ではないとしても、すべりを生じれば被害は発生するため、防災上の観点から無視して良いという訳ではない。

一方、十日町盆地西縁断層帯は、背後に大きな背斜構造をひかえており、地下深部から続く大規模な断層であると考えられる。断層を挟んだ各堆積層の層厚差から、少なくとも西山層堆積期初期あるいは椎谷層堆積期末期頃から、十日町盆地西縁断層帯は活動を開始していると考えられる。年代の分かる変位基準が少ないため、約100万年間の平均的な活動度しか見積もることはできないが、その平均変位速度は約0.3-0.6m/千年程度である。最近100万年間の変位速度はそれ以前と比べて2-3倍程度大きくできている。

池田(2002)、池田ほか編(2002)は高田沖から松之山、十日町市水沢を経て六日町盆地南部に至る地質断面に基づいて、やや東へ傾くデタッチメントのテクトニック・インバージョンによって構造の形成を説明するモデル(以下池田モデルと称する)を提案している。この地質断面は十日町測線と非常に近い位置にある。これによれば、3-3.5Ma以降約15-18kmの水平短縮量があり、平均短縮速度は4.3-6.0mm/年という大きなものとなる。池田モデルではやや東傾斜のデタッチメント断層が主たるものであり、六日町盆地西縁断層はこのバック・スラストとして理解されている。また十日町盆地西縁断層やその西方にある大きな背斜構造の存在は、七谷層中に高さ2kmのランプを想定することで説明がつくという。この意味では、十日町盆地西縁断層は大部分が堆積層を切るだけのバック・スラストのひとつにすぎないことになり、地震発生

層にまで到達しておらず、こちらも起震断層ではないということになる。池田モデルはいろいろなことを説明できて魅力的であるが、バック・スラストとしての六日町盆地西縁断層が深度8km未満でデタッチメントに達しているなど、全体にデタッチメントの位置が浅すぎるように思える。十日町盆地の西方の褶曲群の波長が短く、それを説明するために層厚を薄くする必要があったためと思われる。

一方、当地域から約25km北北東に震央を持つ2004年新潟県中越地震の震源域において、余震分布は深度13-14kmにまで達している。Kato *et al.* (2005)、Sato and Kato (2005)、Okamura *et al.* (2007)はおもに地質情報をもとにバランス断面法で断層構造を検討し、余震域近傍では、六日町盆地西縁断層の地表トレースからやや低角に田麦山背斜付近の地下に到り、そこで折れ曲がって高角の本震断層面付近を通り、地下13-14kmでほぼ水平になるような断層形状を得ている。余震域の南方、十日町測線に近い所では、この折れ曲がりが存在せず、六日町盆地西縁断層の地表トレース近傍からすぐに高角となり、地下13-14kmでほぼ水平になるような形状となる(Sato and Kato, 2005; Okamura *et al.*, 2007)。したがって池田モデルは、デタッチメントの深さを変えるか、デタッチメントとバック・スラストの交点付近のモデルを変更する必要があると思われる。

この池田モデルあるいは考え得るその他モデルの当否を確かめるためには、各堆積層の層厚・形状など、特にデータの少ない深部の情報を蓄積していくことが重要である。そうすることで初めて、全体としての変位速度や想定すべき起震断層の位置などを推定していくことができるだろう。

**謝辞：**調査に際し十日町市役所、みどりネット十日町(十日町市土地改良区)、国土交通省信濃川河川事務所十日町出張所、新潟県十日町地域振興局地域整備部、東日本旅客鉄道株式会社長野支社のご協力を得た。また本研究をまとめるに当たり、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構より、国内石油・天然ガス基礎調査 陸上基礎物理探査「新井～中子地域」(1989)、「魚沼地域」(1992)に関するデジタルデータ等の提供およびそれを利用した発表を許可して頂いた。上記諸機関に対しここに心からの感謝の意を表します。



参 考 文 献

- 池田安隆 (2002) : 日本の活褶曲帯の形成メカニズムとその起源. 活断層研究, 22, 67-70.
- 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, 254p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2005) : 十日町断層帯の評価, 23p.
- Kato, N., Echigo, T., Sato, H., Tateishi, M., Oginio, S., Sakai, S., Toda, S., Koshiya, S., Ito, T., Toyoshima, T., Imaizumi, T., Kato, H. and Abe, S. (2005) : Geologic fault model based on the high-resolution seismic reflection profile and aftershock distribution associated with the 2004 Mid-Niigata Prefecture earthquake (M6.8), central Japan, Earth Planets Space, 57, 447-452.
- 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, 437p.
- 小林真弓 (1997) : 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. 日本地理学会発表要旨集, 51, 114-115.
- 駒澤正夫 (2000) : 日本重力異常グリッドデータベース, 日本重力CD-ROM, 数値地質図P-2, 地質調査所.
- 町田 貞・池田 宏 (1969) : 信濃川中流地域における段丘面の変位. 地理学評論, 42, 623-630.
- 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, DVD-ROM 2枚・60p. 付図1葉.
- Okamura, Y., Ishiyama, T. and Yanagisawa, Y. (2007) : Fault-related folds above the source fault of the 2004 mid-Niigata Prefecture earthquake, in a fold-and-thrust belt caused by basin inversion along the eastern margin of the Japan Sea, J. Geophys. Res., 112, B03S08, doi:10.1029/2006JB004320.
- 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・信濃川活断層発掘グループ (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. 日本地理学会発表要旨集, 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・十日町断層研究グループ (1998a) : 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見た十日町断層の性質と活動期. 日本地理学会発表要旨集, 53, 80-81.
- 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・十日町断層研究グループ (1998b) : 十日町盆地東部における新たな活断層の認定と十日町断層の再定義. 地球惑星科学関連学会1998年合同大会予稿集, 316.
- 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・十日町断層研究グループ (1998c) : トレンチ調査から見た新潟県南部, 十日町断層の性質と活動期. 地球惑星科学関連学会1998年合同大会予稿集, 316-317.
- 太田陽子 (1998) : 庄内平野および十日町盆地東縁における活断層の発見およびトレンチ調査による古地震の検討, 月刊地球, 20, 454-459.
- 太田陽子・鈴木郁夫・渡辺満久・澤 祥・鈴木康弘 (1999) : 十日町断層 (新宮・土市地区) トレンチ調査. 地球惑星科学関連学会1999年合同大会予稿集, CD-ROM, Sb-006.
- 太田陽子・鈴木康弘 (2002) : 陸域の活断層と古地震, 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス (大竹政和・平 朝彦・太田陽子編), 70-94.
- Sagiya, T., Miyazaki, S. and Tada, T. (2000) : Continuous GPS Array and Present-day Crustal Deformation of Japan. Pure appl. geophys., 157, 2303-2322.
- Sato, H. and Kato, N. (2005) : Relationship between geologic structure and the source fault of the 2004 Mid-Niigata Prefecture Earthquake, central Japan, Earth Planets Space, 57, 453-457.
- 石油公団 (1989) : 昭和63年度国内石油・天然ガス基礎調査 陸上基礎物理探査「新井〜中子地域」調査報告書.
- 石油公団 (1992) : 平成3年度国内石油・天然ガス基礎調査 陸上基礎物理探査「魚沼地域」調査報告書.
- 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.
- 竹内圭史・加藤碩一・柳沢幸夫・広島俊男 (1994) : 20万分の1地質図幅「高田」, 地質調査所.
- 竹内圭史・吉川敏之・釜井俊孝 (2000) : 松之山温泉地域の地質, 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 76p.
- 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.
- 渡辺満久・池田安隆・宮内崇裕 (1998) : 十日町盆地の活断層—第四紀後期の活動度—. 日本地震学会講演予稿集, 2, P117.
- 渡辺満久・堤 浩之・鈴木康弘・金 幸隆・佐藤尚登 (2001) : 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・茅原一也・鈴木尉元・植村 武・小玉喜三郎・加藤碩一 (1985) : 十日町地域の地質, 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 104p.

---

YOKOKURA Takanobu, ITO Shinobu, YAMAGUCHI Kazuo, KANO Naomi, OHTAKI Toshiki, MAKINO Masahiko and SUMITA Tatsuya (2008) : Subsurface structure around the Tokamachi fault zone, Niigata prefecture, central Japan, revealed by seismic reflection survey.

---

< 受付 : 2008年7月8日 >