

十日町断層帯の長期評価について

平成17年4月13日
地震調査研究推進本部
地震調査委員会

地震調査研究推進本部は、「地震調査研究の推進について ―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策―」（平成11年4月23日）を決定し、この中において、「全国を概観した地震動予測地図」の作成を当面推進すべき地震調査研究の主要な課題とし、また「陸域の浅い地震、あるいは、海溝型地震の発生可能性の長期的な確率評価を行う」とした。

地震調査委員会では、この決定を踏まえつつ、これまでに陸域の活断層として、88断層帯の長期評価を行い公表した。

今回、引き続き、十日町断層帯について現在までの研究成果及び関連資料を用いて評価し、とりまとめた。

評価に用いられたデータは量及び質において一様でなく、そのためにそれぞれの評価の結果についても精粗がある。このため、評価結果の各項目について信頼度を付与している。

十日町断層帯の評価

十日町断層帯は、ほぼ南北に延びる細長い十日町盆地とその東西両側の丘陵との境界に位置する断層帯である。ここでは、これまでに行われた調査研究成果に基づいて、この断層帯の諸特性を次のように評価した。

1. 断層帯の位置及び形態

十日町断層帯は、その分布形態から十日町断層帯西部と十日町断層帯東部に区分される。

十日町断層帯西部は、新潟県小千谷（おぢや）市から十日町市を経て中魚沼郡津南（つなん）町西部の新潟・長野県境付近に至る断層帯である。長さは約 33km で、北北東－南南西方向に延びており、断層帯の西側が相対的に隆起する逆断層である（図 1、2 及び表 1）。

十日町断層帯東部は、十日町市北部から十日町市南部に至る断層帯である。長さは約 19km で、北北東－南南西方向に延びており、断層帯の東側が相対的に隆起する逆断層である。（図 1、2 及び表 3）。

2. 断層帯の過去の活動

（1）十日町断層帯西部

十日町断層帯西部の平均的な上下方向のずれの速度は、1 m／千年程度の可能性がある。既往の調査研究成果による直接的なデータではないが、本断層帯の長さをもとに経験則で求めた 1 回のずれ量と平均的な上下方向のずれの速度に基づくと、平均活動間隔は 2 千－3 千年程度であった可能性がある（表 1）。

（2）十日町断層帯東部

十日町断層帯東部の平均的な上下のずれの速度は、0.2－0.4m／千年程度の可能性があり、最新活動と特定することはできないが、約 3 千 9 百年前以後、約 3 千 3 百年前以前に活動したと推定される。また、既往の調査研究成果による直接的なデータではないが、本断層帯の長さをもとに経験則で求めた 1 回のずれ量と平均的な上下方向のずれの速度に基づくと、平均活動間隔は、4 千－8 千年程度であった可能性がある（表 3）。

3. 断層帯の将来の活動

(1) 十日町断層帯西部

十日町断層帯西部は、全体が1つの区間として活動する場合、マグニチュード7.4程度の地震が発生する可能性がある。その時、断層の近傍の地表面では西側が東側に対して相対的に2－3m程度高まる段差や撓みが生じる可能性がある（表1）。本断層帯では、過去の活動が十分に明らかではなく、最新活動時期が特定できていないことから、通常の活断層評価とは異なる手法により地震発生長期確率を求めている。そのため信頼度は低いですが、将来このような地震が発生する確率は表2のとおりであり、本断層帯は、今後30年の間に地震が発生する可能性が、我が国の主な活断層の中ではやや高いグループに属することになる（注1－3）。

(2) 十日町断層帯東部

十日町断層帯東部は、全体が1つの区間として活動する場合、マグニチュード7.0程度の地震が発生する可能性がある。その時、断層の近傍の地表面では東側が西側に対して相対的に1－2m程度高まる段差や撓みが生じる可能性がある（表3）。本断層帯では、過去の活動が十分に明らかではなく、最新活動時期が特定できていないことから、通常の活断層評価とは異なる手法により地震発生長期確率を求めている。そのため信頼度は低いですが、将来このような地震が発生する確率は表4のとおりであり、本断層帯は、今後30年の間に地震が発生する可能性が、我が国の主な活断層の中ではやや高いグループに属することになる（注1－3）。

4. 今後に向けて

十日町断層帯では、西部・東部とも最新活動を含めた過去の活動履歴や1回のずれの量が明らかになっていない。また、地下構造に関する資料が不足していることから、断層の深部形状も正確に把握できていない。将来の活動を明確にするためには、これらについての精度よいデータを集積させるとともに、それぞれの活動間隔を明らかにする必要がある。



図1 十日町断層帯の概略位置図
(長方形は図2の範囲)

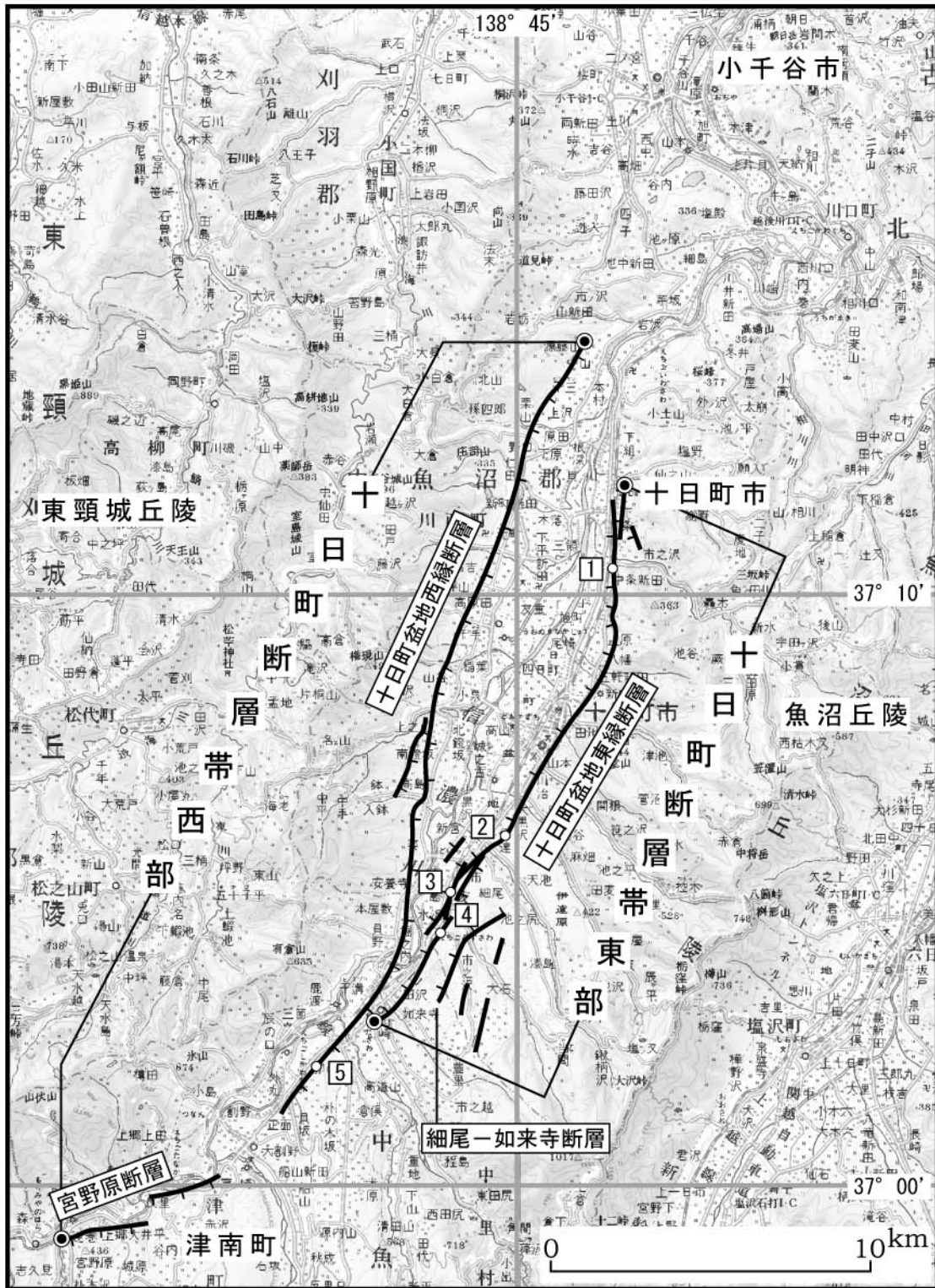


図2 十日町断層帯の位置と主な調査地点

- 1 : 中条地点 2 : 伊達地点 3 : 宮栗地点
- 4 : 馬場南地点 5 : 卯ノ木地点

● : 断層帯の北端と南端

断層の位置は文献1, 7及び11に基づく.

基図は国土地理院発行数値地図200000「高田」を使用.

表 1 十日町断層帯西部の特性

項目	特性	信頼度 (注4)	根拠 (注5)
1. 断層帯の位置・形態			
(1) 断層帯を構成する断層	十日町盆地西縁断層、宮野原断層など		文献1、2による。
(2) 断層帯の位置・形状	地表における断層帯の位置・形状 断層帯の位置 (北端) 北緯 37° 14' 東経 138° 46' (南端) 北緯 36° 59' 東経 138° 35' 長さ 約 33 km	○ ○ ○	文献1による。 位置及び長さは図2から計測。
	地下における断層面の位置・形状 長さ及び上端の位置 地表での長さ・位置と同じ 上端の深さ 0 km 一般走向 N30° E 傾斜 西傾斜 幅 不明	○ ◎ ○ ◎	上端の深さが 0 km であることから推定。 地形の特徴から推定。 一般走向は、断層帯の両端を直線で結んだ方向(図2を参照)。 文献1、3、6等に表示された地形・地質の特徴による。 地震発生層の下限の深さは 15 km 程度。
(3) 断層のずれの向きと種類	西側隆起の逆断層	◎	文献1、7、8、10 等に表示された地形・地質の特徴による。
2. 断層帯の過去の活動			
(1) 平均的なずれの速度	1 m/千年程度 (上下成分)	△	文献6等に表示された資料から推定。
(2) 過去の活動時期	不明		
(3) 1回のずれの量と平均活動間隔	1回のずれの量 2 - 3 m程度 (上下成分) 平均活動間隔 2千 - 3千年程度	△ △	断層の長さから推定。 平均的なずれの速度と1回のずれの量から推定。
(4) 過去の活動区間	不明		
3. 断層帯の将来の活動			
(1) 将来の活動区間及び活動時の地震の規模	活動区間 断層帯全体で1区間	△	
	地震の規模 マグニチュード 7.4 程度	△	断層の長さから推定。
	ずれの量 2 - 3 m程度 (上下成分)	△	断層の長さから推定。

表 2 十日町断層帯西部の将来の地震発生確率 (ポアソン過程を適用)

項 目	将来の地震発生確率 (注6)	信頼度 (注7)	備 考
今後 30 年以内の地震発生確率 今後 50 年以内の地震発生確率 今後 100 年以内の地震発生確率 今後 300 年以内の地震発生確率	1% 2% 3% - 5% 10%	d	最新活動時期が不明のため、平均活動間隔をもとにポアソン過程で推測した。

表3 十日町断層帯東部の特性

項 目	特 性	信頼度 (注4)	根 拠 (注5)
1. 断層帯の位置・形態			
(1) 断層帯を構成する断層	十日町盆地東縁断層、細尾-如来寺断層など		文献7、11による。
(2) 断層帯の位置・形状	地表における断層帯の位置・形状 断層帯の位置 (北端) 北緯 37° 12' 東経 138° 47' (南端) 北緯 37° 03' 東経 138° 42' 長さ 約 19 km	○ ○ ○	文献7、11による。 位置及び長さは図2から計測。
	地下における断層面の位置・形状 長さ及び上端の位置 地表での長さ・位置と同じ 上端の深さ 0 km 一般走向 N20° E 傾斜 東傾斜 幅 不明	○ ◎ ○ ◎	上端の深さが 0 km であることから推定。 地形の特徴から推定。 一般走向は、断層帯の両端を直線で結んだ方向(図2を参照)。 文献5、9に示された地形・地質の特徴による。 地震発生層の下限の深さは 15 km 程度。
(3) 断層のずれの向きと種類	東側隆起の逆断層	◎	文献7、10、11に示された地形・地質の特徴による。
2. 断層帯の過去の活動			
(1) 平均的なずれの速度	0.2-0.4m/千年程度(上下成分)	△	主に文献9に示された資料から推定
(2) 過去の活動時期	約3千9百年前以後、約3千3百年以前に活動があったと推定されるが、これが本断層帯の最新活動であるかは不明。		説明文2.2.2(2)を参照
(3) 1回のずれの量と	1回のずれの量 1-2m程度(上下成分)	△	断層の長さから推定。

	平均活動間隔	平均活動間隔	4千－8千年程度	△	平均的なずれの速度と1回のずれの量から推定。
	(4) 過去の活動区間	不明			
3. 断層帯の将来の活動					
	(1) 将来の活動区間及び活動時の地震の規模	活動区間	断層帯全体で1区間	△	
		地震の規模	マグニチュード7.0程度	△	断層の長さから推定。
		ずれの量	1－2m程度(上下成分)	△	断層の長さから推定。

表4 十日町断層帯東部の将来の地震発生確率(ポアソン過程を適用)

項目	将来の地震発生確率(注6)	信頼度(注7)	備考
今後30年以内の地震発生確率	0.4%－0.7%	d	最新活動時期が不明のため、平均活動間隔をもとにポアソン過程で推測した。
今後50年以内の地震発生確率	0.6%－1%		
今後100年以内の地震発生確率	1%－2%		
今後300年以内の地震発生確率	4%－7%		

注1：十日町断層帯では、最新活動時期が特定できていないため、通常の活断層評価で用いている更新過程(地震の発生確率が時間とともに変動するモデル)により地震発生長期確率を求めることができない。地震調査研究推進本部地震調査委員会(2001)は、このような更新過程が適用できない場合には、特殊な更新過程であるポアソン過程(地震の発生時期に規則性を考えないモデル)を適用せざるを得ないとしていることから、ここでは、ポアソン過程を適用して断層帯の将来の地震発生確率を求めた。しかし、ポアソン過程を用いた場合、地震発生の確率はいつの時点でも同じ値となり、本来時間とともに変化する確率の「平均的なもの」になっていることに注意する必要がある(注11も参照のこと)。

なお、グループ分けは、通常的手法を用いた場合の全国の主な活断層のグループ分け(注2参照)と同じしきい値(推定値)を使用して行なった。

注2：我が国の陸域及び沿岸域の主要な98の活断層帯のうち、2001年4月時点で調査結果が公表されているものについて、その資料を用いて今後30年間に地震が発生する確率を試算すると概ね以下のようにになると推定される。

98断層帯のうち約半数の断層帯：30年確率の最大値が0.1%未満

98断層帯のうち約1/4の断層帯：30年確率の最大値が0.1%以上－3%未満

98断層帯のうち約1/4の断層帯：30年確率の最大値が3%以上

(いずれも2001年4月時点での推定。確率の試算値に幅がある場合はその最大値を採用。)

この統計資料を踏まえ、地震調査委員会の活断層評価では、次のような相対的な評価を盛り込むこととしている。

今後30年間の地震発生確率(最大値)が3%以上の場合：

「本断層帯は、今後30年の間に地震が発生する可能性が、我が国の主な活断層の中では高いグループに属することになる」

今後30年間の地震発生確率(最大値)が0.1%以上－3%未満の場合：

「本断層帯は、今後30年の間に地震が発生する可能性が、我が国の主な活断層の中ではやや高

いグループに属することになる」

注3：1995年兵庫県南部地震、1858年飛越地震及び1847年善光寺地震の地震発生直前における30年確率と集積確率は以下のとおりである。

地震名	活動した活断層	地震発生直前の30年確率 (%)	地震発生直前の集積確率 (%)	断層の平均活動間隔 (千年)
1995年兵庫県南部地震 (M7.3)	六甲・淡路島断層帯主部 淡路島西岸区間 「野島断層を含む区間」 (兵庫県)	0.02%—8%	0.06%—80%	約1.7—約3.5
1858年飛越地震 (M7.0—7.1)	跡津川断層帯 (岐阜県・富山県)	ほぼ0%—13%	ほぼ0%—90%より大	約1.7—約3.6
1847年善光寺地震 (M7.4)	長野盆地西縁断層帯 (長野県)	ほぼ0%—20%	ほぼ0%—90%より大	約0.8—約2.5

「長期的な地震発生確率の評価手法について」(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2001)に示されているように、地震発生確率は前回の地震後、十分長い時間が経過しても100%とはならない。その最大値は平均活動間隔に依存し、平均活動間隔が長いほど最大値は小さくなる。平均活動間隔が2千年の場合は30年確率の最大値は12%程度、8千年の場合は30年確率の最大値は3%程度である。

注4：信頼度は、特性欄に記載されたデータの相対的な信頼性を表すもので、記号の意味は次のとおり。

◎：高い、○：中程度、△：低い

注5：文献については、本文末尾に示す以下の文献。

- 文献1：池田ほか編 (2002)
- 文献2：活断層研究会編 (1991)
- 文献3：町田・池田 (1969)
- 文献4：中田・今泉編 (2002)
- 文献5：太田編 (1998)
- 文献6：信濃川ネオテクトニクス団体研究グループ (2002)
- 文献7：鈴木ほか (2001)
- 文献8：竹内ほか (2000)
- 文献9：田中 (2000)
- 文献10：柳沢ほか (1985)
- 文献11：渡辺ほか (2001)

注6：評価時点はすべて2005年1月1日現在。「ほぼ0%」は 10^{-3} %未満の確率値を示す。なお、計算に用いた平均活動間隔の信頼度は低い(△)ことに留意されたい。十日町断層帯は最新活動時期を特定できていないため、通常的手法による確率の値は推定できない。そのかわりとして、長期間の確率の平均値を示した。最新活動時期によってはこの値より大きく、または小さくなるが、その確率値のとり得る範囲は平均活動間隔から求めることができる。十日町断層帯西部は平均活動間隔が2千—3千年程度、十日町断層帯東部は平均活動間隔が4千—8千年程度と求められているので、この場合の通常的手法による30年確率のとり得る範囲は十日町断層帯西部でほぼ0%—12%、十日町断層帯東部でほぼ0%—6%となる。

注7：地震後経過率、発生確率及び現在までの集積確率(以下、発生確率等)の信頼度は、評価に用いた信頼できるデータの充足性から、評価の確からしさを相対的にランク分けしたもので、aからdの4段階で表す。各ランクの一般的な意味は次のとおりである。

a：(信頼度が)高い b：中程度 c：やや低い d：低い

発生確率等の評価の信頼度は、これらを求めるために使用した過去の活動に関するデータの信頼度に依存する。信頼度ランクの具体的な意味は以下のとおりである。分類の詳細については付表を参照のこと。なお、発生確率等の評価の信頼度は、地震発生の切迫度を表すのではなく、発生確率等の値の確からしさを表すことに注意する必要がある。

発生確率等の評価の信頼度

- a : 過去の地震に関する信頼できるデータの充足度が比較的高く、これを用いて求めた発生確率等の値の信頼性が高い。
- b : 過去の地震に関する信頼できるデータの充足度が中程度で、これを用いて求めた発生確率等の値の信頼性が中程度。
- c : 過去の地震に関する信頼できるデータの充足度が低く、これを用いて求めた発生確率等の値の信頼性がやや低い。
- d : 過去の地震に関する信頼できるデータの充足度が非常に低く、これを用いて求めた発生確率等の値の信頼性が低い。このため、今後の新しい知見により値が大きく変わる可能性が高い。または、最新活動時期のデータが得られていないため、現時点における確率値が推定できず、単に長期間の平均値を確率としている。

(説明)

1. 十日町断層帯に関するこれまでの主な調査研究

十日町断層帯は、ほぼ南北に延びる細長い十日町盆地とその東西両側の丘陵との境界に位置する活断層帯である。

本地域では十日町盆地は魚沼層群の向斜軸に沿って広がり、その中央部を流れる信濃川に沿って分布する河成段丘面の変形と、基盤である魚沼層群の地質構造についての研究が古くからなされ(池辺, 1942; 大塚, 1942)、活褶曲による河成段丘面の累積的変位が指摘されてきた(Ota, 1969; Ota et al., 1973)。また、河成段丘については、内藤(1965)、信濃川段丘研究グループ(1968, 1970)、町田・池田(1969)、新潟平野団体研究グループ(1972)、早津・新井(1981)により、区分、形成年代などについて詳しく検討された。断層の分布については、町田・池田(1969)がまず十日町盆地の南部に段丘を変位させる西側隆起の逆断層の存在を示した。活断層研究会編(1980, 1991)は、本地域の活断層の分布や性状を明らかにし、その一部に「十日町断層」、「津南断層」の名を与えた。

太田編(1997, 1998, 1999)などは、科学技術振興調整費「日本海東縁部における地震発生ポテンシャル評価に関する総合研究」の一環として、詳しい地形・トレンチ調査などを実施し、十日町盆地の東縁に沿って東側隆起の断層が存在すること及び従来の「十日町断層」はその副次的な断層であることを指摘した。渡辺ほか(2001)及び鈴木ほか(2001)は、この盆地の東縁の断層を十日町盆地東縁断層と命名した。一方、渡辺ほか(2001)、鈴木ほか(2001)、池田ほか編(2002)は、十日町盆地の西縁に沿って津南断層まで連続する断層の存在を明確にし、これを十日町盆地西縁断層と命名した。これらは、中田・今泉編(2002)でも取り扱われている。このほか、田中(2000)が、活断層の位置とその変位量について検討している。また、信濃川ネオテクトニクス団体研究グループ(2002)が、津南断層の活動性について論じている。

本断層帯の東側に位置する魚沼丘陵では、著しい傾動隆起に伴い鮮新-更新世に堆積した魚沼層や段丘が顕著な西への傾動を示すことが知られており(町田・池田, 1969 など)、これには、魚沼丘陵の東縁に位置する六日町断層が深く関与しているとする指摘がある(池田ほか編, 2002; 金, 2004)。

2. 十日町断層帯の評価結果

十日町断層帯は、ほぼ南北に延びる細長い十日町盆地に沿って分布する断層帯で、盆地の西縁に位置する西側隆起の断層帯と東縁に位置する東側隆起の断層帯からなる。この2つの断層帯については、地表では5 km 以内に接近して並走するが、変位の向きが逆であることから、ここでは別の断層帯と考え、盆地西縁に連続する断層帯を十日町断層帯西部、盆地東縁に連続する断層帯を十日町断層帯東部として、それぞれについて評価する。なお、十日町断層帯東部については、長さが約19kmと地震調査研究推進本部(1997)の基盤的調査観測対象の基準を満たさないものの、太田編(1997, 1998, 1999)により、トレンチ調査などを含む詳細な調査が行われていることから、本評価の対象とすることとした。

2. 1 十日町断層帯西部

2. 1. 1 十日町断層帯西部の位置及び形態

(1) 十日町断層帯西部を構成する断層

十日町断層帯西部は小千谷（おぢや）市から十日町市を経て中魚沼郡津南（つなん）町西部の新潟・長野県境付近にかけて分布している（図1、2）。

十日町断層帯西部を構成する断層の位置及び形態は、活断層研究会編（1980, 1991）、新潟県地質図改訂委員会編（2000）、田中（2000）、渡辺ほか（2001）、鈴木ほか（2001）、池田ほか編（2002）、中田・今泉編（2002）などに示されている。ここでは、断層の位置・名称は池田ほか編（2002）にしたがい、名称の一部は活断層研究会編（1980, 1991）にしたがった。

十日町断層帯西部は、十日町盆地西縁断層、宮野原断層などから構成される（図1、2）。これらは、互いに近接し、走向・変位の向きを同じくする断層群であることから、松田（1990）の起震断層の基準にしたがって、1つの断層帯を構成しているとみなせる。なお、本断層帯西部の北方には、西側隆起の逆断層である長岡平野西縁断層帯の南端部が分布するが、これは、本断層帯西部と8km程度離れていることから、松田（1990）の起震断層の基準にしたがって、別の断層帯を構成していると思なせる（図3）。

（2）断層面の位置・形状

十日町断層帯西部の長さ及び一般走向は、図2に示された断層帯の両端を直線で結んで計測すると、約33km、N30°Eとなる。

断層面上端の深さは、地表まで変位が及んでいることから0kmとした。

断層面の傾斜については、一部で膨らみを伴った東向きの撓曲崖（信濃川ネオテクトニクス団体研究グループ，2002；池田ほか編，2002）が形成されていること、また、南部の清津川沿いで観察された断層露頭（西傾斜50°；町田・池田，1969）の性状から、西傾斜と考えられる。

断層面下端の深さは、地震発生層の下限を目安とすると15km程度と推定されるが、断層面の幅については、地下深部の傾斜が明らかではないため不明である。

（3）断層の変位の向き（ずれの向き）（注8）

十日町断層帯西部は、幅広い撓曲を伴った西側隆起の変位地形（鈴木ほか，2001；渡辺ほか，2001；池田ほか編，2002など）や地質構造（竹内ほか，2000など）を形成していること、上述のように断層面は西に傾斜していることから、西側が東側に乗り上げる逆断層と考えられる。

2. 1. 2 十日町断層帯西部の過去の活動

（1）平均変位速度（平均的なずれの速度）（注8）

信濃川右岸の津南町卯ノ木（うのき）地点では、朴ノ木坂（ほおのきざか）段丘の一部と見なされてきた中位段丘面（信濃川段丘グループ，1968；町田・池田，1969など）が、東向きの撓曲崖をつくって大きく西側隆起している（田中，2000；鈴木ほか，2001；信濃川ネオテクトニクス団体研究グループ，2002；池田ほか編，2002；中田・今泉編，2002：図4）。その上下変位量は、信濃川ネオテクトニクス団体研究グループ（2002）から、少なくとも45mと見積もられる。変位した地形面の離水期は、段丘堆積物の直上に大山倉吉火山灰（約6万5千—5万5千年前：注9）が認められること（信濃川ネオテクトニクス団体研究グループ，2002）から、約6万5千—5万5千年前と推定される。このような資料に基づくと、卯ノ木付近では、平均変位速度は、0.8m/千年以上となり、1m/千年程度に達している可能性もある。

以上のことから、十日町断層帯西部の平均変位速度は、1m/千年程度の可能性がある。

なお、十日町断層帯西部に沿っては、高位段丘、中位段丘及び低位段丘がそれぞれ少なくとも80–90m、10–50m、2–10m変位しているとする報告（田中，2000；池田ほか編，2002；中田・今泉編，2002 など）がある。しかし、いずれにおいても、変位基準の取り扱いやその年代推定、変位量の見積もりなどに関し不明な点があり、これらからは平均変位速度を特定することができないため、これらは参考値とする。

（2）活動時期

a）地形・地質的に認められた過去の活動

十日町断層帯西部の活動時期に関する直接的な資料は得られていない。

b）先史時代・歴史時代の活動

十日町断層帯西部の活動と直接関係する被害地震は知られていない（宇佐美，2003）。

（3）1回の変位量（ずれの量）（注8）

十日町断層帯西部の1回の活動に伴う変位量に関する直接的な資料は得られていない。

ただし、断層の長さ（約33km）から次の松田（1975）の経験式（1）、（2）に基づいて1回の変位量を算出すると、約2.6mと求まる。

このことから、1回の変位量は2–3m程度（上下成分）であった可能性がある。

$$\text{Log } L = 0.6M - 2.9 \quad (1)$$

$$\text{Log } D = 0.6M - 4.0 \quad (2)$$

ここで、Lは1回の地震で活動する断層の長さ(km)、Dは断層の変位量(m)、Mは地震のマグニチュードである。

（4）活動間隔

十日町断層帯西部の活動間隔に関する直接的な資料は得られていない。

ただし、断層の長さから推定される1回の変位量（上下成分2–3m程度、計算値2.6m）及び平均上下変位速度（1m／千年程度）から平均活動間隔を計算すると、2千6百年程度と求まる。

このことから、平均活動間隔は2千–3千年程度であった可能性がある。

（5）活動区間

十日町断層帯西部の活動区間に関する直接的な資料は得られていない。

（6）測地観測結果

十日町断層帯周辺における1994年までの約100年間の測地観測結果では、ほぼ東西方向の縮みが見られる。2004年9月までの5年間のGPS観測結果では、東西方向のわずかな縮みが見られる。

（7）地震観測結果

十日町断層帯周辺の最近約2年間の地震観測結果によれば、本断層帯付近における地震発生層

の下限の深さは15km程度と推定される。本断層帯付近で発生する地震の発震機構は、南東―北西に圧力軸を持つ逆断層型であることが多い。

なお、2004年10月23日に本断層帯の北東方で「平成16年（2004年）新潟県中越地震」（マグニチュード6.8、最大震度7）が発生し、死傷者が出るなどの被害を生じた。また、2002年3月に本断層帯の東側近傍、2001年1月に南東方でそれぞれまとまった地震活動があった。

2. 1. 3 十日町断層帯西部の将来の活動

（1）活動区間と活動時の地震の規模

十日町断層帯西部全体を1つの活動区間とした場合、前述の松田（1975）の経験式（1）、（2）に基づくと、断層帯（長さ約33km）から発生する地震の規模はマグニチュード7.4程度の可能性がある。また、このような地震が発生した場合、断層の近傍の地表面に西側隆起で2―3m程度高まる段差や撓みを生じる可能性がある。

（2）地震発生の可能性

十日町断層帯西部の平均活動間隔は2千―3千年程度であった可能性がある。しかし、最新活動時期が特定できていないため、上述のような規模の地震が発生する長期確率を通常の評価で用いている更新過程（地震の発生確率が時間とともに変動するモデル）を用いて評価することはできない。

地震調査研究推進本部地震調査委員会（2001）は、地震の発生確率を求めるにあたって、通常の活断層評価で用いている更新過程（地震の発生確率が時間とともに変動するモデル）が適用できない場合には、特殊な更新過程であるポアソン過程（地震の発生時期に規則性を考えないモデル）を適用せざるを得ないとしている。本断層帯では平均活動間隔が2千―3千年程度であることをもとに、ポアソン過程を適用して地震発生確率を求めると、今後30年以内、50年以内、100年以内、300年以内の地震発生確率は、それぞれ、1%、2%、3%―5%及び10%となる（表2）。

信頼度の低い平均活動間隔を用いた計算であることに十分留意する必要があるが、本断層帯は今後30年の間に地震が発生する可能性が我が国の主な活断層の中ではやや高いグループに属することになる。

なお、通常の活断層評価で用いている更新過程によった場合、平均活動間隔が2千―3千年程度と求められているので、30年確率のとり得る範囲はほぼ0%―12%となる。

2. 2 十日町断層帯東部

2. 2. 1 十日町断層帯東部の位置及び形態

（1）十日町断層帯東部を構成する断層

十日町断層帯東部は十日町市北部から同市南部にかけて分布している（図1、2）。

十日町断層帯東部を構成する各断層の位置・形態は、活断層研究会編（1980, 1991）、太田編（1998）、新潟県地質図改訂委員会編（2000）、田中（2000）、渡辺ほか（2001）、鈴木ほか（2001）、池田ほか編（2002）、中田・今泉編（2002）などに示されている。ここでは、断層の位置・名称は、鈴木ほか（2001）、渡辺ほか（2001）にしたがった。

十日町断層帯東部は、十日町盆地東縁断層、細尾―如来寺（によらいじ）断層などから構成さ

れる(図1、2)。これらは、互いに近接し、走向・変位の向きを同じくする断層であることから、松田(1990)の起震断層の基準にしたがって、1つの断層帯を構成しているとみなせる。なお、活断層研究会編(1980, 1991)、渡辺ほか(2001)、池田ほか編(2002)、中田・今泉編(2002)などでは、本断層帯東部の北方延長上の山本山付近に、短い断層群が示されている(図3)。これらは、西向きの撓曲変形に関係した副次的な断層と思われ、本断層帯東部とは5-6km程度離れて存在し、地質構造的にも不連続的であることから、本評価では取り扱わないこととした。

(2) 断層面の位置・形状

十日町断層帯東部の長さ及び一般走向は、図2に示された断層帯の両端を直線で結んで計測すると、約19km、N20°Eとなる。

断層面上端の深さは、地表まで変位が及んでいることから0kmとした。

断層面の傾斜については、膨らみや背後に逆向き低断層崖を伴った西向きの撓曲崖を形成していること(太田編, 1998; 田中, 2000など)、また、トレンチ調査で観察された断層の性状(太田編, 1998)から、東傾斜と考えられる。

断層面下端の深さは、地震発生層の下限を目安とすると15km程度と推定される。

(3) 断層の変位の向き(ずれの向き)(注8)

十日町断層帯東部は、東側隆起の変位地形(鈴木ほか, 2001; 渡辺ほか, 2001など)や地質構造(柳沢ほか, 1985など)を形成していること、上述のように、断層面は東に傾斜しているため、東側が西側に乗り上げる逆断層と考えられる。

2. 2. 2 十日町断層帯東部の過去の活動

(1) 平均変位速度(平均的なずれの速度)(注8)

十日町断層帯東部の平均変位速度に関する資料として以下のものがある。

① 十日町市中条地点では、信濃川支流の飛渡(とびたり)川が形成した低位の扇状地面上に、南北に延びる比高4m程度の西向き低断層崖が生じている(太田編, 1998; 鈴木ほか, 2001; 池田ほか編, 2002; 中田・今泉編, 2002)。変位している扇状地面については、その正確な形成年代は分からないが、大割野I面相当と見なされる(新潟平野団体研究グループ, 1972; 太田編, 1998; 田中, 2000)。太田編(1998)や田中(2000)にしたがって、大割野I面の離水期を2-1万年前とすると、ここでの平均上下変位速度として0.2-0.4m/千年が導かれる。

② 十日町市伊達地点では、信濃川支流の入間川が形成した低位の扇状地面上に北西向きの低断層崖が生じている(太田編, 1998; 鈴木ほか, 2001; 池田ほか編, 2002; 中田・今泉編, 2002)。太田編(1998)は、変位した地形面を大割野I面相当とし、その変位量を3-3.5mと見積もっている。この資料から、ここでの平均上下変位速度として0.15-0.35m/千年が導かれる。

以上のことから、十日町断層帯東部の平均上下変位速度は、0.2-0.4m/千年程度の可能性がある。

なお、十日町市宮栗付近や馬場（ばば）付近では、大割野 I 面や正面（しょうめん）面（離水期はおおよそ 2.5 万年前とされる；早津・新井，1981；太田編，1998；田中，2000）が比高 10—20m に及ぶ変形を示すことがあるが、このような変形は、極めて幅狭く、また、局所的で連続性に乏しいことから、表層現象の可能性もあるとみて、平均変位速度の検討資料には加えなかった。

（2）活動時期

a) 地形・地質的に認められた過去の活動

太田編（1998）は、十日町市馬場南地点において、大割野 I 面上に西向きの撓曲崖を認め、その基部でトレンチ調査を行った。トレンチの壁面には、礫層および砂・シルト・腐植土層からなる地層群にシルト質層からなる地塊が東から衝上している構造が認められた（図 5）。トレンチの壁面西部に注目すると、A の地層群は、①や③の断層で変位し、複雑な断裂・変形構造を示す B の地層群を削って生じた凹みに堆積していることから、B の地層群の堆積より後で、A の地層群の堆積より前に断層活動があったと考えられる。¹⁴C 年代測定の結果、B の地層群の上部から約 3 千 9 百—3 千 7 百年前、A の地層群の下部から約 3 千 4 百—3 千 3 百年前を示すことから、活動時期は、約 3 千 9 百年前以後、約 3 千 3 百年前以前と推定される（注 10）。

以上のことから、十日町断層帯東部では、約 3 千 9 百年前以後、約 3 千 3 百年前以前に断層活動があったと考えられる。ただし、馬場南地点付近では、対象となった断層の他にこれと並走する別の断層の分布が認められている（太田編，1998；鈴木ほか，2001；池田ほか編，2002）ので、上記の断層活動が、十日町断層帯東部の最新活動であったかどうかは不明である（注 11）。

b) 先史時代・歴史時代の活動

十日町断層帯東部の活動を示すような被害地震の記録は報告されていない。

（3）1 回の変位量（ずれの量）（注 8）

十日町断層帯東部の 1 回の活動に伴う変位量に関する直接的な資料は得られていない。

ただし、断層の長さ（約 19km）から前述の松田の経験式（1）、（2）に基づいて 1 回の変位量を算出すると、約 1.5m と求まる。

このことから、本断層帯の 1 回の変位量は 1—2 m 程度（上下成分）であった可能性がある。

（4）活動間隔

十日町断層帯東部の活動間隔に関する直接的な資料は得られていない。

ただし、断層の長さから経験式で算出される 1 回の変位量（上下成分 1—2 m 程度、計算値 1.5m）と平均上下変位速度（0.2—0.4m/千年程度）に基づいて平均活動間隔を算出すると、3 千 8 百—7 千 5 百年と求まる。

このことから、本断層帯の平均活動間隔は 4 千—8 千年程度の可能性がある（注 11）。

（5）活動区間

十日町断層帯東部の活動区間に関する直接的な資料は得られていない。

（6）測地観測結果

2. 1. 2 (6) 参照。

(7) 地震観測結果

2. 1. 2 (7) 参照。

2. 2. 3 十日町断層帯東部の将来の活動

(1) 活動区間と活動時の地震の規模

十日町断層帯東部全体を1つの活動区間とした場合、前述の松田(1975)の経験式(1)、(2)に基づくと、断層帯(長さ約19km)から発生する地震の規模はマグニチュード7.0程度の可能性がある。また、このような地震が発生した場合、断層の近傍の地表面に西側隆起で1-2m程度高まる段差や撓みを生じる可能性がある。

(2) 地震発生の可能性

十日町断層帯東部の平均活動間隔は4千-8千年程度であった可能性がある。しかし、最新活動時期が特定できていないため、上述のような規模の地震が発生する長期確率を通常の評価で用いている更新過程(地震の発生確率が時間とともに変動するモデル)を用いて評価することはできない。

地震調査研究推進本部地震調査委員会(2001)は、地震の発生確率を求めるにあたって、通常活断層評価で用いている更新過程(地震の発生確率が時間とともに変動するモデル)が適用できない場合には、特殊な更新過程であるポアソン過程(地震の発生時期に規則性を考えないモデル)を適用せざるを得ないとしている。本断層帯では平均活動間隔が4千-8千年程度であることをもとに、ポアソン過程を適用して地震発生確率を求めると、今後30年以内、50年以内、100年以内、300年以内の地震発生確率は、それぞれ、0.4%-0.7%、0.6%-1%、1%-2%及び4%-7%となる(表4)。

平均活動間隔の信頼度が低く、また、値が十分に絞り込まれていないため、地震発生確率にも幅があるが、本断層帯は今後30年の間に地震が発生する可能性が我が国の主な活断層の中ではやや高いグループに属することになる。

なお、通常活断層評価で用いている更新過程によった場合、平均活動間隔が4千-8千年程度と求められているので、30年確率のとり得る範囲はほぼ0%-6%となる(注11)。

3. 今後に向けて

十日町断層帯では、西部・東部とも最新活動を含めた過去の活動履歴や1回の変位量が明らかになっていない。また、地下構造に関する資料が不足していることから、断層の深部形状も正確に把握できていない。将来の活動を明確にするためには、これらについての精度よいデータを集積させるとともに、それぞれの活動間隔を明らかにする必要がある。

注8:「変位」を、1-2頁の本文及び5-7頁の表1、表3では、一般にわかりやすいように「ずれ」

という言葉で表現している。ここでは専門用語である「変位」が、本文や表1の「ずれ」に対応するものであることを示すため、両者を併記した。以下、文章の中では「変位」を用いる。なお、活断層の専門用語では、「変位」は切断を伴う「ずれの成分」と、切断を伴わない「撓(たわ)みの成分」よりなる。

注9：大山倉吉火山灰(DKP)の降下年代は、町田・新井(2003)にしたがって、約6万5千-5万5千年前とした。

注10：10,000年BPよりも新しい炭素同位体年代については、Niklaus(1991)に基づいて暦年補正し、原則として1 σ の範囲の数値で示した。このうち、2,000年前よりも新しい年代値は世紀単位で示し、2,000年前よりも古い年代値については、百年単位で四捨五入して示した。

注11：十日町断層帯東部では、最新活動時期は特定できていないが、約3千9百年前以後、約3千3百年前以前に活動があったと推定された。また、平均活動間隔は4千-8千年程度と求められているので、この活動時期(約3千9百年前以後、約3千3百年前以前)が最新活動時期の可能性もある。その際、平均活動間隔に対する現在における地震後経過率は0.4-1.0となる。さらに、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2001)に示された手法(BPT分布モデル、 $\alpha=0.24$)を用いると、今後30年以内の地震発生確率は、0.002%-3%となる。

文 献

- 早津賢二・新井房夫(1981)：信濃川中流域におけるテフラ層と段丘形成年代。地質学雑誌，**87**，791-805。
- 池辺展生(1942)：越後油田の褶曲の現世まで行われていることに就いて。石油技術協会誌，**10**，184-185。
- 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(1997)：「地震に関する基盤的調査観測計画」。38p。
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2001)：「長期的な地震発生確率の評価手法について」。46p。
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会(1999)：「(改訂試案)長期的な地震発生確率の評価手法について」。74p。
- 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，363p。
- 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。
- 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。
- 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，112p。
- 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。
- 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。
- 町田 洋・新井房夫(2003)：「新編 火山灰アトラス—日本列島とその周辺」。東京大学出版会，

336p.

- 松田時彦 (1975) : 活断層から発生する地震の規模と周期について. 地震第2輯, **28**, 269-283.
- 松田時彦 (1990) : 最大地震規模による日本列島の地震分帯図. 地震研究所彙報, **65**, 289-319.
- 内藤博夫 (1965) : 新潟県十日町市付近の地形—魚沼地方の地形発達史についての若干の考察—, 地理学評論, **38**, 613—629.
- 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.
- 新潟平野団体研究グループ (1972) : 十日町盆地の河岸段丘, 地質学論集, **7**, 267—283.
- 新潟県地質図改訂委員会編 (2000) : 新潟県地質図 (2000 年版) 及び同説明書. 200p.
- Niklaus, T. R. (1991) : CalibETH version 1.5, ETH Zurich, 2disketts and manual, 151p.
- Ota, Y. (1969) : Crustal Movements in the Late Quaternary Considered from the Deformed Terrace Plains in Northeastern Japan. J. Geol. Geogra., **40**, 41-61.
- 太田陽子編 (1997) : 「科学技術庁・平成 8 年度調査研究成果報告書」, 43p.
- 太田陽子編 (1998) : 「科学技術庁・平成 9 年度調査研究成果報告書」, 43p.
- 太田陽子編 (1999) : 「科学技術庁・平成 10 年度調査研究成果報告書」, 21p.
- 太田陽子・鈴木郁夫 (1979) : 信濃川下流域における活褶曲の資料. 地理学評論, **52**, 592-601.
- Ota, Y., Machida, T., Ikeda, H., Shirai, T. and Suzuki, T. (1973) : Active Folding of the Fluvial Terraces along the Shinano River, Central Japan. The crust and upper mantle of the Japanese area. Part II, Geology and geochemistry, Geological Survey of Japan, 121-129.
- 太田陽子・渡辺満久・鈴木康弘・澤 祥 (1997) : 地形・地質調査 3. 「科学技術振興調整費 日本海東縁部における地震発生ポテンシャル評価に関する総合研究(第 I 期 平成 6～8 年度) 報告書」. 科学技術庁研究開発局, 101-113.
- 太田陽子・渡辺満久・鈴木郁夫・鈴木康弘・澤 祥 (2000) : 地形・地質調査 3. 「科学技術振興調整費 日本海東縁部における地震発生ポテンシャル評価に関する総合研究(第 II 期 平成 9～10 年度) 報告書」. 科学技術庁研究開発局, 101-119.
- 信濃川ネオテクトニクス団体研究グループ (2002) : 信濃川津南地域における第四紀後期の段丘形成と構造運動. 第四紀研究, **41**, 199-212.
- 鈴木康弘・東郷正美・渡辺満久・金 幸隆・佐藤尚登 (2001) : 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・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.
- 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.
- 宇佐美龍夫 (2003) : 「最新版 日本被害地震総覧[416]—2001」. 東京大学出版会, 605p.
- 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・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図幅), 地質調査所, 177p.

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図幅), 地質調査所, 104p.

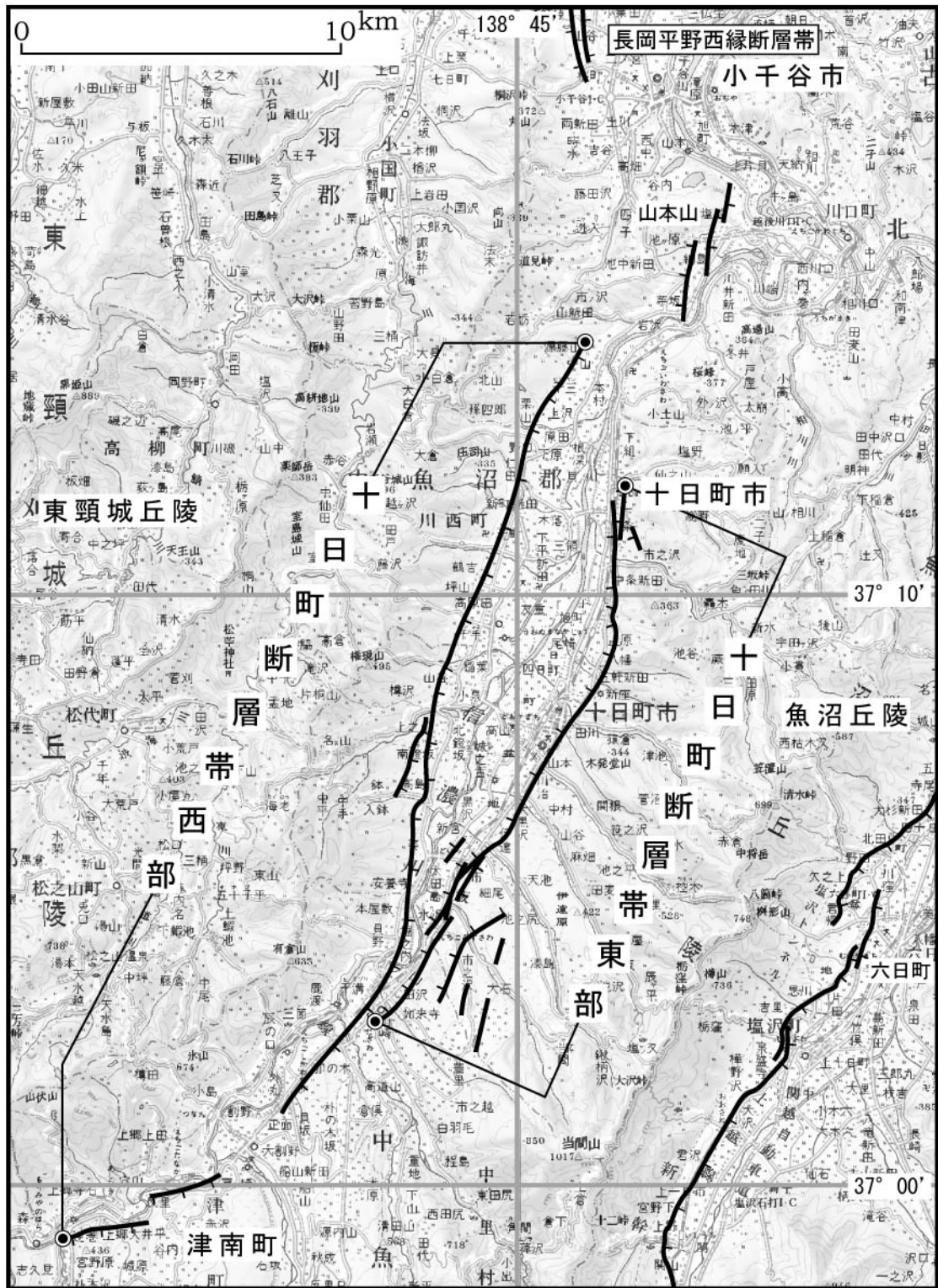


図3 十日町断層帯の評価において考慮した断層

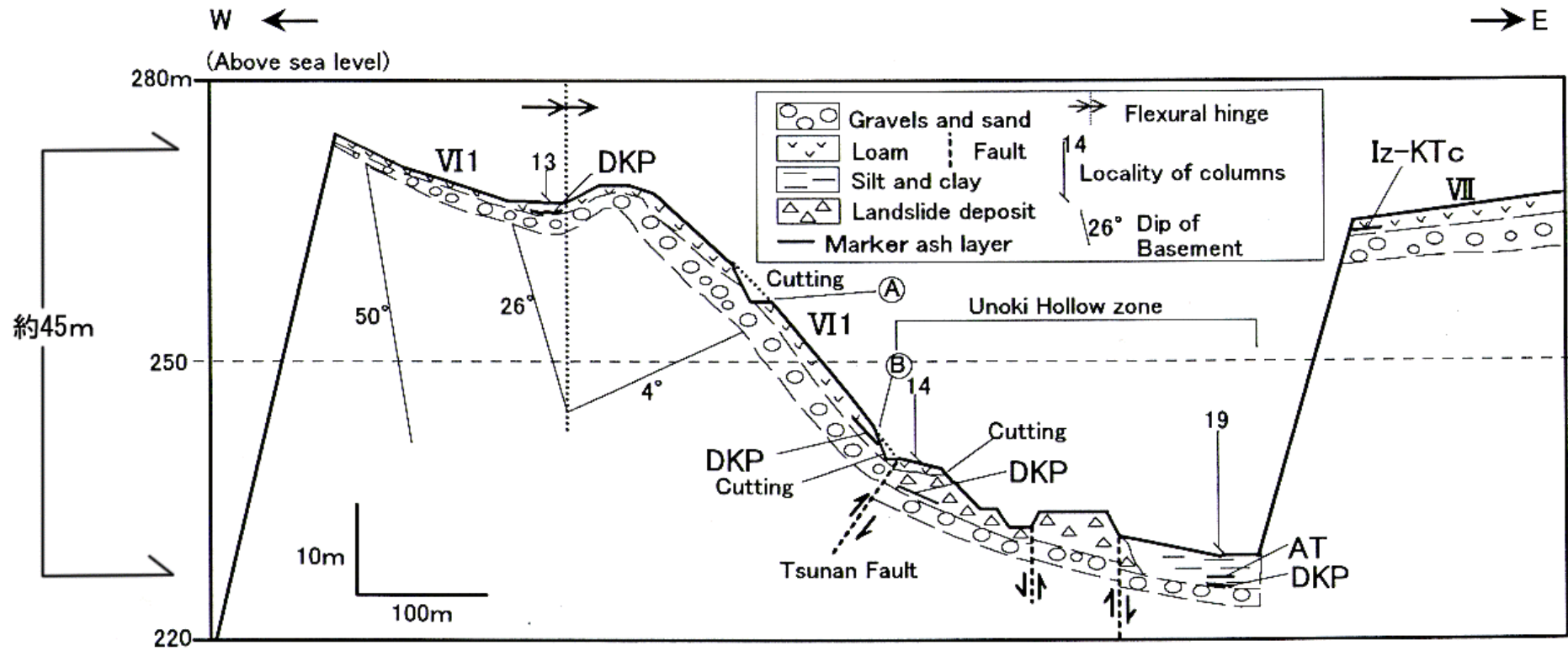


図4 卯ノ木地点付近の断面図

(信濃川ネオテクトニクス団体研究グループ、2002 に一部加筆)

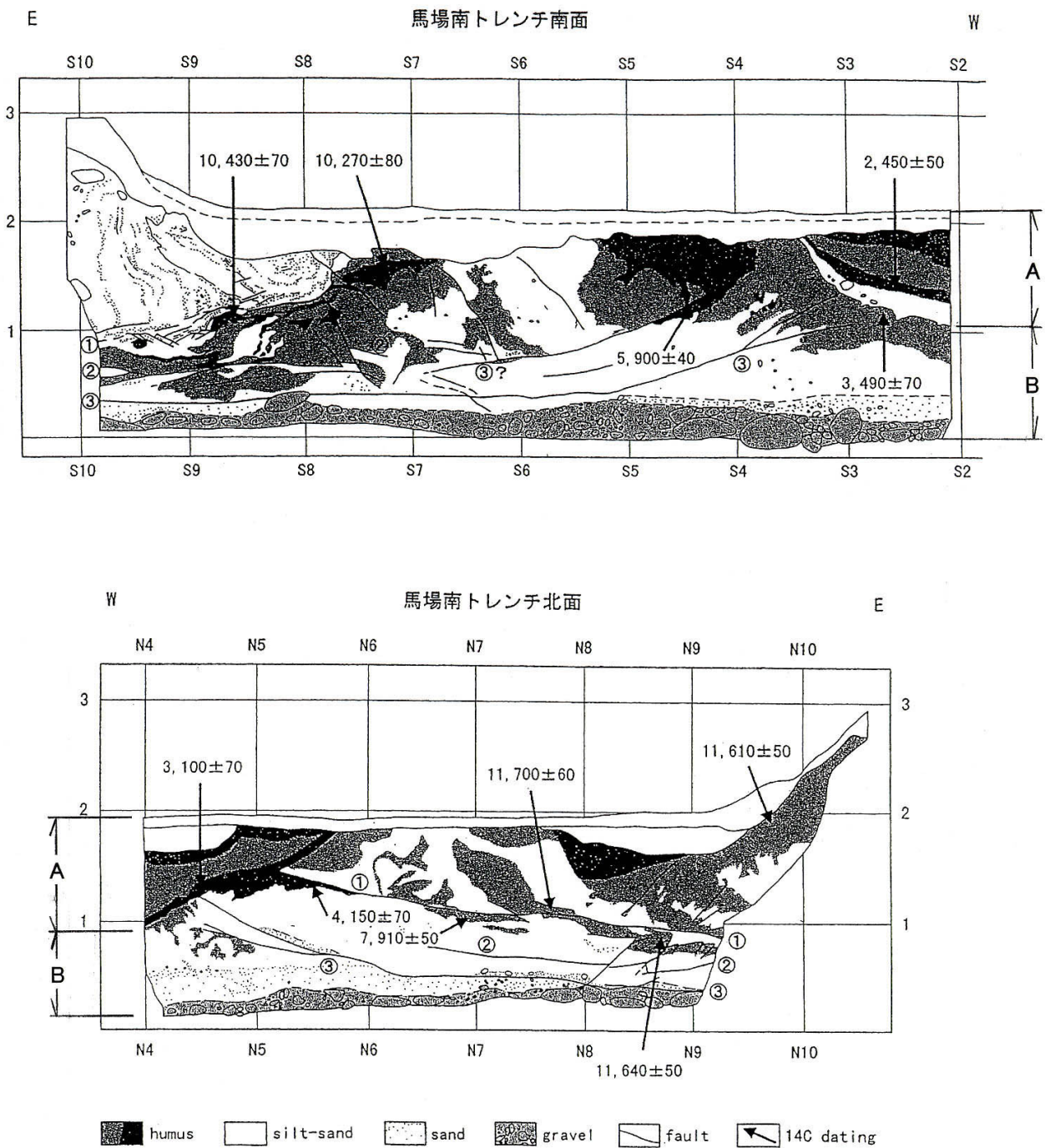


図5 馬場南地点のトレンチ壁面スケッチ 太田編(1998)に一部加筆

図中の年代値は、暦年未補正の放射性炭素同位体年代。10,000年BPより新しい放射性炭素同位体年代はNiklaus(1991)に基づいて暦年補正し、紀元後を世紀単位、紀元前を100年単位で四捨五入して表示すると以下のようになる。

2450±50yBP	→ 約2千8百-2千4百年前	3100±70yBP	→ 約3千8百-3千4百年前
3490±70yBP	→ 約3千9百-3千7百年前	4150±70yBP	→ 約4千9百-4千6百年前

付表

地震発生確率等の評価の信頼度に関する各ランクの分類条件の詳細は以下のとおりである。

ランク	分類条件の詳細
a	発生確率を求める際に用いる平均活動間隔及び最新活動時期の信頼度がいずれも高く（◎または○）、これらにより求められた発生確率等の値は信頼性が高い。
b	平均活動間隔及び最新活動時期のうち、いずれか一方の信頼度が低く（△）、これらにより求められた発生確率等の値は信頼性が中程度。
c	平均活動間隔及び最新活動時期の信頼度がいずれも低く（△）、これらにより求められた発生確率等の値は信頼性がやや低い。
d	平均活動間隔及び最新活動時期のいずれか一方または両方の信頼度が非常に低く（▲）、発生確率等の値は信頼性が低い。このため、今後の新しい知見により値が大きく変わる可能性が高い。または、データの不足により最新活動時期が十分特定できていないために、現在の確率値を求めることができず、単に長期間の平均値を確率としている。