

鳥越断層群の群列ボーリング調査 Arrayed boring survey of the Torigoe fault in Niigata Prefecture, central Japan

渡辺満久¹・太田陽子²・粟田泰夫³

Mitsuhiisa Watanabe¹, Yoko Ota² and Yasuo Awata³

Abstract: The Torigoe fault displays evidence for its recent reactivation on a Holocene lowland in Nagaoka City, Niigata Prefecture, central Japan. Watanabe *et al.* (2000) studied the date and the vertical displacement of the most recent event and the average recurrence interval of the Torigoe fault. We have conducted arrayed boring survey of the Torigoe fault to reexamine the fault activity and confirm the conclusions. The items confirmed by our boring survey are as follows: 1) the most recent event on the Torigoe fault occurred in the 12th -13th century or later; 2) the ground surface was displaced about 2 m vertically by this faulting event; 3) cumulative vertical displacement of the gravel layer ca. 7-7.5 ka attains 11 m; and 4) the average recurrence interval of the Torigoe fault is estimated to be 1,000-1,900 years.

Key words: Torigoe fault, Niigata, boring, active fault

1. はじめに

鳥越断層群は、越後平野西縁、長岡市周辺に分布する北東 - 南西方向の活断層の一つであり(第1図)、第四紀後期に形成された地形や地層を変位させている。鳥越断層群周辺には、A面~C面(太田・鈴木, 1979)に対比される河成段丘面が分布している(第2図)。テフラとの層序関係によれば、A面・B面・C面の離水年代は、それぞれ15~13万年前・6~5万年前・2.5~2万年前であると考えられている(早津・新井, 1982; 飯川・堀川, 1985)。また、黒川両岸およびA面~C面を開析する谷沿いには、現河床との比高が数m程度以下の沖積面が発達する。

明瞭な変位地形は、3条のトレース(F1・F2・F3)に沿って認められる。F1とF3は西上がりの、F2は東上がりの変位を示す。東上がりの変位は、西側隆起の逆断層である主断層の上盤側に形成された副次的なものであり、鳥越断層群の新期の活動は、F3に沿って認められる(渡辺ほか, 2000)。

本活断層の活動性に関しては、F3を横切るトレンチ掘削調査やボーリング調査などから検討され、12~13世紀以降に活動している可能性が高いこと、最新の1回の活動にともなう鉛直変位量は約2mと見積もられること、最近約8千年間の累積鉛直変位量は10~12mに達する可能性があることなどが報告されている(渡辺ほか, 2000)。しかし従来の研究では、鳥越断層群の撓曲範囲が広いにもかかわらず、ボーリング数は3本と少なく、地層の対比などに問題を残していた。このため、既存のボーリング地点を補完するように、新たに7本のボーリング調査を実施し、活動履歴の再検討を試みた。

2. ボーリング調査結果

¹ 東洋大学 (Toyo University)

² 横浜国立大学名誉教授 (Emeritus professor of Yokohama National University)

³ 活断層研究センター (Active Fault Research Center)

8月28日受付, 9月5日受理

調査地点は長岡市宮本町であり，ここでは沖積面に幅の広い（100m 以上）撓曲崖が形成されており（第 3 図），その比高は約 2m である．渡辺ほか（2000）のボーリング位置は B-3～B-5 であり，今回は TG1～TG7 の位置においてオールコア・ボーリングを実施した．今回は，すべて上部鮮新統～下部更新統の魚沼層群に達する掘削を実施し，39 点の年代測定値を得た．魚沼層群は固結の進んだ粘土～シルト・砂・砂礫層から成る．TG1～TG7 の地質柱状図を第 4 図に，年代測定値は第 4 図および第 1 表に示す．

（ 1 ） TG1

深度約 6m までは，未固結のシルト～粘土層が卓越し，その下位には砂層・砂礫層が認められる．8.85m 以深は固結の進んだシルト～粘土層（魚沼層群）である．深度 2m に介在する砂の薄層から採取した木片の ^{14}C 年代測定を行い， $1,690 \pm 80\text{yBP}$ の値を得た．また，深度 4.7m の腐植層の ^{14}C 年代測定値は $5,190 \pm 70\text{yBP}$ である．深度 6m 以下では砂層・砂礫層が卓越する．

（ 2 ） TG2

未固結堆積物は深度 9.3m まで認められ，それ以深は魚沼層群の腐植層・シルト層・砂層である．未固結堆積物のほぼ中央部に砂礫層，魚沼層群直上には砂層が堆積している．砂礫層の上位の腐植層から， $850 \pm 80\text{yBP}$ （深度 1m）， $5,200 \pm 70\text{yBP}$ （深度 3.6m）の ^{14}C 年代測定値を得た．また，砂礫層の下位にあるシルト～粘土層は固結しておらず，そこから採取した腐植（深度 6.2m）・木片（6.7m）の ^{14}C 年代測定値は，それぞれ $29,290 \pm 340\text{yBP}$ ・ $44,800 \pm 2,040\text{yBP}$ である．

（ 3 ） TG3

深度約 5.5m までは腐植混じりのシルト～粘土層が卓越し，その下位には砂礫層と砂層が認められる．7.5m 以深は，魚沼層群の腐植層・シルト層・砂層である．深度約 0.8m および深度 5.4m（砂礫層直上）から採取した木炭の ^{14}C 年代は，それぞれ $1,010 \pm 40\text{yBP}$ ・ $4,590 \pm 40\text{yBP}$ である．

（ 4 ） TG4

深度約 9.5m までは，シルト～粘土層が卓越するが，砂層も挟在し，深度 1m および深度 6.5～8m には腐植層が認められる．その下位には，砂層・砂礫層が認められ，11.9m 以深は魚沼層群のシルト～粘土層である．最上部の腐植層からは， $820 \pm 30\text{yBP}$ （深度 0.8m，木炭）・ $840 \pm 30\text{yBP}$ （深度 1.1m）の ^{14}C 年代測定値を得た．また，深度 5.9m のシルト～粘土層から採取した木炭とその下位の腐植の ^{14}C 年代測定値は， $4,400 \pm 40\text{yBP}$ ・ $5,620 \pm 110\text{yBP}$ （深度 6.9m）・ $5,700 \pm 80\text{yBP}$ （深度 7.5m）である．

（ 5 ） TG5

深度約 6m までは腐植混じりのシルト～粘土層が，深度約 7.5m までは砂層が，深度約 11m まではシルト～粘土層が卓越し，その下位には砂層と砂礫層が堆積している．18.2m 以深は，魚沼層群のシルト層である．深度 4.5m から採取した木炭・深度 5.9m から採取した木片・深度 7.4m の腐植層・深度 13m から採取した木片の ^{14}C 年代測定値は，それぞれ $3,990 \pm 60\text{yBP}$ ・ $3,970 \pm 50\text{yBP}$ ・ $5,390 \pm 40\text{yBP}$ ・ $6,390 \pm 90\text{yBP}$ である．深度 18.4m の魚沼層群最上部から採取した木片の ^{14}C 年代測定値は， $>45,790\text{yBP}$ である．

（ 6 ） TG6

深度約 4m までは，腐植層・シルト～粘土層であるが，深度 2m 程度までの腐植層中には多量の木片や木炭が散在しているほか，黄褐色～暗青色のシルトがブロック状に入る．さらに

下位では砂層が卓越し、砂礫層も介在している。18m 以深は、魚沼層群のシルト～粘土層・砂礫層である。上部の腐植層から採取した木炭（深度 1.3m）・木片（深度 2.2m）から、 $390 \pm 30\text{yBP}$ ・ $200 \pm 30\text{yBP}$ の ^{14}C 年代測定値を得た。また、深度約 4.5～13m の砂層が卓越する部分からは、 $1,590 \pm 40\text{yBP}$ （深度 5.3m, 木片）・ $4,400 \pm 140\text{yBP}$ （深度 8.5m, 木片）・ $4,780 \pm 60\text{yBP}$ （深度 9.2m, 植物片）・ $6,220 \pm 80\text{yBP}$ （深度 12.2m, 木片）の ^{14}C 年代測定値を得た。約 13m 以深では砂礫層が認められ、そこから採取した木片の ^{14}C 年代測定値は、 $7,270 \pm 50\text{yBP}$ （深度 13.9m）・ $7,590 \pm 60\text{yBP}$ （深度 15.8m）・ $7,010 \pm 60\text{yBP}$ （深度 17.0m）である。魚沼層群最上部（深度 18.2m）から採取した木片の ^{14}C 年代測定値は、 $>49,820\text{yBP}$ であった。

(7) TG7

深度約 4m まではシルト～粘土層と砂層が交互に現れるが、最上部のシルト～粘土層（深度約 2m まで）は淘汰が悪く、多量の木片が散在している。4m 以深では、砂層・砂礫層が卓越するが、深度約 4～11m および 14m 以深では、砂礫層が目立つ。17.5m 以深は、魚沼層群のシルト～粘土層・砂礫層である。4m 以浅では、 240 ± 30 （深度 1.7m, 木片）・ $1,360 \pm 40$ （深度 3.7m, 腐植）の ^{14}C 年代測定値を得た。砂礫層が卓越する深度約 4～11m および深度約 14～17m からは、多数の木片を採取して ^{14}C 年代測定値を得た。それらの年代値は、 $3,140 \pm 80\text{yBP}$ （深度 5.2m）・ $2,150 \pm 40\text{yBP}$ （深度 7.2m）・ $4,330 \pm 70\text{yBP}$ （深度 8.8m）・ $5,150 \pm 40\text{yBP}$ （深度 10.6m）・ $6,430 \pm 100\text{yBP}$ （深度 13.7m）・ $6,580 \pm 50\text{yBP}$ （深度 14.4m）・ $7,420 \pm 80\text{yBP}$ （深度 15.4m）・ $8,390 \pm 60\text{yBP}$ （深度 17.0m）である。

3. 鳥越断層群の活動性

今回のボーリング調査結果と渡辺ほか（2000）の調査結果（B-3～B-5）をもとに、調査地点の地形地質断面図を作成した（第5図）。これをもとに、鳥越断層群の最新活動時期・鉛直単位変位量・平均的活動間隔を検討した。渡辺ほか（2000）は、トレンチ調査・ボーリング調査をもとに、最新活動時期は 12～13 世紀以降、単位鉛直変位量は約 2m、平均活動間隔は 1,100～1,900 年としているが、今回の調査はこれらの調査結果をほぼすべて追認するものとなった。

3.1 最新活動時期と最新活動にともなう鉛直変位量

調査地点の沖積面構成層の年代を示す ^{14}C 年代測定値として、撓曲崖上部（TG2～TG4）の $820 \sim 850\text{yBP}$ （1,050～1,265AD）・ $1,010\text{yBP}$ （1,000～1,030AD）、撓曲崖下部～断層の低下側（TG6・TG7）の $200 \sim 390\text{yBP}$ （1,450～1,950AD）がある。このうち、TG6・TG7 の年代試料採取層準は淘汰が悪く、ブロック状の塊状シルトが混入するため、人工的に攪乱されている可能性が高い。11 世紀～13 世紀の地層は、断層の低下側の B-5 のコアでも確認されている（渡辺ほか、2000： 890yBP ；1,045～1,220AD）。これらの事実から、調査地点の沖積面の形成年代は、11 世紀～13 世紀であることはほぼ確実である。鳥越断層群は、調査地点の沖積面を鉛直方向に約 2m 変位させている。したがって、鳥越断層の最新活動時期は、11 世紀～13 世紀以降である。渡辺ほか（2000）のトレンチ調査結果を考慮すれば、最新活動時期は 12～13 世紀以降となる。

本地域における 17 世紀以降の地震記録は比較的豊富である（宇佐美、1996）が、鳥越断層近傍に被害が集中するものは知られていない。したがって、鳥越断層の最新活動時期は、12～13 世紀以降であって、17 世紀以前の可能性がある。

今回の調査によって、断層の低下側（TG6・TG7）の地表直下において 15～20 世紀の ^{14}C 年代測定値を得た。一方、断層の隆起側では、このような ^{14}C 年代測定値は得られていない。15～20 世紀に低下側のみに地層が堆積したとすれば、現在の撓曲崖の比高（約 2m）は、鳥越断層の鉛直変位量の下限の値を示すものとなる。しかしながら、すでに述べたように、こ

これらの試料採取層準は人工的に攪乱されている可能性が高く、断層活動後に低下側のみに堆積した地層の年代を示すとは考えにくい。地形的特徴からも、断層活動後の厚い堆積物は低下側に存在しないと考えられる（渡辺ほか，2000）ため、現在の撓曲崖の比高（約 2m）が、最新活動にともなう鉛直変位量をほぼ示すと考えられる。

3.2 平均的活動間隔

渡辺（2000）では、ボーリング数が少なかったため、砂礫層堆積面とシルト～粘土層堆積面ともに地表面と同程度の傾斜をもつと仮定し、平均的活動間隔を検討した。本調査によって、対比可能な砂礫層を追跡することができたので、累積鉛直変位量をより正確に把握することが可能となった。

魚沼層群の上位には、未固結のシルト～粘土層や砂層・砂礫層が堆積している。魚沼層群を覆う地層は、B-3・TG3・B-4 では後期更新統（22,000～45,000yBP）、それ以外のコアでは完新統である B-3～TG7 のほぼすべてのコアに 約 6,400～8,400yBP の砂礫層が認められる。それらはほぼ連続的に分布しており、その上面高度には約 11m の高度差が認められる。TG5～TG7 の ^{14}C 年代測定値から、この砂礫層の堆積終了時期は、6,220～6,430yBP（5,050～5,485BC）であると考えられる。すなわち、最近の約 7,000～7,500 年間に約 11m の鉛直変位が累積していることになる。

すでに述べたように、最新の 1 回の断層活動にともなう鉛直変位量は約 2m であると考えられる。同じような変位が繰り返されるとすれば、最近の約 7,000～7,500 年間に、5～6 回程度の断層活動が繰り返されたことになる。これらの数値から、鳥越断層の平均的活動間隔は、1,000～1,900 年程度と算出される。

4. まとめ

新潟県長岡市宮本町において、鳥越断層のボーリング調査を実施し、同断層の活動性を検討した。その結果、以下の通り、渡辺ほか（2000）の検討結果をほぼ追認することができた。

- (1) 最新活動時期は 12～13 世紀以降である。
- (2) 最近約 7,000～7,500 年間の累積鉛直変位量は 11m に達する。
- (3) 平均的な活動間隔は 1,000～1,900 年程度である。

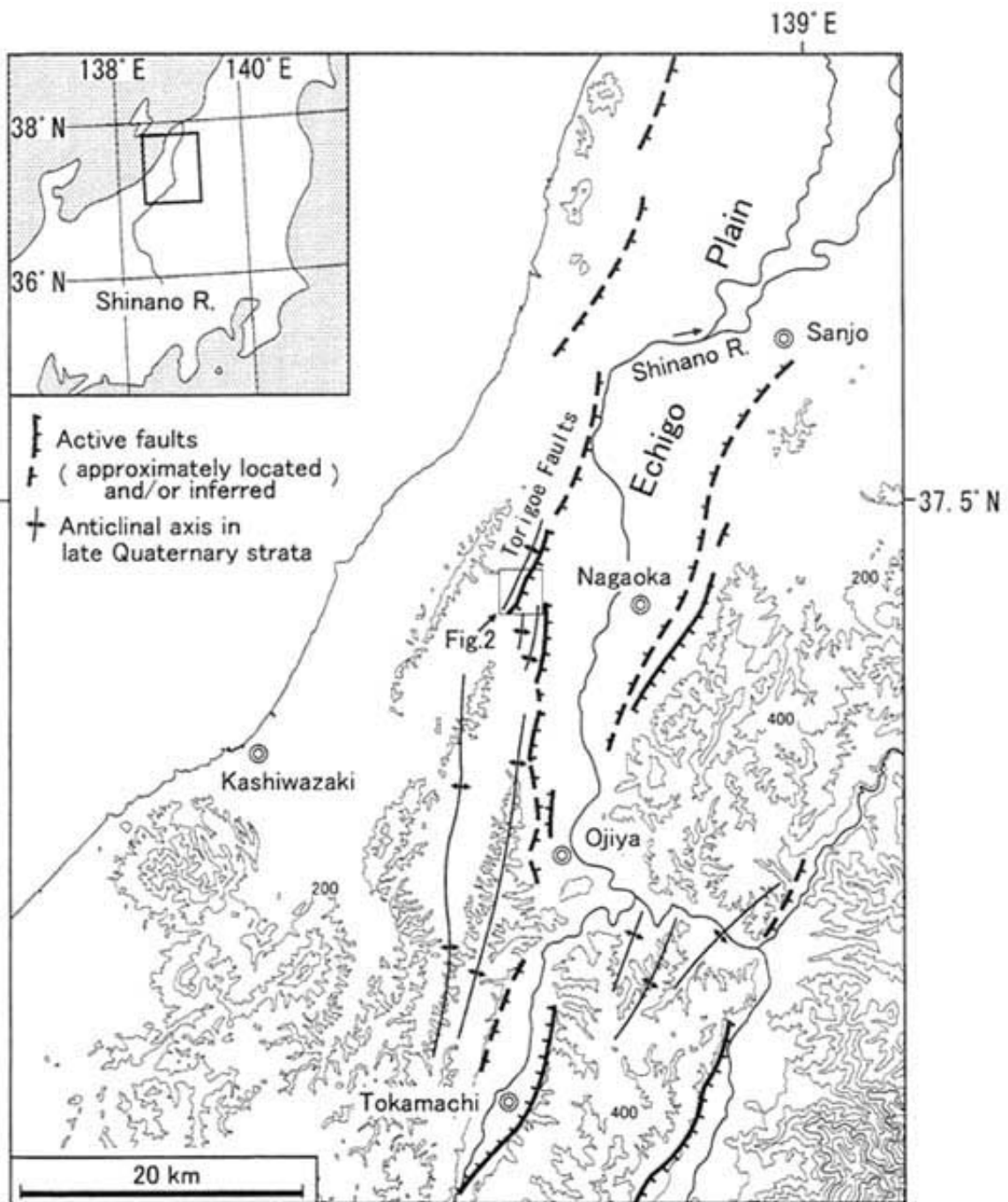
鳥越断層の古地震像をさらに具体的に明らかにするためには、トレンチ掘削調査やジオスライサーによる調査が必要である。

謝 辞

ボーリング調査は、中居康洋氏、宮森陽子氏をはじめとする北陸地下開発株式会社の方々にお世話になった。また、新潟県長岡市宮本町の土地所有者の方々には、ご協力・ご配慮をいただいた。これらの方々に厚く感謝いたします。

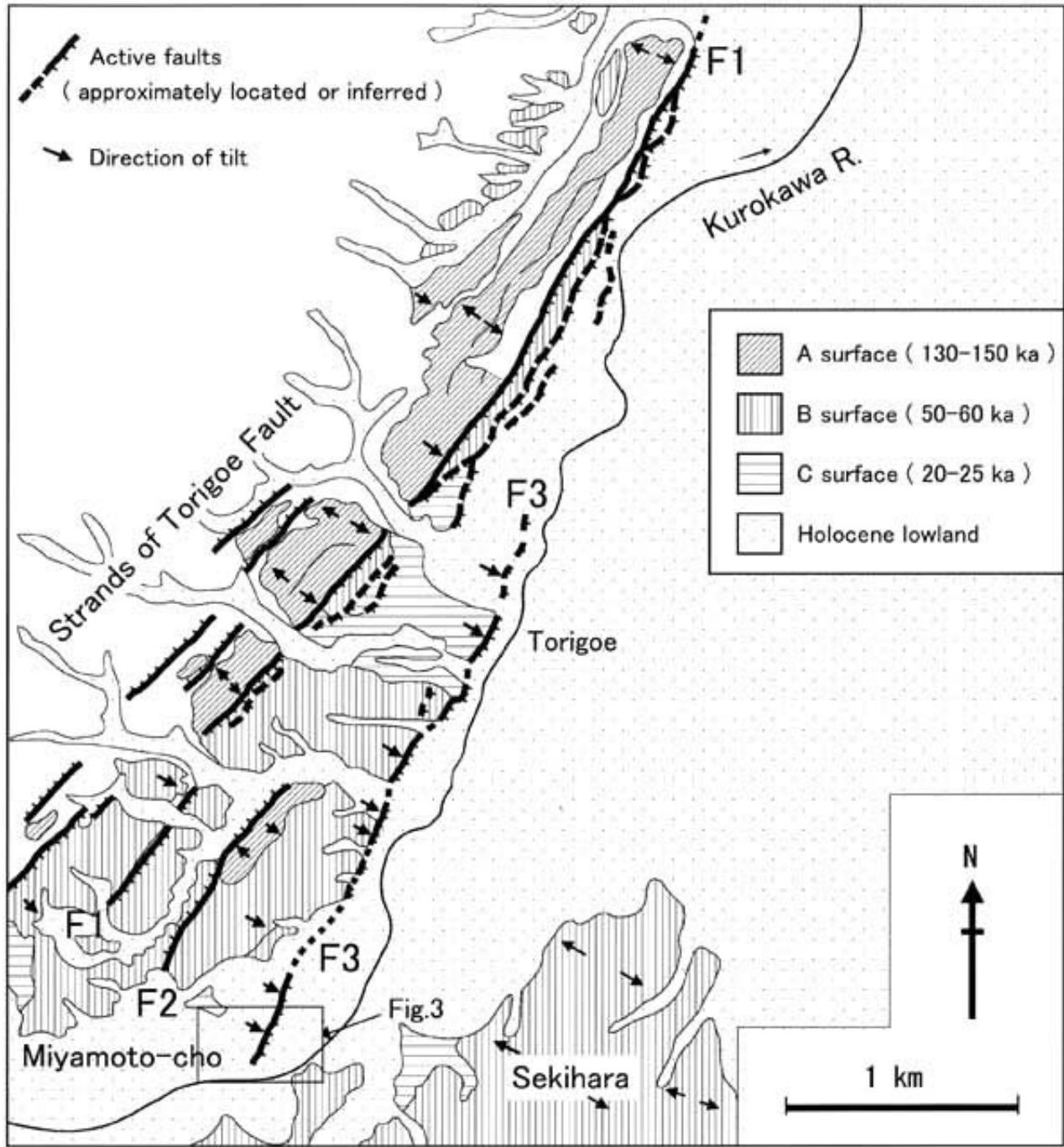
文 献

- 早津賢二・新井房夫（1982）信濃川下流地域（新潟県小千谷市付近）における河成段丘群の形成年代と段丘面の変位速度。地理学評論, 55, 130-138。
- 飯川健勝・堀川秀夫（1985）新潟県小千谷市周辺の沖積面の変形について。地球科学, no. 39, 296-298。
- 太田陽子・鈴木郁夫（1979）信濃川下流地域における活褶曲の資料。地理学評論, 52, 592-601。
- 宇佐美龍夫（1996）『新編 日本被害地震総覧』。東京大学出版会, 493p。
- 渡辺満久・太田陽子・鈴木郁夫・澤 祥・鈴木康弘（2000）越後平野西縁、鳥越断層の完新世における活動性と最新活動時期。地震 2, 53, 153-164。

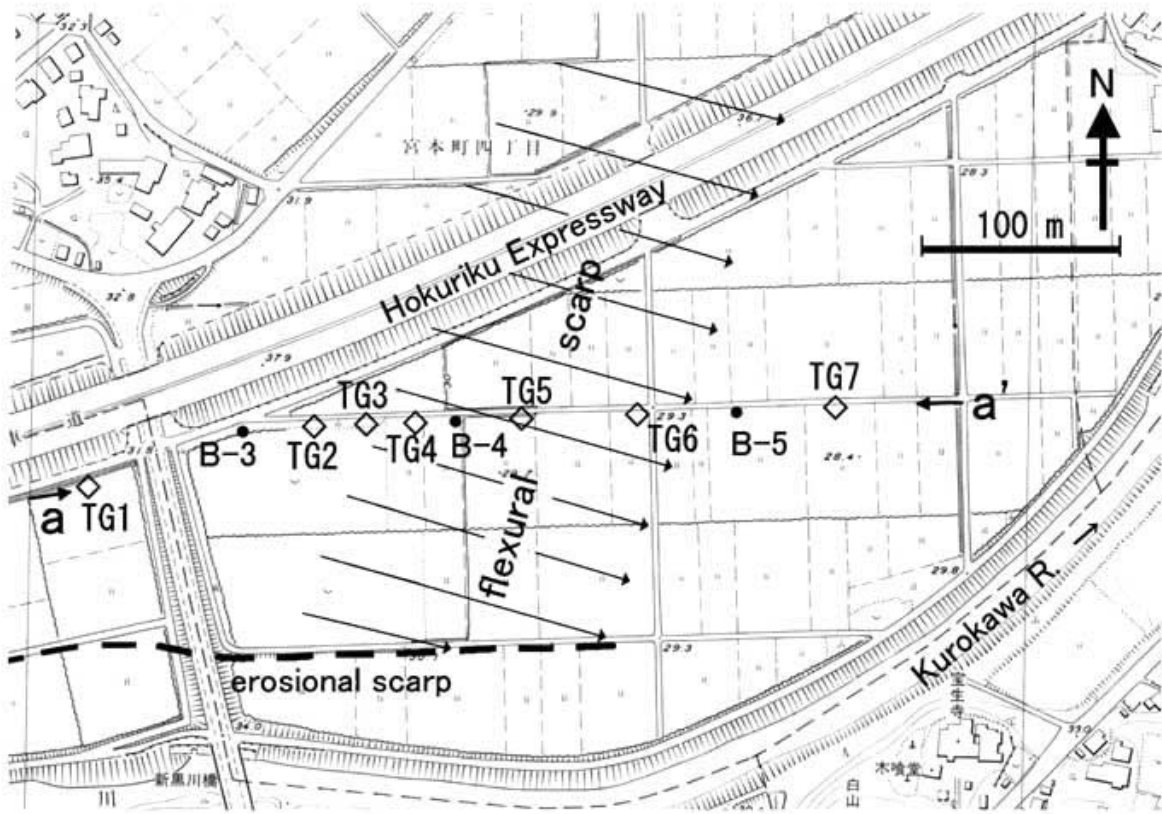


第1図. 越後平野周辺およびその周辺地域の活構造.

Fig. 1. Simplified Quaternary tectonic map of the Echigo Plain and adjacent area. Anticlinal axes are from Kato et al. (1984). Contour interval is 200 m.



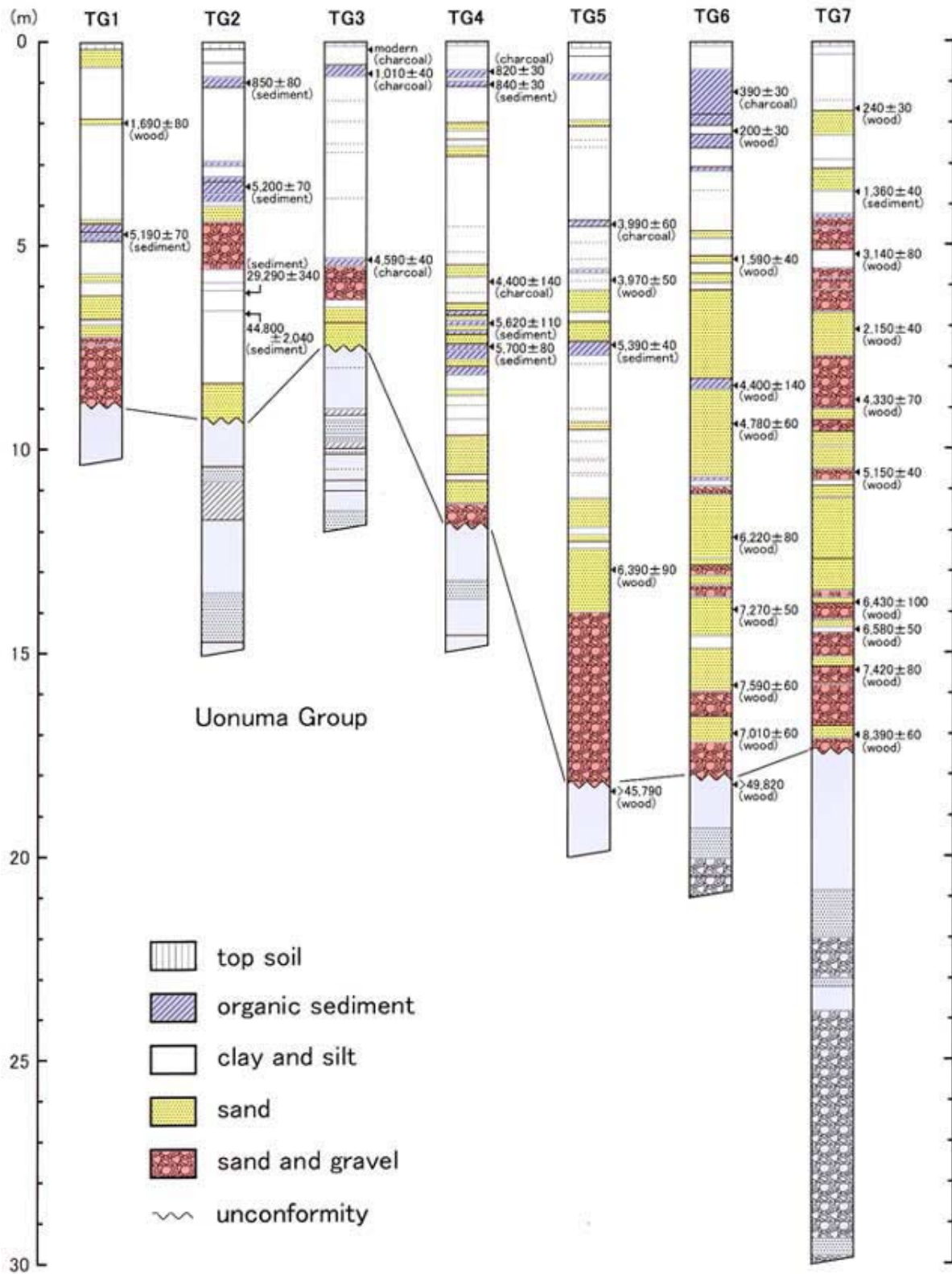
第2図. 調査地域の地形分類図.
Fig. 2. Geomorphological map of the study area.



第3図. 調査地点の詳細位置図.

Fig. 3. Detailed location map of survey sites.

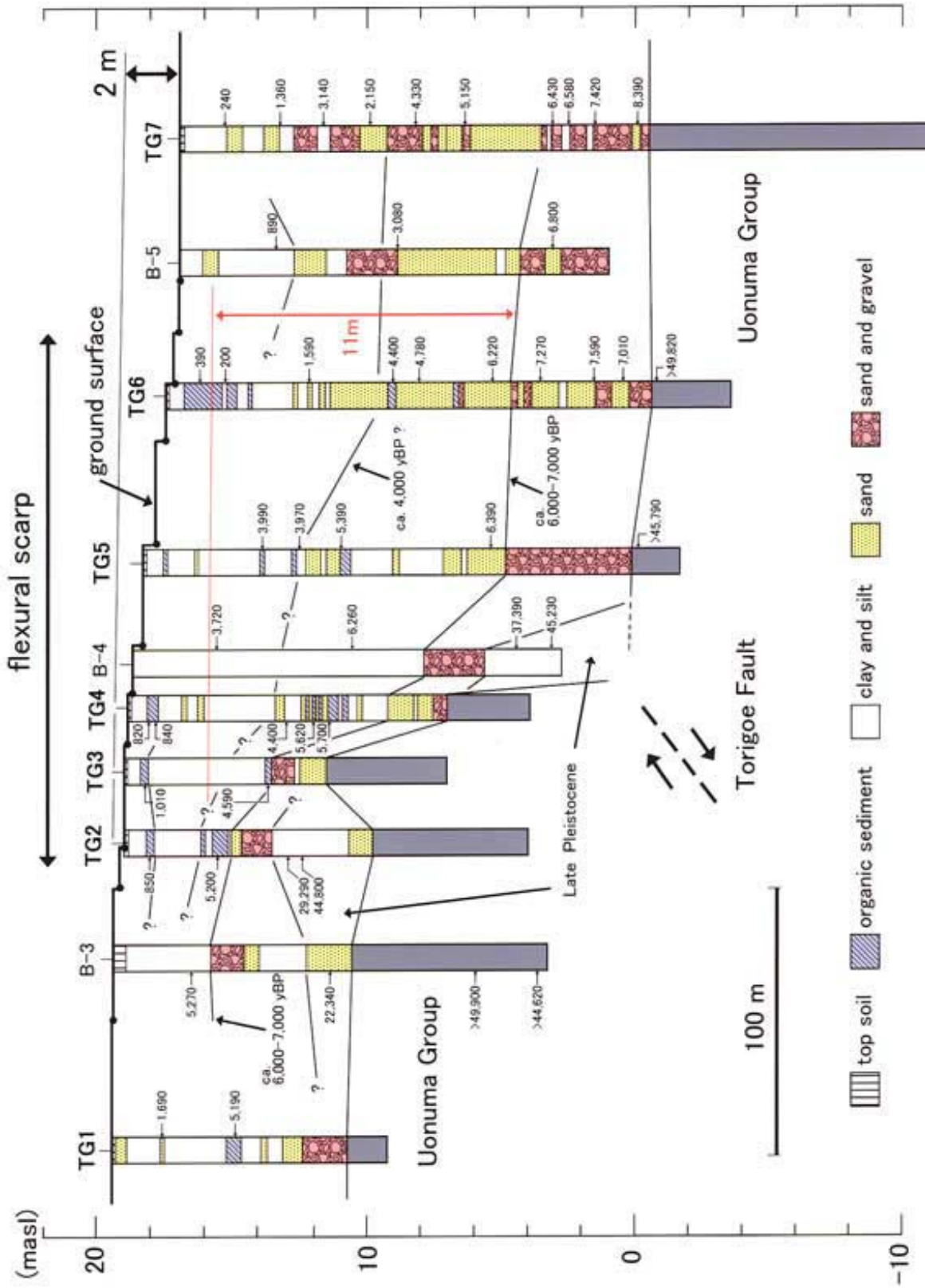
Seven boreholes (TG1 – TG7) are arrayed across the flexural scarp. B-3, B-4 and B-5 are the drilling sites of Watanabe et al. (2000).



第4図. ボーリング地質柱状図 (TG1 ~ TG7).

Fig. 4. Geologic columnar sections of boring cores from TG1 - TG7.

The locations of drilling surveys are shown in Fig. 3.



第5図. 撓曲崖を横切る地形・地質断面図。
 Fig. 5. Topographic and geologic profile across the flexural scarp of the Torigoe fault .
 第1表. ボーリングコアの14C年代測定値.
 Table 1. 14C ages from the boring cores.

core no.	depth(m)	Material	¹⁴ C*	Calendar year**	Lab. No.	note
TG1	2.0	wood	1,690±80	AD 250 to 430	Beta-138390	
	4.7	humus	5,190±70	BC 4045 to 3955	Beta-138391	
TG2	1.0	humus	850±80	AD 1050 to 1095 AD 1140 to 1265	Beta-138392	
	3.6	humus	5,200±70	BC 4050 to 3960	Beta-138393	
	6.2	humus	29,290±340		Beta-138394	AMS
	6.7	wood	44,800±2,040		Beta-138395	AMS
TG3	0.3	charcoal	modern		Beta-138396	AMS
	0.8	charcoal	1,010±40	AD 1000 to 1030	Beta-138397	AMS
	5.4	charcoal	4,590±40	BC 3370 to 3345	Beta-138398	AMS
TG4	0.8	charcoal	820±30	AD 1205 to 1255	Beta-138424	AMS
	1.1	humus	840±30	AD 1185 to 1235	Beta-138425	AMS
	5.9	charcoal	4,400±40	BC 3090 to 2925	Beta-139410	AMS
	6.9	humus	5,620±110	BC 4550 to 4345	Beta-139411	
	7.5	humus	5,700±80	BC 4665 to 4645 BC 4615 to 4455	Beta-139412	
TG5	4.5	charcoal	3,990±60	BC 2575 to 2460	Beta-138399	AMS
	5.9	wood	3,970±50	BC 2560 to 2525 BC 2495 to 2455	Beta-138400	AMS
	7.4	humus	5,390±40	BC 4320 to 4225	Beta-138401	AMS
	13.0	wood	6,390±90	BC 5470 to 5295	Beta-138403	AMS
	18.4	wood	>45,790		Beta-138404	AMS
TG6	1.3	charcoal	390±30	AD 1450 to 1500 AD 1660 to 1675	Beta-138405	AMS
	2.2	wood	200±30	AD 1765 to 1800 AD 1940 to 1950	Beta-138406	AMS
	5.3	wood	1,590±40	AD 420 to 535	Beta-138407	AMS
	8.5	wood	4,400±140	BC 3345 to 2890	Beta-138408	
	9.2	plant	4,780±60	BC 3645 to 3515	Beta-138409	AMS
	12.2	wood	6,220±80	BC 5295 to 5050	Beta-138410	
	13.9	wood	7,270±50	BC 6205 to 6055	Beta-138411	AMS
	15.8	wood	7,590±60	BC 6460 to 6410	Beta-138412	AMS
	17.0	wood	7,010±60	BC 5975 to 5815	Beta-138413	AMS
	18.2	wood	>49,820		Beta-139862	AMS
TG7	1.7	wood	240±30	AD 1645 to 1665	Beta-138414	AMS
	3.7	humus	1,360±40	AD 650 to 680	Beta-138415	AMS
	5.2	wood	3,140±80	BC 1500 to 1360 BC 1355 to 1315	Beta-138416	
	7.2	wood	2,150±40	BC 340 to 320 BC 205 to 155	Beta-138417	AMS
	8.8	wood	4,330±70	BC 3020 to 2890	Beta-138418	
	10.6	wood	5,150±40	BC 3980 to 3950	Beta-138419	AMS
	13.7	wood	6,430±100	BC 5485 to 5310	Beta-138420	
	14.4	wood	6,580±50	BC 5550 to 5485	Beta-138421	AMS
	15.4	wood	7,420±80	BC 6395 to 6215	Beta-138422	
	17.0	wood	8,390±60	BC 7535 to 7455 BC 7395 to 7370	Beta-138423	AMS

* Conventional radiocarbon age based on Libby's half life (5568yr) with 1 sigma.

** 1 sigma calibrated results (68% probability: Geo Science Laboratory).

第1表. ボーリングコアの¹⁴C年代測定値

Fig. 3. Detailed location map of survey sites.

Seven boreholes (TG1 – TG7) are arrayed across the flexural scarp. B-3, B-4 and B-5 are the drilling sites of Watanabe et al. (2000)