

### 3. 5 より詳しい地震活動履歴解明のための地質学および史料地震学的研究

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 より詳しい地震活動履歴解明のための地質学および史料地震学的研究

(b) 担当者

| 所属機関            | 役職    | 氏名    |
|-----------------|-------|-------|
| 独立行政法人産業技術総合研究所 | 主任研究員 | 遠田 晋次 |
| 国立大学法人広島大学文学部   | 教授    | 奥村 晃史 |
| 財団法人電力中央研究所     | 主任研究員 | 三浦 大輔 |
| 大阪市立大学          | 准教授   | 原口 強  |
| 国立大学法人東京大学地震研究所 | 教授    | 都司 嘉宣 |

(c) 業務の目的

地震活動履歴に関するデータがまだ十分得られていない糸魚川－静岡構造線断層帯（以下、糸静線）中部北部を中心に、トレンチ調査、ボーリング等の地質学的研究と最新活動に関連した史料地震学的研究を行う。これらの調査研究結果に基づき、地震活動履歴を重視した糸静線のセグメンテーション区分を行い、各セグメントから発生する地震の規模と時期、および隣接区間との連動性に関する検討を行う。さらに、本研究の成果と他のサブテーマの成果を統合することにより、地震発生の確率評価と強震動予測のための地震シナリオを高度化することを目指す。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 17 年度：

糸静線北部区間の活動履歴を明らかにするため、神城断層沿いの青木湖の湖底でピストンコアリング調査を実施した。その結果、過去 1 万年間の層序記録から 4 回の強震動に関連する堆積イベントを検出した。

2) 平成 18 年度：

なし。

3) 平成 19 年度：

糸静線北部・中部区間の活動履歴を解明するために、松本盆地東縁断層帯および茅野断層上においてトレンチ調査を実施した。

4) 平成 20 年度：

活動履歴に基づくセグメント区分および最新活動時期の検出のため、全区間 4 箇所トレンチ調査およびボーリング・地層抜き取り調査を実施する。

5) 平成 21 年度：

これまでの調査結果のまとめを行う。

(e) 平成 19 年度業務目的

糸静線から想定される地震規模・頻度予測を高精度化するために、古地震データの乏しい糸静線北部区間の松本盆地東縁断層帯および中部区間の茅野断層において

詳細な活動履歴の解明を目指す。そのために、この2断層それぞれ1調査箇所においてトレンチ掘削調査を実施し、過去数千年間の地震イベントの検出と活動年代の特定を行う。

## (2) 平成 19 年度の成果

### (a) 業務の要約

糸静線北部と中部の2箇所でトレンチ掘削調査を実施した。北部では、松本盆地東縁断層帯南部の安曇野市と池田町境界付近を調査地点に選定し、低位段丘面上の低断層崖を掘削した。トレンチ壁面には砂礫層を切断する高角な断層面が断層崖中腹部に露出した。さらにその下盤側約 20 m にわたって撓曲変形が確認され、小規模な断層変位も確認した。挟在する腐植土層の年代測定の結果、最新活動は3世紀以降に発生したことがわかった。西暦 762 年もしくは 841 年の歴史地震で牛伏寺断層だけではなく松本盆地東縁断層も同時に動いた可能性がある。なお、1 万年以降にその他の地震イベントを示唆する積極的な証拠は認められず、変形帯全体の上下変位 6 ～ 8 m は最新活動時のみで生じた可能性もある。中部横ずれ区間では、茅野断層上の茅野市ちの地区で調査を実施した。トレンチ壁面には、砂礫層および腐植土層の傾動変形が認められた。その変形時期が約 2000 年前に特定されたことから、茅野断層は上記歴史地震に対応して活動していない可能性が高い。

### (b) 業務の成果

糸静線から想定される地震規模・頻度予測を高精度化するために、古地震データの乏しい糸静線北部区間（松本盆地東縁断層帯）および中部区間の一部（茅野断層）においてトレンチ掘削調査を実施した（図1）。以下に成果の詳細を記す。

- 1) 松本盆地東縁断層帯のトレンチ掘削調査北部では、松本盆地東縁断層帯南部の安曇野市明科七貴押出地区を調査地点に選定した。当調査地点は松本盆地東縁断層帯南部の低位段丘面上（L1 面、下川ほか，1995）に位置する。犀川が高瀬川、穂高川と合流する地点からほぼ 3 km 北に位置し、松本盆地東縁断層帯の断層トレースが直線状（最南部）から西へ弓状に張り出し始める部分にあたる。既

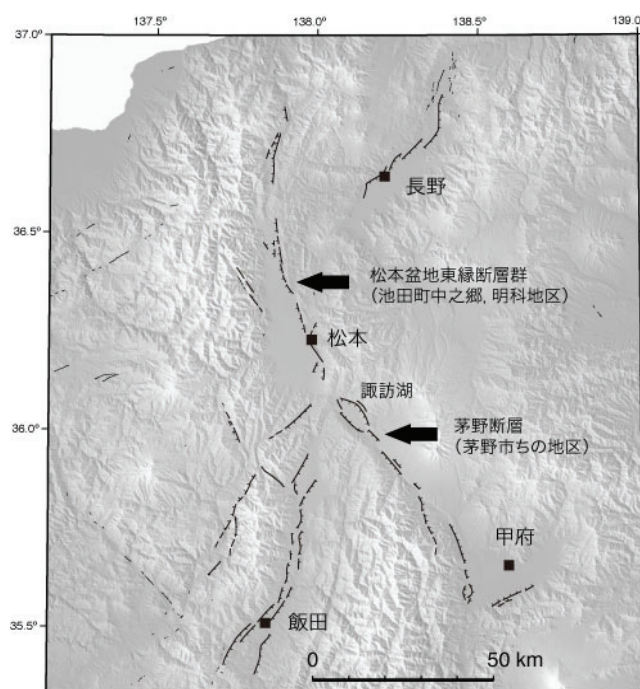


図1 糸魚川－静岡構造線断層帯の分布および平成 19 年度トレンチ調査地点位置図。糸魚川－静岡構造線断層帯およびその周辺の断層分布は下川ほか(1994)に基づく。

往のボーリングデータや地形判読等を総合的に解釈すると主断層は松本盆地東縁に位置すると思われる。しかしながら、当地点およびその周辺では南北に約 700 m にわたって低位段丘面に比高 3 ～ 4 m 程度の低断層崖が写真判読できる。

この断層崖に沿って最大幅 200 m にわたり緩く西に傾動および撓曲した地形も同時に判読されている（東郷ほか，1999）。ここでは、この低位段丘面上の低断層崖を「池田中之郷地点」、この断層トレースの 500 m 南延長部の最低位段丘面上を「明科地点」とし（図 2）、2 地点で計 5 条のトレンチ掘削を行った。以下、地点毎に調査結果について詳述する。



- a) 池田町中之郷地点今回の調査では、上記の低断層崖を横切る A トレンチ（長さ 19 m × 幅 10 m × 深さ 3 m）と、用地制限のためオフセットさせて下盤側に延長した B トレンチ

（長さ 26 m × 幅 8 m × 深さ 4 m）の 2 条のトレンチを掘削した（図 3）。図 4 にトレンチの壁面スケッチ、図 5 に壁面写真を示す。また、トレンチ内の腐植土の放射性炭素同位体年代測定結果を表 1 に示す。

池田中之郷 A トレンチで確認された地層は主として、最下部には地形面の骨格を構成する本流性の段丘構成礫

図 2 松本盆地東縁断層帯池田中之郷地区および明科地区調査地点位置図。基図は国土地理院発行 1/25000 地形図「明科」、推定断層位置図は東郷ほか（1999）の 1/25000 都市圏活断層図「信濃池田」に基づく。

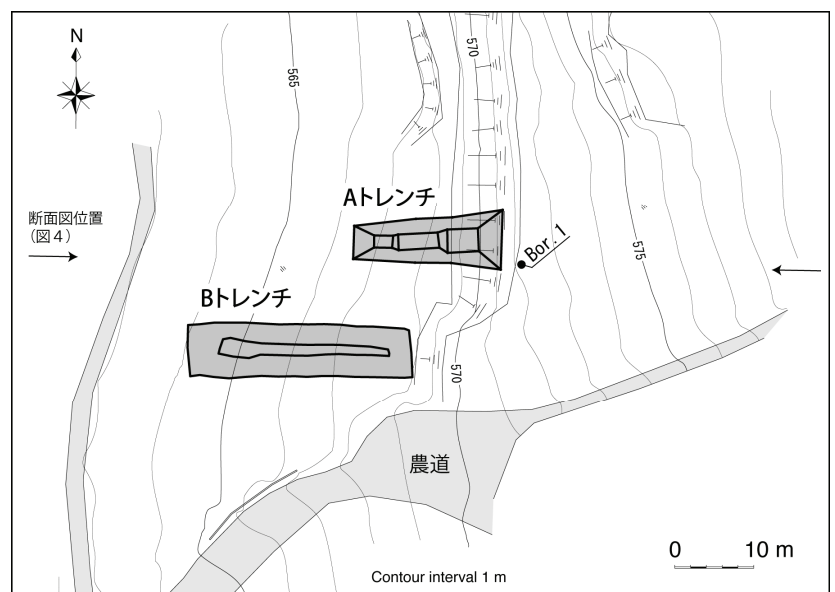


図 3 池田中之郷地区トレンチ掘削地点の詳細地形平面図。



層（E層）とそれを被覆する淘汰の悪い亜角礫と砂層を主体とする新規の堆積物（B～D層）および表土（A層）から構成される（表1）。

表1 池田中之郷および明科トレンチ産出試料の年代測定結果

| トレンチ名      | サンプル番号  | Lab. No. | 14C年代     | No.   | 分析法  | 試料性状             | 暦年較正值: Cal BP (1σ)                              | 暦年較正值: Cal BP (2σ)               |
|------------|---------|----------|-----------|-------|------|------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------|
| 明科Aトレンチ    | AKAS-5  | 240883   | 1830 ± 40 | 33029 | AMS  | organic sediment | 1820 — 1710                                     | —                                |
| 明科Aトレンチ    | AKAE-2  | 240884   | 210 ± 40  | 33030 | Beta | wood             | 300 — 270<br>180 — 150<br>10 — 0                | 310 — 280<br>220 — 140<br>30 — 0 |
| 池田中之郷Bトレンチ | IKBN-04 | 242102   | 1650 ± 60 | 33202 | Beta | organic sediment | 1610 — 1520                                     | 1700 — 1400                      |
| 池田中之郷Bトレンチ | IK-01   | 241064   | 1870 ± 40 | 33066 | AMS  | organic sediment | 1870 — 1740                                     | 1890 — 1710                      |
| 池田中之郷Bトレンチ | IK-02   | 241065   | 5290 ± 40 | 33067 | AMS  | organic sediment | 6180 — 6140<br>6120 — 5990                      | 6190 — 5940                      |
| 池田中之郷Bトレンチ | IK-03   | 241066   | 9620 ± 60 | 33068 | AMS  | organic sediment | 11160 — 11060<br>11030 — 11000<br>10970 — 10790 | 11190 — 10740                    |

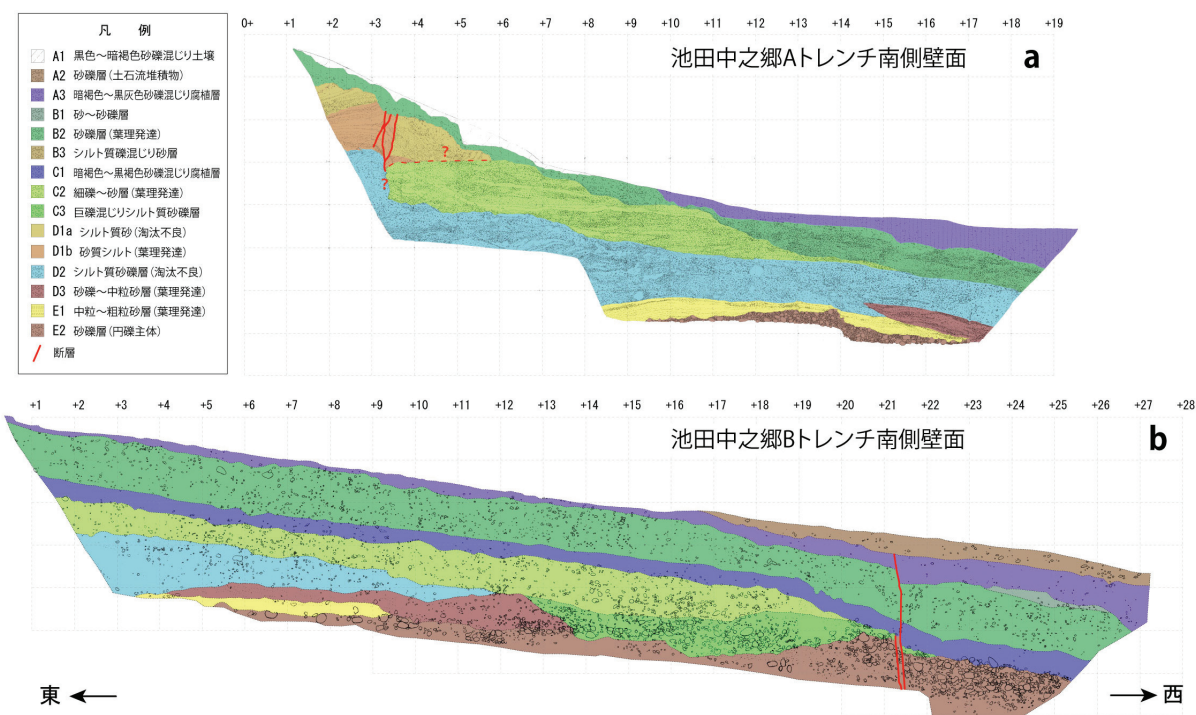


図4 池田中之郷地区トレンチスケッチ。(a) Aトレンチ南側壁面、(b) Bトレンチ南側壁面。

Aトレンチでは南側法面グリッド3～4のD層内に明瞭な西落ちの剪断面が確認できる。この剪断面の下位への延長部はD2層とB層の境界部となる。この境界部は入り組んでおり、明瞭な剪断面としては認識されず、急立した不整合面の様にも観察でき判断が難しい。北側法面ではこのD2層とB層との境界は、西に傾斜する面として確認され、明瞭な剪断面としては確認できなかった（図5b）。ただし、後に実施したボーリング掘削（産業技術総合研究所運営費交付金による追加調査）およびトレンチ深部の追加掘削により、南側壁面に見られる断層延長部に1.8 mの上下変



位が確認された（図 6）。したがって、北側壁面では剪断面は明瞭ではないものの、低断層崖形成に寄与した断層運動が当地点で発生したことには間違いはない。なお、トレンチで観察される地層は最も下位の砂礫層 E1・E2 層を除くと、支流性の堆積物や崖錐・土石流の堆積物となっており、堆積時において若干傾斜していた可能性も否定できない。

しかしながら、A トレンチにおいては比較的水平に近い状態で堆積したと考えられる砂礫層 D3 層と平行葉理の発達した E1 層が、グリッド 14～19 の間で西に向かって傾斜を増している。D2 層から B 層にかけても同様に傾動しているようにも見える。したがって、A トレンチの壁面観察だけにおいても、B 層堆積以降、断層運動に伴う傾動変形が発生した可能性がきわめて高いといえる。

B トレンチでは、B2 層および C1 層はグリッド 19 付近から西に向かって傾斜を増す。B2 層のグリッド 21 付近では礫配列や砂層の不連続によって断層面が確認される。C1 層内では断層による明瞭な剪断面は確認できないものの、グリッド 21 付近で急激西側が落ち込む変形構造として確認される。その上部で A3 層と B1 層、B1 層と B2 層が断層面で接している（図 5 c）。最下位の E2 層の中では礫の再配列、および砂薄層の変位によって断層面の連続が確認できる。この断層によるずれ量は A3 層の基底、B1 層、C1 層および E2 層中の粗粒砂層のいずれでも 50 cm 程度である。しかしながら、これは全体の撓曲変形の一部にすぎない。

調査地点を横断する地形断面およびトレンチ壁面の模式スケッチを図 6 に示す。今回確認した断層変形および地層の傾動・撓曲変形では、断層・被覆層による「切った、覆われた」の関係や、地震イベントに伴う崩落性堆積物など、上記断層以外の複数回の断層

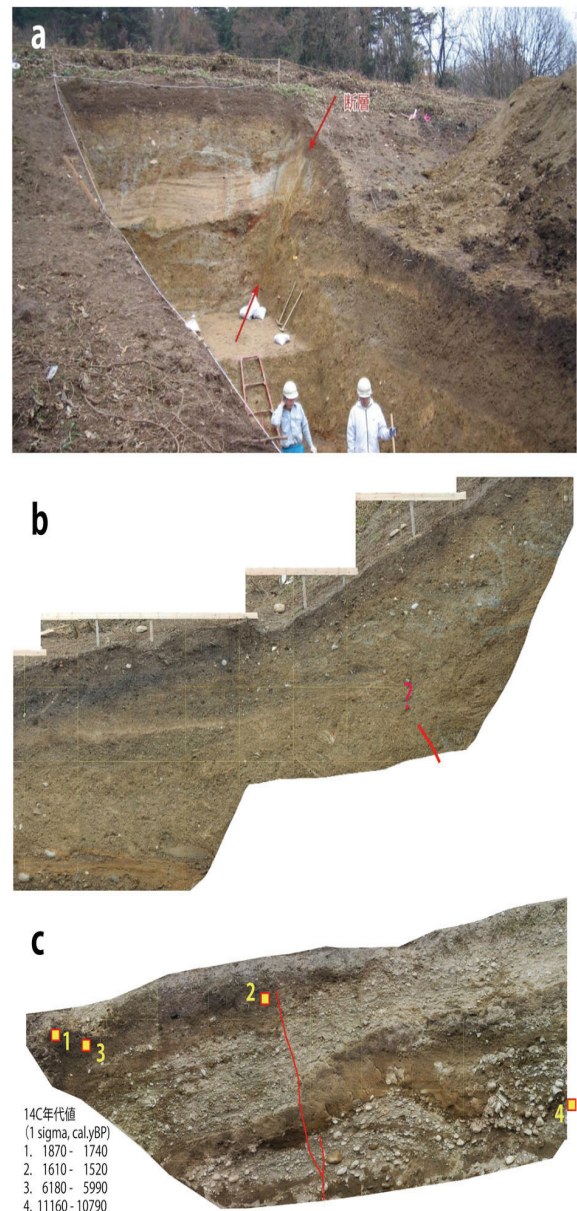


図 5 池田中之郷地区トレンチ写真。(a) A トレンチ東および南壁面、(b) A トレンチ北側壁面、(c) B トレンチ北壁面。赤実線は断層、黄色四角は 14C 年代測定試料採取地点とその年代を示す。

運動を示唆する積極的な証拠を得ることができなかった。したがって、地形面から推定される全体として6～8 m程度の上下変位および約30 m以上にわたる変形帯は最新活動のみによって形成された可能性もある。

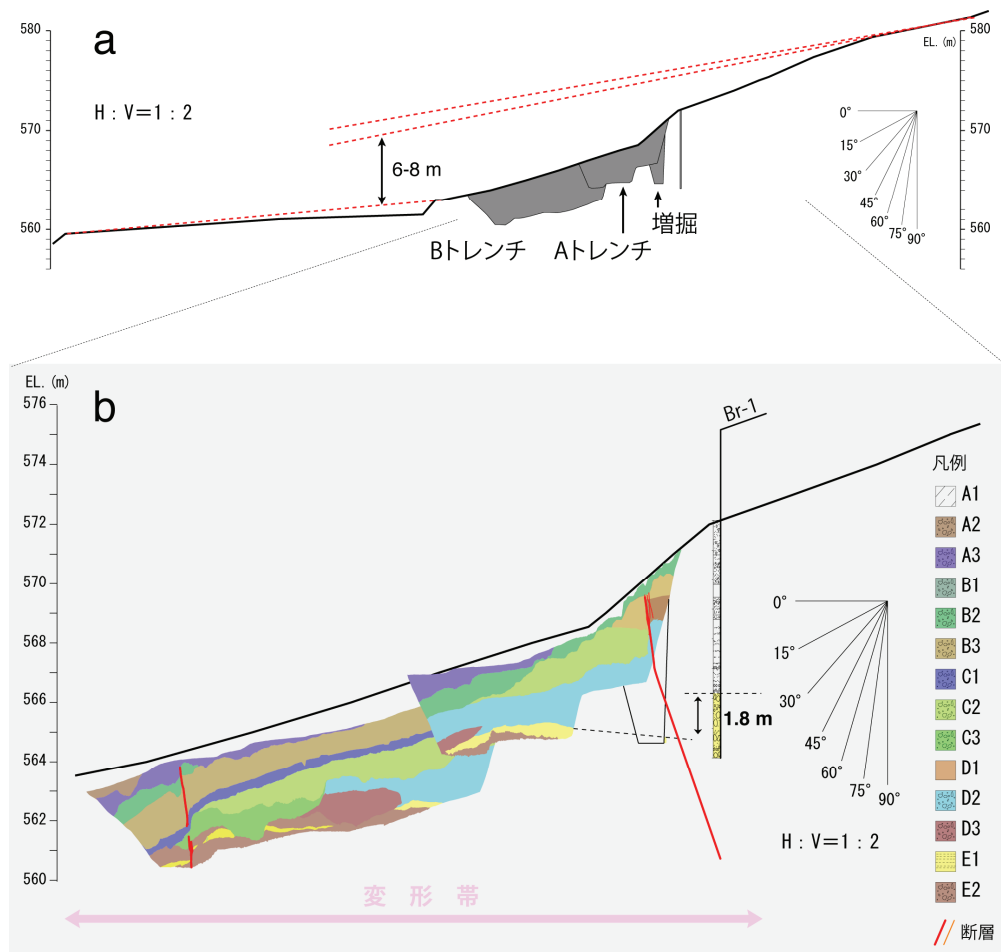


図6 池田中之郷地区における地形地質断面図。縦横比は2：1。個々の断層変位量は小さいものの、全体として30 m以上の変形帯を形成し、上下変位量は6～8 mにおよぶ。

#### b) 明科地点

当地点は池田中之郷地点に認められる低断層崖の南延長部にあたる。事前に実施した空中写真判読により、当地点は最低位段丘面上に位置し、南北に延びる比高約1 mの低断層崖をともなっているものと解釈された。池田中之郷地点よりもより新しい地形面であることから、新規の堆積物が期待できる。トレンチ掘削に当たっては、当初推定した断層崖から掘削を行ったが（明科Aトレンチ）断層を確認できなかったため、さらに東側に位置する2段の低崖に追加掘削を行った（明科Bトレンチ、明科Cトレンチ、図7）。

トレンチ壁面には、段丘面を構成する円礫層とそれを覆う礫混じり砂質シルト、腐植質シルトが露出した。各トレンチ内には断層や変形を示唆する構造は確認でき

なかった。また、トレンチ間の層序対比を行った結果、AトレンチからCトレンチにわたる約 40 m 区間においては各ユニットに傾動や段差は全く認められなかった（図 8）。よって、このトレンチ掘削範囲内においては、少なくとも約 1600 年前以降（暦年較正值、1  $\sigma$  で 1610～1520 y. B. P.）断層変形は生じていないことが判明した。

なお、池田中之郷地点における顕著な断層がわずか 500 m で消滅するとは考えにくい。少なくとも断層位置を確認する必要がある。そのため、トレンチ調査終了後、東側の山地斜面からCトレンチにかけて3本のボーリング掘削を実施した（AK-1、AK-2、AK-3 孔、位置は図 7、産業技術総合研究所運営費交付金による）。コア観察の結果、トレンチで確認した本流性の礫層である I 層はほぼ水平にボーリング AK-1 孔、AK-3 孔に連続することが確認された。また、その上位に分布する E 層、F 層、G 層も AK-1 孔、AK-3 孔に連続している。しかしながら、AK-2 孔で確認できる地層は層相が全く異なり、これらの砂礫層は分布せず、基盤の大峰累層もしくはその再堆積物（泥流堆積物）からなる J 層が確認された。地形的にも AK-3 孔と AK-2 孔の間は大きな崖の基部にあたる。これが断層によるものか、侵食による不整合なのかは今のところ判断はできないものの、中之郷地区で確認した断層の地形的連続からすれば、トレンチ掘削区域に認められないことも考慮すると、AK-3 孔と AK-2 孔の間に断層が位置する可能性は高い。したがって、トレンチ掘削区間では断層活動終了後に新規の堆積物が被覆したわけではなく、断層そのものが通過していない可能性もある。

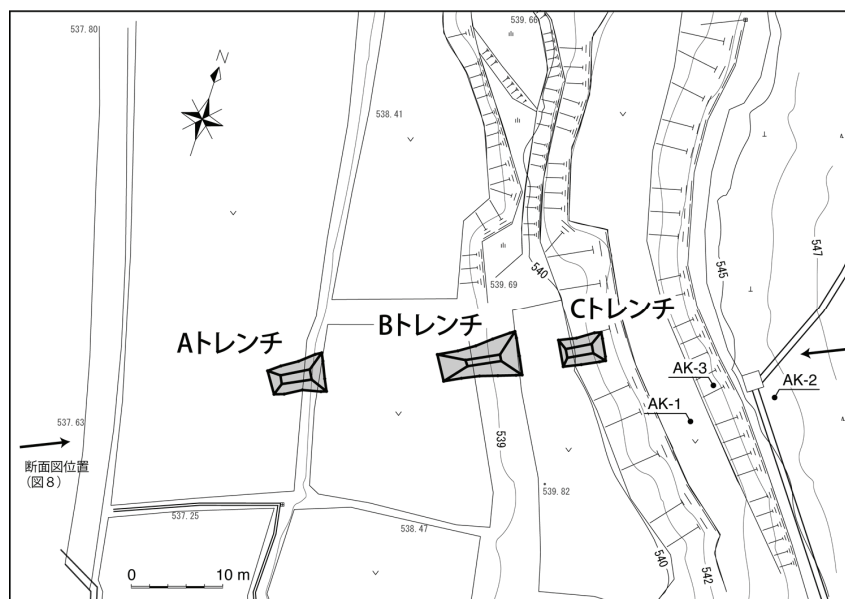


図 7 明科地区トレンチ掘削地点の詳細地形平面図。地形判読による推定低断層崖はAトレンチ掘削地点の低崖にあたる。Aトレンチ内の地層に変形構造が認められなかったため、東に位置する2段の低崖にB、Cトレンチを掘削した。AK-1、AK-2、AK-3はボーリング孔の位置を示す。



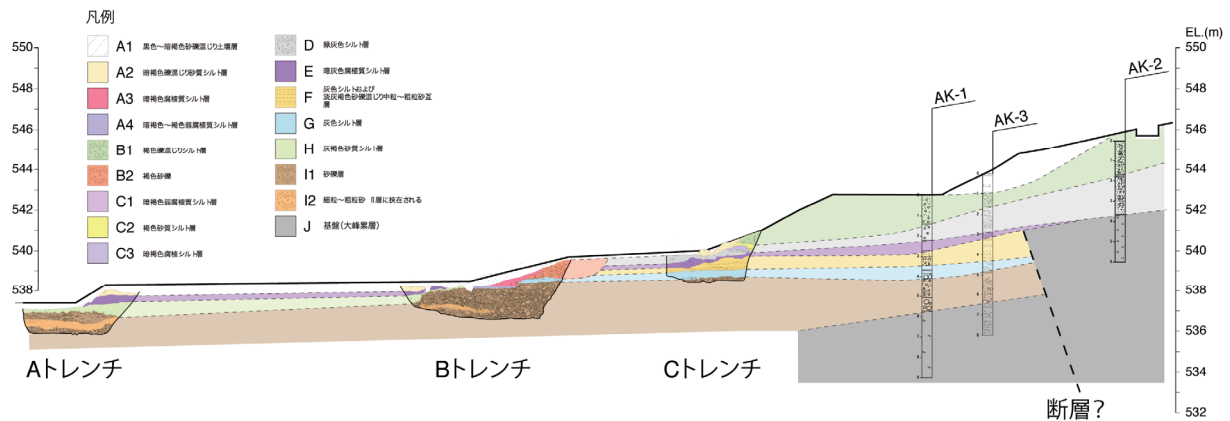


図8 明科地区における東西地形地質断面図。3箇所のトレンチ内に露出した地層はいずれも水平で変形構造は認められない。ボーリング調査結果も合わせて考慮すると、池田中之郷地区で確認された断層はAK-3とAK-2の間に位置すると考えられる。

### c) 地震イベント発生年代

本調査において池田中之郷地点で確認された古地震イベントは、池田中之郷Bトレンチで確認された断層と断層に切断されるA3層と断層を被覆するA2層の関係より、A3層堆積後、A2層堆積前と認定される。A3層の基底から暦年較正值(1 $\sigma$ )で1870~1740 y. B. P.、上部から1610~1520 y. B. P.の年代測定値が得られている(表2)。一方、A2層は比較的最近の土石流堆積物と判断するが、年代測定試料は得られなかった。このことより地震活動時期は、暦年補正值で1610 y. B. P.以降、すなわち約3世紀以降に特定できる。

松本盆地東縁断層帯における古地震イベントは、奥村ほか(1998)によって大町市三日町地区(以下大町トレンチ)、および当調査地点から約15 km北に位置する池田町堀之内地区(以下池田トレンチ)のトレンチ調査により報告されている。

それぞれ最新活動時期は西暦6~7世紀以降(平安時代かそれ以前)と西暦3~4世紀以降と推定されている。

今回得られた最新活動時期はこれらの調査結果と矛盾しない。断層線の連続性や変位センスを考慮して区分・命名された「松本盆地東縁断層帯」全体が同時に変位した可能性は高い。また、堀之内地区でのトレンチ壁面スケッチでは、断層上盤側で引きずり褶曲によって変形した堆積物はほぼ直立しており、きわ

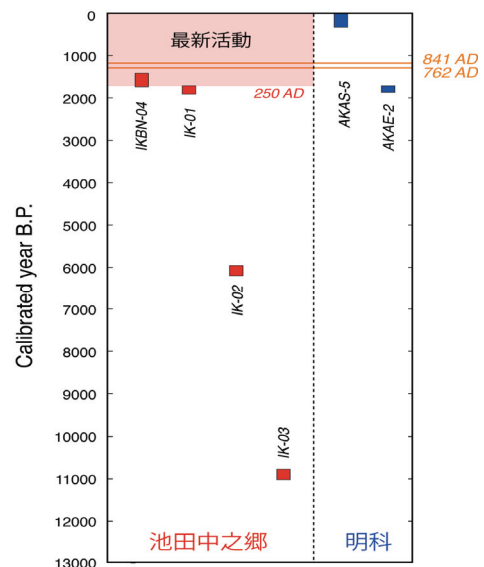


図9 松本盆地東縁断層帯古地震イベントダイアグラム。各縦棒は14C暦年較正年代の2 $\sigma$ 範囲に相当する。各記号は年代測定試料番号を示す。当調査地点では、最新活動時期は西暦250年以降に発生したことがわかった。牛伏寺断層の活動に対応する可能性のある西暦762年、841年の地震もこの間に含まれる。

めて大きな変位量が予想される。これも今回の結果と整合的であり、最新活動時の上下変位量がかなり大きかった可能性がある。

なお、当調査地点は松本盆地の東縁に位置すると推定されている断層線（下川ほか，1994；東郷ほか，1999）よりも 200～300 m 東側に並走しており、分岐断層の可能性はある。したがって、当地点で明確な断層運動が確認されなかった期間（約 1 万年前以降 1600 年前以前、図 9）をもって松本盆地東縁断層帯が活動しかなかったと結論づけることは早計である。活動間隔については奥村ほか（1998）もデータがなく、今後の課題である。

## 2) 茅野断層ちの地区におけるトレンチ掘削調査

当地区では、茅野断層によって形成された比高約 15 m の低断層崖の基部において、長さ約 15 m、幅約 5 m、深さ 2 m のトレンチを掘削した（図 10、11）。トレンチ壁面には、下位から上川の本流性堆積物である砂礫層、氾濫原／後背湿地堆積物、崖錐堆積物、および表土が露出した。層相に基づき、各地層を下位から IX 層～I 層に区分した（図 12）。10 点の放射性炭素同位体年代測定の結果、トレンチ壁面に露出した全ての地層は、およそ 2000 年前以降の堆積物であることがわかった（表 1）。

トレンチ底付近の本流性砂礫層（IX 層）の堆積上面は、北壁面グリッド No. 10～11 において約 0.5 m の西側低下を示す。

さらに、砂礫層中には剪断に伴って形成されたとみられる礫の再配列およびこれを境とした東西の層相に差異が認められ、トレンチ底より深部に横ずれを伴う断層の存在が強く示唆される。この西側低下の構造は、さらに上位の氾濫原堆積物および腐植質シルト層（VIII～VI 層）においても認められ、挟在するチャンネル堆積物（VII 層）は西へ向かって撓み下がる。

一方、フラッドロームからなる氾濫原堆積物である V 層および IV 層には、この西側低下は認められない。V 層は、VI 層以下にみられる西側低下の構造をアバットして覆い、西側で厚く堆積する。以上から、壁面中位の腐植質シルト層（VI 層）堆積後、氾濫原堆積物（V 層）より前に、西側を低下させる変形イベントが生じた可能性が高い。年代測定結果に基づき、このイベントが生じた年代は  $2030 \pm 40$  y. B. P.（IX 層）から  $1930 \pm 40$  y. B. P.（III 層）に特定される。既存の研究成果と併せて総合的に判断すると、この変形イベントは茅野断層の最新活動と考えることが妥当である。したがって、茅野断層の最新活動時期は糸静線中部区間の牛伏寺断層や北部区間とは異なっており、西暦 841 年および 762 年の歴史地震に伴って茅野断層は活動していない可能性が高い。



図 10 茅野断層ちの地区調査地点位置図。  
基図は茅野市発行都市計画図。



図 11 ちのトレンチ掘削状況。

表 2 ちのトレンチ調査壁面の層序と年代測定結果

| 層 名              | 分布深度<br>(GL-m) | 層厚<br>(m) | 層 相                                                                   | <sup>14</sup> C 年代<br>(yBP)      |
|------------------|----------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| I 層：砂礫層 a        | 0.0～1.6        | 1.0～1.6   | φ5～20cm の亜円礫を主体とする。マトリックスは粗砂，有機質シルト混じり砂質土からなる。                        | 1,210±40                         |
| II 層：砂礫層 b       | 0.5～1.0        | 0.1～0.3   | 砂礫層 I の下部にレンズ状に分布する。φ5～10cm の亜円礫を主体とし，マトリックスは有機質砂質シルトからなる。            | -                                |
| III 層：有機質砂質土層 a  | 1.0～1.5        | 0.2～0.4   | 下位の砂質シルト層 I とやや遷移的に接する。所々，φ5cm 前後の亜円礫を含む。                             | 1,930±40<br>2,180±40<br>2,190±40 |
| IV 層：シルト質細砂層 a   | 1.5～1.8        | 0.1～0.5   | 全体に混入物少ない。弱い有機質を呈する。                                                  | -                                |
| V 層：シルト混じり細砂層    | 1.5～2.1        | 0.05～0.4  | トレンチ西側に分布する。上位のシルト質細砂層 I とは遷移的に接する。                                   | -                                |
| VI 層：有機質砂質土層 b   | 2.0～2.1        | 0.2～0.3   | 母材は上位・下位のシルト質細砂層に近く，地層境界はやや不明瞭である。                                    | 2,340±40<br>2,610±40             |
| VII 層：砂礫層 c      | 1.8～2.2        | 0.3～0.5   | 有機質砂質土層 II の下部にレンズ状に分布する。φ1～3cm の亜円礫を主体とし，マトリックスは粗砂からなる。内部に斜交層理が発達する。 | -                                |
| VIII 層：シルト質細砂層 b | 2.2～2.5        | 0.1～0.3   | 全体に混入物少ない。                                                            | 2,240±40<br>2,750±40             |
| IX 層：砂礫層 d       | 2.5～           | >0.8      | φ5～20cm の亜円礫を主体とする。マトリックスは細礫混じり粗砂からなる。                                | 2,030±40<br>2,270±40             |



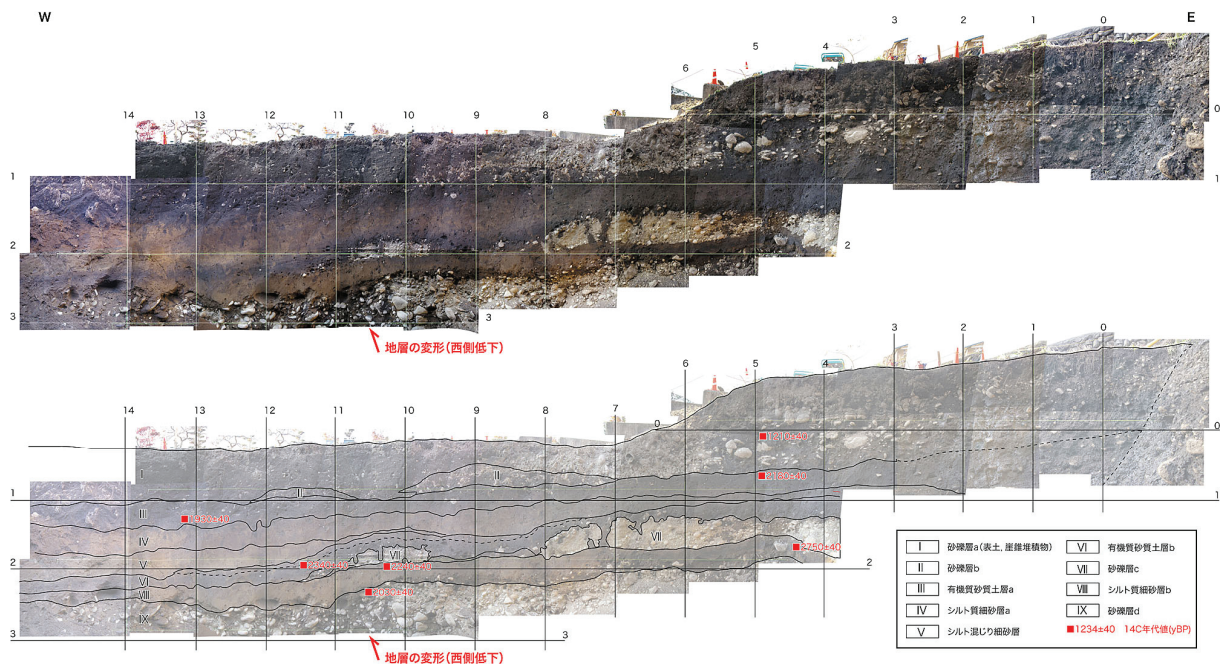


図 12 ちのトレンチ北側壁面の写真と地層区分。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

松本盆地東縁断層帯および茅野断層においてトレンチ調査を実施し、それぞれ 1600 年前以降および約 2000 年前前後の最新活動時期を得た。松本盆地東縁断層帯では、西暦 762 年もしくは 841 年の歴史地震時に牛伏寺断層と同時に活動した可能性があるが、諏訪湖以南に位置する茅野断層については上記地震時に破壊が及んでいなかった可能性がある。今後は、松本盆地東縁断層帯の活動間隔について現地掘削調査だけではなくサブテーマ 4 の変位速度の観点からも検討し、牛伏寺断層から神城断層にかけての長さ約 80 km 区間での破壊の連動性について古地震および地震地質学的観点から評価する必要がある。また、糸静線中部区間でも、特に南部域の茅野断層や釜無山断層などの活動時期を詳細に特定し、最も活動的な牛伏寺断層の活動との関連について検討していく必要がある。

#### (e) 引用文献

- 1) 奥村晃史, 井村隆介, 今泉俊文, 東郷正美, 澤 祥, 水野清秀, 荻谷愛彦, 斉藤英二: 糸魚川-静岡構造線活断層系北部の最近の活動 -神城断層・松本盆地東縁断層トレンチ発掘調査-, 地震 2, Vol. 50, 35-51, 1998.
- 2) 下川浩一, 水野清秀, 井村隆介, 奥村晃史, 杉山雄一, 山崎晴雄, 糸魚川-静岡構造線活断層系ストリップマップ, 地質調査所, 1995.
- 3) 東郷正美, 池田安隆, 今泉俊文, 澤 祥, 松多信尚, 1:25,000 都市圏活断層図「信濃池田」, 国土地理院技術資料 D-1-No. 368, 1999.

### (3) 平成 18 年度業務計画案

糸魚川-静岡構造線から想定される地震規模・頻度予測を高精度化するために、連動性の有無と最新活動時期に関する未解決地域について、南部も含めて古地震学的調査を実施する。調査地点は基本的に 4 箇所とする。断層位置が明確で新規の細粒堆積物が期待でき、

地震イベントがより良く保存されている地点を空中写真判読、現地調査にて選定し、3箇所でトレンチ掘削調査、1箇所でボーリング調査・地層抜き取り調査を実施する。特に横ずれ断層区間の調査にあたっては、古地震発生時の横ずれ変位量が検出できる調査地点を選定し、借用地の広さや地質状況をみて、考古学的3次元トレンチ掘削調査を行う。

また、これらの調査結果および既存の調査結果について、断層活動履歴のコンパイル作業およびセグメンテーション及び連動性の再検討を実施する。特に古地震データの空間的代表性（断層端か中央部か、調査地点以外に断層が並走するかどうか、など）と適用範囲の検討、地震イベント欠損期間、イベント認定根拠の区分やその信頼度、14C年代測定試料の性状等の明示化を全域・全データについて行う。これによって、各調査地点間での地震イベントの同時性やセグメント間での連動性について、より詳細な評価を行う。また、サブテーマ4「地震時断層挙動の予測精度向上に向けた変動地形調査」で得られた変位速度とトレンチ等で得られた断層活動との整合点・矛盾点を検討し、糸魚川－静岡構造線断層帯から想定される地震規模と頻度の予測に資する。