

大昔の大地震の痕跡をさぐる

佃 為成・安藤雅孝・岡田篤正

内陸の活断層は、直下型地震の発生源である。この真上に堆積した新しい地層の乱れから、過去の大地震発生を読み取り、その年代を決定することを目的として、“トレンチ法”と呼ばれる断層掘削調査が最近、鳥取県の鹿野断層と兵庫県の山崎断層において実施された。



古代の大地震の跡が見つかった。左手の白っぽい茶色の砂の層は、断層によって食い違いを起こし、右手では1～2mも下がっている。1943年の鳥取地震では最大60cmの上下変動が測定されているから、もっと昔にも大地震があったことになる。トレンチ内では、水が湧き出し足場も悪い。たえずポンプで水を吸い上げないと水没してしまう（鹿野町法楽寺Bトレンチ西側断面）。



鹿野断層のトレンチ現場。鳥取県鹿野町法楽寺を、南方上空から眺める。中央の水田にトレンチ（溝）が2本みえる（写真中の矢印部分）。断層はそこをほぼ左右（東西）に走っている。水田下の断層の位置を正確に推定できたのは、1943年鳥取地震の際の断層運動について、調査報告と地元の人々の証言があったからである。

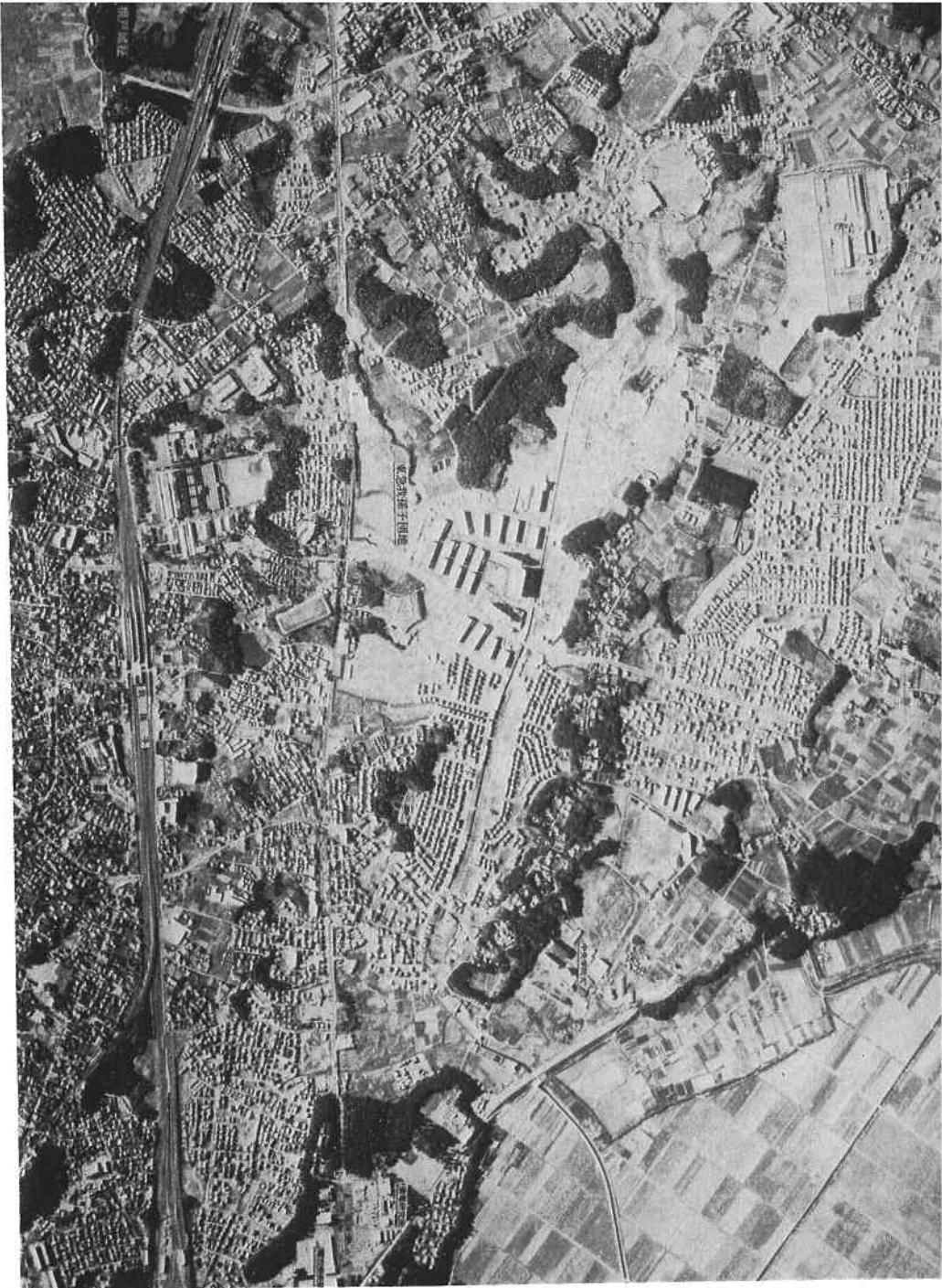


平安時代に発生したと思われる大地震の痕跡. 泥炭層が30cmほど上下にずれている. 上の写真では壁面がざらざらして地層の判別がむずかしいが、左官屋さんのように鑊で面をなでながら削ってゆくと、下の写真のように、立派な“壁面”ができあがる. 最初鮮やかな茶褐色だった泥炭層は、空気に触れると酸化によって、すぐに黒ずんでいく（山崎断層Aトレンチ西側断面）.

新興住宅団地

板倉勝高

(この空中写真の縮尺は、約二万六五〇分の一です)





山崎断層では、先に平安時代頃の大地震の痕跡が見つかったが、もっと古い時代のことを調べるために、調査溝をもう少し深く掘り、基盤岩に達する4.5mの深さまでの地層断面を観察した。そこでは地層が大きく乱れ、少なくとも数回の大地震があったと推定される。

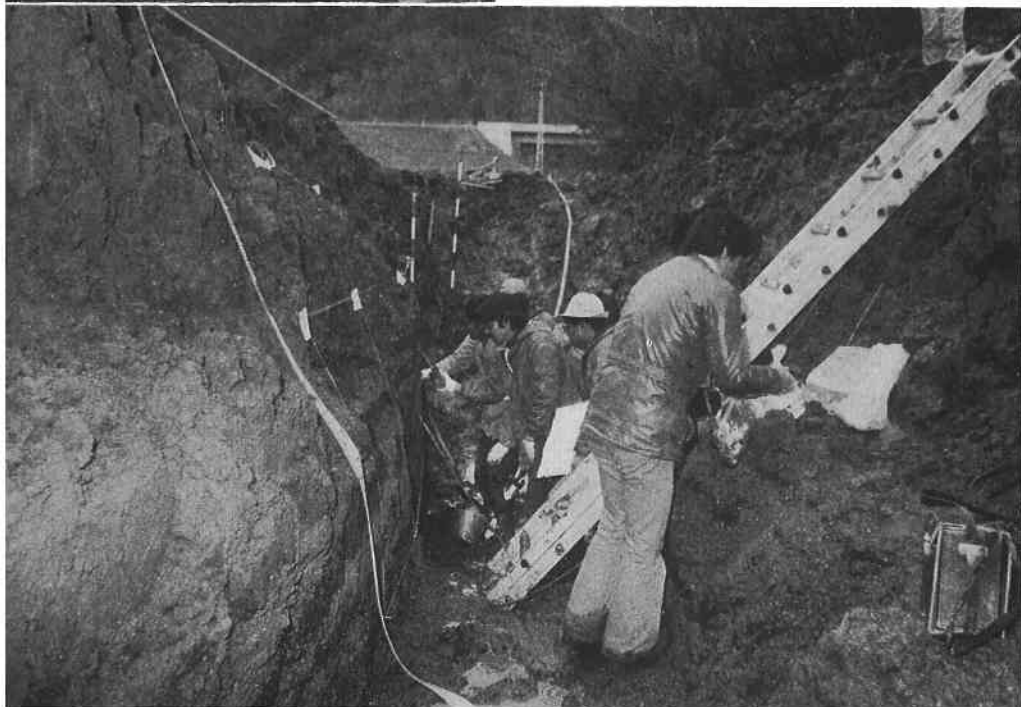


山崎断層Cトレンチの腐植土層中から、土器の破片がいくつも発見された。鑑定によると、地震で切られている層でみつかったものは、7世紀末～8世紀後半のもので、またその上部を不整合状におおう地層のものは、12世紀ころであった。したがって、平安時代から鎌倉時代までに、この地方で大地震があったことになる。『三代実録』という史書にでている西暦868年の地震（ $M \approx 7.1$ ）に対応するらしい。



地層の乱れがひどく、断層の左右で地層の対応が不明確な場合もある（山崎断層Aトレンチ東側断面）。

掘削が終わると壁面には、鉛直・水平それぞれ1mごとにくぎを打ち、格子状に糸を張る。この座標系を基に、地層の堆積状態や岩相などがわかるように、図に描いて行く。このスケッチがトレンチ調査でも重要な作業となっている(安富町安志Aトレンチ西側断面)。

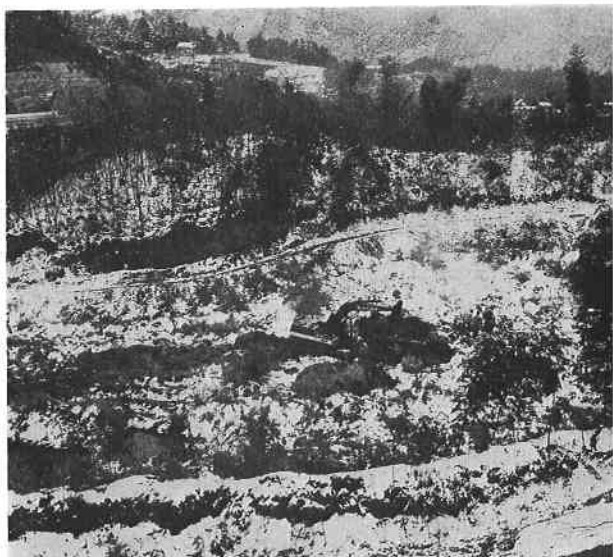


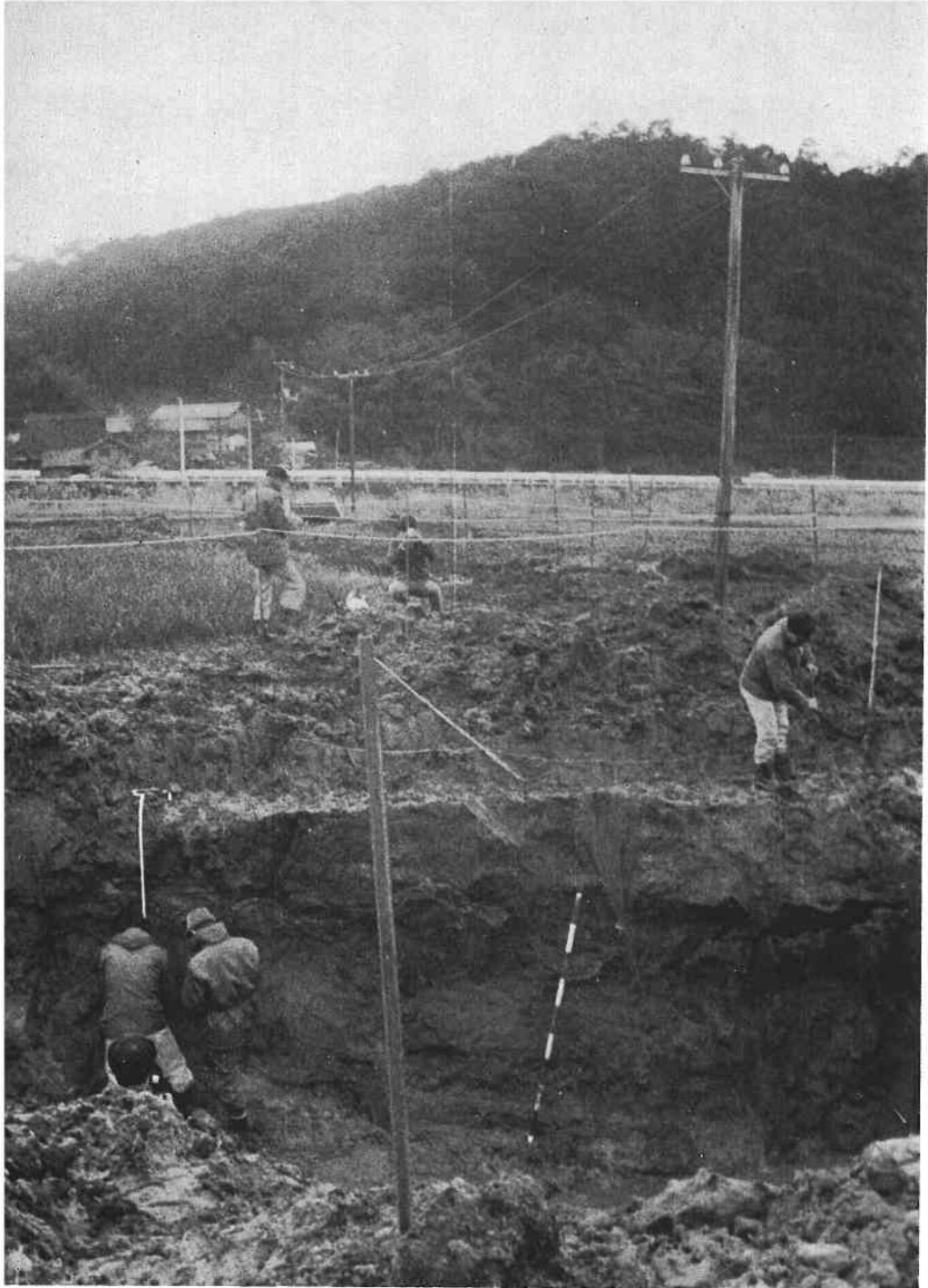
スケッチと並行して、地層の関係を詳しく吟味したり、年代決定に必要な試料(木片、泥炭層、腐植土)を採集する。



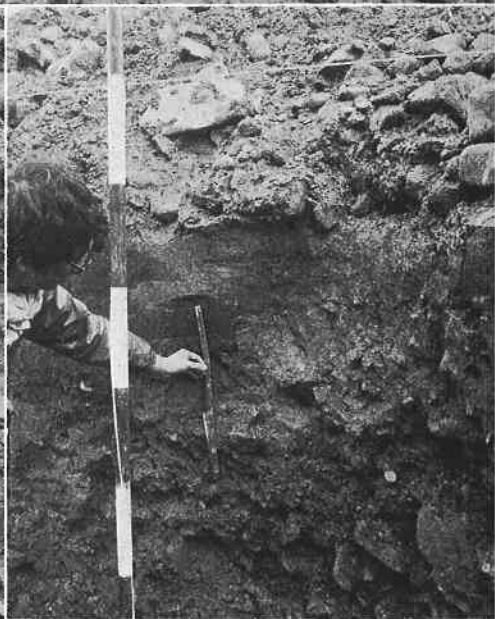
山崎断層のトレンチ場所(安富町安志西方). 左ずれの断層(矢印のところ)によって, 尾根や谷が屈曲している. ここは例外的に中国自動車道(写真右下)が, 断層線の位置から離れている. トレンチ溝(写真の点線部)を埋め戻したあとに撮影.

山崎断層のトレンチ現場(安富町安志Cトレンチ). 左ずれの断層運動によって, 谷筋が屈曲している. 右上上流から運ばれた堆積物は, つぶの細かい礫で, 腐植土層も発達している. 地形の変位から推定した断層の位置は, 実際と1~2mほどしか食い違わなかった. 掘削の当日は雪であった.





トレンチ両断面上の断層の位置をもとに、断層の走向をはかる。鹿野断層は後方にみえる部落の藁葺屋根の農家の真下を通っているが、トレンチによって現れた堆積層内の断層の走向は、明らかにこれとは異なる。また2本のトレンチでみられた断層は、それぞれ平行の走向をもち、雁行状に配列している。



右手の礫層にはさまれた薄い腐植土層が、左さがりになっているようだ。それを確認するため深く掘ってみる。パワーショベルで困難な作業には人力を要する。腐植土層の落差は1.3m以上あった。1943年以前にも大地震が起こったためであろう。1943年の地震のときは、礫層のなかに上下の亀裂がつくられた(写真上の右手)。それを拡大したのが下左の写真である。下の方へ掘り進むと新しい裂目が現れ、しばらくすると、そこから水が湧き出す。地震の際の横ずれ運動によって礫が回転し、このようなすき間をつくったものと思われる。下右の写真は、地層のずれをはかっているところ(鹿野町法楽寺Aトレンチ東側断面)。



トレンチ掘削作業の主力は、大型のパワーショベルである。水田の耕土をはぎとったあと、後退りしながら深さ2～3m強、幅3～4m、長さ10～20mの溝を掘る。この作業時間は3時間ぐらいである。調査が終了するとていねいに埋め戻し、元の水田に復旧される（鹿野町法楽寺）。



トレンチの切り立った側壁は崩れやすく、溝内で作業中にこのような崩壊が発生するとたいへん危険なので、側壁面の傾斜をゆるくすとか、壁の補強をするとかの措置が大切である。はがされた壁面には新鮮な地層断面をみることができる（鹿野町法楽寺Bトレンチ）。

大昔の大地震の痕跡をさぐる

— 鹿野断層および山崎断層におけるトレンチ発掘調査 —

佃 為成・安藤雅孝・岡田篤正

はじめに

内陸の直下型大地震の発生源は、活断層であるといわれている。活断層上で地震が発生すれば、断層運動によって真上に堆積した地層は、多少とも上下にずれを起こすので、地層の断面に断層が現れることになる。一方、地震後に堆積した地層には、次の地震によって乱されるまでそのような変位は生じない。このような地層の間の関係と各層が堆積した年代を知ることができれば、過去の大地震の発生年代が次のようにして決定される。つまり断層で切られている地層の年代より新しく、その上の切られていない地層の年代より古いというわけである。堆積層におおわれた活断層の上を、断層を横断して溝(トレンチ)を掘り、地層断面を詳しく観察し、年代測定試料を採集するというような調査法をトレンチ法と呼ぶ。この方法はアメリカでは近年かなり行われている。とく

に、サンアンドレアス断層で一九七六年大きな成功をおさめたので、我々の注目を引いた。これまでのように既存の露頭を観察するのは違って、積極的に地層断面をつくり出すという点に目新しさを感じたからである。以下は我々が試みたトレンチ調査の記録で、その経過を日記風にまとめてみた。

鹿野断層の調査

一九七八年一月二八日、みぞれの降るなかをトレンチの掘削が開始された。場所は鳥取県気高郡鹿野町の法楽寺の水田である。一九四三年九月一〇日の鳥取地震(マグニチュード7.4)の時、最も断層のずれが大きかった所である。地元の人々に教えてもらって、田のあぜ道に、当時の変動の跡がいまでも残っていることを知った。それを手掛かりに、鹿野断層がどこを通っているかを推定したのである。あらかじめ断層の位置が正確にわかってい

なければ、トレンチの位置も決められない。これは調査地点についての第一の条件である。鹿野断層の場合は、現代に起こった地震が残した記録のために、この条件が満たされたといえるだろう。第二の条件は、地質的に若い地層が発達していることである。トレンチ法では、断層運動とともに変位した地層と、それをおおっている変位を受けていない地層を見分け、地震発生を読み取り、その年代を求めめるのである。したがって、いく層にも発達した堆積層が必要である。鹿野町法楽寺は、当初の予想では決して最良の場所ではなかった。浅い試掘では、末用川や東側の谷から運ばれる大きな礫を含んだ土砂が厚く堆積し、時間を刻むはずの、層をなす堆積物が見当たらないのではないかとという危惧があった。一九六三年にあった末用川の氾濫の話聞いていたので、地層が洪水で洗い流されたかもしれないという心配もあった。予備調査の段階では、鳥取市双六原という所が最もよく右の二条件を満たしているようにみえた。法楽寺のトレンチは、鳥取地震の変動が最大であったことを根拠に、一種のカケのつもりで決行したのである。

最初のトレンチ(A)は、川寄り(西側)に場所を定めた。パワーショベルで掘り始めると、案の定、人の頭ほどもある大きな丸い礫がごろごろでてきた。全体に扇状

地性の礫層であり、大昔の大地震の痕跡など絶望的に思えた。それでも一九四三年の大地震の痕跡ぐらいはみられるだろうと思って注意深くトレンチの側壁を調べていくと、礫層のなかに幅数センチで上下に長く続く裂け目がみつかった。これは鳥取地震の確かなきず跡である(口絵4頁上、左下)。続いて上部の腐植土層に、上下のずれ二〇センチの断層がみつかった。地層の新しさからいって、これも一九四三年のものである。Aトレンチの掘削が完了すると、今度は二番目のBトレンチにかかった。

驚いたことには、Aから二三メートルしか東方に離れていないのに、ここは大きな礫がまったくでてこないで、ほとんどシルトや砂の層ばかりであった。この場所はかつて湿地であったようだ。地層には明らかに断層があった。大昔の「大地震」かもしれない。埋もれ木が大小あわせて多数顔をだした。また、腐植(質)層も二枚みられ、これらは年代試料として貴重である。トレンチ法の第三の条件は、地層のなかにこのような年代を示す試料を含んでいることである。現在、数万年までの昔の年代を決める最も信頼できる方法として知られているのは、生物遺体中の¹⁴Cの含有量を測定する方法である。腐植層に含まれる有機物もこの年代測定に利用できる。調査の初日はこのようにして暮れた。大昔の「大地震」発生の

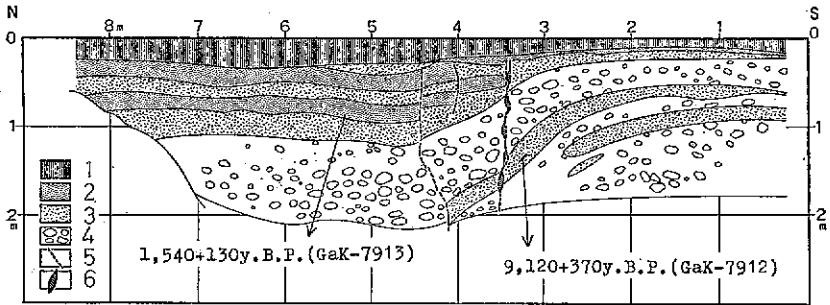


図1 鹿野断層法楽寺Aトレンチ西側断面

1. 耕土 2. 腐植(質)層 3. 砂層 4. 礫層 5. 断層 6. 空隙 数字は¹⁴C年代測定値

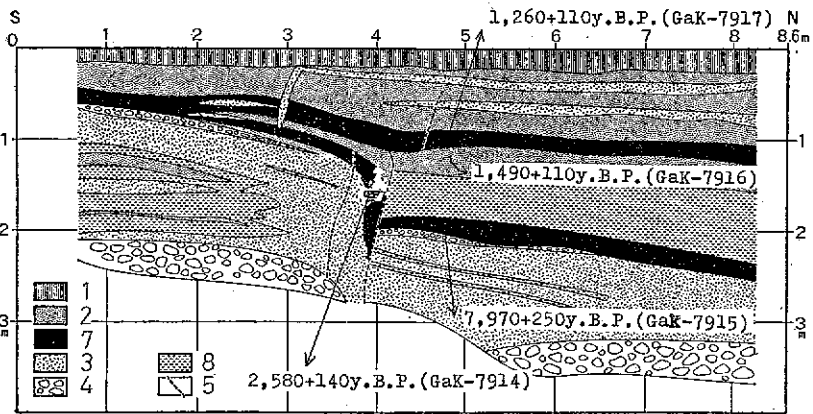


図2 鹿野断層法楽寺Bトレンチ東側断面

1. 耕土 2. 腐植(質)層 3. 砂層 4. 礫層 5. 断層 7. 黒色腐植層(～泥炭層)
8. シルト層 数字は¹⁴C年代測定値

確認をつかんだのは次の日のことである。

二九日は前日にもまして土砂降りの大雨であった。時々雨があがったのをとらえて、Aトレンチの観察やスケッチを行った。そして、礫層にはさまれた腐植質層が北へ向けて急に深く落ち込んでいることをつかんだ。この地層は元来水平に堆積したもので、それがこのように傾いているのは過去の大地震が原因かもしれない。この日は時間がなく、詳しい調査は翌日に持ち越された。三〇日は法楽寺における調査の総まとめの日となった。まず、Aトレンチの北側をもっと深く掘り、前日みつけた地層の行方を追うと、断層によっ

て切られているのが確かめられた(図1、口絵4頁右下)。さらにBトレンチでも、大昔の大地震の時にできたと思われる断層が明確に観察されたのである(図2、口絵1頁上)。発生年代を決定するための試料を大量に採集した。地層堆積時の環境を推定するため、花粉分析用の試料も集めた。A・B両トレンチとも、腐植(質)層や砂層中に木炭のかけらが分散して埋まっていた。一つの層に集中しているわけではないので、山火事が原因でなく人間の活動を物語っている。大昔の大地震というはおそらく数千年以内のことであろうと思われるが、その後の年代測定の結果(図1・2参照)によると、七〇〇〇〜八〇〇〇年前のようである。トレンチに現れた断層の走向を測ると、二本のトレンチについて、食い違っていないがほぼ平行であり、鹿野断層の一般的なトレースに対し雁行していることがわかった。一二月二日には鳥取市双六原でもトレンチを掘ったが、法楽寺Aトレンチにおとらず大きな礫が現れ、腐植土層や断層は見当たらず、ただたわんでいただけであった。ここでは大昔の大地震の跡を探ることをあきらめざるをえなかった。法楽寺では予想外の成功を収め、双六原では逆の結果に終わったのである。なお、法楽寺の調査地点はここ一、二年のうちに、大規模な改田事業が行われるとのことである。そうなってし

まってからでは、断層の場所もわからず、表層物質が乱されて、著しく調査は困難となるであろう。こうした事業が全国各地で実施されているので、早急に対処することが望ましい。

鹿野断層での試みは、トレンチ法の実験という意味合いもあり、京都大学の鳥取微小地震観測所を基地にして、慎重に計画を遂行した。活断層の活動度や地震発生頻度を明らかにし、地震予知の基礎資料をえるための調査法として、今後この方法が活用されるであろう。その突破口が開かれたのである。これからの課題は、個々の活断層の活動度を測りながら、広域の活断層系の活動特性を明らかにしていくことである。我々が企画した次の調査対象は、鹿野断層からわりあい近い山崎断層であった。

山崎断層の調査

兵庫県から岡山県へと北西方向にのびる全長八〇キロのこの左横ずれ断層は、谷の屈曲地形が断層上のあちこちでみられ、ちかい過去の大地震発生はないものの、断層の位置を地形的に推定するのが容易で、しかも新しい堆積層が得意やすい谷がいくつかある。ところが断層に沿って中国縦貫自動車道がのび、トレンチに適した場所

がすでにことごとく道路と化してしまっていた。だが幸運なことに、一カ所だけ道路からはずれていた。兵庫県宍粟郡安富町安志である。ここには、断層運動でずれを起こし、谷の出口に立ちほだかっている閉塞丘 (Shatter-dolom) がみられ、断層のトレースが正確に推定できる。また沖積面の傾斜がゆるやかで、大きな礫が谷の上流から運ばれることもない。トレンチにはうってつけの所である。さらに好都合だったのは、この土地が水田から工場予定地に転用され、掘削に際して鹿野の場合ほど神経を使わなくてすんだことである。一九七九年三月一日から三月四日の間に、二つの谷でそれぞれ二本ずつのトレンチが掘られた。東側から順にA、B、C、Dと名付けた。Bトレンチは、Aトレンチを補うために掘ったが全体にシルト質で、埋もれ木(巨木)が多いためか、側壁の崩壊が激しく、断面の状態も悪いので、詳しい観察はしなかった。また、DはCの補助のつもりであったが、谷の端に寄りすぎたため、浅いところで岩盤が露出し、堆積層の調査には向かなかつた。かくして、我々が解明したトレンチ断面は、AとCについてのみとなったのである。

三月一日は雪の降る寒い日であった。Aトレンチの掘削がまず始められた。青灰色の地層と褐色の地層が交互

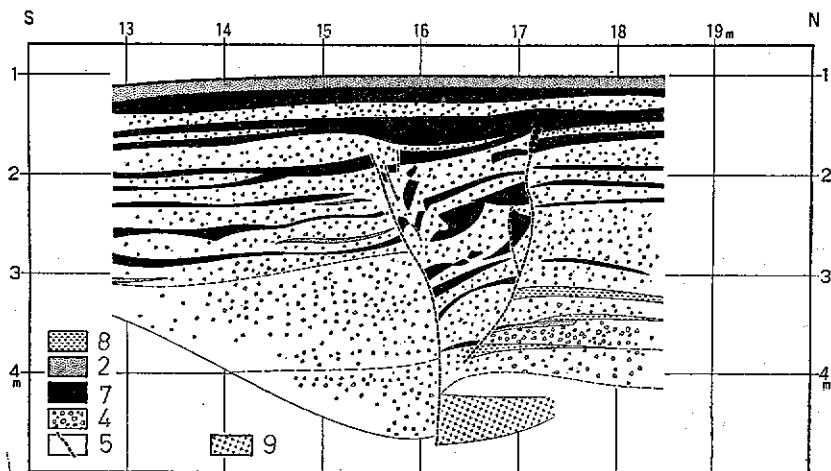


図3 山崎断層安志Aトレンチ西側断面、断層付近拡大図
2、腐植(質)層 4、礫層 5、断層 7、泥炭層 8、シルト層 9、基盤岩(断層破砕帯)

にみえてきた。我々は胸をわくわくさせて地層の切れ目が現れるのを待った。しばらくすると褐色の地層が北上がりに変位しているのがみえた。これが山崎断層で起こった最も最近の大地震の痕跡であることは、疑うべくもない。青灰色の地層は小つぶの角礫層である。水をかなり含んでいるので、まるで生コンクリートのようである。この地層は洪水の時に上流から運ばれ、一度に堆積したものである。それに対し、褐色の地層は未分解の若い泥炭層で、地層の厚さは薄いが相対的に時間をかけて堆積したので、植物の遺体を多く取り込んでいる。したがって、このトレンチに関しては年代決定のための試料採取に不自由しなかった。この泥炭層は厚さ約四メートルの堆積層の中で一〇枚ほど確認された(図3、表紙写真)。Aトレンチでは見事な地層をみる事ができたが、Cトレンチでは状況がかなり違っていた。

三月二日の朝も雪が積もった。もう一つ西の谷でCトレンチが掘られた。この谷は勾配と規模がわりと大きく、したがって堆積速度が大きいため、それぞれの地層が厚く、洪水時に運ばれる礫のつぶも比較的大きい。ここではやや古い年代の地層を見出すのは困難のように感じられた。また、腐植土層と礫層が同じような青灰色を呈し、地層の境界がよくわからない。執拗に西側断面の地

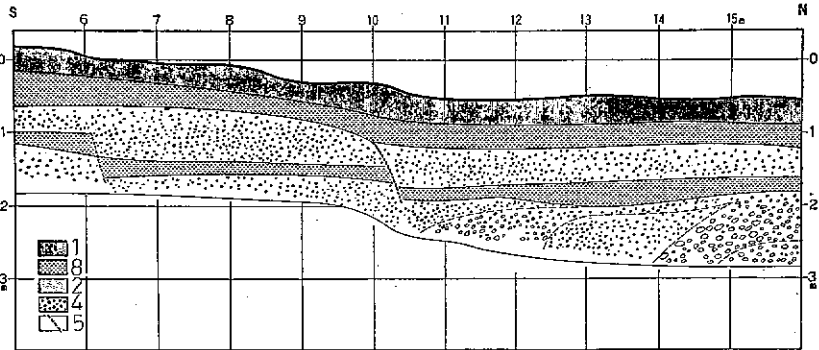


図4 山崎断層安志Cトレンチ西側断面

1, 耕土 2, 腐植(質)層 4, 礫層 8, シルト層

層を追っていくと、断層がまず一つ見い出された。スケッチ図(図4)の中央に示されている断層である。これがAトレンチに現れた断層と対応するはずである。さっそく年代決定のための試料採集を開始した。ここはAトレンチと異なり、埋もれている植物遺体の量がきわめて少ないので、小さな木片などを移植して根をよけて集めてい

った。こうしているうち、先ほどの断層の南側の腐植土層の下部で土器のかけらしいものが発見された。土器器のような硬くて薄いものであった。古代から中世にかけて以降、大地震が発生した可能性を示すものである。Cトレンチの断層について二つの疑問が生じた。まず、Aトレンチとは正反対の北下がりである。そもそも山崎断層の動きは横ずれであるから、上下の変動はそれに付随した非常に局所的な現象なのであろう。二つ目の疑問は、その断層の続きが東側断面に見当たらないということである。東側断面に現れている断層らしいもの（この時は地震性のもという確信がなかった。昔の水田の跡とも考えられた）は、四、五メートルほど南側に存在したが、これらを結ぶ線は山崎断層の走向とは極端にはずれてしまっているのである。この問題に対する解答は、翌日になって与えられた。

三月三日は曇りのまずまずの天気であった。Cトレンチの調査が前日に続いて行われた。このトレンチは掘削後側壁の崩壊がはなはだしく、地層断面がかなり乱されていて苦労したが、ようやく西側断面にもう一つの断層を発見した。この断層はすぐ東側の断面に現れているものと走向やずれの向きと量でつながることもわかった。こうなると、先にみつけた断層との関係が問題になる。

結局、次のように解釈した。鹿野断層の法楽寺でもそうであったように、堆積層内の断層は雁行することがしばしばあるので、ここでも二本の雁行した断層が生じ、北側のものはその断層がトレンチのところで終わっているために、東側断面には現れなかった。Cトレンチではこの日も土器片がいくつも見られたが、そのなかには地震で切断されていない上部の腐植土層のものもあった。

これで、地震発生年代の範囲をかなり限定できる。Aトレンチでも土器の搜索を試みたが、ついに発見できなかった。この日の作業は排水ポンプの故障などで手間取り、それ以上進展しなかった。日程も終わりにちかづき、そろそろまとめにかからねばならない。宿舎に帰ると、次の日の作業について話し合った。山崎断層の最も新しい大地震についてはだいたい把握できたが、もっと古い大地震についての情報も、なんとかして手に入りたい。そうしてこの断層の活動周期を見積もってみよう。そのためには、もっと深いところの地層を観察する必要があると……。

三月四日は好天に恵まれた。この日はAトレンチの再掘削に全力が注がれた。腕の長さ五メートルのパワーシヨベルでぎりぎりのところまで掘った。ついには底部に断層粘土（断層運動によって基盤岩の断層面沿いにてきる黒

っぽい粘土で、山崎断層の場合は何枚も帯状に存在している)が現れた。スコップでさらに掘って調べてみると、断層粘土が露呈するのは、あるところより北側に限られていることがわかった。つまり、基盤岩が南下がりの食い違いを起こしている。そこはまた、まさに堆積層が激しく変位している地点にほかならなかったのである。断層粘土が示す山崎断層そのものと、その上に堆積した地層とが見事に対応した。この深いトレンチの側壁は傾斜が急で、何度もくずれた。難航しながら作成した写生図が図3である。大きな地層の乱れは、さらに古い時代に何回か大地震があったことを物語っている。ここでの地層の年代測定の結果が多数であれば、ある程度の結論がだせよう。山崎断層が何回も大地震を起こしていることは間違いない。三月五日にしくりの調査をして、すべての日程が終わった。

山崎断層は地震予知のテスト・フィールド(予知技術の練習場)として、微小地震、地殻変動、地電流、地下水(水位や化学成分)、放射能などさまざまな観測が集中して行われている。これらはいわば、活断層の現在の挙動をとらえるための観測であるが、トレンチ法でえたデータは、過去の履歴に関するものである。この種の調査も地震予知にとって不可欠であるのは論を待たない。

おわりに

以上のような経過をたどって、二度のトレンチ調査が行われ、一定の成果をあげた。数々の好条件に恵まれたことや、多くの方々への激励ならびに援助のたまものである。我々はこれらの調査の経験を生かして、トレンチ法の一般的な手順をフローチャートに書いてみたいと考えたが、口絵に示したような程度がいまのところ精一杯で、個々の場合によって状況が異なり、掘ってみなければ何がでてくるかわからないというのが率直な感想である。結局、自然に対し上手に語りかけ、自然が無言のうちを示してくれた返答を鋭く読み取ることに、これに尽きるのである。ただ、場所の選定はたいへん重要である。数万年以降の堆積物が比較的薄く、次々に供給されてくるような所をみつけたし、調査のための用地交渉ができれば、調査の山を越したといってもよいであろう。狭い国土の日本では、必ずしも容易ではない。調査の意義を理解していただくよう、努力してゆくほかないであろう。

(つくだためしげ・京都大学防災研究所湯取微小地震観測所)

(あんどうまさたか・京都大学防災研究所)

(おかだあつまさ・愛知県立大学文学部地学研究室)