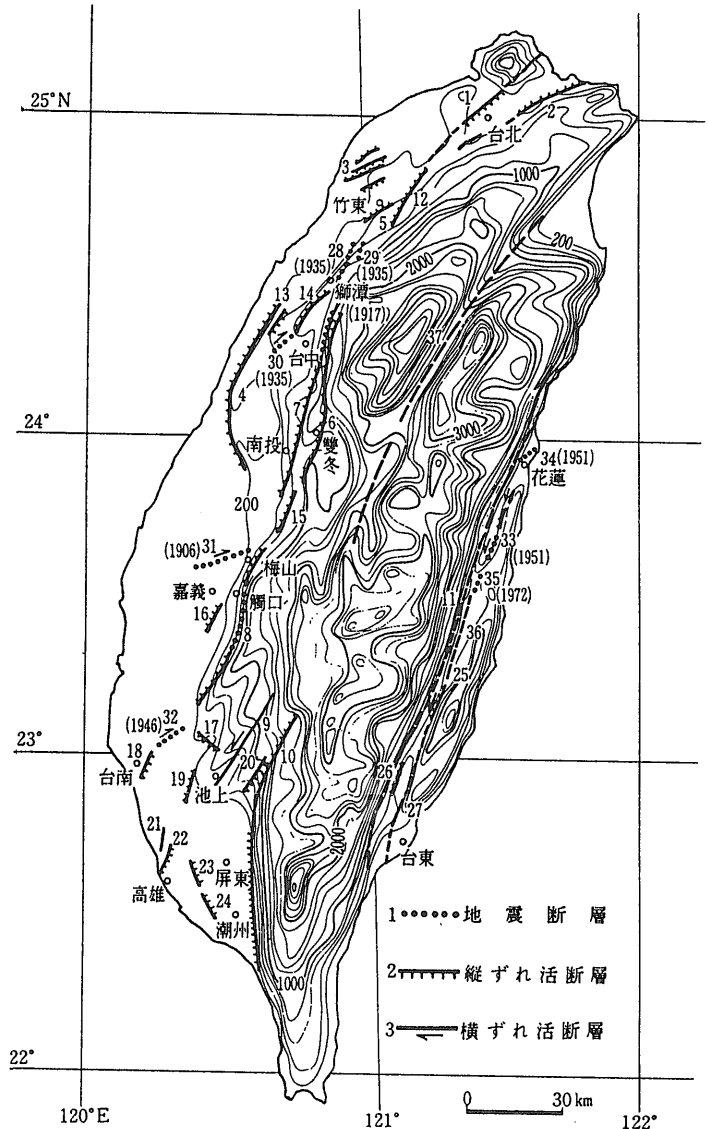


台湾中部, 9.21集集大地震による地震断層第1報

太田 陽子¹⁾

1. はじめに

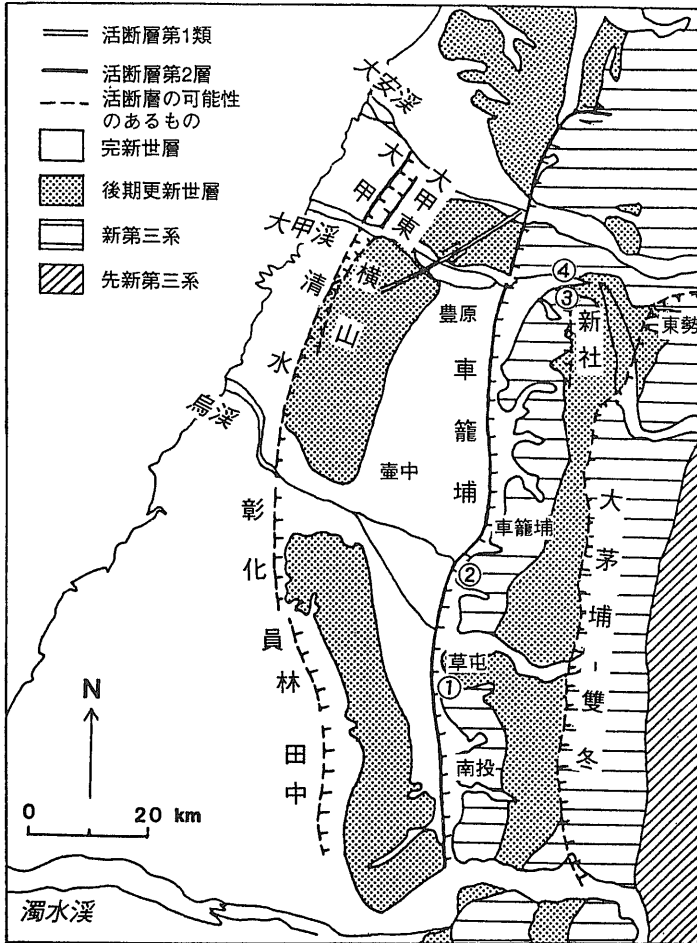
1999年9月21日の未明に台湾中部に起こったマグニチュード7.7の直下型地震, 9.21集集大地震は, 多数の建物を倒壊させて2200人を超える命を奪い, ダムや橋を壊し, 道路を寸断するなどの計り知れない大災害を引き起こした. また, 震源の断層は長さ80kmを超える地震断層として生々しく地表に現れた. 私は, 9月23日に現地入りをし, 26日まで, 地表に出現したばかりの地震断層を観察する機会を得た. 9月23日の午後に霧峰付近を観察, 25日にヘリコプターによる上空からの観察と同日午後の北部石岡付近および東勢付近の観察, 25日の大甲溪付近, そして26日午前南部の草屯付近の観察と短い概査を行ったにすぎないが, 地震直後の地震断層とそれに伴う被害の状況を見ることができた. 調査の間, 救急車の音, 給水車の頻繁な往復, テントにすむ人びと, ちょうど1995年の兵庫県南部地震直後と同じ光景を再度目のあたりにし, 倒壊した建物の下に埋もれている人びとを考えると胸が痛んだ. 地震断層についていえば, 眼前に現れた崖は想像を絶し, 地震の威力を思い知らされた. とくに, 自分が活断層と認定したその崖に新たに地震断層が生じたことを確認できたのは感銘すべきことであった. 10月15日以降に再度調査の予定であるが, その前に, 第1報として現時点で明らかになっ



第1図 台湾の地形の概形と活断層の分布 (太田, 1999). 断層7が車籠埔断層, 断層6が大茅埔・雙冬断層.

1) 横浜国立大学名誉教授・地質調査所 非常勤職員

キーワード: 地震断層, 活断層, 低角逆断層, 台湾中部, 車籠埔断層, 鉛直変位量, 撓曲崖, 逆向き低断層崖



第2図
台湾の活断層の分布と調査地点(活断層の分布は張ほか, 1998による)。調査地点は大まかな位置を示す。地震断層の位置はおおむね車籠埔断層の位置と一致するが、大甲溪の南では北東に向きを変える。ケバは断層面の傾斜の方向を示す。活断層の正確な位置はさらに検討を要する。

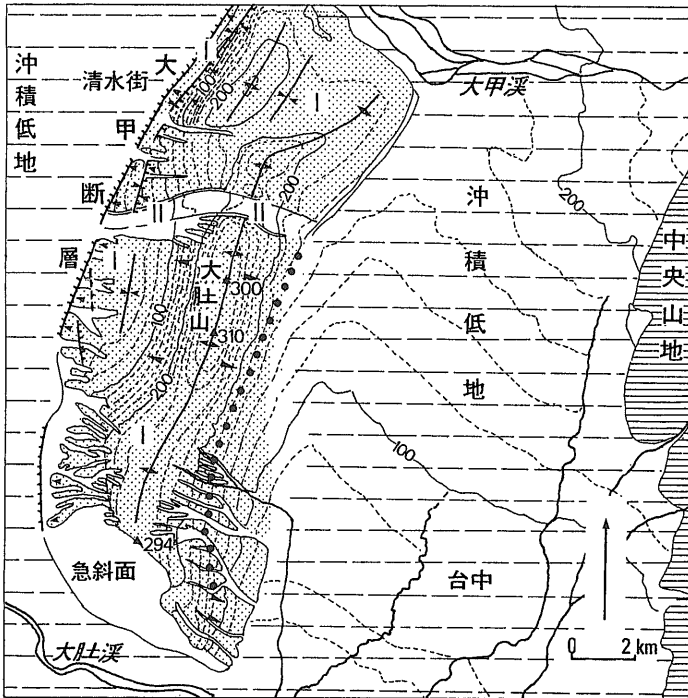
たことの一部と問題点を整理し、今後の調査の参考にしたい。活断層の分布を第1図に、今回の観察地点とその付近の活断層の分布傾向を第2図に示す。

2. どこに地震断層が現れたか

今回地表に出現した地震断層はおおよそ南北方向に走り、すべて山地と平野の地形境界に位置している。ここは中央山脈の西の縁を画している断層上(車籠埔断層, 太田・岡田, 1983; 張ほか1998など)に当たる(第1図)。この断層の南部にあたる草屯東方で、私は若い段丘をきる比高15mの東上り断層と、それより約2km東の逆向き低断層崖という一連の逆断層による変形として典型的なものを見出し(1983年の調査、当時は地形図をみることは許されず、空中写真判読もきわめて限られ

た条件でやっと許可されていた)、ここを確実な活断層として図示した(太田, 1999)。ここが今回活動したかどうかは私の大きな関心の一つであった。実際に認定した断層崖の中腹に比高約2mの新しい変位を見出した時には興奮した。地震断層が既知の活断層上にあることが確認されたのである。地震断層が活断層と一致することはよく知られていることではあるが、私にとってはこれは自分で認定した活断層上に地震断層が生じた初めてのことであったからである。

この活断層はさらに北方にのびる。張ほか(1998)の「台湾活動断層図」(第2図)によると、車籠埔断層は山地よりやや平野側を走る「後期更新世に活動した第2類断層」とされている。同図の縮尺が50万分の1なので詳細な比較は難しいが、私は今回の地震断層はまさに地形境界そのものに現れたものとみている。かつて私がこの断層を検討した時



第3図

台中北方の活構造(太田, 1999). 大肚台地西縁の大甲断層は完新世面まで変位させる明瞭な活断層(ただし, 張ほか, 1998では, 活断層の疑いのある断層とされている). それに対して中央山脈西縁は, 一直線状につながらず, この図の原図を作成した時点では確実な活断層と認定できないでいた(本文参照).

には, この場所の山麓線は必ずしも一線状につながらず, また山地の西に直接若い低地が接している, その境界を横切る変位基準となる地形がなかったために, 上記の草屯の場合を除いてこれを確実な活断層と認定しなかった. もし活断層であるとしても, 従来の日本での基準からいうと確実度はⅡにすぎない. しかし, 今回の地震では全延長上で地震断層が見出された. このことは, 日本の場合でも, 確実度Ⅱとされたものでも, 最近活動したことがあり, かつ今後も活動の可能性があることを示すものとして重要である. なお, 私がここで活断層をあえてひかなかった理由はもう一つある. それは, 南北方向の山麓線が必ずしも一直線状につながらず, ほぼ1ないし2kmの出入りがあることであった(第1図). このように, いくつかの問題があるので, 私はこの断層が完新世の地層に第三紀層のりあげる衝上断層であることは知りつつも, 確実な活断層として図化できないでいたのである. 今回はじめて25000分の1地形図を入手してみると, 限られた条件では読みとれなっか変位地形が多くあるようで, ぜひ空中写真判読を改めて行い, 活断層の認定と再評価に基づいて, 地震断層との関連を明らかにしたいと考えている.

なお, 張ほか(1998)などでは, 車籠埔断層はほぼ南北に連続してかかっているが, 実際には山地西縁(おそらく活断層)は南北5~10km程度に分割され, それぞれは東西方向に最大2km程度ずれている(第3図). これらのすべてが今回活動したか, 選択的に活動したかについても関心があった. 現時点では, その位置にかかわらず, 全部のトレースが活動したものと見なしてよい. そうすると確認した限りで延長50kmに達する. 今後, これらのすべての線上で地震断層が生じたかを確認し, かつ地震断層の南北の限界を明らかにする必要がある. とくに, 北の大甲溪谷付近で車籠埔断層は地形と平行に北東に方向を変え, 北の台地にぶつかる. 断層が台地にぶつかって終わるのか, 台地内部につながるのか, それとも台地の西縁に乗り換えるのか, ぜひ確認したい問題である. また, 車籠埔断層は第2図では南北につながるが, 実際には大甲溪南で北東に向きを変えて丘陵の西縁に沿って走り, 今回の地震断層もそれと調和している. 上記のように地震断層の詳しい位置は別稿で記載する予定である.

なお, この断層の東側に大茅埔雙冬断層(張ほか, 1998では「suspected active fault, 存疑性活

動断層」とされている)が併走している。被害が東側に多かったことと関連して、この東側の断層が活動したかどうかが問題になる。新聞の記事では、二つの断層がともに活動した(阿部勝征氏による、朝日新聞9月25日)とされるが、後日同氏は、活動した確証を得ていないと話された(個人的談話)。私は、現在のところ西の車籠埔断層のみが活動したと考えているが、これについては今後確認の必要がある。あわせて、海岸沿いには西に湾曲して張り出す逆断層、大甲断層、清水断層がある。張ほか(1998)は前者を「第2類断層」、後者を「存疑性活動断層」としているが、私はこれらをいずれもいわゆる前縁断層に当たるもので、活発な活断層であり(太田, 1999)、完新世にも活動した可能性があるとみている。これらの断層は今回は動かなかったようであるが、大きな地震を引き起こす可能性が高い。

3. 変位量の分布はどうなっているか

私たちが最初に地震断層を確認したのは台中南西の霧峰にある光復中学校とそれに隣接する総合運動場であった。そこでの鉛直落差は2~3mである。私にとってはこの量でもすでにきわめて大きいという印象をもった。その時の想像では、ここは震源に近いので変位量が大きく、おそらく北に向かって減少するのではないかと予想した。一方、日本の新聞では現地の学者が5mにおよぶ地震断層があると述べた記事(9月22日朝日新聞)を紹介している。本当に5mもあったのか、一部の崖は既存の



写真1 草屯東方に南北に走る東上がりの断層崖。朝清宮とその北の道路の割れ目に注意(太田撮影)。

もので、それに今回の変位が加わったのではないかという疑問があった。しかし、調査の結果5mはおろか7~8mにもおよぶ鉛直落差があることが確かになった。この値は知られている範囲で世界でも最大級のものである。しかもそれが震源に遠い北部の大甲溪付近で最大の値となる。このことも私にとっては驚きであった。上記の値が最大かどうかはまだ確定できない。また、ここで述べた変位量は鉛直変位量であり、かつ取材の間に急いで行った簡単な計測によるものであるから今後正確な値を求める必要がある。さらに、後述するように地表面の変位形態からこの断層が低角逆断層であるとすると、断層面に沿う真の変位量は15mを越える。ともかく、確実なことは、震源から遠いところで最大変位量がみられ、かつ変位量が世界でも第1級であるということである。

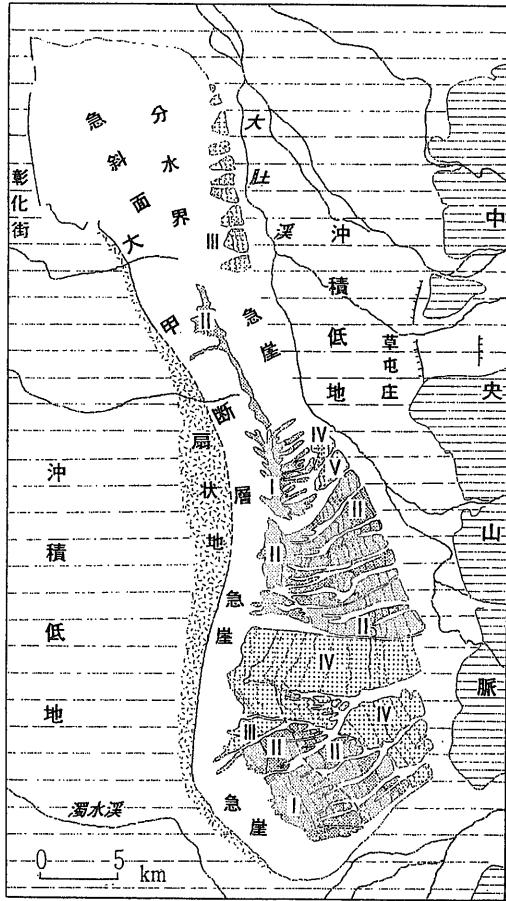
このように、一般的には南から北に増加しているが、南北の末端部ではどうなっているのであろうか。また南北の地形境界が東西にややずれているといったが、その場所で変位量に不連続があるかどうか、今後検討したい。そのためには多数の地点での詳細な計測が必要となる。すでに現地の研究者によってかなりの測定がされつつあるようであるが、今後の調査で確かめたい。

4. 地震断層の表面形態

以下に観察した地点の変位地形の特色を南から順に述べる(第2図)。

草屯①:

上記のように、ここは私が中央山脈の西麓で、東上がりの主断層による断層崖と、その背後の副断層による逆向き低断層崖という、逆断層に典型的な1組の変位地形を確認した唯一の場所である(太田, 1999, 第4図)。ここでは比高約15mの主断層の断層崖(写真1)の中腹に地震断層が出現した(口絵1)。その比高は口絵1に示した朝清宮の脇で約2mである。もし、今回と同じ規模の地震が過去に起こったとすると、15mの変位を生ずるためには7回程度の地震が必要となる。まさに断層変位の累積性が確認された。ただし、現時点では段丘の年代に関する資料がないために再来間隔を評価する



第4図 草屯付近の活断層と地震断層(太田, 1999). 草屯庄東に段丘を切る明瞭な東上りの活断層があり, その崖の中腹に地震断層が出現した. なお, 二つの断層に挟まれた地域は新旧の段丘地形を形成しているが, この図ではそれは表現されていない.

ことができない. 段丘の年代を知る資料をぜひ得たいものである. 9月の調査時では明らかでなかったが, 10月の調査により, これもずれたことがわかった.

朝清宮の2km北では, 国道3号線から東に向かう道路が約2m東上りの変位を示し, 断層崖上の家は倒壊した. この地点は記述の断層崖の北の延長に当たり, かつては一続きの平坦な沖積低地であった.

霧峰②:

すでに有名になった霧峰の光復中学校および総合体育場のグラウンドに現れた地震断層は, 私が

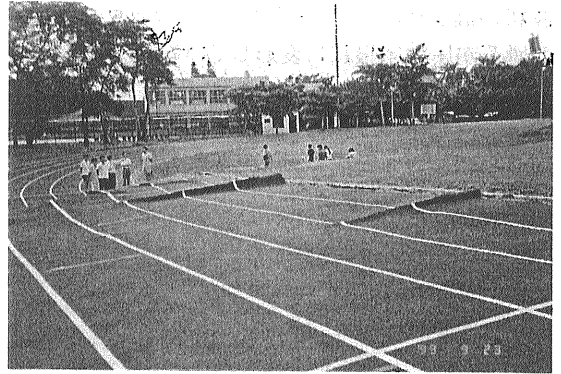


写真2 霧峰の光復中学校裏のグラウンド. 上盤上に見られる圧縮による副次的なしわ(太田撮影).

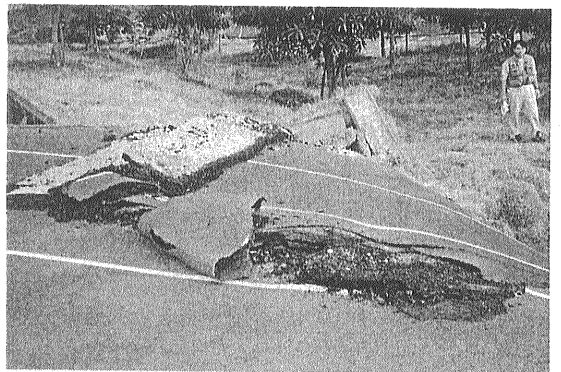


写真3 グラウンド縁石に見られる圧縮尾根状の変形(太田撮影).

現地9月23日に確認した最初の地震断層で, 日本でも9月24日の朝のNHKニュースで初めて報道された. ここは, 1995年の野島断層の一部のように, 人工的に平坦化された土地に断層が通っているので, きわめて明瞭な変位地形を呈する. 私が訪ねた時にはすでに地元の人びとによく知られ, カメラの前でVサインを出している人びとを見た. 私はここを見たときに, 1896年の陸羽地震による千屋断層の変形を連想した. そして, 断層面そのものは確認できなかったが, すぐにこれは低角逆断層によるものと判断した. その理由は, 断層崖の断面形が凸な形態をとり(口絵2), 隆起側での変形が著しく, 隆起側が低下側の上に乗り上げ, 低下側の一部は隆起側の下に隠されていることである. また, 断層崖の直上で地表高度はもっとも高く, 東に向かって逆傾斜を示すが, 逆向き低断層崖はまだ形成されていない. これは主断層の変位が大きくないことによるのであろう. 断層崖より東では, 狭い

波状の高まりがあり(写真2), またグラウンドの縁の縁石が圧縮尾根状に変形している(写真3). さらに, グラウンドの南では, 道路や河川, その両側の堤防に東上がりの変形がみられる(口絵3). また断層崖の位置は, 河川を横切るところで, もっとも東によっている. これらの状況のすべてがこの地震断層が低角逆断層であることを示している. 断層の北西部は光復中学校を横切り, 校舎を大きく破壊した(口絵3).

豊原北方③:

大甲溪の南, 豊原北方の国道3号線(林子口バス停付近)で断層による食い違いができ, 交通規制のため道路が渋滞しているという情報で出かけてみた. たしかにそこでは道路は大きくずれ, 東上りの急斜面を作り, 道路の補修のために一方通行となり車は延々とつながっていた. 道路の渋滞をさけてその南の小道をたどると, 眼前に現れたのは比高5mはあると思われる崖で, 水田を大きく食い違わせ, 断層崖上の家屋は倒壊していた(口絵5). 崖では崩れて傾いた水田が見える. 崩れた崖にそってこの面を構成していた河成の礫層もみえる. 小道も当然食い違って急な斜面となっている(写真4). 断層の隆起側ではやや膨らんだ形状を呈し, そこから山側に向かって2m程度傾き下がる. ここで逆向き低断層崖が形成された. 崖から約10m東に白い家が見える(写真4). その家の方の話では, この家をつくるときに, 1965年に起こった地震を考えて, 一階建てにし, かつ柱に鉄筋を

密に入れたそうである. そのせいか, 断層崖からわずかな距離なのにこの家は多少の家具の転倒を除くと無事であった. もちろん断層崖上の家は倒壊している. この家のお嬢さんは神戸にいて1995年の地震を経験し, たまたま帰省していて今回の地震にあったというまれにみる体験をされたとのことである. 断層をはさんでどちら側が絶対的に隆起したかを知りたくて伺うと, 東側(上盤側)が絶対的に隆起したようである. それは, 今までみえなかった景色が地震の後でみえるようになったことによる.

大甲溪の南・北④:

大甲溪の河床は, 北東-南西方向に走る断層に切られて東上りの滝が出現し, 一瞬のうちに風景を変えた(口絵6). 大甲溪の北側を東西に走る道路がある. この道路を2回往復して変位の状態を確かめた. 要約すると, ここでは数列の東上りの崖と西上りの崖があり, 1組の崖でいうとつねに東上りの崖が大きい. すなわち主な断層崖とその背後の逆向き低断層崖との組み合わせがみられるのである. この付近では道路と民家の破壊に加えて, ダムや橋の決壊, 河床の食い違いなどという様々な変形がみられた. 変形帯の幅は4kmにも達する. またこの付近では断層の走向はやや北東に向きを変えているという. ここから北で断層がどうなるかぜひ確認したい. 以下, 2, 3の地点について東から西の順に述べる.

1) 枚栗埔付近はもっとも東の逆向き低断層崖が

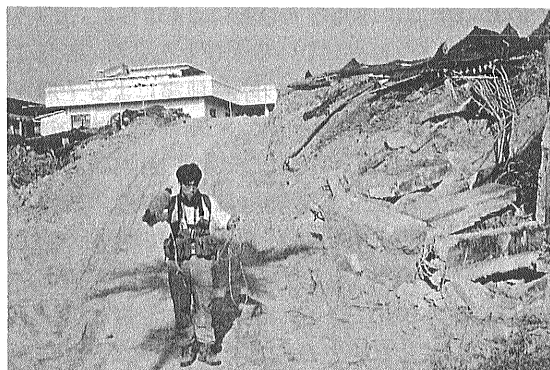


写真4 豊原東方, 道路をきる地震断層崖. 上盤側の家屋は破壊していない(太田撮影).



写真5 大甲溪北側, 最東の逆向き低断層崖による下流側の隆起とそれによる上流(東)側のせき止め(太田撮影).



写真6 大甲溪にかかる長庚橋の破壊 (太田撮影).

河床を切っている(写真5). そのために西に流れる下流部が隆起して河床の砂礫が高まり, その上流部がせき止められ, 湖ができた. このせき止めが河床周辺におよび, 梨畑が沈水している. この光景は, 1896年の濃尾地震の際の断層低下側のせき止めによる湖水の形成を連想させた. この付近の断層崖上の家屋は倒壊した. そこにすんでいる方が現場に案内してくださったが, その方の家も倒壊し, 現在は車庫にふとんをもちこみ生活しておられる. みなさんが無事だったのはなによりであった.

2) 上記の数列の崖の形成のために道路は突然にできた小崖の連続となる. 車はやっとの思いでこれらの崖を通る. 小さな逆向き低断層崖の上でも断層崖の直上および上盤側の家屋は例外なく崩壊している.

3) 大甲溪にかかる長庚大橋が大きく破壊され, 橋の構造物の境界でほとんど垂直に食い違っている(写真6). ただしこれは直接断層変位を示すものではない. ここでは橋を必要とする住民の便宜のために, こわれた所にそってほとんど垂直な梯子が設けられた. 子供を負った人がその垂直に近い梯子を伝って降りている. 橋の北側では畑に明瞭な断層崖が現れていた.

4) 石岡水覇付近. 空からみるとダムが大きく決壊しているのがわかった. ダムの食い違い量は10mに達すると思われるが(口絵7), これはダムの二次的な破壊の影響も加わっていると思われる. ダムの付近の道路や平坦な場所で生じた断層崖の比高はおよそ4m程度であった.

5) 大甲溪に滝を形成したもっとも西の地震断層



写真7 草屯東の地震断層崖上の家屋の倒壊 (太田撮影).

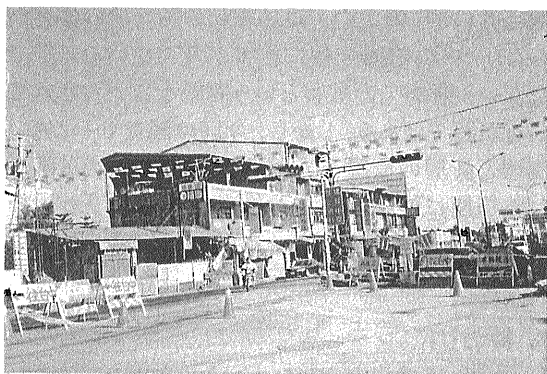


写真8 上記地点から道路を隔てた下盤側では家屋の倒壊はみられない(太田撮影).

は道路を切り, 車はやっとの思いで上ってゆく. そこから南をみると, 断層崖は河床を横切って南に続いている. ここでは河床に作られた養魚池が断層で二つに切られ(口絵8), 隆起側は干上がって, 砂利層の上にもみられる細粒のシルトが池の底であったことを示している. この南に倒壊した家屋があるが, これは本来断層崖の上にあったものが落下したものであるという. 簡単な計測によると鉛直変位の量は8mを超える. この地点では河床堆積物の下位に基盤の破砕帯が露出し, ここが古くからの断層にあたることを示している.

5. 被害分布と地震断層

今回の観察によると, 建物の被害が地震断層ときわめて密接に関係していることがわかった. まず, 当然ながら, 地震断層の崖上の建物は例外なく倒

壊している(写真7)。また、断層崖に至近距離(おおむね10~20m程度)にある上盤側(東側)の建物もほとんど倒壊している。それに対して、断層から至近距離にあっても下盤側(低下側)の建物はほとんど無傷であった(写真8)。このことは東上がりの主断層についてのみではなく、副断層である逆向き低断層崖についても同様であった。主・副を問わず、地震断層の直上、および上盤側の狭い帯(線といってもよい)に被害が集中しているのがきわめて顕著であった。東勢の西方で被害の範囲が広いのは、主断層の変位量が大きいため、背後に何組もの地震断層群が生じ、それらの断層に沿って被害がでたからである。すなわち、全体の被害域は広いが、細かくいうと、線状の被害域の集合からなり、広い範囲全体に被害が及んでいるわけではない。断層上の被害という問題も言い古されている課題ではある。しかし、今回の概査で、建物の倒壊と断層の位置、そして上盤側のきわめて限られた範囲に建物の被害が集中していることは、今後の町づくりに指針を与えるものであった。

6. 終わりに

短期間の概査ではあったが、地震断層およびそれと関連する災害について多くを学ぶことができた。またいくつかの情報を地震直後に提供することができた。この機会を与えてくださったNHKの吉沢章プロデューサーをはじめ、現地でも同行して下

さったNHKのスタッフのみなさんにお礼を申し上げます。現地では台湾大学の黄奇瑜教授はわざわざ台中のホテルに筆者を訪ねてくださり、情報を提供してくださった。台湾師範大学教授の石再添・陳素貞のお二人は、調査に必要な25000分の1の地形図やそのコピーを用意して下さり、同教室の沈淑敏さんは24日の早朝にそれをホテルまでとどけてくださった。地震断層の観察地点では、家屋の倒壊にあった方を含めて多くの方が親切に対応して下さり、いくつもの質問に答えてくださった。通訳の謝さん、運転手の林さんもつねに気持ちよく助けてくださった。この第1報を書くにあたり、以上の方に感謝する。そして現地の速やかな復興を心から願っている。私も地震断層の調査を通して、少しでも台湾の活断層の理解に貢献するため、今後も調査を続け、ここに書いた不明の問題点の解決を図りたい。なお、10月以降にも調査を繰り返しているので、詳細は今後報告の予定である。

文 献

- 張 微正・林 啓文・陳 勉銘・盧 詩丁編(1998):台湾活動断層分布図、經濟部中央地質調査所。
 太田陽子・岡田篤正(1983):九州・琉球列島・台湾の活構造。「アジアの変動帯」(藤田和夫編)、海文堂、p.147-178。
 太田陽子(1999):変動地形を探るⅡ、古今書院、pp.214。

OTA Yoko (1999): Surface deformation of the earthquake fault, associated with the Sept. 21 Chi-chi earthquake, central Taiwan. - an immediate report -.

< 受付: 1999年10月12日 >