台湾中部，車籠埔断層上のトレンチ調査

—草屯地区，草屯西断層の例—

太田陽子¹⁾ 黄奇瑜²⁾ 袁彼得³⁾
杉山雄一⁴⁾ 李元希⁵⁾ 渡辺満久⁶⁾
澤祥⁷⁾ 柳田誠⁸⁾ 佐々木俊策⁸⁾
鈴木康弘⁹⁾ 唐厚樞³⁾ 楊盛淵³⁾
曹育田³⁾ 廣内大助¹⁰⁾ 谷口薫¹¹⁾

Trenching Study at the Tsautun Site on the Central Part of the Chelungpu Fault, Taiwan

Yoko OTA¹⁾, C.Y. HUANG²⁾, P.B. YUAN³⁾, Yuichi SUGIYAMA⁴⁾, Y. H. LEE⁵⁾,
Mitsuhisa WATANABE⁶⁾, Hiroshi SAWA⁷⁾, Makoto YANAGIDA⁸⁾,
Shunsaku SASAKI⁸⁾, Yasuhiro SUZUKI⁹⁾, H.S. TANG³⁾, U.T. SHU³⁾,
S.Y. YANG³⁾, Daisuke HIROUCHI¹⁰⁾ and Kaoru TANIGUCHI¹¹⁾

Abstract

This paper describes the results of a trenching study at the Tsautun area across the Chelungpu Fault that ruptured during the 1999 Chichi earthquake. The deformation by the 1999 earthquake is recorded on both north and south walls of the trench as an eastern-side-up flexural scarp, which is 1.5 m in vertical slip, associated with an overriding of hanging wall on foot wall, 1–1.5 m. Complex folding is appeared on the south wall, where fine overbank deposit is thicker than the north wall. Faulting prior to the 1999 event is not found at this site, but is estimated to be older than 300 to 500 yr BP, judging from the ¹⁴C ages of the oldest age of deformed sediment.

Key words : Chelungpu Fault, 1999 Chichi earthquake, Trenching, Tsautun, reverse fault, timing of faulting

キーワード：車籠埔断層，1999 集集地震，トレンチ調査，草屯，逆断層，断層活動期

¹⁾ 横浜国立大学名誉教授 Yokonama National University

²⁾ 国立台湾大学 (台湾) National Taiwan University

³⁾ 国立中山大学 (台湾) National Sun Yat-Sen University

⁴⁾ 産業技術総合研究所 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

⁵⁾ 中央地質調査所 (台湾) Central Geological Survey, Taipei

⁶⁾ 東洋大学 Toyo University

⁷⁾ 鶴岡高専 Tsuruoka National College of Technology

⁸⁾ (株) INA INA Co.

⁹⁾ 愛知県立大学 Aichi Prefectural University

¹⁰⁾ 名古屋大学 Nagoya University

¹¹⁾ (財)地震予知総合研究振興会 Association for the Development of Earthquake Prediction

I. はじめに

1999年9月21日の集集地震は台湾中央山脈西縁の車籠埔断層が活動して、長さ100 kmにも達する地表地震断層を生じた(図1A)。その最大鉛直変位量は10 mにも及び、断層直上および上盤側の多くの建物を倒壊させた(經濟部中央地質調査所, 1999)。しかし、台湾の短い歴史記録(18世紀以降)には車籠埔断層が活動したことを示す記述はなく、その活動史は明らかでない。活断層の将来の活動期を知るには、過去の活動史を明らかにする必要がある。このために、筆者らは烏溪南岸の草屯地区西側にある車籠埔断層を対象としてトレンチ調査を行った。

II. 調査地域の概要とトレンチ地点選定の理由

車籠埔断層は中央山地の西縁を画するほぼ南北方向の東上りの低角逆断層(Kao and Chen, 2000)で、張ほか(1998)によると「第2類、更

新世後期に活動した断層」とされていた。草屯地区は車籠埔断層のほぼ中部に位置し、活断層による累積的な変位地形が明瞭に現れている地域である(石ほか, 1985; 太田, 1999; Ota, 1999; 太田ほか, 2000; Ota *et al.*, 2000)。本地域には9段の河成段丘群が存在し、それらはほぼ平行して南北方向に走る2本(局地的には3~4本)の活断層により切断されている。西側の活断層は車籠埔断層そのもので東上りの、東側の断層はその副断層と思われる、西上りの変位を示す(図1B)。石ほか(1985)は前者を草屯断層、後者を溢寮断層と名付けた。筆者らはそれぞれを草屯西断層、草屯東断層と呼ぶ。なお、逆向き低断層崖の形態をとる草屯東断層は、地震以前には石ほか(1985)、太田(1999)を除いて従来ほとんど取り上げられていなかったが、地形的には明瞭な活断層である。変位の累積性は両断層ともに明瞭で、地震断層も両断層上に現れた(たとえば, Ota, 1999)。地震断層による上下変位量は草屯西断層で約2 m、草

図1 草屯地域の活断層の分布とトレンチ調査地点。

Aは1999年地震断層の位置(經濟部中央地質調査所, 1999による)とトレンチ調査地点の位置。集集地震による地震断層の位置は活断層の位置と一致する。Bは草屯地域の段丘分布域と活断層の位置およびトレンチ調査地点を示す。

Fig. 1 Outline of topography of the Tsautun area.

See the right-hand map for the location of trench site. The earthquake fault trace in the left-hand map is after Central Geological Survey (1999). An arrow indicates the location of terrace map.

屯東断層で 0.9 m 程度である。

しかし、断層変位を受けた段丘の年代が不明のために断層の活動間隔はわからない。本研究の目的はトレンチ調査によって活動史を知ることであるが、それに加えて、1) 車籠埔断層は低角逆断層である（たとえば、Kao and Chen, 2000）が、地表直下での断層変位の様式は十分に多くの地点で観察されているとはいえない、2) 逆断層を生じた水平短縮量は地表の変位から 0.6 ~ 8.5 m (Azuma *et al.*, 2000), GPS の解析によると最大 7.1 m とされているが (Yu *et al.*, submitted), 地表での水平短縮量を直接計測した例は少ない、3) さらに変位した段丘面の形成期が不明である、などの問題がある。これらに関する資料を得ることもトレンチ調査の目的であった。

筆者らは、草屯西断層に横切られるもっとも若い面でトレンチ調査を行った。なお、草屯東断層も累積性が顕著で、かつ逆向き断層崖のために下盤側により多くの堆積物が堆積して、地震の活動史を記録している可能性があり、2000 年 4 月にトレンチ調査を実施した (太田ほか, 2000)。しかし詳細はまだ分析中なので、本稿では草屯西断層のトレンチ調査の結果とその解釈を述べる。

トレンチ調査地点 (図 1B, 図 2) は草屯西断層による撓曲崖 (写真 1) の南の延長に当たる。図

2 の東部には南流し、ついで急に流路を西にかえる小河川 (猫羅溪の支流) があり、その両側には河床からの比高 2 m 程度の最低位の河成段丘がある。図 2 の中央上部にみえる斜面は河成段丘面を変位させる撓曲崖で、小河川の西側の斜面は河食崖である。地震断層による崖の比高は 1.5 m で、最低位段丘を北西~南東方向に横切る (写真 2)。ここ

図 2 トレンチ地点の詳細図 (平面図は Huang *et al.*, 1999 による)。

Fig. 2 Large-scale map showing the location of the earthquake fault and the trench site. Map is after Huang *et al.* (1999).

写真 1 トレンチ調査地点付近の撓曲崖。
写真中央から右斜めに向かう斜面が累積の変位を示す撓曲崖。

Photo 1 Flexural scarp at the Tsauton area.
Trench site is located on the southern extension of this flexural scarp.

写真 2 トレンチ調査を行った地震断層。
矢印が断層崖の基部。

Photo 2 The earthquake fault scarp at the trench site, looking northward.
Arrow indicates the base of scarp.

図 3 トレンチ壁面スケッチの要約。
おもな地層区分と ^{14}C 年代試料採取地点の位置を示す。年代値は表 1 参照。

Fig. 3 General view of the trench wall. See Table 1 for ^{14}C dates.

は畑、果樹園となっていて地震断層の原形が残っていたので、調査対象とした。

III. トレンチ調査とトレンチ壁に露出する堆積物の層相・年代と構造

1) トレンチ調査

2000 年 4 月に現地の地形を観察し、掘削地点を選定して土地所有者による掘削の許可を得、7 月 3 日から 15 日まで調査を実施した。地震断層と直交する方向に長さ 20 m、深さ最大 4 m のトレンチを掘削した。トレンチ壁に 1 m 四方のグリッド（縦の目盛りは鉛直の長さ）を設け、トレンチの北東端から順に番号を付した（S1～S18、N1～N20）。観察対象としたのは南面（南東面を便宜上南面と呼ぶ）および北面（北西面）で、縮尺 20 分の 1 でスケッチを行った。スケッチの概要を図 3 に示す。トレンチ壁面では堆積物の層相と堆積状態、変形の状態を詳しく観察するとともに、段丘形成期推定のための年代測定試料（おもに炭）を

収集した。これらの試料は、保存状態、出現層位などを検討した上で 10 試料を選び、地球科学研究所に年代測定を依頼した。すべての試料は微量であったため、AMS による測定である。測定結果は表 1 に示す。

2) 層相

トレンチ壁には、最低位の段丘を構成する礫層（I 層）とその上に重なる細粒の堆積物（II 層）、そして地表の表土（III 層）が露出する。南面では S9～12 に、北面では N13～15.5 にかけて断層帯が現れた（写真 3）。以下各層の概要を示す。

I 層は最大径 70 cm に達する亜円礫を含み、20～30 cm 大の粗い礫を多量に含む礫層で、マトリックスは粗砂または細砂である。淘汰が悪く、成層構造もほとんど見られない。厚さは確認した範囲で 1.8 m である。II 層は黄褐色の均質な細砂または砂質シルトからなり、氾濫堆積物と思われる、最上部にオレンジ色の鉄分の集積した層がある。II 層の厚さは北面では 0.3～0.5 m 程度であるが、南面では最大 1.2 m に達し、断層変位帯付近では

表 1 年代測定結果.

Table 1 Results of radiocarbon dating for samples from trench walls across the Tsauton West Fault (see Fig. 3 for sample location).

sample	Labo no.	material	horizon	conventional age	cal.AD *
no				yr BP.	
18	Beta-145617	charcoal	I	109.4 ± 0.5% **	N
20	Beta-145618	charcoal	I I	108.0 ± 0.5% **	S
3	Beta-145622	charcoal	lower part of II	510 ± 50	1410-1440 S
43	Beta-145621	charcoal	lower part of II	230 ± 40	1650-1670 S
					1780-1800
6	Beta-145623	charcoal	between II-1 and II-2	530 ± 40	1400-1430 S
1	Beta-145619	charcoal	between II-1 and II-2	270 ± 40	1530-1550 S
					1630-1660
21	Beta-146760	charcoal	Upper part of II-2	280 ± 40	1525-1560 S
					1630-1655
26	Beta-145625	charcoal	above II-3	330 ± 40	1490-1640 S
11	Beta-145627	charcoal	Upper part of II	108.1 ± 0.5% **	S
31	Beta-145626	charcoal	Upper part of II	360 ± 40	1460-1530 S
					1560-1630

* 1 sigma calibrated results (68% probability)

** modern (現代の試料, 値はモダンスタンダードからの % で表示)

複数の細礫からなる薄層をはさむ。これらの南面に見られる細礫層を下位から II-1, II-2, II-3, II-4 層と呼ぶ。II-1 層は最大径 10 cm の礫を含む細礫層で, 断層面の直下で厚さ約 30 cm であるが西方に向かって次第に薄くなり, S10.5 で消滅する。上盤側では断層から S9 付近まで連続する。S5.2 ~ 5.8 に見られる薄い細礫層も II-1 層に当たる。II-2 層は, II-1 層とは薄い細砂層を隔てて重なり, 断層上盤で厚さ数 cm 以下で S3 から断層まで連続する細礫層である。断層の延長部では厚さを増し, 急に折れ曲がって下盤では厚さ 30 cm に達し, S12 付近で消滅するレンズ状をなす。礫径は最大約 15 cm, 成層構造はほとんどない。本層の上部に薄い細砂のレンズをはさむ。II-3 層は, II-2 層とは再び細砂層を介して重なり, S8.3 から S12.8 までとかなりよく連続する。厚さは数 cm から 10 cm 程度で, 下盤側でやや厚い。II-4 層は最上部の細礫層でももに下盤側にあり, 厚さは 15 cm に達する。

北面では II 層は均質で細礫層を含まず, 細分す

ることはできない。北面の断層帯付近には, 典型的な河成の礫層である I 層とは層相を異にする礫層があり, これを便宜上 I B 層と呼ぶ。I B 層は, N14 ~ 15 層にかけて見られる厚さ数十 cm 程度の無層理のルーズな礫層で, マトリックスが泥質であることが I 層の本体と異なり, 斜面から崩壊したような堆積状態を示している。

最上部にある III 層は暗褐色の有機質土壌で, 南面では 20 cm 程度の厚さであるが, 北面の上盤側では 10 cm 以下の厚さにすぎず, 所によっては掘削前の重機による除去のため全く III 層を欠く場合もある (たとえば N9 ~ 11)。

3) 年代

得られた年代試料はおもに南面からで, 暦年補正 ^{14}C 年代は, 南面 II-1 と II-2 層との間の細砂中の炭が $530 \pm 90\text{yrs BP}$ (サンプル番号 6, 以下同様), $270 \pm 40\text{yrs BP}$ (1), II 層最下部の炭が $510 \pm 50\text{yrs BP}$ (3), $230 \pm 40\text{ yrs BP}$ (43), II 層中部の炭で $330 \pm 40\text{yrs BP}$ (26), II 層上部の炭で $360 \pm 40\text{yrs BP}$ (31) であり, 一部にはモダ

写真 3 トレンチ壁面全景。
上が南面、下が北面。いずれも矢印の付近に 1999 年地震断層がみえる。

Photo 3 View of the trench wall.

ンとされたものもある (表 1)。大まかにみて、Ⅱ層の下部が 300 ~ 500yrs BP, Ⅱ層上部が 300yrs BP である。

4) 構造と解釈

本トレンチでは明瞭な断層が、地表の地震断層の直下、南面では S9 ~ 12, 北面では N13 ~ 15 に現れた。

南面 (図 3, 4, 写真 4) ではⅠ層を切断する断層面をもち、走向・傾斜はほぼ N60 - 65° W, NE 60° である。Ⅰ層を切る断層面の上盤側では礫が断層面に沿って再配列している構造が明瞭である。断層はⅡ層内では低角となり、Ⅱ-1 層からⅡ-4 層を畳み込むような構造として現れる。Ⅲ層上面では再び低角な断層面が現れ、かつ上盤側のⅡ層の上部およびⅢ層が下盤のⅢ層上に覆い被さっている

構造を示し、地表 b 付近での見かけの短縮量は 1.4 m である。南面での各層の上下変位量をみると、地表面 (Ⅲ層上面) で 1.5 m, Ⅱ-2 層上限で 1.5 m, Ⅱ-3 層上面で 1.1 m 以上, Ⅰ層上面で 1.2 ~ 1.6 m で、各地層の変位量はほぼ等しく、かつ地震断層の変位量と等しい。

北面 (図 3, 5, 写真 5) では、断層はⅠ層 (礫層) の上部までを切り (N65° W, 60° NE), 下盤に乗り上げている。Ⅰ層の上盤側では断層面に沿って礫の長軸が立っている構造が顕著である。南面と同様に、北面でも上盤側のⅢ層が下盤上に覆い被さり、地表付近での見かけの短縮量は約 1 m である。上下変位量は、地表 (Ⅲ層上面), Ⅱ層の上面とともに 1.5 m, Ⅰ層の上面で 1.6 m とほとんど同一である。北面では N10 ~ 11 にかけて、

図 4 南面断層付近のスケッチ詳細図.

Fig. 4 Detailed trench log near the fault at south wall.

写真 4 南面断層付近 (詳細は図 4 参照).

Photo 4 Deformation of young sediments by the faulting at the south wall.

長軸方向に礫が並ぶ線状構造がみえる(図3)が、I層の上面にはなんらの変位がなく、活断層とは認定できない。

なお、断層付近ではII-2層の厚さが異常に厚く、下盤側に堆積したプリズム堆積物を示唆する可能性も想定された。そうすると、II-2層の堆積を引き起こした断層活動、それを変形させた断層活動の2回の断層活動が考えられる。しかし、上記のように各層の上下変位量に差がないことから、厚

いII-2層はチャネル堆積物で、断層活動とは関係ないものと判断した。また北面でのIB層は、その層相から colluvial wedge である可能性もある。しかし、南面と同様に各層の上下変位量に差がないので、これは以前の断層活動に関連するものではなく、1999年地震の変位に伴う上盤先端部での堆積物の乱れであるとみなす。

IV. トレンチ調査からみた断層の活動期、変形様式と問題点

1) 断層の活動期

既述のように、トレンチ壁面に現れた各層の上下変位量はほぼ等しく、かつ1999年の地震断層の変位量とも等しいから、観察された変形は1999年集集地震によるものである。したがって、このトレンチでは集集地震より前の断層活動期を示す現象は見出されなかった。これは掘削した段丘面がきわめて新しいためと思われる。しかし、変位した堆積物の最古の年代は得られている限りでは約300～500yr BPであるから、集集地震より一つ前の地震活動は少なくともそれ以前(暦年代にすると約AD1400～1600年より以前)と推定できる。そうすると地震の間隔は少なくとも300～

図 5 北面断層付近のスケッチ詳細図.

Fig. 5 Details trench log near the fault at north wall.

写真 5 北面断層付近 (詳細は図 5 参照).

Photo 5 Deformation of young sediments by the faulting at the north wall.

500 年以上となり, この値はプレート境界型の 100 ~ 200 年おきの地震とくらべて長い。

2) 変形様式

車籠埔断層は低角逆断層と想定されているが実際の露頭はまだ少ない。今回のトレンチでは, 東上がりの逆断層による変形の状態が明らかになった。とくに礫層 (I 層) を切るところでは断層面が明瞭で, 上盤側での礫層の変形もきわめて明瞭である。ただし, 断層面の傾斜は約 60° で, 観察

または地震資料から推定されている 20 ~ 30° とくらべてかなり急である。この傾斜がそのまま地下に続くかどうかは検討する必要がある。また, 南面では細粒の II 層内では断層面は緩くなり, かつ断層で切断されるというよりは折り畳まれた構造に変わる。この低角化は堆積物の性質と関係する見かけの現象と思われる。すなわちわずかな距離で隔てられている南北両面で, 断層による堆積物の変形様式は大きく異なっており, II 層が薄い北面では南面で認められたような折り畳まれたような構造は見られない。これは, 可塑性にとむ細粒の II 層の厚さの差異と関係しているものと考えられる。

3) トレンチ内での水平短縮量

車籠埔断層は逆断層であるから, 当然水平短縮が起こった。その量は草屯付近では地形測量による計測から約 3 m (Azuma *et al.*, 2000), GPS 解析から約 6 m (Yu *et al.*, submitted) とされている。今回のトレンチ調査によって直接観察できた地表付近における水平短縮量は約 1 ~ 1.5 m で, 上記の計測ないし観測結果よりは小さい。このことについて Yu は, GPS による結果はかなり広域での変形を示し, 複数の断層による変位を含んで

いるため（個人的談話）と推定しているが、観測点の間に複数の断層があるかどうかはさらに検討の必要がある。なお、本地点での地表での短縮量は鉛直変位量とほぼ等しい。この現象がほかの地点にも共通するか否かについても今後検討する必要がある。

4) 他地点でのトレンチ調査結果との比較

最近車籠埔断層上、とくに逆断層が顕著であった中部の断層上でいくつかのトレンチ調査が行われつつあるが、調査結果はまだ論文として公表されていない。したがって、ここで他地点での結果とくらべるのは時期尚早ではあるが、得られた範囲での比較を試みる。草屯北方の霧峰でのトレンチ調査では、1999年地震による上盤側での背斜状変形と小規模な逆向きの逆断層が見出された。しかし複数の活動を示す資料はなさそうである（朱ほか、2000）。同じく霧峰付近でも1999年地震による逆断層、上盤側での背斜状変形、逆向きの西上がりの断層、さらに地表付近での短縮が確認された。しかし1999年以前の断層活動は見出されなかった（Sieh, 2000）。霧峰では陳文山、陳宇高ほかにより複数地点でのトレンチ調査が始まった。調査途中での（12月末）観察によると、そのうちの1地点では、1999年地震による低角逆断層と、上盤での幅広い撓みが見出された。そこでは約2000年前以降（産出した陶器による推定）にcolluvial wedgeで示される古地震がありそうであるが、まだ確定していない。その後、2月末にはこれらのトレンチの一つで深さ8mまでの掘削が行われ、逆断層による基盤の食い違いをはじめ、少なくとも3回の断層活動を示す資料が得られ、さらに地表付近での複雑な変形が見出され反響を呼んだ。年代測定試料も多く得られ、今後地震活動の時期と間隔に関する重要な手がかりを与えるものとして期待されている。

また光復中学校裏のスポーツグラウンドでのトレンチ調査（袁彼得などにより調査中）では、段丘礫層の縦ずれ変位量は約2mで集集地震による変位量（2～2.5m）と同じであり、1999年以前の断層活動は認められない（2000年1月2日現在）。ただし、上盤側のみに基盤が露出しており、また

付近の河川の工事の際には基盤上限に約4mの高度差があったという（黄奇瑜による）ので、さらに深く掘削すればもう一つ前の活動が見出される可能性もある。さらに李ほか（2000）は霧峰付近でのトレンチで、1999年地震より一つ前の活動が約200年前で歴史記録にあるAD1845年の被害地震に当たる可能性があること、光復新村での4つのトレンチのうちの一つで6回の断層活動を見出し、短い活動間隔を示唆している。しかし、示されているスケッチが詳しくなく、また年代値も出ていないので詳細は今後の報告に待つところが大い。

林ほか（2000）は露頭ではぎとりから約450年前の炭化木片が変位していることを見出し、これを清時代の古地震を示す可能性があるとした。しかし、地点が明示されておらず、上記の現象が1999年地震による可能性があるなど、問題を残している。井上ほか（2000）は大甲溪北の地表の露頭から累積的変位を見出し、約4400年前以降3回、または約2820年前以降2～3回の活動を認めた。活動間隔はやや不確かではあるが約1400年と見積もっている。この値は林ほか（2000）とくらべて著しく長い。調査地点は40kmも離れており、両者が異なるセグメントに当たる可能性を示唆する。

このように100kmという長い断層からの古地震に関する資料はまさに出始めたところであり、掘削地点も車籠埔断層の中部地域に限られている。また、ある時には車籠埔断層の一部のみが活動した可能性もある。古地震の復元と長い断層のセグメンテーションなどについては今後の資料の蓄積を待つて論じたい。

V. 結 論

今回のトレンチ調査によって、以下のことがわかった。

1) 本トレンチでは複数の断層活動を見出すことはできなかったが、変位を受けている堆積物から得られた最古の年代からみて、1999年地震より一つ前の地震活動は約300～500年前以前に起こったと推定される。

2) トレンチ壁には地表の変位と対応する東上がりの逆断層が確認された。地表近くではきわめて低角で折り畳まれた構造を示すが、地表下 1.5 m では断層面が明瞭でその傾斜は 60 度に達し、粗粒な礫層と、細粒の堆積物とで異なる変位様式を呈する。

3) 上盤側のⅢ層(表土層)は下盤側に覆い被さり、断層による短縮量は約 1 ~ 1.4 m で、この地点の上下変位量とほぼ近い値をもつ。

謝 辞

今回のトレンチ調査に関わる費用は日本地質調査所の工業技術院特別研究費、および黄奇瑜への国家科学委員会研究費(NSC89-2116-M-002-060)による。トレンチのための土地の使用を許可して下さった地主、耕作者の方、また調査に当たって献身的に協力して下さった東京立大学学生、井上 信、山田和生君の皆さんに厚く感謝する。

文 献

- Azuma, T., Sugiyama, Y., Kariya, Y., Lee, Y., Sieh, T., Wu, W. (2000): Surface faults of the September 21, 1999 Chi-chi earthquake, Taiwan. *Proceedings of the Hokudan International Symposium and School on Active Faulting*, 19-22.
- Huang, C.Y., Lee, C.W. and Yuan, P.B. (1999): *Detailed mapping of the Chelungpu fault (1: 1000)*. NSC Report.
- 井上大栄・Lee, C-T・電力台湾地震断層調査グループ (2000): Chelungpu 断層 Fengyuen-Shikang 間の応用地質的課題。平成 12 年度シンポジウム予稿集, 1999 Chichi 地震の応用地質学的側面, 1-14.
- Kao, H. and Chen, W.P. (2000): The Chi-Chi Earthquake sequence: Active, out-of-sequence thrust faulting in Taiwan. *Science*, **288**, 2346-2349.
- 經濟部中央地質調査所編 (1999): 921 地震地質調査報告, 315p. (中国語)
- 李錫堤・鄭錦桐・廖啓雯・廖卿妃 (2000): 車籠埔断層開の初步成果。第 8 回台湾地区地球物理研討会論文集, 642-648. (中国語)
- 張微正・林啓文・陳勉銘・盧詩丁編 (1998): 台湾活動断層分布図 (50 万分の 1) および説明書。經濟部中央地質調査所. (中国語)
- 太田陽子 (1999): 変動地形を探る II. 古今書院, 216p.
- Ota, Y. (1999): Characteristics of earthquake fault associated with 921 earthquake, central Taiwan, especially on the relationship between earthquake fault and pre-existing Quaternary active fault. *Proceedings of the International Workshop on Chi-chi Earthquake of September, 21, 1999*, 4-1 ~ 4-12.
- Ota, Y., Watanabe, M., Suzuki, Y., Sawa, H., Yanagida, M., Miyawaki, A. and Kim, H. (2000): Characteristics of earthquake fault associated with 921 earthquake, central Taiwan, especially on the relationship between earthquake fault and pre-existing Quaternary active fault. *Proceedings of the Hokudan International Symposium and School on Active Faulting*, 353-358.
- 太田陽子・渡邊満久・鈴木康弘・沢 祥・柳田 誠・宮脇明子・金 幸隆 (2000): 台湾中部 921 地震による地震断層—とくにその性状と既存の活断層との関係。日本地理学会予稿集, **47**, 176-177.
- 石再添・張瑞津・楊貴三・許民陽 (1985): 草屯與車籠埔河階群的活断層與地形面. *Bull. Geogr. Soc. China*, **13**, 1-12. (中国語)
- Sieh, K. (2000): Acts of God, acts of man: How humans turn natural hazards into disasters. *Engineering & Sciences*, **43**, 8-17, および表紙.
- 朱劭祖・李建成・胡植慶・Angelier, J.・詹瑜璋 (2000): 集集地震地表変形之構造特徵. 中華民國地質学会 2000 年大会, 9-11. (中国語)
- 林愛明・大内 徹・Chen, A.・丸山 正 (2000): 1999 台湾集集地震の車籠埔断層で起きた歴史地震断層イベント. 地球惑星科学関連学会 2000 年合同大会予稿集.
- Yu, A-B, Kuo, L-C, Hsu, Y-J, Su, H-S. and Liu, C-C. (submitted): Preseismic deformation and coseismic displacement associated with the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*

(2001 年 2 月 13 日受付, 2001 年 6 月 18 日受理)