2000年　8月
APA No.76-2
財団法人 日本測量調査技術協会

1999年９月台湾大地震（集集地震）の概要と被災状況について

中筋章人　塚本　哲　藤原賢也

１．はじめに

1999年９月21日、台湾中部で発生した地震（集集地震）は、兵庫県南部地震の約10倍のエネルギー規模だけに、すさまじい被害が発生した。とくに、震動による建物被害は南投懸や台中懸の山間盆地で著しく、全半壊52,000棟以上にのぼり、それによる死者も2,300人以上に達した。

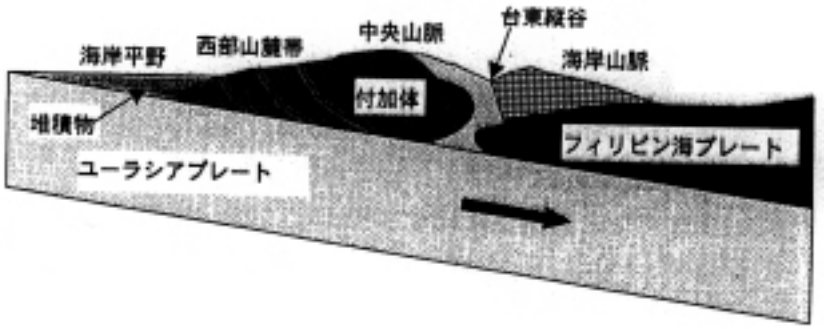
また、約80km にわたって地表に出現した地震断層は、既存の車籠埔断層が再活動したものであるが、その最大の変位量は高さで８～10m、水平方向で９ m にも達するなど、極めて大きかった。したがって地震断層上の構造物は、そのすべてが幅20～30m にわたって破壊された。

本報告は、地震発生から約１ヶ月後におこなった現地調査の結果を取りまとめたものである。わずか数日間の調査日程のため、山間部の大規模な山崩れ（草嶺や九分二山）など調査出来なかった箇所も多いが、大まかには地震の概要とその被災状況を紹介できるものと考えている。

２．地震の発生メカニズム

台湾周辺は、ユーラシアプレートとフィリピン海プレートの境界部にあたる。その構造は複雑で、台湾東方では、フィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込む一方、台湾南方では上下が逆転し、ユーラシアプレートがフィリピン海プレートの下に沈み込む。前者は琉球海溝、後者はマニラ海溝がプレート境界をなしている。この間に位置する台湾島は両プレートが衝突する領域となっており、台東縦谷がプレート境界であると考えられている。

瀬野（1994）[1)]によると、かつての台湾周辺は、現在のマニラ海溝と同様、ユーラシアプレートがフィリピン海プレートの下に沈み込む領域であった。しかし、約400万年前、ユーラシアプレートに乗った中国大陸の縁（台湾のもと）がプレート境界に至ると、密度が小さいため沈み込むことができず、フィリピン海プレート（ルソン弧：現在の海岸山脈）に衝突するようになった。このため、ユーラシアプレートの一部はめくれあがり（中央山脈東部）、その西側では、大陸

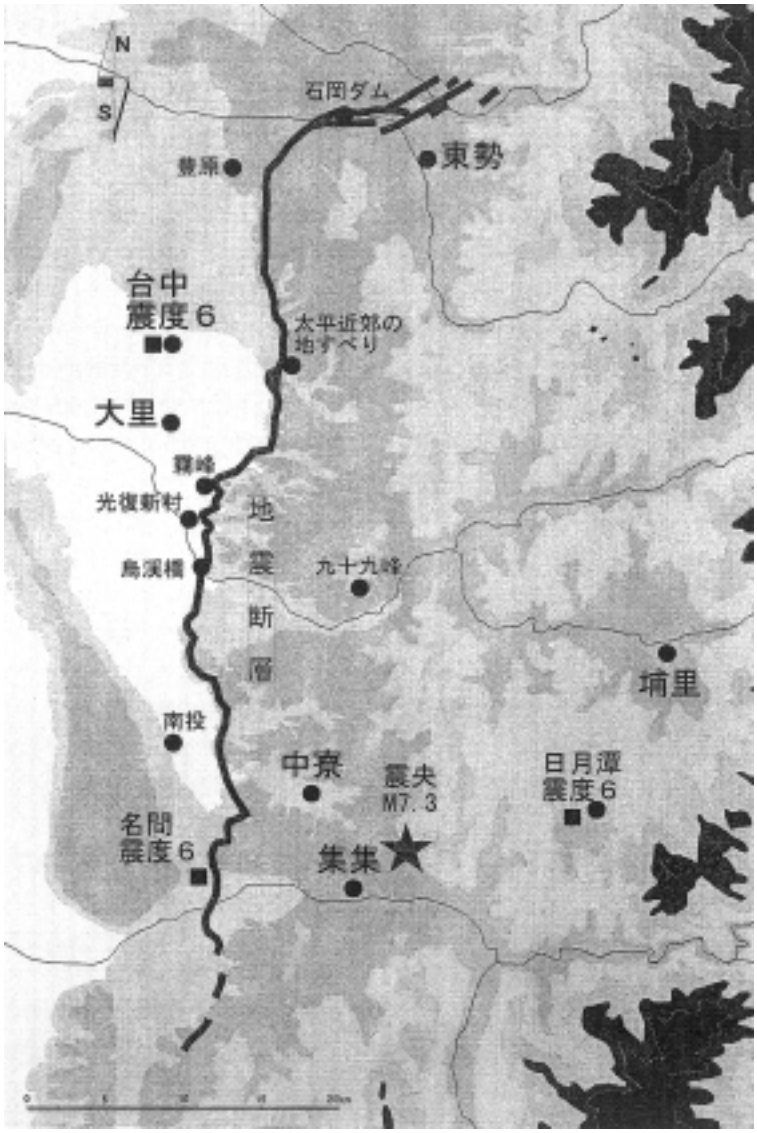


図－１　台湾の南西構造断面（瀬野、1994）[1)]

縁の堆積物がかきあげられて付加体が形成されるようになったとのことである。(図－１参照)。一説によれば、台湾の隆起速度は約５ mm ／年と考えられており、同じ衝突帯であるヒマラヤ地方と並び世界第一級の変動地帯であると言われている

付加帯によって構成されている台湾は、日本の西南日本外帯に見られるような平行する細長い地質帯の連続が北北東－南南西方向分布している。それらは東部から、海岸山脈（地質区)、先第三紀変成岩（大南澳片岩)、脊梁山脈帯、雪山山脈帯、西部麓山地質区、海岸平原（地質区）に分けられる。

集集地震による被害の多かった台湾中西部地域の地質を図－２に示す。この範囲内では、東側の一部に古第三紀の雪山山脈帯が分布する以外に、その大部分が西部麓山地質区である。



図－２　主要都市と地震断層の位置図（台湾中央気象局ホームページより引用、一部加筆）

３．集集地震の概要

1999年9月21日、午前1時47分頃（現地時間）、台湾中部は大きなゆれに見舞われた。台湾中央気象局の発表によると、地震の規模を表すマグニチュードは7.3、震源は南投縣集集鎮付近で、北緯23.85度、東経120.81度、深さは6.99km と推定された。地震のゆれは台湾全土で感じ、台湾中部の台中市、名間、日月潭などで震度６の烈震を記録した。地表最大加速度は震源に近い日月潭で989galを記録し、重力加速度（980 gal）を上回るほどのものであった。

ハーバード大学の CMT 解および東京大学菊池教授の解析によると、地震のメカニズムは東西圧縮による逆断層で、震源断層の走向はほぼ南北、断層面は東傾斜で傾斜角27度と推定されている。この低角な断層面を境にして、東側が西側に乗り上げる断層運動が起こった。震源断層は、長さ80km、幅40km と推定され、断層面のやや南側で始まった破壊運動は主に北へ向かって進行し、その継続時間（主破壊）は28秒であった。地震のエネルギーに相当する地震モーメントは、兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）の約10倍と見積もられている。

この地震に伴ない、地表には既存の車籠埔活断層に沿うように地震断層が出現し、その長さは南投縣桶頭付近から苗栗縣卓蘭付近まで約80km にも及んだ。最大変位量は垂直方向で８ m、水平方向で９ m にも達し、垂直方向の変位量は世界でもまれに見る大きさである。

余震活動は活発で、被害を伴なうようなマグニチュード６以上の余震が本震以後１ヶ月間で８回も観測されている。なかでも、本震５日後（９月26日）に発生した最大規模の余震（マグニチュード6.7）では、本震で被害を受けた建物が崩壊するなど、少なくとも５名が死亡、60数名が負傷した

４．集集地震による被害概況

地震による被害は、震源に近い南投縣、台中縣を中心に、死者2,321名、負傷者8,739名、全壊27,153棟、半壊25,238棟にのぼった（10月11日10:00現在）。この地震により、建築物を始め、ライフライン施設、交通施設、土木構造物などに深刻な被害が生じた。特に、地震断層の東側（いわゆる断層の上盤）に位置する山間部の被害は甚大で、至るところで発生した土砂崩れは交通を寸断し、点在する集落（東勢、埔里、集集、中寮など）は激震により壊滅的な被害を受けた。

一方で、断層の西側（いわゆる断層の下盤）に位置する台中市などの都市部は、一部の高層建築物に被害が見られたものの東側ほどの被害は受けなかった。このように、地震断層の東西で被害の様相が異なるのが、この地震の大きな特徴である。

もう一つの大きな特徴は、地表に出現した地震断層の直上で被害が大きいことである。この被害は、断層によって地盤が変形をきたした領域に限られており、その領域は断層に沿ってたかだか幅数10m 程度である。この領域から外れれば断層直近でもほとんど被害は見られない。これは、地表に出現した地震断層付近では、地震動がそれほど強くなかったことを意味している。

液状化現象による被害は、震源が山間部に位置していたこともあり、あまり報告されていないが、港湾や河川堤防付近など盛土・埋土を施した地点の一部で発生している。

５．主要都市の被害状況

以下に主要都市の立地条件と被災状況を述べるが、都市の位置は図－２に示した。

１）南投懸集集（チーチー）

集集は台湾大地震（集集地震）の名前のついた町で

表－１　集集地震の諸元

マグニチュード	M_L7.3（CWB：台湾中央気象局） M_S7.7（USGS：アメリカ地質調査所）
震源	北緯 23.85 度，東経 120.81 度，深さ 6.99 ㎞（CWB）
最大震度	震度 6（台中市、南投縣名間、日月潭）
地表最大加速度	989gal（日月潭、東西成分）

表－2　被害状況一覧

地名	死者	負傷者	全壊	半壊
台北市	71	317	3	24
台北縣	39	145	1	2
宜蘭縣	－	7	5	－
桃園縣	3	84	9	2
新竹市	2	4	5	－
新竹縣	－	4	2	1
苗栗縣	6	196	136	221
台中市	113	1,112	496	516
台中縣	1,124	3,606	6,532	4,602
南投縣	857	2,436	19,320	19,281
彰化縣	24	388	30	2
雲林縣	79	423	573	553
嘉義市	－	11	1	－
嘉義縣	2	5	40	33
台南市	－	－	－	－
台南縣	1	1	－	1
合計	2,321	8,739	27,153	25,238

（10 月 11 日 10:00 現在、台湾内政部発表）

ある。集集は台湾中部での最大河川である濁水渓の右岸に広がる氾濫平野上に位置し、市街地はやや高い自然堤防上に細長く分布している。また、市街地の北側（自然堤防の背後）には後背低地が形成されている。旧市街地は鉄道より北側にある。

集集での震度は６以上で、旧市街地では５～６割程度の建物が全壊していた。旧市街地での倒壊建物の多くはレンガ造りの比較的古い建物であった。鉄筋コンクリート造の低層建物もかなりの割合で大破していた。集集警察署の建物も外形は保っているが、中壁の至る所に亀裂が入っており、危険建物となっている。後背低地には建物があまり建っていないが、最近建てられた寺院や学校の校舎が倒壊または大破した(写真－１参照)。幸い、集集鎮公司（集集市役所）の庁舎は被害がほとんどなく、復旧の拠点として十分機能していた。

２）南投懸埔里（プーリー）と日月潭（ヌーユエタン）

埔里は眉渓の中流部にある盆地の町である。２本の河川が町の西部で合流している。市街地は広く平坦な砂礫段丘上にある。日月潭は台湾でも有数の観光地で、山地に囲まれた美しい湖である。湖の周囲にはあまり平坦地はないが、切土盛土により平坦地を造り、そこにホテル、商店、食堂などが並んでいる。湖尻には重力式のダムがあり、水路が北西側の水眉渓に流下している。

埔里での震度は６以上で、旧市街地では５～６割程度の建物が全壊している。西側から町に入るとしばらくは顕著な被害建物が見られない。しかし、中心市街地に近づくにつれて、倒壊建物が急増してくる。中心市街地での建物の倒壊率は40～50%にもなる(写真－２参照)。被害はレンガ造りの古い建物や低層のビルに多い。市街地の中心部には埔里鎮公司（埔里市役所)、警察署など中枢施設が集まっているが、それらの多くが全壊している。大きな紹興酒工場も建物が大きく傾き、一ヶ月経った時期でもまだ紹興酒のにおいが漂っていた。日月潭では古いホテル（閉館中）が大破しているほか、観光施設にいろいろな被害が出た。

３）南投懸中寮（チュンリャオ）

中寮は平林渓の中流部にある河岸段丘上の町である。周囲は山地に囲まれていて、河岸段丘の幅が広いため、盆地のようにも見える。平林渓の河床には新第三紀の堆積岩類や礫が見られ、段丘堆積物は厚さ５～６ｍの礫層である。中寮市街地は500m 四方程度の広さで、商業の町である。町並みは、東西方向の２本

写真－１　集集郊外の倒壊寺院、軟弱な地盤に起因

写真－２　埔里市街地の惨状

の通り沿いに古い建物が連なっており、中層建物が散在している。

建物被害は市街地中心部に多く、６～７割程度の建物が倒壊した。今度の地震で最も集中的に被害を受けた町である。レンガ造りの古い建物やＲＣ造の比較的新しい中層建物が多く倒壊または大破している(写真－３参照)。中寮郷農會（中寮地区の農協）ビルも大きな被害を受けていた。

日本の占領時代の建物でも残っているものもあれば、最近建てられた建物でも倒壊しているものもある。中寮で被害が集中したのは、建築様式などによるものとは考えにくく、地震動が集中したのかもしれない。また、中寮の北にある台電中寮高圧変電所が被害を受けて台湾中部の電力供給に大きな支障がでた。

４）台中懸大里（ターリー）

大里は大里渓の扇状地から氾濫平野に移り変わるあ

写真－３　最も被害の著しかった中寮市街地

たりにある。市街地はほとんど平坦で、小河川が分流し緩く蛇行している。地盤を観察できる場所は見つけられなかったが、近くの河床の堆積物から見て、砂やシルト地盤である。大里は大里郷の中心地であるが、ほとんど台中市の市街地と連坦している。高層住宅の建築ラッシュで市内の各地に豪華な高層住宅が建ち並んでいる。商店、事業所なども多い。大里の中心市街地は、車籠埔断層の西、３ km 付近にある。

建物の被害はそれほど多くはない。市街地で１～２割程度全半壊している。レンガ造りの古い建物の被害が多い。一戸建て住宅や商店は解体・撤去作業の最中で、各所で軍や警察などによって通行規制が行われている。特徴的な建物被害は中高層の金巴黎（キンパリ）ビルである。一棟が完全に倒れ、もう一棟も大きく傾いている(写真－４参照)。このビルでは26名が死亡した。このビルが倒れた原因は、この付近はもともと沼沢地あとを釣り堀にしていたもので、そこを埋め立て、ビルを建設したため、周辺に比べて地盤が軟弱であったことによると思われる。

５）台中懸豊原（フォンユワン）

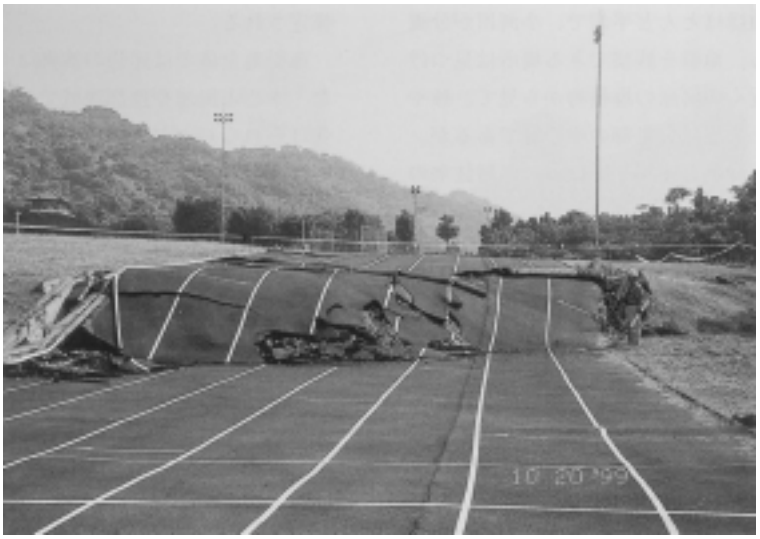
豊原は台湾中部の大甲渓の扇状地に発達した街である。東から西に向かって緩く傾斜した扇状地である。市街地中心部から東に１ km のあたりに車籠埔断層があり、その東は山地となっている。河床堆積物や地震断層で生じた露頭から、豊原の地盤は砂礫層であると推定される。

市街地全体では建物の被害はそれほど多くはなかった。中心市街地や西部地域では、顕著な被害建物は見受けられない。しかし、豊原市南部の500m 四方の狭い範囲にスポット的に被害が集中し、そこでの全半壊建物の割合は２～３割程度であった。数棟の鉄筋コンクリート建物は下部が完全に潰れ、多くの死者が出た。被害は鉄筋コンクリートの低層ビルの被害が多いが、23階建ての高層マンションビル（豊原尊龍ビル）も１階から上層階に向かって連続したせん断亀裂が生じ、危険建物と診断されていた。地盤条件に大きな違いがないことから、このスポット的な被害集中域は、ビル建築上の問題が大きいと思われる。

６）台中懸東勢（トンシー）

東勢は、大甲渓の中流部にある河岸段丘上の町である。東勢の市街地は西側を大甲渓に、東側を沙蓮渓にはさまれている。市街地は３段の段丘上にある。段丘堆積物は砂礫層で、厚さが５ m 程度である。段丘堆積物の下は第三紀層の堆積岩類で、建物の基礎地盤としては良好である。高位段丘上が旧市街地（本街）で、狭い道路沿いに住宅、商店、事業所などが密集している。東勢は今回の地震で最も集中的に被害を受けた町の一つである。建物被害は東勢市街地全体では２～３割であるが、旧市街地（本街）では５～６割程度の建物が倒壊した。死者はこの小さな町だけで350人近く

写真－４　沼を埋め立てた跡に建設されたため倒壊した大里市のビル群



写真－５　霧峰郷総合運動場のトラックに出現した地震断層

であった。多くの鉄筋コンクリート造中層建物が倒壊または大破していた。また、レンガ造りの住宅の倒壊も目立った。幸い市役所は被害を免れており、災害復旧の中心として機能していた。

６．地震断層と構造物被害

集集地震により地表に現れた地震断層（ほぼ車籠埔断層に一致）は、中～南部でほぼ南北走向であるが、北部では北東または東西走向となる。断層トレースは、ほぼ山地と平野部の境界を走り、全体に凹凸の多い平面形状を示す。これは震源断層が極めて低角な逆断層のためである。今回の断層活動は、基本的に既存の地質断層「車籠埔断層」の再活動と言える。しかし、北部の大甲渓に沿った東西方向の断層帯は地質図（25万分の１）に記載されていなかったもので、新たに活動した部分と言える。

現地で観察される断層形態は、低断層崖、撓曲が多い（写真－５参照）。断層の鉛直変位量は概ね２－３

写真－６　地震断層直上の倒壊ビル（向こう側が約４m上昇）

m であるが、北部では５ m 超、10m 近いとされている。撓曲はしばしば幅広い断層変形帯（主に上盤側）を伴っており、その幅は数 m～50m 余にも及ぶ。断層トレースは単一とは限らず、分岐したり、平行な断層線の集合であったりする。

6.1　ダム

台中懸石岡郷「石岡ダム」は、大甲渓に建設されたコンクリート重力式の上水用ダムである。ダムは約７m にもおよぶ断層変位により、右岸側放流ゲートの２径間が完全に破壊し、アバット部と隣接ゲートにひび割れ変形被害があった（写真－７参照)。

このダムを破壊した地震断層は、今回活動した車籠埔断層の北端にあたり、従来の方向とは異なるため、新しい枝分かれして出現したものである。

6.2　橋梁

地震断層により、いくつかの橋梁が落橋した。主なものは、大甲渓の埤豊橋、烏渓の烏渓橋、頭汴渓の一江橋などであった。このうち先の２例を紹介する。

１）埤豊橋

埤豊橋は、大甲渓に架かる多径間のＰＣＴ桁橋である。

左岸から１番目の橋脚と２番目の橋脚の間に地震断層が走り、１番目の橋脚が４ m 程度上昇し、左岸から１番目から３番目までの桁が落下し、左岸から２番目の橋脚は倒壊した(写真－８参照)。この埤豊橋を落橋させた地震断層によって橋の直上で滝が出現（高さ３～４ m）したが、いずれ侵食により形が不明瞭になっていくであろう。

２）烏渓橋

国道３号線の烏渓橋は、烏渓に架かる多径間の単純 PC 桁橋である。下流側と上流側に新旧３車線ずつの橋がある。右岸から２番目と３番目の橋脚の間を活断層が走り、上流側の橋が右岸から１番目と２番目の桁を落とし（写真－９参照)、下流側の橋は落橋を免れたものの、右岸から１番目と２番目の橋脚にせん断破壊を生じ、桁にもたわみが見とめられる。

6.3　その他

その他の土木構造物被害として、地震断層が多くの河川を横断して出現したため堤防も多くの被害を受けた。とくに、大里郷の草湖渓や霧峰郷の乾渓では、約２ m 前後上流側が上昇したが、いずれもただちに修復された。

地震断層によって、断層直上の建物も著しい被害を受けた（写真－６参照)。その多くは、断層面のせん断による直接破壊よりも垂直・水平変位による変形破壊であった。建物被害は地震断層の上盤側で顕著で、変形帯の幅は通常で20～30m、大きい所では100m にも達した。

また、断層直上の建物は、変形以外に振動による被災形態がほとんど見られないことから、地上での断層

写真－７　地震断層（右側が７m上昇）による石岡ダムのせん断破壊状況

写真－８　地震断層により出現した滝と埤豊橋の落橋

そのものの変位速度は比較的ゆっくりしていたものと思われる。

７．地震による斜面崩壊

地震による斜面崩壊は、集中して発生している場所は特種な地形・地質条件の所であるが、それ以外の一般斜面でも各所で発生した。現地調査した範囲内で集集地震にともなう崩壊の特徴を整理すると次のようになる。

① 斜面崩壊は、震度６の範囲内（南投懸と台中懸）で多発している。

② 全山が崩落した九十九峰（九九峰）は、この一帯だけに分布する更新世のルーズな（低固結）礫層からなり、山稜や尾根部の急傾斜部の礫が震動によりいっせいに崩落したものである。崩落した礫は、斜面の直下に堆積している。

写真－９　地震断層の変位による烏渓橋の落橋

写真－10　地震断層により発生した大平地すべり

③　段丘崖の肩部からの崩落も随所で見ることが出来た。これも急傾斜とルーズな段丘礫層に起因している。

④　一般斜面の岩盤崩壊も散在するが、その大部分は尾根部や凸形斜面で、かつ急傾斜部で発生している。

⑤　道路のり面や盛土の崩壊は、集集から日月潭を中心とする山岳部で多発しているが、小規模なものが多い。

⑥　地震断層にともなう崩壊も断層が山麓を通るために小規模なものが、多発している。大きなものでは台中の東の大平地すべりがあげられるが、そのメカニズムは不明である（写真－10参照）。

地すべり性の大規模な崩壊で、有名な草嶺の清水渓源頭部や九分二山などは現地へ行けなかった。

写真－11　ボランティアによる青空散髪

写真－12　被災者のテント村

８．おわりに

地震による被害の実態を文章で表現するのは極めてむずかしい。そのすさまじさは実際に目で見た者しかわからない。

国内の災害調査では、まず空中写真撮影とその判読から予察図を作って現地踏査に入ることが多かった。今回は現地が台湾ということもあり、空中写真をまったく見ずに現地の資料のみでとりまとめた。まさに羽をもがれた鳥のように得意技を使えなかったが、その分現地を丁寧に見たつもりである。

添付した現地写真によって、大地震による被害の一端を見ていただければ幸いである。

参考文献

１）瀬川徹三（1994）：台湾付近のテクトニクス，地震２，46，pp461-477.

（国際航業株式会社）