



巻頭言

1999年台湾集集大地震後の 土砂災害の調査研究

下川悦郎 (社)砂防学会会長・鹿児島大学農学部教授

1999年9月21日台湾で発生した集集大地震（マグニチュード7.3）は、台湾中部の台中縣、南投縣を中心に甚大な人的・物的被害をもたらした。3万棟もの建物が倒壊し、死者・不明者数は2,496人を数えた。

この地震から本年は5年目を迎える。この間、都市部では急ピッチで復旧作業が進み、地震の傷跡はほとんど確認できないまでに復興した。建物が倒壊し撤去された後にできた空き地が、地震の被害があったことを伝えているくらいである。しかし、急峻な地形をもつ山間部では、無数に刻まれた斜面崩壊・地すべり・土石流の傷跡がいまだに生々しく残っている。

地震に伴う山間部の土砂災害の実態と原因を明らかにするため、地震直後の1999年、治水砂防協会・砂防学会・地すべり学会の合同調査が、また、これを受け2000年度から2001年度までの2年間にわたって文部科学省科学研究費による6大学合同調査「1999年台湾の地震に伴って発生した山地災害の調査」（研究代表者：林拙郎）が行われた。さらに、これらの調査は、2002年度から2004年度までの3年間にわたる文部科学省科学研究費「1999年台湾集集大地震後の土砂災害の推移と地形変化」（7大学による合同調査、研究代表者：下川悦郎）に引き継がれた。

この調査研究は課題名に表現されているように、地震後の土砂災害の推移と土砂の堆積・侵食・流出過程を明らかにすることを目的としている。本年度はこの調査の最終年度である。この調査研究の概要について紹介する。

プレートテクトニクスによると、台湾は大陸側のユーラシアプレートと太平洋側のフィリピン海プレートの境界に位置する。この付近では、フィリピン海プレートがユーラシアプレートに乗り上げるように大陸側に向かって移動している。この移動に伴っ

てユーラシアプレート上の大陸棚堆積物がプレート境界にかき集められて付加体を形成し、逆断層運動によって隆起し台湾島が形成されたとされている。そのため、南北に延びる中央山脈は東北アジア最高峰の玉山（標高は4000mに近い）をはじめ標高3000mを超える多数の峰を抱える。

地質は大陸（西）側ほど新しい。中央山脈は第三紀中新世の泥岩類、その西側は第三紀鮮新世から中新世にかけての泥岩類、さらに西側の平野部は第四紀層で構成されている。中央山脈の東側は第三紀中新世より古い地質から成る。また、中央山脈の西側（台湾中部）には彰化断層、車籠埔断層、双冬断層などの活断層が南北方向に平行して分布している。これらは逆断層を成し、東側に傾斜している。1999年台湾集集地震は車籠埔断層が数百年ぶりに再活動したことによって発生したとされ、南北80kmにわたって地表に断層が現れた。

この地震によって急峻な地形を有する山間地では大小多数の斜面崩壊が発生した。その中には崩土が河道を閉塞した九份二（崩壊土砂量 $3.5 \times 10^7 \text{m}^3$ ）や草嶺（同 $1.2 \sim 3.5 \times 10^8 \text{m}^3$ ）の大～巨大崩壊が含まれる。一方、地震で緩んで不安定になった斜面では本震後も斜面からの土砂の生産は余震および雨のたびに繰り返され、斜面の直下および谷の源頭部には不安定土砂が累積している。

これらの土砂は雨のたびに侵食され土石流（または土砂流）となって流出を繰り返し河道沿いの沖積錐に到達した後、さらに河川的作用で運搬され河床の上昇を招いている。河道を閉塞した大～巨大崩壊の崩土もガリー状に侵食が進行し土砂のソースとなっている。

こうした一連の土砂移動は山間部の集落に大きな土砂災害をもたらす一方、斜面から谷さらに河道に至る斜面・河川地形を大きく変化させている。土砂災害の恐怖と土砂移動に伴う地形変化は現在も引き

続いている。この間、2001年7月には桃芝^{トマジ}、9月には納莉^{ナリ}の二つの台風が地震による被害区域を直撃し、合わせて318名の死者・不明者がでた。この中には土砂災害による死者・不明者も多数含まれる。

台湾とその近海では過去大地震が繰り返されており、前世紀の地震（マグニチュード5.5以上）は85回にもなる。今回発生した集集に近いところでも、彰化地震（1848年、マグニチュード7.1）、嘉義地震（1941年、同7.0）、台南東北地震（1964年、同7.0）の大地震が発生している。したがって、こうした地震に伴う土砂移動、すなわち地震時の斜面崩壊発生と多量の土砂生産から地震後の斜面崩壊・土石流の発生、さらに河川を通しての土砂流出に至る一連の現象は、台湾では繰り返し発生し、河川における堆積・侵食地形の形成に普遍的に関わってきたものと考えている。

この調査研究はそうした基本的認識に基づいている。台湾行政院農業委員会（水土保持局、林務處）や工業技術研究院能源與資源研究所、成功大学、中興大学などの協力を得て、現地での観測や資料収集をしながら現在作業を進めている。

主な検討項目は、次の通りである。

- ① 1999年集集大地震後の土砂災害の推移
- ② 2001年7月の桃芝台風と9月の納莉台風にと
もなう豪雨による土砂災害の実態
- ③ 地震後の土砂災害をもたらした気象・水文条件
- ④ 地震による斜面の強度低下の実態と斜面崩壊
の発生機構
- ⑤ 地震後の斜面および河道部の地形変化
- ⑥ 地震および土地利用開発による森林の水土保
全機能の変化と土砂災害
- ⑦ 地震後の土砂災害に対する警戒避難システム
- ⑧ 台湾における地震による土砂災害の歴史と地
形変化

②の項目では、集集大地震で被害を受けた台湾中部を中心に300名を超える死者・不明者をだした豪雨災害（土砂災害）の実態と地震との関係を明らかにする。⑤の項目では河道を閉塞した大規模崩壊土砂の侵食過程についても調査する。地震およびそれ以後山間部では土砂災害が頻発しているが、この原因として森林の防災機能の低下が指摘されている。⑥の項目では森林の水土保全機能の変化と今回の土

砂災害と関係について検討する。

現地での調査を一つだけ紹介しておこう。調査地は台湾中部の濁水溪支流清水溪（流域面積10.6km²、標高700～2050m）である。この流域では地震時に谷頭斜面がほぼ全面にわたって大規模に崩壊し、それによって生産された多量の土砂が標高1000～1500m付近の溪谷を埋めた。その厚さは少なくとも20mと推定された。この堆積土砂は地震の翌年（2000年）4月ごろから雨のたびに侵食され土石流となって流出した。2001年7月の桃芝台風と9月の納莉台風に伴う豪雨で多量の土砂が移動した後の2001年10月の調査では、谷を埋めた土砂は侵食され、溪床は地震前の溪床よりさらに低下した。2002年12月および2003年2月、11月の調査でも溪床低下の基調は継続している。一方、谷を横断方向でみると兩岸には今回の地震時に形成された土砂の堆積面が段丘を形成している。その段丘面のさらに高い位置には古い段丘がある。この高位の段丘は過去の大地震に伴って生じた崩壊土砂が侵食されてできたものと解釈している。台湾ではこうした地震による河川地形の形成過程が大地震のたびに繰り返されていると考えている。

この調査研究の成果として、次のようなことを予想している。

- ① 斜面地盤の強度や排水能力の低下など地震後土砂災害が繰り返し発生する原因が明らかになる。また、地震後土砂災害が頻発する期間が推定される。
- ② 大地震後の斜面・河川地形の変化過程が定量的に把握される。
- ③ 土地利用および地震にともなう森林の水土保全機能の変化が地震後の土砂災害にもたらす影響が把握される。
- ④ 雨量の空間・時間分布特性が把握され、地震後の土砂災害防止に資する警戒避難システムが提案される。また、土砂災害の実態や斜面・河川地形の変化過程の把握に基づいてハード防災対策の基本的あり方が提案される。

この調査研究が、台湾だけでなく、東海地震や南海地震などわが国で近い将来予想される巨大地震に伴う土砂災害の防災に役立てば、と願っている。