

中国雲南の巨大地すべり風景

釜井 俊孝¹⁾・磯部 一洋²⁾・加藤 碩一³⁾・田口 雄作⁴⁾

1. はじめに

2000年7月12-14日に、東・東南アジアにおける斜面災害の危険度評価の標準化に関する技術会議が中国雲南省昆明市の昆明ホテルで開催された。この国際会議は、タイ王国バンコク市にある国際機関の東・東南アジア沿岸・沿海地球科学計画調整委員会(以下CCOPと略す)の主催、中国国土资源部及び中国地質調査局の共催、雲南省土地資源庁及び同省地質鉱物資源調査開発局の後援によるものである。

本会議に引き続いて7月14日の午後から15日にかけて斜面災害に係わる現地見学が、昆明市街地の北方約120kmの東川市付近にある大規模土石流とその観測センターを対象に実施された。今回の見学コースは、中国でもとくに地殻変動の著しい断層地帯にあり、10数km²と小流域ながら、1,500m以上の高低差を有し、わが国では想像できない長大な山地斜面における大規模崩壊などの地形が数多く観察された。以下では、それらを昆明市周辺の自然環境などの特徴と併せて紹介する。

2. 雲南の自然環境と人々

本章における雲南省と昆明市の紹介は、主として雲南科技出版社(1999)及び広東旅游出版社(1999)による。

2.1 昆明への交通

昆明への空路は、国際線が大阪便を含む7路線、国内線が北京・上海など87路線もある。さら

に、大理石で有名な大理などの雲南省内の主要都市へも8路線あり、外国人にとり航空機によるアクセスは非常に便利である。

筆者らのうち田口は、バンコクから国際線を利用し、残りの3名は成田から往路を上海、帰路を北京経由として参加した。日本-中国(上海または北京)と中国内の移動時間がほぼ同じ長さであったため、中国の広大さを実感することができた。

2.2 雲南省の自然

雲南省は中国の南端部を占め、西をミャンマー、南をラオス及びベトナムとそれぞれ国境を接する(第1図)。国内では北西隅をチベット(西藏)自治区、北を四川省、東を貴州省及び広西チワン(壮)族自治区と接する内陸の省である。雲南省は東西・南北とも長さ約900kmで、面積39.4万km²とわが国よりやや広い。標高は北部の梅里雪山6,770mを最高とし、ベトナム国境の南東部で76mまで低下し、北高・南低で、東部は雲貴高原に一致する。

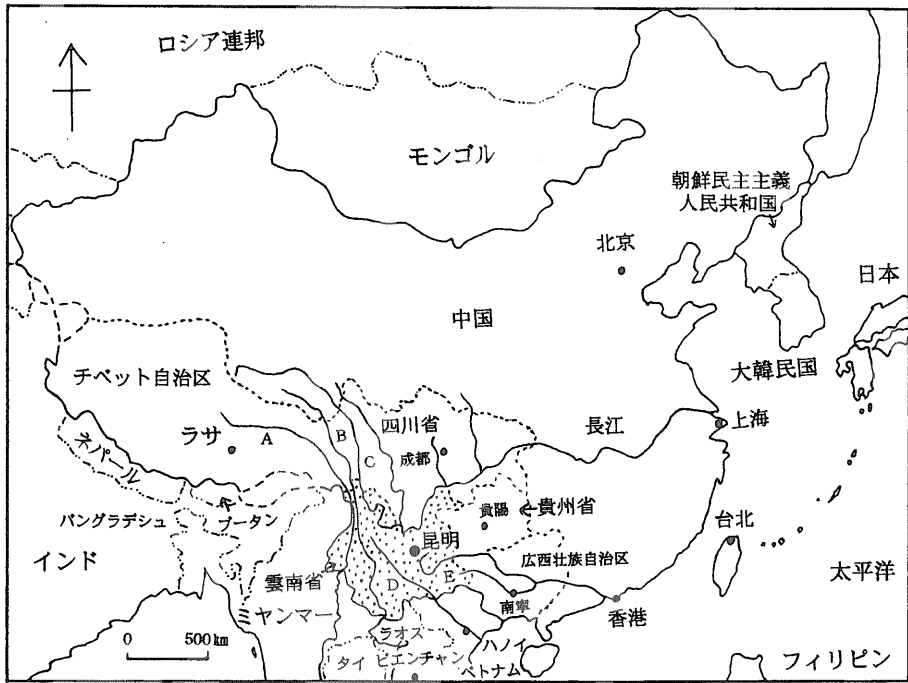
水系は、テーチス・ヒマラヤ構造区と環太平洋構造区の接合部に当たるといふ地質構造の特徴に大きく支配され、国際河川である怒江(薩彌温江ないしタムルイン川と名を変え、ミャンマーへ)と瀾滄江(メコン川と名を変え、ラオス、カンボジア及びベトナムへ)、中国最長の金沙江(長江の上流)が南北へ伸びる横断山脈の先行河川をなす。さらに、横断山脈の南部では瀾滄江に平行して元江(紅河と名を変え、ベトナムへ)が流出する。一方、昆明市などのある標高2,500m前後の雲貴高原からは、金沙江支流の普渡河と牛欄江、珠江支流の南盤江が

1) 京都大学防災研究所(元地質調査所職員):
〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

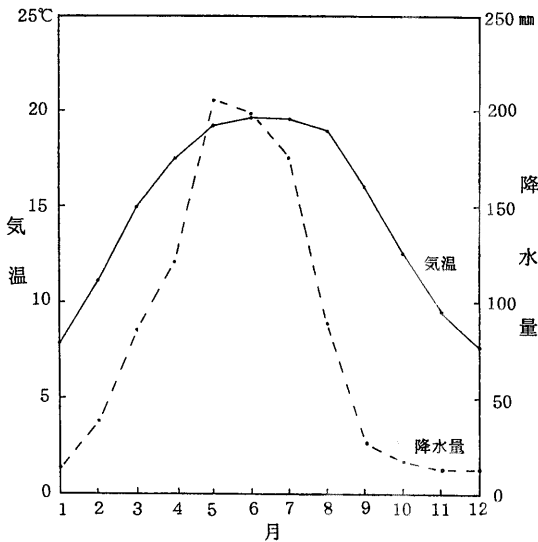
2) 産総研 深部地質環境研究センター

3) 産総研 地球科学情報研究部門

4) 産総研 地圏資源環境研究部門(前CCOP事務局派遣)



第1図 雲南省の位置図。中国国境のうち、確定部は実線、未確定部は長い破線、点紋で表した雲南省の隣接州・自治区の境界は短い破線でそれぞれ示す。
A：怒江，B：瀾滄江，C：金沙江，D：元江，E：南盤江



第2図 昆明地区における月平均の気温・降水量 [国立天文台編(1999)による]。

へと急激に変化する。高地にある昆明市の気温について見れば、北回帰線近くに位置しながら、1961-1990年間の年平均気温は14.6℃、最暖の7月の平均気温は19.7℃、最寒の1月のそれは7.6℃と年間を通じて春のような気候である(第2図)。昆明市が高原城市である“春城”と呼ばれる由縁はここにある。一方、降水量について見れば、同一期間での年平均降水量は1,002.3mm、モンスーン気候により、その85%以上が5-10月の雨季に集中する(第2図)。

植物も四つの気候帯に対応して、274科、2,076属、17,000種の多種多様な植生が報告されている。そして、国内の高等植物の実に3分の2の種数を占め、まさに雲南は“植物王国”である。1999年5-10月に世界園芸博覧会が昆明市内で開催され、日本人を始めとする多数の外国人客で賑わったのはまだ私達の記憶に新しい。

それぞれ流下する(第5図参照)。

気候は南東の国境付近から北上するにつれ標高の急増と相まって、熱帯・亜熱帯・温帯・寒帯気候

2.3 春城の地理

昆明市は北緯24° 23′-26° 22′，東経102° 10′-103° 40′にあり、同一緯度の都市は台北市、同一



第3図 東川市郊外の農地改良地区において独特の竹籠を背負う先住民。

経度はラオスの首都ビエンチャン市である。本市の中心地区は標高1,891mにあり、市内の標高は1,500-2,800mにまたがる。1997年の人口総数は約350万人、市街地区内に130万人以上が生活している。市民には漢族が87%と圧倒的に多く、残りは彝、白、回、苗、哈尼など20民族に及んでいる。ちなみに、雲南省の総人口4,100万人のうち、少数民族の人口は約1,400万人で、省内の3分の2に当たる地域に先住する(第3図)。一方、漢族約2,700万人は沿岸域などからの移民が多く、都市部に居住する傾向が強い。

市街地南部に昆明空港があり、その直ぐ南西には中国第6位で省内最大の淡水湖で昆明湖とも呼ばれる滇池が広がる。滇池は面積340km²、湖水位1,886m、南北40km、東西12.5km、湖岸線全長163kmで、平均水深5m、最深部でも10mと浅い。そして、滇池の北東・南東側には第四系からなる平野が発達し、徐々に埋積されている。金沙江の支流の普渡河は湖の西岸から流出する(第5図参照)。

さらに市街地から南東へ約90kmの高原には、古生代二疊紀の海成の石灰岩からなり、奇岩・希峰が林立する石林がある。また、昆明周辺には同じ二疊紀の玄武岩類の塩基性火山岩が広く分布し(第6図参照)、赤色風化土が著しく発達する。この粘土質の風化土は、レンガの材料に利用されている。

3. 国際会議の概要紹介

今回昆明市で、CCOPによって開催された東・

東南アジアにおける斜面災害の危険度評価の標準化に関する技術会議の趣旨や概要を以下に紹介する。

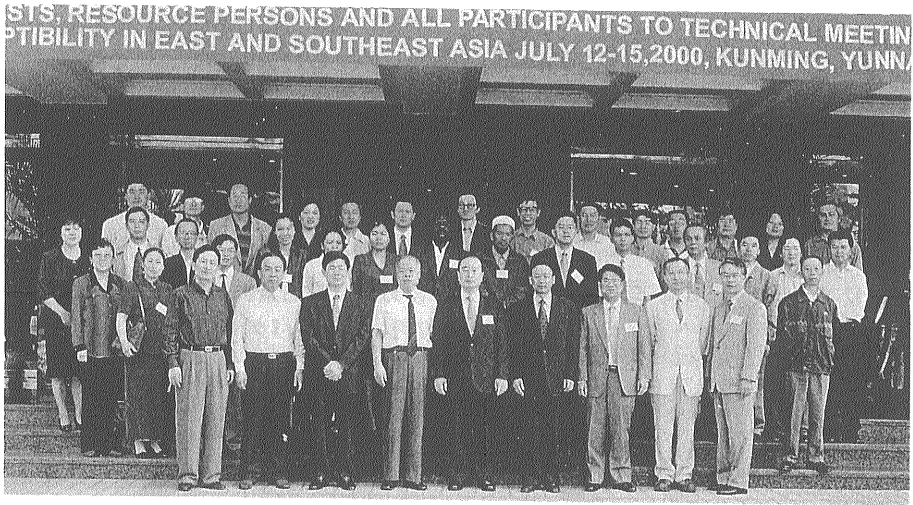
CCOPは、東アジア自然災害図のような災害図面の作成計画を日本の地質調査所(現産業技術総合研究所 地質調査総合センター)や東アジアの地質機関の協力によって実行してきた。既に、外的営力による地質災害に関する技術会議が、1999年7月にタイ国パタヤで開催された(CCOP, 2000)。そして、CCOPは様々な科学的観点から災害の軽減に携わっている。

地質災害図作成においては、地質災害の歴史的出来事のみならず、近い将来発生する地質災害の可能性・確率・評価を示すことが求められる。とくに小縮尺図面において、各国や各機関が個々に確立してきた災害の標準について相互に関連させることが必要である。しかし、それらを定量的に比較・検討することは、明らかに標準に係わる知識が不足し、背景に独特の地質・構造が存在するために、非常に難しいのが現状である。

最初の段階として、私達の生活や社会に影響を及ぼす斜面災害に焦点を当てるべきであると考えた。それは、斜面災害が科学的・工学的問題であるばかりか、解決されるべき緊急の社会的ニーズでもあるからである。これらの災害は、地質条件と人間活動によって引き起こされるので、対策までも視野に入れ、この問題に注意深く対処すべきである。

本会議で取り上げられた主要な斜面災害は、1)地すべり、2)トップリングや崩落、3)土石流や岩雪崩、4)泥流やラハール、5)クリープである。会議の目的は、科学的・工学的観点から東・東南アジアの国々における斜面災害評価の標準化の情報を交換し、それらを検討し、もし可能であるならば、さらに対策を助言することにある。

本会議への参加者は中国9名、日本3名、CCOP 2名、カンボジア・インドネシア・韓国・マレーシア・パプアニューギニア・フィリピン・タイ国・ベトナムの各1名であった。第4図は会場正面玄関前での関係者全員による記念写真であり、名札を付けているのは著者らを含む会議出席者である。会議は7月12日から14日の午前中まで予定通りに開催され、参加者の多くから自国の最新情報が披露され、



第4図 国際会議関係者による記念写真。

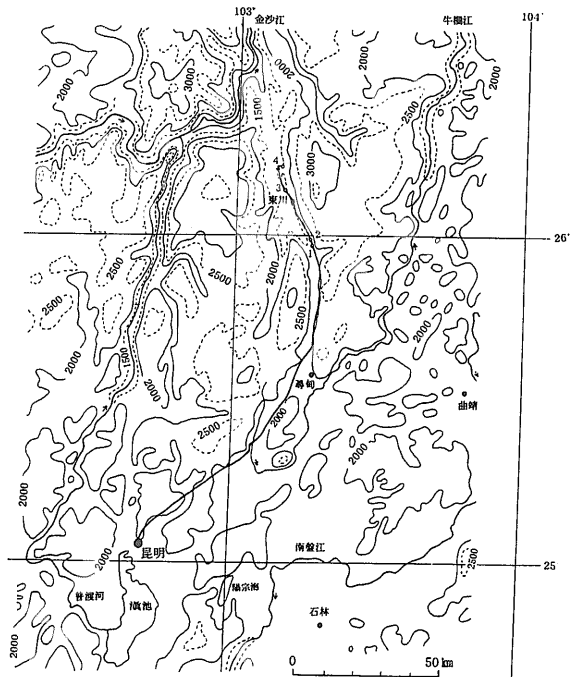
大変有意義な国際会議であった。

4. 昆明-東川市ルート of 地すべり地形と地質

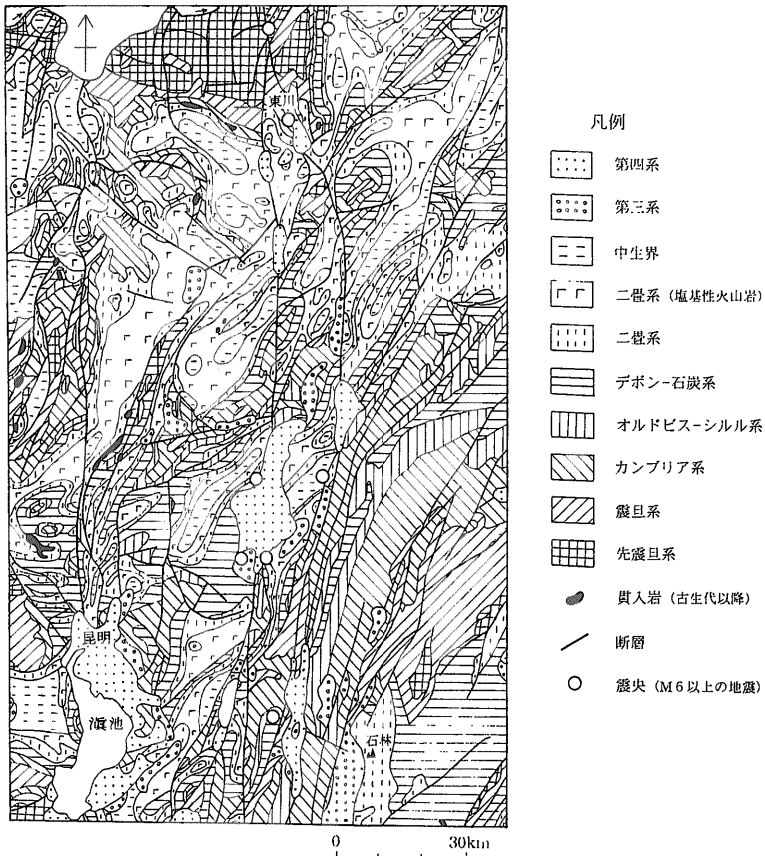
雲南省は、テーチス・ヒマラヤ構造区と環太平洋構造区の接合部に当たるため、褶曲・断層が良く発達し、地質構造はきわめて複雑である。すなわち、原生代から第四紀にかけての地層が、Luliang時階（原生代初期）からアルプス・ヒマラヤ時階に至る5時階の造山サイクルによって変形している。火成活動も地質時代を通じて活発で、省の面積の約4分の1が火成岩類に覆われている。また、各造山サイクルに対応した広域変成岩も広く分布している。したがって、顕著な鉱化作用が認められ、金属資源や宝石・貴石資源が豊富である。

昆明市と東川市を含む雲南省北東部（第5図）は、Yangtze Platformと呼ばれる。この地域では、Yangtze時階（原生代中期-後期）の変動によって激しく変形した原生代の地層を古生代以降の地層が覆い、それらがさらに、カレドニア時階以降の造山運動によって変形している。古生代以降の褶曲軸の方向は、ほぼ北東-南西方向（昆明-東川市方向）であり、それらはほぼ南北性の断層によって切られている（第6図）。雲南省は、中国でも最も地震活動の活発な地域である。主要な地震の震央はこれらの断層に沿って分布しているため、その断層の一部は活断層と見なされている。

複雑な地質構造やアルプス・ヒマラヤ時階以降の激しい地殻変動（ネオテクトニクス）及び亜熱帯性の気候を反映し、脆弱な岩盤や厚い風化殻が急峻な山地斜面を形成している。また、雨季と乾季



第5図 昆明市周辺の概略地形と観察地点 [CCOP (1994)に加筆]。太線は見学コース。1.小白泥溝 2.大白泥溝 3.大橋河 4.蔣家溝 標高の単位：m



第6図 昆明市周辺の地質図〔雲南省地質矿产局区域地質調査隊編(1990a)の簡略〕. 震央は雲南省地質矿产局区域地質調査隊編(1990b)による.

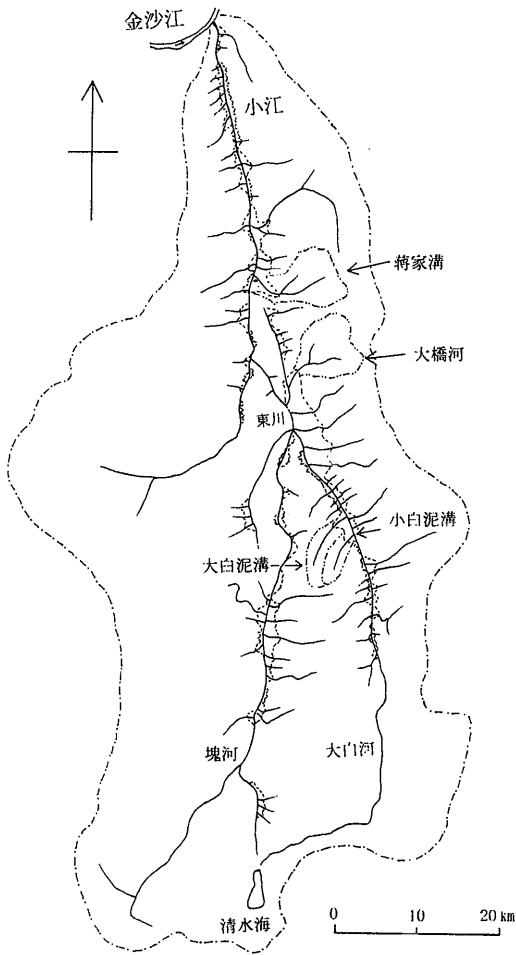
がはっきりと分かれる気候条件であり、700-1,200mmの年間降水量の約85%が、5-10月の雨季に集中する。したがって、山地斜面には多数の地すべりや大きな崩壊が発生し、山地の脚部には広大な土石流扇状地が発達している。とくに、東川市を南北に貫流する大白河、塊河、小江は、雲南省を南北に貫く大規模な深部断裂帯(東西小江断層)に沿った深い適従谷を形成し(第7図)、比高1,500mにも及ぶ長大な山地斜面上には、岩盤地すべり、大規模崩壊、再活動型地すべりなど様々な種類のマスムーブメントが分布する。このため毎年の雨季には、斜面崩壊や大規模土石流などに起因する土砂災害が頻発している(第8図)。また、断層谷上の高原地域には、風化殻が滑るタイプの小規模な崩壊や地すべりが発達する。昆明-東川市間の道路は、しばしば、このタイプの小さな崩壊によって途絶する(第9図)。

5. 小江深部断裂帯における土砂災害

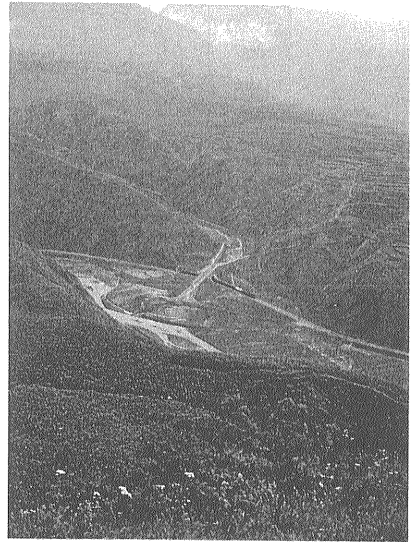
5.1 大白河溪谷

東西小江断層は、主として左横ずれの成分(一部、逆断層)が卓越する大規模な活断層で、昆明市から東川市にかけての地域(大白河流域)では、2本の断層が約20kmの間隔でほぼ南北に並走している。断層の活動は現在も活発であり、この地域のマグニチュード6以上の地震の震央は、大部分がこれらの断層上に位置している(第6図)。大白河溪谷は、東小江断層に沿う断層谷で、溪谷の斜面は破碎された古生界の堆積岩類や弱変成岩類からなっている。

マスムーブメントは大白河溪谷の両岸に発達するが、東西の小江断層に挟まれた左岸側斜面に分布するものの方がより大規模である(第10,11図)。これは、この断層間の地帯の基盤岩が他の地域より



第7図 小江の水系図[中国科学院東川泥石流観測研究センター(1998)に加筆]. 破線の内側は沖積低地, 一点鎖線は小江の分水界, 二点鎖線は観察対象小河川の分水界.



第8図 激しい土砂の供給により, 天井川化した土石流溪流. 鉄道を守るため, 現世の土石流堆積物中に導水路とカルバートが建設されている. 今まさに, 列車が通過中(大白河溪谷).



第10図 大白河溪谷の景観. 左岸側の緩斜面は段丘化した旧期土石流堆積物. 比高は100m以上に達している. 地表面は水田に利用されている.

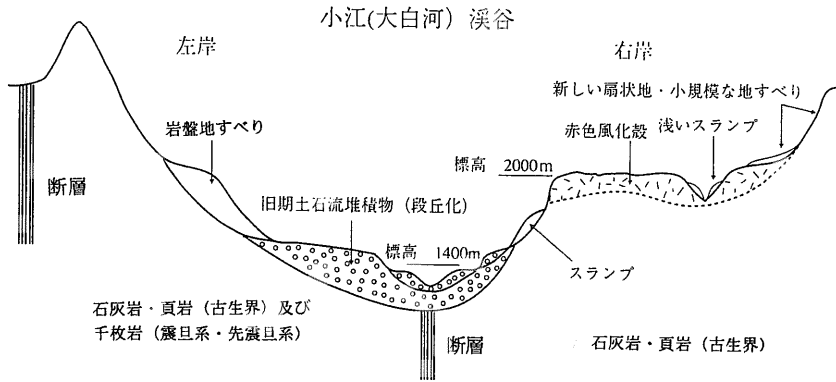


第9図 小規模な崩壊によって途絶した昆明-東川市間の国道. この時は, わずか2時間程度で復旧した.

も激しく破碎されていること, この地帯が相対的な隆起域であることを反映した結果であると考えられる. 地すべりで滑っている部分は比較的緩傾斜な

ため, 見事な棚田ならぬ棚畑が発達している. 景観としては, 我が国の四国中央山地や北アルプスの糸魚川-静岡構造線沿いの地域に類似する.

大白河溪谷の中でも, とくに小白泥溝と大白泥溝付近では, 土砂生産が盛んで, 大規模な土石流が繰り返し発生している. 小白泥溝と大白泥溝は, ともに南北に隣り合った大白河の左支で, 流域最高点の標高は, それぞれ3,000mと3,100m, 合流点の標高は1,400mと1,440m, 流路の長さが



第11図 大白河溪谷の模式断面図。左岸側に大規模な岩盤地すべりと土石流段丘が発達している。

7.3km, 11.8kmの急流である(第1表)。小白泥溝と大白泥溝の上流部には、ともに長さや幅が数km規模の巨大な岩盤地すべりが発達し、末端部の崩壊地から大量の土砂が河道に供給されている。大白河溪谷は、更新世を通じてこれらの土砂で埋積されており、数段に段丘化した大きな土石流扇状地を形成している。それらは、この地域の急激な隆起を反映して、高位面と現河床の比高は、支谷と大白河の合流点付近で100-200mに達する。

小白泥溝流域の山地は、主として千枚岩から構成される。したがって、溪流に堆積している岩層は、大部分が千枚岩の礫からなるため、小白泥溝の扇状地は遠方からは暗灰色に見える。一方、大白泥溝の上流部は石灰岩・泥岩・砂岩からなり、土砂の色彩がより明色であり、扇状地は明灰色に見える。両者の扇状地は隣り合っているため、溪谷の内部の景観として良いコントラストをなしている。

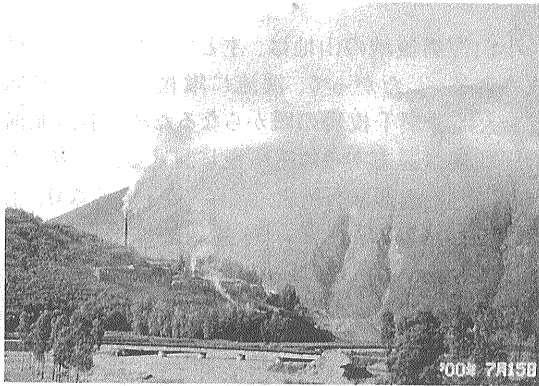
第1表 各観察地点における小河川の流域特性。英文現地案内書の簡略。

観察地点番号	1	2	3	4
小河川流域名	小白泥溝	大白泥溝	大橋河	蒋家溝
標高最大(m)	3,000	3,100	4,017	3,269
最小(m)	1,400	1,440	1,100	1,042
流域面積(km ²)	12.5	18.0	53.1	48.6
流域長(km)	7.3	11.8	15.2	13.9
堆積面積(km ²)	0.8	1.4	3.0	
断層との位置関係	W-E間	W-E間	E通過	W-E交差
地質(面積順)	先震旦・震旦系	震旦・二疊系	震旦・カンブリア ・先震旦・デボン ・石炭・二疊系	先震旦・震旦系
岩石名	石灰岩, 頁岩, 砂岩	石灰岩, 頁岩, 砂岩	石灰岩, 頁岩	砂岩・粘板岩で 80%, ドロマイト
大規模土石流の 発生年(西暦)	1902, 1933, 1957, 1959, 1963, 1968, 1972, 1976, 1980	1825, 1917, 1933, 1941, 1946, 1957, 1962, 1968, 1985	1855, 1905, 1919, 1933, 1946, 1954, 1977, 1979	多数につき省略
土石流の速度(m/s)		3-6	4-8	4-12
土石流の密度(m ³ /s)	1.9-2.2	1.9-2.2	1.4-2.2	
			W: 西小江断層	E: 東小江断層

5.2 大橋河-雲南的治山・治水-

大白河と塊河が合流し小江となる付近に、東川市の市街地は位置している。東川市は銅都とも呼ばれ、漢代以降、銅の生産が市の基幹産業になっている(第12図)。市周辺の斜面は、2,000年にわたる銅の採掘と精錬による鉱害のため、植生が著しく破壊されている。そのため、この地域では、激しい土砂災害が数年の周期で繰り返し発生している。その結果、小江の河谷は土砂に埋積され、砂礫層の厚さは地表で確認できるだけで100mに達している(第13図)。

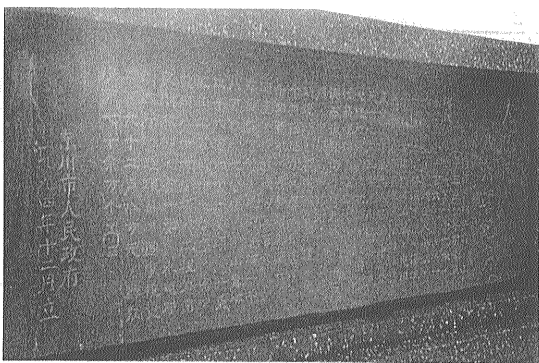
大橋河は小江の右支の一つで、流域最高点の標高は4,017m、大白河右支との合流点の標高は1,100m、流路の長さが15.2kmの急流である。過去数回、土砂災害(土石流)の記録があるが、とくに1732年の地震によって荒廃したため、土石流が頻発するようになった。1971年2月から治水・治山工事が着手された。河道を安定化させるため、崩壊発生域における植栽と砂防ダムの建設、及び氾濫原における導水堤、排水路、遊水池を複合的に組み合わせた方法を試みた結果、現在の大橋河は安定化し、336ヘクタールの見事な耕地に変貌した(第14,15図)。



第12図 東川市郊外の銅精錬所。周囲の山地斜面の森林は完全に破壊されている。



第13図 東川市郊外の土石流堆積物。礫は石灰岩。盆地底までの比高は100mを越える。



第14図 大橋溝の治山治水碑文(治理紀実)。碑文から、西暦1732年の東川付近のM6.7の地震によって山体が崩壊し、また銅の精錬のために樹木が伐採されて植生が皆無となり、土石流が頻発し、1971年2月に研究所による砂防対策が開始されたことなどが記されている。なお、大規模銅鉱山は東川北西方にあり、鉱床は先震旦系の堆積岩に胚胎する。



第15図 大橋溝の流路整備と広大な水田。

5.3 蔣家溝-大規模土石流と研究施設-

蔣家溝は大橋河の約10km北方に位置する小江の右支である。流域最高点の標高は3,269m、小江との合流点の標高は1,042m、流路の長さは13.9km、流域面積は48.6km²であり、小江の支流としては比較的大きい方である。流域の中で、東西の小江断層が合流し、千枚岩・粘板岩などの弱変成岩類からなる基盤岩が著しく破碎されている。このため崩壊の発生頻度が、他の支流に比べて高く、河道では大規模な土石流が頻繁に発生している(第16図)。蔣家溝から流出した土石流により、1919-1968年の50年間に、小江は7回閉塞された。これらの内、最長の閉塞期間は6ヶ月であった。

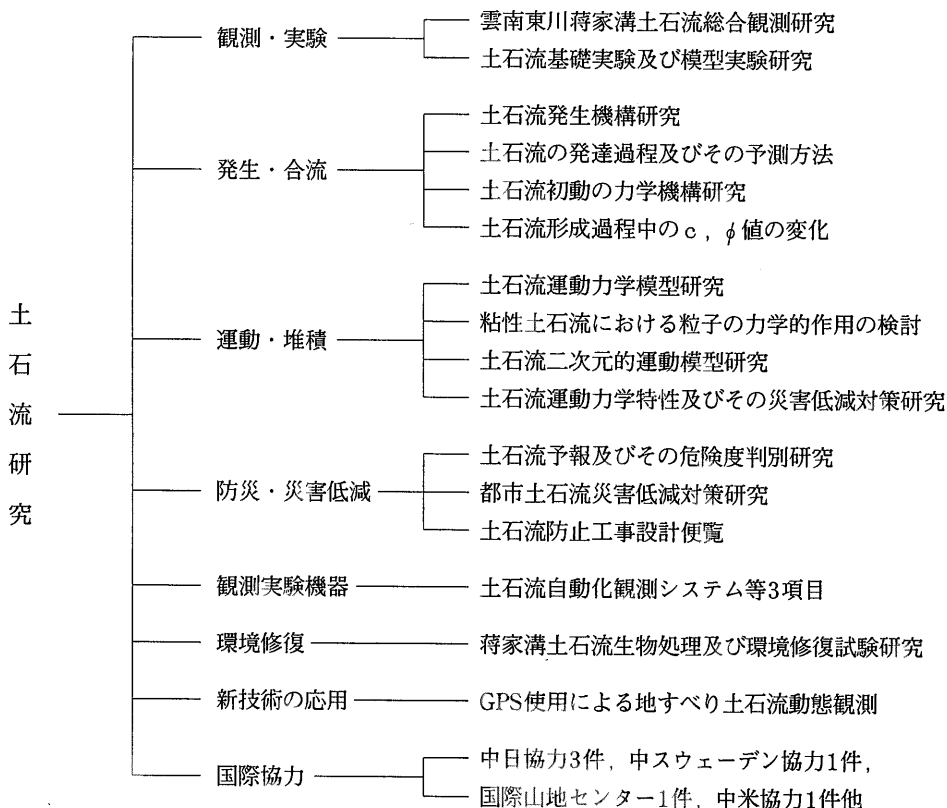
蔣家溝では、年間に平均15回、多い年で28回の大規模土石流が発生する。そのため、土石流を観測する上では、世界で最も適した場所の一つといえる。最初の研究施設は、1961年に建設され、それ以降順次整備されてきた。1988年からは、中国科学院直属の野外研究施設(東川泥石流観測研



第16図 蔣家溝の景観。大規模な土石流扇状地が発達している。

究センター)の一部(蔣家溝泥石流現測研究センター)となり、現在に至っている(第2表)。土石流に関する総合的な研究施設としては立地条件がきわめてユニークであり、この利点を生かして米国地質調査所や京都大学など、海外の機関との研究協力も盛んに行われている。

第2表 中国科学院東川泥石流観測研究センターにおける土石流研究の一覧。



6. おわりに

斜面災害に関心を持つ東・東南アジアからの国際技術会議出席者とともに、春城と呼ばれ気候温和な昆明市郊外に、大規模な土石流扇状地の発達する東川市を訪れた。見学地域は、中国で最も地震活動の活発な地域で、比高1,500mにも及ぶ長大な山地斜面上には、岩盤地すべり、大規模崩壊、再活動地すべりなどが数多く観察された。地すべり地帯は比較的緩傾斜のため、わが国の四国中央山地や北アルプス糸魚川-静岡構造線沿いの地域に類似した景観が展開していた。最後に一行が立ち寄った中国科学院直属の野外研究施設は、土石流に関する総合的な研究施設として立地条件がきわめてユニークで、外国機関との研究協力も盛んに行われており、非常に興味深いものであった。

謝辞：本稿の作成に関連し、本国際会議を開催されたCCOP事務局、中国国土資源部、中国地質調査局、雲南省土地資源庁及び地質鉱物資源調査開発局、さらに斜面災害関係の見学を担当された中国科学院東川泥石流観測研究センターの各機関の

皆様、中国語の和訳資料を校閲下さった産業技術総合研究所 深部地質環境研究センターの張 銘博士にそれぞれ謝意を表します。

参考文献

- CCOP (1994) : East Asia geographic map series sheet 3, 1:2,500,000.
 CCOP (2000) : Technical meeting on exodynamic geohazards in East and Southeast Asia. CCOP Technical Publication, no.27 (CD-ROM).
 中国科学院東川泥石流観測研究センター(1998) : 簡介. 18p.
 Dongchuan Debris Flow Observation and Research Station (2000) : Field guide for Technical Meeting Standardization of Slope Disaster Susceptibility in East and Southeast Asia. 11p.
 広東旅游出版社(1999) : 雲南之旅. 131p.
 国立天文台編(1999) : 理科年表 平成12年(机上版). 丸善株式会社, 1064p.
 雲南科技出版社(1999) : 雲南旅游指南. 157p.
 雲南省地質矿产局区域地質調査隊編(1990a) : 縮尺100万分の1中華人民共和国雲南省地質図. 地質出版社.
 雲南省地質矿产局区域地質調査隊編(1990b) : 縮尺200万分の1雲南省地質構造図. 地質出版社.

KAMAI Toshitaka, ISOBE Ichiyo, KATO Hirokazu and TAGUCHI Yusaku (2001) : Magnificent landslide scenery in Yunnan Province, China.

< 受付 : 2000年11月13日 >