

**中華人民共和国
雲南省小江流域総合土砂災害対策
及び自然環境修復計画調査
事前調査報告書**

平成18年3月
(2006年)

独立行政法人 国際協力機構

地球環境部

環境

JR

06-023

**中華人民共和国
雲南省小江流域総合土砂災害対策
及び自然環境修復計画調査
事前調査報告書**

平成18年3月
(2006年)

独立行政法人 国際協力機構

地球環境部

序 文

日本国政府は、中華人民共和国政府の要請に基づき、同国雲南省小江流域総合土砂災害対策及び自然環境修復計画調査を実施することを決定し、独立行政法人国際協力機構がこの調査を実施することといたしました。

当機構は本格調査に先立ち、本件調査を円滑かつ効果的に進めるため、平成 15 年 11 月 2 日から同年 11 月 25 日までの 24 日間に渡り、国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター長の杉浦信男氏を団長とする事前調査団（S/W 協議）を現地に派遣しました。

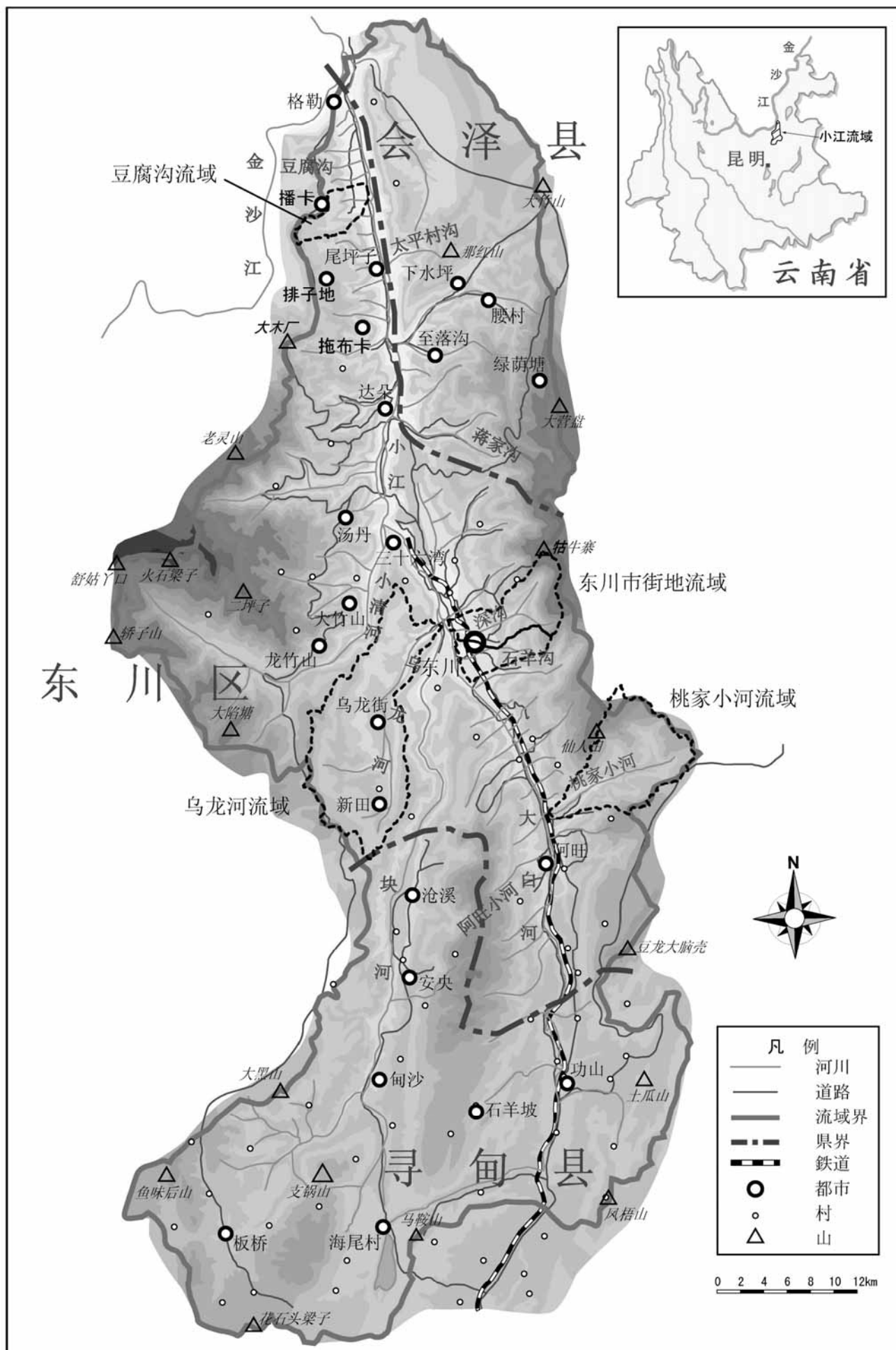
調査団は本件の背景を確認するとともに、中華人民共和国政府の意向を聴取し、かつ現地調査の結果を踏まえ、本格調査に関する S/W に署名しました。

本報告書は、今回の調査結果を取りまとめるとともに、引き続き実施を予定している本格調査に資するためのものです。

終わりに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成 18 年 3 月

独立行政法人 国際協力機構
地球環境部
部長 富本 幾文



調查対象位置図

目 次

序 文

調査対象地域図

第1章 事前調査の概要	1
1-1 要請の背景	1
1-2 事前調査の目的	2
1-3 調査団の構成	2
1-4 現地調査の日程	3
1-5 協議概要	4
1-6 所感	5
第2章 対象地域の概要	10
2-1 雲南省	10
2-2 小江流域	11
2-3 小江流域の自然条件	18
2-4 土砂災害	33
2-5 災害対策	47
2-6 関連組織の概要	53

付属資料

1. 実施細則（S/W）	55
2. 協議議事録（M/M）	75
3. 質問票（回答）	86
4. 収集資料・主要面談者リスト	102

第1章 事前調査の概要

1-1 要請の背景

(1) 小江（流域面積：3,034km²、流域内人口：40.2 万人、土石流危険渓流：107）は、雲南省北東部に位置し、長江上流の金沙江に流れ込む河川で、流域内の主な産業は農業と銅の生産である。小江流域のほとんどは、山岳地帯で地質的にも脆弱である上、断層も多く地震などにより多くの崩壊が存在し、山に植生がほとんどないため、土壌浸食が激しく雨季には土石流が頻発し、自然環境が悪化している。また、本流域は平地部が少なく、支川の下流部には扇状地が形成され、何も対策がとられないまま、市街地や農地、公共施設が集積し、土石流の直接的な被害により多くの人命、財産が失われている。さらに、貧しい人々は、土石流の被災の恐れがある危険な扇状地に加え、平地部も少ないため、山の傾斜地に住居や農地を求めているが、このことが土砂災害の発生や自然環境の悪化の原因の一つにもなっている。

このように土砂災害は、地域住民の安全や経済活動に対する脅威となり、また、土砂災害と人々の生活が自然環境の悪化につながり、悪循環となっているため、まずは、土砂災害の軽減と自然環境の修復に係る具体的な対策を講じ、同地域の住民生活の安全を確保し、地域の経済活動を活性化する必要がある。

(2) 小江流域の年間土砂生産量は、7,000 万トンほどと推定され、そのうち 600 万トンほどが金沙江に流れ込み、残りのほとんどは小江に堆積しているため、小江本川の河床が毎年 20～40cm のスピードで上昇し、これらにより洪水被害が毎年発生している。また、長江においても長江の各支川から流れ込む土砂により河床上昇が起これ、長江周辺都市において頻繁に洪水が発生し、甚大な被害が生じているため、国家的な問題となっている。

(3) これらに対して、中国政府及び雲南省は、「全国生態環境建設計画」、「長江流域水土流重点防治プロジェクト」、「長江中・上流防護林プロジェクト」などの計画に取り組み、土砂災害対策や自然環境修復対策を実施している。また、雲南省では砂防施設の建設と流域における土砂生産・流出を抑制するための植林も行い、土砂災害対策及び自然環境修復の必要性は十分認識している。しかしながら、それらに係る予算が小規模であるため、具体的な対策が未実施のままである箇所が多い。

(4) JICA は、中国に対して「貧困対策や社会開発分野への支援」、「地球規模の課題への取り組み」を援助重点課題として取り組んでおり、内陸部の生活環境改善及び生態系の維持・回復に関する援助を行っている。

(5) 以上の背景から、中国は、2003 年に我が国に対し、小江の土砂災害対策及び自然環境修復に関する M/P 策定と F/S の実施を要請した。これを受け、JICA は事前調査団を派遣し、雲南省水利庁との間で S/W を署名交換した。

1－2 事前調査の目的

わが国に対する中国政府の要請に基づき、本件調査に係る内容、範囲及び実施体制等を確認し、現地踏査および資料収集を行い、協力の方針・方法の検討を行うこと、また、その結果を実施細則（S/W）及び協議議事録（M/M）の取りまとめ署名交換を行うために、事前調査団が派遣された。

1－3 調査団の構成

氏名	担当分野	所属	派遣期間
杉浦 信男	総括/砂防計画	国土交通省国土技術政策総合研究所 危機管理技術研究センター長	2003/11/02 - 2003/11/15
井田 泰蔵	流域管理	国土交通省北海道開発局石狩川開発建設部 計画課 石狩川総合水管理調査室長	2003/11/02- 2003/11/15
藤本 洋	調査企画/ 事前評価	独立行政法人国際協力機構社会開発部 社会開発調査第二課	2003/11/02- 2003/11/15
山川 精一	水文・水理/ 砂防施設	株式会社 アイ・エヌ・エー 第二事業本部 海外部 次長	2003/11/02 - 2003/11/25
渡辺 幹治	自然環境/社会 配慮・組織制度	株式会社 建設企画コンサルタント 海外事業本部 技術第一部・課長	2003/11/02 - 2003/11/25
高良 さとみ	通訳	財団法人 日本国際協力センター 研修監理部 研修監理員	2003/11/02 - 2003/11/25

1－4 現地調査の日程

日 順	月 日	曜 日	移動及び調査内容		宿泊
			官団員	コンサルタント	
1	11 月 2 日	日	移動 成田-北京 (JL781 10:35 発)		北京
2	11 月 3 日	月	10:00 JICA 事務所打合せ 15:00 科学技術部表敬		北京
3	11 月 4 日	火	09:00 在中国日本大使館表敬 移動 北京-昆明 (CA1413 15:45 発 18:50 着)		昆明
4	11 月 5 日	水	09:00 雲南省水利庁 打合せ		昆明
5	11 月 6 日	木	移動 昆明-東川 15:00 昆明市東川区人民政府打合せ		東川
6	11 月 7 日	金	終日 現地踏査		東川
7	11 月 8 日	土	終日 現地踏査		東川
8	11 月 9 日	日	移動 東川-昆明 15:00 S/W 協議		昆明
9	11 月 10 日	月	09:00 S/W 協議		昆明
10	11 月 11 日	火	14:00 S/W 協議、M/M 案協議		昆明
11	11 月 12 日	水	09:00 S/W、M/M 打合せ 11:30 S/W、M/M 署名		昆明
12	11 月 13 日	木	資料整理	補足調査	昆明
13	11 月 14 日	金	移動 昆明-北京 (CA4171 08:45 発) 14:00 JBIC 北京事務所 15:00 在中国日本大使館 報告 16:00 水利部報告 17:30 JICA 事務所報告	補足調査	北京/昆明
14	11 月 15 日	土	移動 北京-成田 (JL782 15:10 発)	補足調査	昆明
15 - 22	11 月 16 日 - 11 月 23 日	日 - 日		補足調査	昆明
23	11 月 24 日	月		移動 昆明-北京 (CA4171 08:45 発) 事務所報告	北京
24	11 月 25 日	火		移動 北京-成田 (JL782 15:10 発)	

1-5 協議概要

事前調査団は、2003 年 11 月 2 日より現地調査を開始し、国家科学技術部中日技術合作事務センター、雲南省水利庁、昆明市東川区人民政府などを訪問し、これら関係者から有益な情報を収集するとともに、現地踏査を実施し調査対象地域の現状把握を行った。

また、雲南省水利庁と協議を行い、11 月 12 日に、実施細則（S/W）及び協議議事録（M/M）を雲南省水利庁楊副庁長と杉浦事前調査団長との間で、署名・交換を行った。

協議の概要については、以下のとおりである。

（1）中国側実施体制及び開発調査について

中国側実施機関である雲南省水利庁は、JICA が行う開発調査の経験が少なく、まずはスキームの説明を行い、理解を求めた。先方からは作業監理委員会や本格調査団のメンバーリストの提出の要望があった。しかし、S/W 署名後、JICA においてコンサルタントへの発注準備、契約手続きなどがあり、本格調査団のメンバーはまだ未定であること、また、作業監理委員についても、本格調査が開始する前に決定することを説明し、先方は理解した。

（2）ステアリングコミッティーについて

事前調査団は、本格調査を円滑に進めるため先方にステアリングコミッティーの設置及びメンバー提示を求め、メンバー表を入手した。委員会主任は、S/W 署名者でもある雲南省水利庁の楊副庁長となり、本格調査における調査の方向性や政策的な判断を行っていただけと思われる。

（3）調査対象地域について

約 3,000km²の広域な小江流域の土砂災害や自然環境修復対策に関する M/P は、地形図や航空写真、水文データなどが整備されていれば、小江流域全体の土砂災害や自然環境修復対策は、ある程度可能であるが、既存データが乏しく、また、データが古いため、流域全体については、既存資料を最大限活用し、さらには、本調査で得たデータを総合的に利用することとした。本格調査では、小江流域全体の検討として水文状況や土砂流出状況などの検討にとどめた。

本格調査の効率性や本格調査結果を有効に活用するためにも、ある程度調査対象地域を絞る必要がある。現地踏査及び先方からの要望などを考慮し、調査対象地域は、東川区内の 4 小流域程度とした。今後の役務コンサルタントによる委託先の見積り徴収結果にもよるが、現在 4 小流域程度と考える。

（4）報告書作成及び報告書の公開について

報告書作成は日文作成としていたが、先方から中文作成の要望があった。事前調査団は、最終報告書（図表を除く）のみ中文も作成することを提案し、先方と合意した。中文を作成することは、本開発調査を通じて C/P へ砂防技術を移転することのみならず、中国全土への砂防技術の普及に大きく寄与すると考える。また、最終報告書をまとめる際には、先方の関連法律や規則などにより公開が困難な部分もあると考えられるため、公開、非公開

部分を分冊とすることになった。

(5) 現地再委託について

本格調査の現地再委託発注について、日本国で行っている一般競争入札で行うことを先方に伝えた。入札の公平性や透明性において、本格調査のステアリングコミッティーや C/P のメンバー及び関係機関が、委託先として選定されないことを説明し、先方も理解した。

(6) マスタープランの目標年次について

雲南省側の目標年次が 2020 年となっているので、本調査との整合性を考慮し、本計画の目標年次を 2020 年とすることとした。

(7) 中国側の便宜供与事項

中国側から実施細則中の便宜供与事項に関して、2 点要望及び質問があった。

1 点目は、「日本から持ち込む資機材の輸入及び再輸出に必要な手続き」に関して、他の空港または港の場合手続きに膨大な時間と労力がかかるため、昆明国際空港に限定してほしい旨要望があった。上記に関して可能な限り昆明国際空港を利用することを伝えた。

2 点目は、「その他軽微な資機材等の一部の経費の負担」という条項について、該当するものが不明確であるが、どのようなものかと質問があった。現時点で想定できるものがないが、いずれにしても小額であると説明した。

1-6 所感

1-6-1 団長所感

(1) 実施細則等の署名

我々は「雲南省小江流域総合土砂災害対策及び自然環境修復計画調査」に係る事前調査のため 2003 年 11 月 2 日から 11 月 15 日まで（水文・水理/砂防施設団員、自然配慮・組織制度団員、通訳団員については 11 月 25 日まで）の間、中華人民共和国雲南省昆明市東川区、会澤県などで調査対象地域を現地踏査するとともに、同調査の実施細則及び協議議事録を、団長杉浦と雲南省水利庁副庁長楊氏の間で署名交換した。

(2) 実施細則及び協議議事録の主な内容

- ①雲南省水利庁との間で「雲南省小江流域総合土砂災害対策及び自然環境修復計画調査」を実施する。
- ②調査対象地域は昆明市東川区内の 4 小流域程度とした。なお、水文状況、土砂流出状況の検討は小江全域（3,043km²）とした。
- ③調査対象地域内で策定される土砂災害対策及び自然環境修復計画のマスタープランのうち、緊急に対応すべきプロジェクトを選定しフィージビリティ調査を行う。

(3) 背景

雲南省昆明市は近年発展が著しく、急速に近代化が進んでいる。一方で、雲南省の北東部に位置する小江流域は長江上流の金沙江流域の中でも土砂流出の著しい支川である。

小江流域は 90%以上が山岳地域で、小江断層など多くの断層に伴う破碎と度重なる地震などにより、多くの崩壊が存在し、植生の被覆度も小さく（東川区では 3%）、また高木がほとんどなく、雨季には土石流が頻発している（蔣家溝流域では年間平均 25 回発生）。

度重なる土石流などの土砂流出により、人命・財産に被害が生じるとともに、昆明市街と結ぶ幹線道路や全国第 3 位の生産量の銅鉱石運搬用鉄道がしばしば被災している。

また、小江流域は温暖な気候で潜在的に農業生産力の高い地域であるにもかかわらず、扇状地では流出土砂による耕作地の放棄地や小江沿いの河川敷も荒地のままとなっている（1960 年以降土砂災害により小江流域で死者 188 人、損失農地 2,133ha、鉄道の運休 2,395 日、幹線道路通行止め 1,223 日、直接的な経済損失 7,712 万元）。

このことから小江流域では昆明市周辺でひととき貧しい地域となっている（東川区農民 1 人当たりの年間収入は 1,143 元（2002 年）、中国全土の農村住民の実質収入 2,476 元）。

また、雲南省では 25 の少数民族がおり、全人口（4,300 万人）の 1/3 を占めている。小江流域でもこれら少数民族が土砂流出の激しい扇状地や山腹斜面に居住している。中央政府及び雲南省人民政府にとって少数民族への対応（貧困解消など）は重要な政策課題となっている。

現在建設中の昆明市内と東川区を結ぶ高速道路が予定では今年 12 月に完成し、昆明～東川間が 2 時間（現在 4～5 時間）で通行可能となる。これにより雲南省最大の消費地である昆明市への大量輸送が可能となり、昆明市内に対する小江流域の農産物供給地としての位置づけが高まっている（小江流域は 700m～4,000m間で標高の変化が多く、多様な作物が四季を問わず生産可能。東川区人口 30 万人中農業就労者 23 万人）。

（４）小江流域での砂防事業

小江流域の東川区内では過去 30 年に亘り、中国科学院の指導のもと、砂防事業が実施されてきた。東川市街近郊の大橋河（流域面積 53km²）、黒水河（流域面積 9.4km²）の成功例がある。

ただし、これらの流域は、荒廃度合が比較的低く、対策しやすい流域である。小江流域には、他の多くの荒廃著しい流域が存在している。これら各流域で人口、資産の集積状況、土砂の流出状況（量・質）、砂防施設計画空間の有無、投資規模に見合った施設計画などに配慮した砂防計画づくりが急務であり、雲南省も強く希望している。

（５）日本の支援の必要性

雲南省では中国科学院東川土石流観測研究所、雲南省地理研究所など砂防分野での基礎的な技術力を備えつつある機関が多少存在するが、土砂災害被害の軽減に向けた警戒・避難システムの整備やハザードマップづくり、危険区域での土地利用規制、土砂調節効果の大きいスリット砂防えん堤など最新の砂防技術の知見は不足している。

また、現在北京では JICA 中国水利人材養成プロジェクトが実施されているが、このプ

プロジェクトにより砂防分野の指導者が育成され、地方に展開されていくには若干の時間を要する。

このため、砂防分野で世界最先端の日本が砂防計画づくりに協力することは、小江流域の安全の確保、自然環境の修復及び貧困解消にとって必要である。JICA 中国水利人材養成プロジェクトで育成された砂防技術者と連携し、この調査で培われた技術、人材が小江流域ばかりでなく、雲南省、さらに同じような土砂災害に見舞われている他の地域に展開され、中国の発展に寄与できると思料される。

このため、本格調査への移行は急務である。

(6) 調査対象地域での砂防計画づくりの視点

- ①小江流域の山地は高木類がほとんどなく、山腹には地すべり性崩壊のほか、表面侵食やガリー侵食が進み、土石流発生を容易にしているだけでなく、生態的にも非常に限られた種（ユーカリ、ネムノキなど）となっている。

このため、生産土砂量を減少させるため山腹斜面の荒廃地にローコスト工法に配慮した砂防山腹工の実施を検討・計画する。

- ②土砂災害対策の砂防施設の整備と併せ、土石流などの土砂災害の危険区域を事前にシミュレーションにより予測し、人命を守るための警戒・避難システムを確立するとともに、土地の危険度を明示し土地利用の高度化や交通路の安全ルートの設定に役立てる総合土砂災害対策計画を立案する。

- ③小江流域では多様な土砂移動現象が発生している。しかしながら水文・土砂流出関係の既存データが非常に少なく、かつ限定されて地域のみしか存在しない。

そのため、小江流域全体の水文・土砂流出状況の概略を把握するため、必要最少限の観測を行うとともに、衛星データなどによる GIS の手法を用いた検討を行い、流域管理の基本方針を検討する。

- ④小江から金沙江へ多量の土砂が流出している。金沙江には小江合流点下流に 3 基の大型ダム建設の計画があり、金沙江への流出土砂量の軽減も重要である。

(7) 調査対象地域の選定

以下の理由により東川区内の 4 小流域程度とした。

- ①小江流域では東川区に人口、資産が集積している。
- ②昆明市の発展につれて、今後小江流域の農業生産力の向上が必要となるが、東川区内の扇状地、河川敷には土砂流出による広大な荒廃地が存在する。
- ③東川区内は山腹斜面の植生被覆度が極端に低い。
- ④危険な山岳斜面に居住する少数民族の安全の確保と貧困の解消のため、安全な低地に新たな農地開発が必要で、そのための基盤整備が重要である。
- ⑤東川区は 1998 年 12 月に東川市から昆明市東川区になったばかりで、区人民政府内の体制もしっかりしており、雲南省との連携もスムーズである。

などから、東川区を対象地域に選定した。

調査対象地域を小流域に限定したのは、雲南省の地域開発計画の目標年次が 2020 年であり、この目標年までに成果が出る程度の規模を想定したことによる。

対象流域の数量を 4 流域程度としたのは、以下のモデル流域を想定したからである。

- ①都市溪流での砂防えん堤などのハード対策と警戒・避難体制の整備や土地利用規制などのソフト対策を総合的に計画するモデル流域（候補地：深溝 A=29.6km²）。
- ②人家、幹線道路、鉄道、農地などを保全し、安全な地域づくりを計画するモデル流域（候補地：阿旺小河 A=15.1km²）。
- ③荒廃した扇状地で土砂流出をコントロールし、流路を固定することにより、安全な宅地、耕地を生み出し、地域開発や、土砂生産を抑制する植生により、自然環境の修復を計画するモデル流域（候補地：太平村溝 A=17km²）。
- ④土石流危険溪流（小江流域内に 107 の土石流危険溪流が存在）において、上記②と③の複合型も出る流域（候補地：烏龍河の支川）

1-6-2 井田団員所感

（1）はじめに

2003 年 11 月 2 日より 15 日まで中華人民共和国に滞在し、「雲南省小江流域総合土砂災害対策及び自然環境修復計画調査」に係る事前調査の調査団に、流域管理の担当として参加した。滞在期間中、小江流域を現地踏査し、現地の担当者と打合せを行い、事前調査団は 11 月 12 日に中華人民共和国雲南省水利庁と同調査の実施細則（S/W）について合意に至った。

本文では、滞在期間中における事前調査を通じて気付いたことを述べるが、現時点の情報に基づいているため、今後精査が必要である。

（2）小江流域の土砂災害、自然環境の悪化の実態及び土砂災害の発生、自然環境の悪化の原因

小江は流域面積約 3,040km²、流路延長約 138km を有し、中流域に人口約 30 万人の流域最大の都市東川区が存し、下流において金沙江（長江の上流部）に合流する急流河川である。流域は銅の採掘、精錬のための燃料確保や耕作等の活動により、植生が極端に乏しく、裸地もしくは低い草木が疎の状態で広がり、自然環境が悪化している。流域各地の降水量は 700mm～1,500mm 程度と日本と比べて多くはないものの、5 月から 10 月に集中しており、災害の発生もこの時期に集中している。

災害は大きく分けて 2 つのパターンがあった。一つは、1988 年に支川烏龍河流域、1998 年に支川阿旺小河流域で生じた災害のように、土石流等の土砂流出により、直接家屋、道路、鉄道、農地等が被災する事例である。もう一つは、2001 年の支川小白泥河、2002 年の支川蒋家溝からの土砂流出による小江本川の河道閉塞による氾濫のように、著しい土砂流出により小江本川が河道閉塞、河床上昇等の影響を受けて、氾濫や取水堰の機能障害等が生じる事例である。

これらの災害はいずれも、流域からの著しい土砂流出が原因となっていた。一方、黒水河や大橋河のように、砂防ダム等の砂防施設の整備や植林が進められている流域の被害は小さく、適切な対策をとることにより被害を低減し、土砂流出をある程度抑制できていた。

(3) 対策の考え方

小江流域における土砂生産を砂防施設の整備や植生の回復により効果的に抑制するとともに、流出する土砂を安全に流下するための全体計画を作成し、緊急性や効果等を考慮しながら計画的に整備を進めていく必要がある。既に整備を進めている支川流域についても一定の効果をあげているものの、流域としての全体計画がないため、本川と支川の整備の整合は図られておらず、また道路横断部で河道が狭められるなど、他事業との調整も不十分であった。既に整備が進められている箇所においても、今後全体計画の作成にあわせて既往計画の見直しが生じてくるものと考えられる。

ただし、これらの対策は完全ではなく、整備途上においては、整備の規模を超えた土砂流出、整備完了後は計画規模を超えた土砂流出から流域を守るため、災害が発生した場合に被害を軽減するような情報伝達体制の整備や適切な土地利用等のソフト対策が効果的であると考えられる。現地では現在ソフト対策は進められておらず、中国側の担当者もソフト対策の必要性を感じており、今後は砂防施設の整備や植林等による対策とあわせて、ソフト対策を進めていく必要がある。

(4) 今後の検討の進め方

小江本川では現在、水位、流量、水質等の水文観測を行っておらず、また雨量の観測も一地点に限られている。土砂量、河道、地形、植生等に関するデータについてもほとんどない。今後、流域を整備し、発展させていくためには、必要なデータを収集し、データに基づき土砂災害対策及び自然環境修復に係る全体計画を早急に作成し、具体的な整備に結びつけ、さらに整備の効果について検証を行っていく必要がある。具体的な整備については、緊急性や効果をはじめ、流域には少数民族が居住していることから、少数民族の活動基盤を整備し、小江流域全体の発展に寄与することを考慮する必要があると考えられる。

(5) その他

滞在期間中、治安や衛生面等の生活面で問題となることは生じなかった。また、参加した中国側の技術者は、必要な技術力、知識を有していたため、効果的、効率的に調査を進めることができた。

第2章 対象地域の概要

2-1 雲南省

雲南省は中国の西南端に位置し、西部はミャンマー、南部、南東部はそれぞれラオス、ベトナムと国境を接している。東は広西チワン族自治区、貴州省に、北はほぼ金沙江（長江上流）を境として四川省と向い合い、北西はチベット自治区（西藏）と隔て、内陸の1省である。雲南という地名は、「雲嶺の南」からきており、雲嶺山脈はチベット自治区、四川省から雲南省北部を横断している山脈である。地理的には、北緯 21～29 度、東経 97～106 度に位置し、北回帰線が省南部を横切る。

省内には国際河川が 3 つあり、ミャンマーからのサルウィン河の上流－怒江、ラオスからのメコン河の上流－瀾滄江及びベトナムからの紅河であるが、前 2 者は省西部を縦断し、金沙江と共に更にチベット自治区側の上流域へと繋がっている。

省の総面積は 39.4 万 km²（日本とほぼ同じ）で、基本的には亜熱帯高原型モンスーン気候で、南北の高度差が約 6,700 m 弱、年平均温度差は 19℃前後であることから、熱帯から寒帯までの気候類型を有している。全土の平均標高は 2,000 m、94%が山岳地帯である。

人口は約 4 千 3 百万人、内少数民族 25 民族が約 1/3 の割合を占め、民族学的にも貴重な多くの少数民族の文化を今に伝えている。全人口の 87%は農業を営んでいる。伝統産業はタバコで、雲南産タバコは中国国内で 50%のシェアを有し、全国で首位にある。また、恵まれた自然を生かした花卉産業も国内最大の生産基地として生産量、シェアとも全国 1 位にある。しかし、脆弱なインフラ、労働力の質の低さなどが影響し、雲南省は最も貧困者を多く抱える省として知られ、経済的に立後れていたが、2000 年



に中国政府の重点政策である「西部大開発」*の拠点地域に指定されたのを契機に、様々な地域振興策を練り、社会経済の発展を目指している。

雲南省は 4 地区、8 民族自治州、4 省轄市から成り、省都・昆明は四季を通じ春のような気候で、別称「春城」と呼ばれる人口約 4 百万人の高原都市で、省の経済、文化、産業の中心地である。

*「西部大開発」とは、雲南、四川、貴州、重慶、新疆、チベット、広西、青海、寧夏、甘肅、陝西、内モンゴルといった中国西部の 12 の省、自治区、直轄市を対象に優遇策を施し発展・促進を図る中央政府の施策で、目標は中国の「東高西低」と言われる地域の所得格差の是正である。

2-2 小江流域

2-2-1 位置及び行政区分等

小江流域は雲南省の北東部に位置し、流域の人口は約 40 万人で昆明市東川区及び尋甸県、曲靖市会澤県の 3 つの行政区から成る。東は曲靖市会澤県、南は昆明市尋甸県であり、西は昆明市禄勸県に接し、北は金沙江を隔てて四川省会東県を望める。流域の中下流部は中国有

数の銅生産地で 2000 年前から採掘している。



写真-1：小江を挟んで蒋家溝の対岸にある銅鉱山（中央部の緑の濃い箇所周辺）

東川区は流域の中心地で現在、4 ヶ所の鎮、10 ヶ所の郷、148 ヶ所の村民委員会、6 ヶ所の街道弁事処を管轄している。2002 年末の総人口は 30.2 万人、農業人口は 23.17 万人である。区政府所在地は新村鎮で、昆明市との直線距離は 125km である。

1998 年 12 月に東川市であったものが昆明市に編入され、昆明市東川区となった。一方、上流域は人口 21.4 万人、1 ヶ所の鎮、5 ヶ所の郷から成る尋甸県の一部に含まれる。

2-2-2 交通

(1) 道路

この東川区市街地へは、雲南省の省都である昆明から曲靖市へ向かう高速道路を経て一般道（国道）で流域南側の高原状の緩やかな分水嶺（尋甸県金所付近）を越え、暫く鉄道及び建設中の高速道路と並行・交差しつつ、高度を下げ、小江の右支川である大白河を左に見ながら、功山鎮・姑海といった集落を通り抜け、約 4 時間余りで着くことができる。流域内に入ると、道路の状況が良い所は一部のみで、概して悪いところが多い。東川区市街地から下流は小江橋を渡り、小江の左岸に小江公路（四川省に通じる）が設けられているが、殆ど無舗装の道路であり、左岸からの土石流溪流を橋か或いはその河床を横断している。右岸側は会澤県であるが、小江沿いの道路は無く、殆ど植生のない山々の中腹部或いは河岸段丘の高いところに幾つかの集落が散見される程度である。

建設中の高速道路は 2003 年末には東川区市街地につながるとの情報であったが、工事の状況を見てももう少し時間がかかるようである。完成した場合には、昆明まで約 2 時間といわれており、交通事情は大幅に改善されることになる。また、高速道路は土石流の多い地域を通過するため防災対策は入念に実施されており（写真-2）、事業費がかなり嵩ん

だものと推定される。また、写真－3 は桃家小河（大白河の右支川）から施工中の高速道路の橋脚を取ったものであるが、この地点から大白河右岸沿いのルートが大白河を横断し左岸側のルートとなり、土砂流出の激しい大白泥河、小白泥河等の扇状地を通過することになる。橋梁による横断となるが、現在は準備中のため構造物は殆ど出来ていなかった（口絵写真・小白泥河参照）。



写真－2：完成した高速道路の盛土法面縦排水溝及び切土法面セメント吹付工

（2）鉄道

東川鉄道は 1950 年代、ソ連の援助で銅運搬のため昆明から東川区湯丹鉱区まで敷設され、1960 年代から運行を開始し、東川区の経済社会の発展に貢献してきた。路線は尋甸県貴昆線塘子站から分岐し、終点の東川区浪田堰まで全長 99.6 km であるが、勾配の関係から、功山鎮あたりから大白河の河岸沿いの谷底を川と交差しながら走り、姑海付近では大白河右岸に移り東川区市街地を経て、更に左岸に渡り終点に至っている。この鉄道は、頻発する土石流により数々の被害を受けてきたが、現在ではかなり改善されたようである。安全性の面から、乾期にのみ乗客を乗せている。写真－4 は、小江の右支川である大白河左岸沿いの鉄道の線路であるが、左の溪流からの土砂流出が激しいため、流路工が線路の上を跨いでおり、これと類似の対策を取っているところが数ヶ所ある。この地点では、溪流の断面に比べ流路工の断面がかなり小さいように見え、設計流量、計画断面の取り方が気になるところである（口絵写真・東川区内の小江上流域－阿旺郷付近参照）。



写真-3：施工中の橋脚、桃家小河河床状況（養魚池、骨材採取）、大白河左岸の状況



写真-4：鉄道線路及び流路工（左支川）交差箇所（大白河左岸）

2-2-3 流域

小江は雲南省北東部の魚味后山（標高 2,975 m）を源流とし、南北に走る断層沿いに北流し、金沙江（長江の上流部）に合流する流域面積 3,043.45 km²、流路長 138.2 km の河川である。流域は南北に細長く、長さ約 110 km、最大幅約 45 km である。

上流域は標高 3,000 m 以下の分水嶺に囲まれているが、中流域になると東西の分水嶺に標高 4,000 m 級の山々（最高峰は拱王山脈の火石梁子―“雪嶺”とも呼ばれている―で標高 4,344 m）が連なり、下流域では分水嶺は標高 3,000 m 以下となり、金沙江に落込んでいく。流域の最低標高は小江と金沙江との合流点（小江口と呼ばれている―口絵写真・金沙江合流地点参照）で標高が 695 m であることから高低差が 3,000 m 以上となる支川もあり、特に中下流部の支川が急流河川となっており土石流の発生が顕著である。このように、当流域は 3 方を山に囲まれ、北側は金沙江に阻まれた地域であり、頻発する災害により交通手段が寸断され、この地域は度々孤立する。

小江流域最大の東川区市街地は、中流域東側の分水嶺である烏蒙山脈の主峰牯牛寨（標高：4,016 m）西麓にある幾つかの溪流（深溝及びその支川の尼拉姑溝、石羊溝、田堰干溝、祝国寺溝等）の扇状地上に形成されている（口絵写真・小江と東川区市街地及び深溝の 2 点参照）。これらの溪流は、過去に大きな災害を引起したため、ある程度の対策は実施されてきたが、十分でないため更なる調査・対策が必要とされている。

上流域の金源郷は尋甸県の県政府所在地の北西 64 km に位置し、総面積 154 km²である。管轄区内の山は高く険しく、谷は深い。東部の花石梁子は標高が 3,294.8 m、北部の小樹棵村の標高は 1,455 m、水平距離 5 km 以内の標高差は 1,849.8 m である。板橋を水源とする四甲河は金源郷を南北に貫いているが、この河は尋甸県の中でも土砂の流出と土石流の災害がひどい地域である。標高 2,000 m 以下の地域は暖熱河谷槽区で、年平均気温は 16℃～16.5℃、無霜期は 320 日、年間降水量は 900～1,100 mm である。

植生は、上流域では比較的豊かで天然林も残っており、また「長江上流域水土流失重点防治事業」の一環である植林も一部で実施されているが、中流域から下流にかけては銅の精錬或いは薪炭用として伐採されたため、次第に乏しくなる。拱王山脈にある轎子山は流域第二の高峰（標高：4,223 m）であるが、小江流域には珍しく完全な形の密生した原始林が残され、太陽を遮っており、奇峰怪石が多く溪流には滝があり、その景観の珍しさから観光名所となっている。

2－2－4 水系及び河川の状況

小江は上流左支川の魚味后山を源流とした塊河、清水海（口絵写真参照）を源流とした右支川の大白河があり、これら両支川は東川区市街地のやや下流で合流する。小江口までの流路長は塊河の場合 138.2 km、大白河は 133 km であるが、前者の方が長いので本川となっている。但し、右支川大白河の流域の方が道路・鉄道のルートとなっているため開けている。

この他、比較的大きな支川としては拱王山脈の火石梁子を源流とし、小江橋付近で合流（口絵写真参照）する左支川の小清河、塊河と大白河の合流点で左岸より合流する烏龍河（口絵写真参照）等がある。

調査対象地域の東川区では 107 の危険溪流があり、その内 28 溪流が特に危険とされている。これらの溪流について、東川区側はなるべく多くを調査対象にして欲しい要望であったが、絞る場合は烏龍河（野鴨塘、口絵写真参照）、豆腐村溝（写真－5）、桃家小河及び東川区市街地背後の流域等の名前が挙げられた。



写真－5：豆腐村溝（小江下流域の左支川）の左支川—小江流域では生態環境が最も破壊された流域の1つで、中流部に地すべり、崩壊地があり土砂生産減となっているが、山腹はガリにより侵食が進んでいる。右側尾根上の緑の部分は集落。

一方、尋甸県の金源郷も上流域の代表的な荒廃流域で土砂流出面積は 146.3 km²、土石流危険溪流は大小合わせて 137 もあり、対策が急がれるところである（口絵写真・尋甸県金源郷—沙湾大溝及び老干溝参照）。

小江本川は塊河及び大白河を含め、支川溪流からの土石流の流入による堆積区間となっており、具体的な被害は河道閉塞、河床上昇による横断構造物の桁下高の減少、取水施設の取水阻害、農地の流失等である。流出土砂の大きい代表的支川は蒋家溝、大白泥河、小白泥河であるが、蒋家溝は扇状地が対岸の銅鉞山の耕作地となっているため導流堤が修復される等かなりの予算が費やされている。しかし、人家の殆どない大白泥河、小白泥河等の流出土砂対策は殆ど取られておらず、河道閉塞により流路が右岸側に偏りその溪岸侵食が激しく、また対岸の住民が災害後の扇状地の農地を開墾するが、翌年の雨季には再度被災することが度々である（写真－6 参照）。



写真－6：小白泥河扇状地（手前側は小江）、扇面の一部に段段畑が残っている。



写真－7（上）：烏龍河河道状況及びガリ（手前）発達状況

一方、小江本支川の河道については、蛇行・流路の変遷及び河床上昇等が激しいため、橋梁横断箇所では川幅が極端に狭くなったり、堤防は一部区間であるもののその線形が河道計画に基づいたものかどうか（写真－7 参照）、また堤防で守られた農地が現在では河床より低い箇所が多くある等、河川全体としての管理まで手が廻らないような状況である。



写真－8（右）：東川区市街地下流部の小江流域（鉄道橋、道路橋及び耕作地）

2－2－5 社会状況（東川区）

（1）人口・民族

2002 年時点の東川区の総人口は 30.2 万人で、民族別では総人口の約 94%が漢族、残り 6%は彝（イ）族、回族、苗（ミャオ）族、白（パイ）族、納西（ナシ）族といった少数民族である。山岳地帯には漢族も居住しており、山岳地に特に少数民族が多いという傾向は無い。1990 年時点の民族別人口を以下に示す。尚、雲南省全体では 38%が少数民族である。

表 2-2-5-1 東川区民族別人口分布状況（1990 年）

地区	漢族	彝族	回族	苗族	白族	納西族	他の民族	合計
新村鎮	45,320	755	1,278	722	280	70	203	48,628
碧谷鎮	25,839	916	262	1,208	72	29	69	28,395
因民鎮	22,922	141	600	412	103	127	94	24,399
湯丹鎮	40,336	1,214	1,019	85	214	152	59	43,079
姑海郷	6,259	152	2	4	-	-	-	6,417
緑茂郷	11,974	26	2	374	1	-	9	12,359*
烏龍郷	18,165	18	1,568	13	-	-	-	19,764
新田郷	9,156	127	-	3	1	-	-	9,287
法者郷	11,918	1,412	-	143	-	-	-	13,473
杉木郷	11,079	5	8	4	-	-	2	11,098
拖布卡郷	17,342	43	-	154	1	-	2	17,542
播卡郷	11,324	1	-	22	2	-	-	11,352*
舍塊郷	7,677	385	-	1	-	-	1	8,064
阿旺郷	27,373	3,010	18	274	47	1	10	30,733
合計	266,687*	8,205	4,757	3,392*	721	379	449	284,590

出典：東川市志（1998 年）*：合計値が計算値と異なるが、出典元の数値を記述

（2）貧困状況

東川区の総人口 30.2 万人の内、77%が農業人口である。2002 年の農民 1 人当たりの平均年収は 1,143 円で、2001 年農村 1 人当たりの純年収全国平均 2,366 元や雲南省平均 1,534 元、2000 年国定貧困県（全国 592 県、雲南省 73 県）の平均純年収 1,337 元に比べ低い値である。小江上流の尋甸県金源郷の 2002 年 1 人当たりの純年収は 730 元である。尚、中国国家統計局では 2002 年の農村の純年収に係る絶対貧困基準を 627 元以下、低所得者基準を 869 元に定めている。また、貧困地区と判断する一つの目安として、農民 1 人当たりの平均純年収 1,200 元以下が用いられている。

東川区や尋甸県金源郷では、貧しい農民を雲南省内のシーサパンナのような自然条件の良い地域へ移民させて生活を豊かにすると共に、農地となっていた土地の環境回復を図る生態移民計画を進めている。東川区ではこれまでに 2,000 人以上が移民し、今後も 2 万人程度の移民が計画されている。

雲南省では貧困脱却計画として、以下の「五大プロジェクト」を実施し、貧困地区のインフラを改善する方針である。

- 土壌改良プロジェクト：傾斜地の畑を段段畑にし、新しい耕地を開拓することを主な内容とする耕地整備を展開し、水、土、肥料の流出を防ぐ田畑を造成し、1 人当たり 1 ムーの安定収量耕地を持ち、1 ムー当たりの収量が 300kg を超え、基本的生活用食糧の問題を解決する。
- 治水プロジェクト：山間地帯の小さな池、小さな谷、小さな貯水池、小さな井戸、小さ

な水たまりおよび必要とする中小型の水利施設、飲用水施設の建設を通じて、400 万人余りの人口、300 万頭余りの役畜の飲み水の問題を解決し、1 人当たり半ムーぐらいの水田または灌漑地が持てるようにする。

- c. 電気プロジェクト：中小発電所の建設と電力網の建設を強化し、現在まだ電気がない 1,866 の行政村の 80%に給電するようにする。
- d. 道路建設プロジェクト：貧困地区の自動車道路建設への投資の度合いを強め、現在まだ自動車道路のない 8 の郷・鎮の 2,132 の行政村の 80%に簡易道路が通じるようにする。
- e. グリーン・プロジェクト：2000 年に作成された造林に適した荒れ山を消滅する計画に基づいて造林、緑化を行い、用材林、経済林及びたきぎを採取するための雑木林を大いに発展させる。また、たきぎの量を節約させるために、かまどの改造や電気、石炭でたきぎにとって代わるようにし、更にメタンガス燃料を発展させる。これらの実施により、水・土壌流出の防止を行い、生態環境を改善する。

（3）農業と河川整備

総人口の 77%が農業人口である東川区にとって農業は基幹産業である。生産物は標高によって異なり、1,800m 以下では主として米、1,800~2,400 m ではトウモロコシ、ジャガイモ、2,400~2,800 m ではコウリャン、燕麦が作付けされている。2,800 m 以上では畑作は無理だが、放牧や薬草の採取が行われている。平地が極めて少ない東川区にとって河川の氾濫原は重要な農地で、河川整備に伴う新規農地の開発は地域経済発展の重点課題である。これまでに東川区政府が河川整備と共に開発した農地は、請負制で農民に配分され農民の生活レベル向上に役立っている。

また、水務局によって定められた河川敷地内では、政府に料金を支払うことなく自由に耕作が可能であり、乾季を利用して野菜類の作付けが行われている。この河川敷地内の農地については、特に所有者は無く、収穫は農地として整備した農民のものとなる。したがって、農民同士の争いもしばしば発生し、農民委員会がその仲裁を行っている。

河川整備に伴い開発された農地と河川敷地内の農地を合わせた収穫量は、東川区全体の収穫量の半分程度と考えられている。

2-3 小江流域の自然条件

2-3-1 気象

（1）気候

大気の還流と地形の影響により、雲南省東北部の高原山間部に位置する小江流域は垂直気候に属し、乾季と雨季が明確に分かれている。春と冬は乾燥した強い西風の影響を受け、夏と秋は湿った南西からの季節風の影響を受ける。

1) 垂直気候

緯度 25.54'N~26.33'N の間に位置する小江流域は、緯度が低く太陽の高度角が大き

い。ここは亜熱帯気候の特徴をもつ地域であるが、流域内の山は高く、谷は深く、非常に複雑な地形をしている。垂直方向の高度差は 3,000 m 以上にも達し、はっきりとした垂直気候を呈している。

- a. 亜熱帯半乾燥河谷区：標高 900～1,200 m 程度までは比較的緩やかな地形で扇状地、河川敷となっており、亜熱帯性気候を有している。年平均気温 20℃前後、最高気温 40℃以上、最低気温 - 2℃、年降雨量 700 mm 前後、蒸発量 3,700 mm 前後で、蒸発量は降雨量の約 5 倍となっている。気温は高く降水量は少ない。この区域に属する東川区市街地の新村では、4 月から 9 月中旬までの 5 ヶ月半は夏で、残りは春と秋となっている。
- b. 温暖帯半湿潤中山区：標高 1,200～2,200 m 程度までは年平均気温 13℃前後、最高気温 31℃、最低気温 - 9℃、年降雨量 830 mm 前後、蒸発量 1,700 mm 前後で、蒸発量は降雨量の約 2 倍である。この区域に属する湯丹は 11 月中旬から翌年 2 月までが冬で、残りは春と秋となっている。
- c. 寒温帯湿潤高山区：標高 2,200～3,200 m 及びそれ以上の山間部は年平均気温 7℃前後、最高気温 22℃、最低気温 - 16℃、年降雨量 1,200 mm 前後、蒸発量 1,350 mm 前後で、蒸発量は降雨量とほぼ等しい。霜が降りる日が多く、また風が強い。この地区に属する落雪は 5 月から 9 月中旬までが秋で、残り 8 ヶ月弱は冬に区分されている。

表 2-3-1-1 に東川区各地の年平均雨量を、また表 2-3-1-2 に小江流域月別気象観測値（平均）示す。

表 2-3-1-1 東川各地年平均降雨量（小江流域外の地点を含む）

観測点	標高 (m)	年平均降雨量 (mm)	資料年代	観測点	標高 (m)	年平均降雨量 (mm)	資料年代
田堰	920	570	‘51-69	湯丹	2,252	833	‘55-79
新村	1,254	694	‘55-79	因民	2,410	1,130	‘55-56
達徳	1,360	868	57	法者	2,420	1,219	‘75-79
黄水箐	1,614	1117	57	小河	2,600	1,236	‘65-66
布卡	2,008	890	59	烱泥坪	3,103	1,311	‘57-66
新東	2,240	1,477	‘59-60	落雪	3,228	1,159	‘55-66、‘70-79

註：出典—資料 6—59 p

表 2-3-1-2 小江流域月別気象観測値（平均）

項目	単位	観測点	月												全年
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
蒸発量	mm	新村	223	291	465	529	480	280	280	248	244	202	193	187	3,638
		湯丹	113	139	228	248	207	130	135	138	117	80	80	91	1,707
		落雪	152	157	232	220	154	90	88	86	69	73	95	153	
平均 気温	℃	新村	12.5	15.3	20.6	23.9	25.1	24.1	25.2	24.4	23.0	19.5	16.0	13.1	20.2
		湯丹	5.9	7.9	12.7	15.7	17.1	16.9	18.1	17.8	16.1	12.7	9.4	6.6	13.1
		落雪	1.3	2.5	5.5	8.6	10.4	11.1	11.8	11.0	9.6	7.1	3.8	2.2	7.1
最低 気温	℃	新村	-1.8	-1.7	2.2	5.5	11.2	13.3	14.9	13.7	12.4	6.0	1.7	-1.6	-1.8
		湯丹	-8.0	-7.2	-5.4	-3.3	4.3	6.8	9.8	9.7	5.2	0.0	-4.0	-9.6	-9.7
		落雪	-12.5	-12.4	-10.8	-10.5	-2.7	-0.1	2.9	1.8	-1.4	-4.5	-10.6	-16.1	-16.1
湿度	%	新村	47	41	35	38	49	66	67	69	65	66	58	52	54
		湯丹	58	54	46	49	63	79	79	77	78	80	72	65	67
		落雪	55	55	51	59	74	87	88	88	88	84	70	56	71
気圧	mb	新村	875	873	872	870	870	869	868	870	873	877	878	877	873
		湯丹	776	775	775	775	775	775	774	776	778	778	780	778	776
		落雪	693	692	693	694	694	694	694	695	697	698	696	693	695
風速	m/s	新村	3.2	4.1	4.5	4.7	4.1	3.0	3.1	2.4	3.2	2.8	2.9	2.9	3.4
		湯丹	2.4	2.8	2.9	2.8	2.6	2.3	2.2	2.4	2.4	1.9	1.8	1.9	2.4
		落雪	5.3	5.3	5.1	4.3	3.0	2.3	2.2	2.2	2.2	2.8	3.7	4.8	3.1

註：観測期間－蒸発量 24 年、その他 21 年、出典：収集資料 6－54 p

2) 乾季と雨季

小江流域は 1 月の気温が一番低い。しかし、小江の河谷は 1 月の平均気温が 10℃以上でまるで春のように暖かい。最も暑い月は乾季と雨季の境目である。標高 1,500m 以下の半乾燥河谷区では 5 月と 7 月が最も暑く、標高 1,500m 以上の地域では 7 月のみが最も暑い。

- a. 乾季：流域内では 11 月から翌年の 4 月までが乾季である。この季節、流域上空では強い西風の影響を受ける。単純な乾暖気団の影響で晴れの日が多い。気温は高く風速が速い。蒸発力が強く湿度が低い。降雨量は少ない。この期間の降雨量は年間総降雨量の 12%前後を占める。
- b. 雨季：5 月から 11 月までが雨季である。毎年 5 月インド洋から吹く西南の季節風と南海からの東南の季節風が小江流域に湿った水蒸気を運んでくる。この水蒸気と南下する冷たい空気がぶつかり、大量の雨を降らせ、雨季が始まる。10 月になると西風が徐々に強くなり、東南と西南の季節風が本地区から移動し雨季が終わる。雨季は一般的に 5 月 20 日頃から 10 月 20 日頃までの約 5 ヶ月である。雨季は曇りの日が多く日照時間が少ない。降雨強度が大きい。この期間の降雨量は年間総降雨量の 88%前後を占める。

2-3-2 雨量

(1) 雨量観測所

流域内の雨量観測は、小江の中下流域にある新村、湯丹及び蒋家溝の3ヶ所で実施されており、前2者は気象局に、残りは中国科学院東川泥石流観測研究所に属する。蒋家溝では自記雨量観測所3ヶ所を有し、1980年代からの記録がある。一方、新村及び湯丹点では1956年から観測されている。

また、上流域の尋甸県では県の防洪弁公室により1986年から標高の違う3地点（1,600 m、2,200 m 及び 3,000 m）で観測しているが、連続した記録はない。従って、小江流域全体の水文状況を把握するため、これらの資料を収集・活用すると共に上流の左右の支川流域に最低限各々1ヶ所雨量観測所を設けることが望ましい。

(2) 雨量

流域各地の降雨量は700～1,500 mm程度と、日本と比べて多くはないものの、5月から10月に集中しており、災害の発生もこの時期に集中している。土石流発生時の雨量の特徴としては、状況にもよるが前期降雨：30 mm、10分間雨量：3 mm程度で発生することが多い。

2-3-3 流量

(1) 流量観測所

流域内の流量は、東川区市街地より約15 km下流の小江橋にあった水文観測所（小江水文点）及びその上流の達徳水文点で測定されていたが、現在は実施されていない。これらの観測記録は水利部（北京）にあるとの情報である。小江水文点は東川区湯丹鎮にあり、流域面積2,116 km²、金沙江合流点までの距離42.9 kmである。また、蒋家溝では流域の2断面に3基の超音波水位計が設置されており、かなり精度の高い観測が可能である。一方、上流域の清水海では、1995年から尋甸県の防洪弁公室により降雨（自記雨量計でないが記録は約20年あるとのこと）、蒸発量、湖水位（毎朝8時の量水標の読み）が測定されている。

(2) 流量

小江の流量は年間の変化が大きく、最小流量は4-5月に観測され小江水文点で6.1 m³/s、達徳水文点で2.6 m³/sが、また最大流量は7-8月に発生し小江水文点で531 m³/s、達徳水文点で246 m³/sが実測されている。

小江流域の最大流量の特徴は、本川は少なく支川が大きくなっている。例えば1966年6月の蒋家溝の実測最大流量は2,420 m³/sであったが、これに対応する小江の最大流量は531 m³/sである。一方、1957年の大白泥河では最大流量約1,000 m³/sが実測されたが、これに対応する達徳水文点では246 m³/sとなっている。

(3) 流砂量

1963 年 6 月に小江水文点で実測された洪水時の流砂量の最大値は、 216 kg/m^3 であり、
渇水時の流砂量は殆どゼロに近い値である。1960-1966 年（欠測 1964 年）の同地点の観測
によると平均流砂量は 5 kg/m^3 であり、年間の流出土砂量は約 625 万トン、単位面積当り
では $2,956 \text{ トン/km}^2/\text{年}$ である。小江流域の年間生産土砂量は $4,000 \sim 6,000$ 万トン、その内
金沙江への流出土砂量は 610 万トンと推定されている。

2-3-4 地質・地貌

(1) 地域の地質的背景

1) 地層岩性の概要

小江流域内の地層は完全ではない。前震旦系から第 4 系の断片的なものが出現して
いる。各時代の堆積環境と堆積物の厚さは構造的な影響を受けて変化している。地層
が露出している範囲と面積も同様に構造的な影響を受けている。以下地層の古い順に
述べていく。

- a. 長城系下統（黒山頭グループと黄草嶺グループ）：粘板岩、千枚岩と変砂岩が主であ
る。少量の結晶石灰岩或いは結晶白雲岩が混じる。厚さは $1,415 \text{ m}$ 以上。主に小江
中流域一帯に分布する。露出面積は約 319.2 km^2 、流域面積の 10.5% を占める。
- b. 長城系上統（美党グループと大龍口グループ）：粘板岩、変砂岩、千枚岩、結晶石灰
岩が主である。厚さは 926 m 以上。小江中下流域西側に分布する。露出面積は約
 163.2 km^2 、流域面積の 5.4% を占める。
- c. 薊県系下統（落雪グループと因民グループ）：主に結晶白雲岩、下の部分に粘板岩が
混じる。厚さは 969 m 以上。小江中下流域西側に分布する。露出面積は約 49.9 km^2 、
流域面積の 1.6% を占める。
- d. 薊県系上統（鵝頭廠グループ）：主に粘板岩に結晶石灰岩が混じったものと結晶白雲
岩。厚さは $1,110.0 \text{ m}$ 以上。小江中下流域西側の黄草坪、爛泥坪一帯に分布する。露
出面積は約 38.4 km^2 、流域面積の 1.3% を占める。
- e. 震旦系：上部は砂岩と頁岩、真中は頁岩と粉砂岩と凍磧泥礫岩、下部は白雲岩（河
湖—海陸—海成堆積層）である。厚さは $346 \sim 2,299 \text{ m}$ 。主に小江流域一帯に分布す
る。露出面積は約 221.7 km^2 、流域面積の 7.3% を占める。
- f. 寒武系：主に白雲岩に細砂岩が混じったものと粉砂岩、泥岩。下部は白雲質が多い。
厚さは $565 \sim 1,357 \text{ m}$ 。主に小江流域の中上流域に分布する。露出面積は 312.9 km^2 、
流域面積の 10.3% を占める。
- g. 泥盆系：上部は砂岩、粉砂岩、泥岩と石灰岩で海と陸が交互に堆積した地層で、下
部は白雲岩で海底の盆地の縁が堆積した地層。厚さは $167 \sim 219 \text{ m}$ 、流域内で断片的
に露出している。分布面積は約 93.2 km^2 、流域面積の 3.1% を占める。
- h. 石炭系：主に石灰岩或いは白雲岩雑色頁岩、石英砂岩で海陸交互に堆積した地層で
ある。厚さは $37 \sim 135 \text{ m}$ 。流域内に断片的に分布している。露出面積は約 21.6 km^2 、
流域面積の 0.7% を占める。

i. 二迭系：上統は主に峨眉山玄武岩、上部に砂岩が混じっている粉砂岩と泥岩の陸成火山堆積層。厚さは 600～1,654 m。全流域に分布する。しかし上流に偏っている。露出面積は約 969.4 km²、流域面積の 31.9%を占める。

下統上部は泥質石灰岩と泥質白雲岩で海成低エネルギー帯堆積層。下部は砂岩、粉砂岩と泥岩で、石炭層を挟んだ陸成堆積層。厚さは 317～671 m。流域全体に露出しているが、主に中下流域に分布している。露出面積は約 425.0 km²、流域面積の 14%を占める。

j. 三迭系：主に砂岩、粉砂岩、泥岩に石灰岩が挟まったもの。上部は石炭層を挟んだ海陸が交互に現れる堆積層。厚さは 854～1,491 m。主に太平村溝、功山、冶祖一帯に分布する。露出面積は約 162.3 km²、流域面積の 5.3%を占める。

k. ジュラ系：主に粗砂岩、長石石英砂岩、雑砂岩、粉砂岩及び泥岩。一部にカルシウムとマグネシウムを含有した陸成碎屑の堆積層が見られる。厚さは 1,008 m 以上。主に小江以西の拱王山一帯に分布している。露出面積は約 133.3 km²、流域面積の 4.4%を占める。

l. 第三系：主に粘土岩、粉砂岩、砂岩。上部に褐炭層が混じる。厚さは 324 m 以上。主に金所、天生橋一帯に分布している。露出面積は約 17 km²、流域面積の 0.2%を占める。

m. 第四系：流域内の第四系地層の分布面積は大きくない。しかしその成因が複雑で各時代の堆積特性の違いが顕著である。主に湖の堆積物、沖積物、洪積物等が交互に重なり合い、第四紀各時期におけるそれぞれの特色が見られる。

下更新統の岩性は主に泥礫と湖成粘土が交互に現れたものである。褐炭や丸い礫石が混じり、粘土は腐食質含有量が比較的多い。湖成と凍縁が交互に堆積した地層で普通は盆地の奥底にあるので、地表に完全に現れることはない。見ることのできる厚さは 174 m である。

中更新統は主に沖積物、湖積物、洪積物（土石流）が堆積した地層である。盆地の縁はジグザグになっており、空間上の成分や粒度は異なる。厚さは 50～130 m である。湖成堆積地層は砂粘土に泥、褐炭或いは砂礫、碎石、粉砂が混じったものである。粒度は垂直方向に粗いものと細かいものが交互に現れる。安定しない浅い湖の堆積物であることを表している。洪積岩性は泥礫、碎石等で多周期性をもつ。中更新世に 3～5 回の土石流活動段階があったことを物語っている。

上更新統は主に沖積—洪積地層である。岩性は混雑礫石、砂、粘土である。下部の礫石は摩擦で丸くなっている。局部的に泥炭が存在する。上部の礫石は摩擦がない。カルシウムと鉄が互いに半分のところで接合し、細長い帯のような状態で分布している。その厚さは 20～120 m である。

全新統は主に土石流相と河床相が堆積した地層である。河相洪積相である小江両側の高い河原は多層または二元構造になっている。土石流相は大きな溪流の壮大な洪積扇状地となって現れ、下部の古い土石流堆積物は風化により粘土質の含量が多くなっている。上部の新しい土石流堆積物との境界がはっきりしている。

2) 地域の地質構造

小江流域は四川雲南の南北方向の構造帯と新華夏北北東方向の構造帯が互いに移行していく区域に位置する。晋寧期から澄江、加里東、華力西、燕山、喜山期にかけて異なる地質応力を度々受けたことが本区域の構造を複雑にした。南北方向と北北東方向が主に発達し、その次が東西方向、北東方向の構造ラインで、縦横が入り混じった組み合わせになっている。小江断層と普渡河断層以西にあるのが康滇古陸である。長い時間をかけて発達した大型線状隆起で帽子岩は全然發育していない。マグマの活動と断層の活動は顕著な多周期性を示している。この二つの活動は互いに関係し、互いに制約しあっている。小江断層以東にあるのは滇黔川鄂(雲南、貴州、四川、湖北)台坳(台地と平地)である。早期の大規模隆起と大規模平地でくぼみが多く線状に分布している。帽子岩が發育しており、普通 5,000 m 以上の厚さがある。帽子岩には燕山活動による全体的な激しい褶曲と断裂が見られ、これが小江流域の構造を複雑にしている。激しい構造運動が流域内の地層を完全には露出させておらず、オルドビス系、シルリア系、自垩系が欠けており、露出している地層は厚さも岩性も空間的な違いがある。

小江断層は本区域の主構造線で 1~7 本の断層から構成される。破碎帯の幅は最大 20 km で顕著な影響力をもつ長期活動断層である。早くも原生代に小江の断層は形成され、古生代と中生代までずっと本地区の重要な古い地理の境界であり岩相の変化帯であった。断層の北側区間は小江及び金沙江で、巧家、寧南を経てさらに北に延びている。断層両側の岩石はかなり強く押し出され、幅数百メートルの碎粉岩を形成し、圧碎岩が糜棱岩帯になっている。破裂帯の幅は約 1,000~7,000 m、カルシウム質でつながっている。断面は東に約 55° 傾いている。断裂は南方向の泥得坪からふたつに分かれる。西側は烏龍河断層で主に圧がかかっているが、ねじれも併せ持つ。見ることのできる碎破帯の幅は約 100~150 m、断面は東にかなり傾いている。距離は約 2,000 m である。東側の大白河断層は数本の断層から成っている。糜棱岩、碎粉岩の幅は約 100~500 m である。圧力型構造を示しており、小江主断層であると思われる。東と西の断層は華寧付近で合流した後、さらに南へ延びて建水北部地区に達する。全長約 300 km である。この断層は総延長が長く、各区間や場所の地質構造の位置も異なるため、断層の状態や現れ方も異なる。力学的に分析すると、南北方向のねじれと東西方向の押し出す力是一緒に作用し、北東方向の華夏系構造を形成する。東西方向の側面圧力が徐々に大きくなるため、構造線は北に偏り北北東方向の新華夏系構造を形成する。小江断層付近では応力が放出され、東西の相違が形成される。

3) 新構造運動

小江流域の新構造運動は強烈で、以下のように現れる。

- a. 区域隆起：小江流域は雲貴高原の一部に属す。新村東側の牯牛山の標高は 4,017 m、小江西側の主な山々も標高 4,000 m 以上、一番高い山で標高 4,244 m である。東西方向の隆起帯を呈している。その周囲は徐々に 3,000~2,000 m に移行していく。このように大規模な隆起は第三紀末期からの喜山運動の強烈な影響を受けたためである。地形のコントラストは強烈で高い山や険しい峰と V 字型の峡谷はまさに凄まじい隆

起を反映している。小江の河谷とその支流は深く切断されている。段丘は発達していない。小江両側の高い山は標高が 4,000~4,200 m であるが、現在の河川浸食基準面は 1,100 m で両者の差は 3,000 m である。これからも分かるように本地区の隆起の程度は驚異的である。断裂の垂直方向の活動の違いにより壮大な山の隆起と盆地のくぼみを形成する。新村一帯の小江の河床は、この 30 年間で洪積物の厚さが 200~300 m に達した。新地層の露出は高さにより異なるが、烏龍河一帯は第三紀末期の褐炭粘土が下流よりも逆に 300~500 m 低い。これは本地区の隆起が激しいことを物語っている。

- b. 断層盆地の発育：小江流域の盆地の広がりと延びる方向は構造線と一致しており、すべてが活動断層の付近に位置する。主に新村盆地、烏龍盆地、金源盆地、功山盆地等。これら断層盆地は第三紀末期から第四紀の堆積物が発育しており、その厚さは約 720 m である。断層の沈降速度がこのように速いのは、第三紀末期以降の新構造運動の幅がとて大きかったことを物語っている。金源盆地、新村盆地等盆地はすべて非対称の地形である。東側は扇状地が重なり合っているが西側は発育していない。しかも局部的に斜めに持ち上がっているところがある。すなわちこれは盆地内の昇降差と幅が均一でないということである。例えば新村盆地の両端は捲れ上がっているが中間部は沈下している。相対高度差は約 5,000 m である。盆地は局部的に斜めに持ち上がっているため、木樹榔—新村—玉碑地—葫芦田から小江に入る大白河を大脳包付近から小江へ合流するように河道改修した。同時に玉碑地—乱草街の水流は北から南に流れ板河口付近で曲がって大白河へ入るが、小江とその支流の流れとは全然調和がとれていない。このような沈降幅の違いは本地区の新構造運動が不均一であることを表している。
- c. 高原面の解体：喜山運動の強烈な上昇に伴い、滇東地区中更新世で形成された準平原夷平面も隆起して高原面となった。しかし小江断層の新構造運動の影響によって両側に破断した準平原は、上昇の過程で破断帯の分割により上昇速度と幅が一致しなくなった。従って準平原は分離、解体され、西から東に逡巡した。小江の東西両側の最高級夷平面（東は 4,000~4,200 m、西は 3,800~4,000 m）の高度差は 200 m である。このように西から東へ上昇する幅が小さくなる現象は中国西南地区における全体的な解体の形勢と一致し今も継続している。小江の西側は上昇し東側は下降しており、垂直方向の差は毎年 10 mm 以上になる。これは新構造運動による高原面の解体が未だに続いていることを示している。
- d. 頻繁な地震活動：小江流域は重力負異常区である。東川、崇明、宜良に沿ったラインは滇東重力梯線帯で南北の細長い塹壕型の大きな深い断層である。この断層はそれぞれの地質構造期における活動が強烈であっただけでなく、最近でも中国における大地震発生地帯のひとつである。その原因は；①本地区は地質構造が極めて複雑で脆弱なところに位置している、②本地区は川滇菱形地形の辺縁で、南南東に移動する際は小江流域構造線の曲がった部分に位置するため断層はなかなか蠕動できないため地殻の応力が集中しひずみでエネルギーが蓄えられる、③普段は中程度の強度の地震と弱震が比較的少なく地殻内に蓄えられたエネルギーをなかなか放出できない。以上三つが小江流域で強い地震が発生する地質的背景である。小江地震統計

(表 2-3-4-1) から見ると、小江流域の地震は強震が多く頻度が高い、震源は浅く破壊力が強い、中・弱震が少ないという特徴を持つ。さらに近年地震が極めて頻繁に発生しているため、新しい活動期を迎える可能性がある。

表 2-3-4-1 小江地震統計

年・月・日	北緯 (°)	東経(°)	震度	年・月・日	北緯 (°)	東経(°)	震度
1620	鳥鞍山付近	2,253 m	5.0	1976・10・14	東川	一帯	2.7
1713	鳥鞍山付近	2,253 m	6.3	1976・10・19	東川	一帯	2.8
1933・08・02	東川	一帯	7.5	1977・04・07	東川	一帯	3.1
1936	小江口	付近	5.5	1977・04・27	東川	一帯	2.7
1966・02・05	26.2	103.2	6.5	1977・04・27	東川	一帯	3.2
1966・02・06	26.3	103.2	4.9	1977・06・19	26.1	103.2	4.0
1966・02・13	26.1	103.1	6.2	1977・06・28	東川	一帯	2.6
1966・02・18	26.1	103.2	5.0	1977・08・26	東川	一帯	2.5
1967・04・24	26.2	103.2	4.0	1977・12・18	26.1	106.3	3.0
1968・01・14	26.2	103.1	3.5	1978・06	東川	一帯	2.5
1968・01・19	26.2	103.1	3.7	1978・07・20	東川	一帯	2.5
1968・08・23	26.4	103.2	3.8	1978・09・14	26.1	103.0	4.1
1972・02・06	東川	一帯	2.7	1978・09・15	東川	一帯	2.6
1972・06・02	東川	一帯	2.5	1978・09・16	東川	一帯	2.5
1974・09・28	東川	一帯	2.9	1978・12・30	東川	一帯	2.5
1975・04・22	26.0	103.0	2.8				

註：出典—資料 6—37 p

- e. 多級浸食面の發育：新構造運動は隆起の過程で段階性と間欠性をもつ。主に多級浸食面の發育に現れる。小江流域では5級の浸食面が發育している。1級浸食面は標高 3,400～4,000 m、2級浸食面は標高 2,700～2,900 m、3級浸食面は標高 2,200～2,500 m、4級浸食面は標高 1,800～2,000 m、5級浸食面は標高 1,500～1,700 m。5級浸食面の形成が小江両側の山の斜面を階段状の形態にしている。
- f. 第四紀構造の形跡：盆地に堆積する第四系は本来新構造の産物である。しかしながらこの堆積物の中に末期に応力を受けた形跡が遍く見受けられる。例えば新村盆地の第四系角礫岩に西北方向の第四紀断層が 2～10 m 走っている。平面上では雁が左旋回しているように配列している。広がりを持ち、地層を斜めに傾けている。その角度は 50° にも達する。新村小海子でも似たような状況が見られる。

4) 地質的背景と土石流の分布、形成及び発展

- a. 岩性の違いと土石流の分布：岩石は土石流形成のための物質である。岩性と土石流の規模、性質、堆積特性、土石流形成の確率との間には相関関係がある。小江流域に露出した岩石のタイプと分布及び土石流の発展の現状に基づいて以下の通り分類した；

＊ 変質碎屑岩類：岩性は粘板岩、千枚岩。主に小江の中下流域に分布している。岩石は構造運動の影響を受けてきたため二次褶曲と破断が極めてよく發育している。抗風化力が極めて弱く、比較的厚い風化碎裂岩屑を形成している。粘粒含有量が多く保水性与可塑性に優れている。土石流の形成に良好な物質を提供している。一定の地形と降雨条件の下で土石流を形成する可能性が大きい。従ってこのタイ



プの岩石が露出している区域では、土石流の発生頻度が高く規模も大きい。密度の高い粘性土石流危険溪流が分布する区域である。大白泥溝、小白泥溝、蒋家溝、豆腐村溝、幸福村溝等、毎年数回から数十回土石流が発生している。小江を閉塞する土石流は全流域の 90% を占める。土石流危険溪

流の分布密度は 5 本/km。土石流危険溪流の流域面積は岩石露出面積の 89.7% を占める。小江流域で土石流を形成する主要な岩石である。

写真－9：蒋家溝隣接溪流の土石流

＊ 碎屑岩類：岩性は砂岩、粉砂岩、頁岩、泥岩及び石炭を含む地層である。主に小江上流域と下流域に分布している。形は比較的整っており、一定の抗風化力をもつ。しかし大量の軟弱層（頁岩、泥岩及び石炭を含む地層）が中間に挟まっており、特に構造付近の岩石が破壊されるため岩石の可塑性が増す。土石流の發育類型と分布及び岩石の岩性、露出形態の関係は大きい。碎屑岩は構造型と単面山型に分けることができる。

構造型岩石は状態の変化が大きくばらばらでまとまりがない。加えて構造の影響を受けているため地質は良くない。しかしその範囲は限定的で崩壊地がさらに大きくなる可能性は小さい。さらさらした土砂の備蓄量はそう多くないため土石流発生頻度は低い。黒沙溝、達徳溝、銅廠箐溝等は中小規模の粘性—稀釈性土石流危険溪流である。やわらかい土砂がどんどん減少し徐々に老化して稀釈性—洪水危険溪流となる。許家溝、桃家小河等。

単面山型岩石の状態は緩やかで構造の影響を余り受けていない。従って、纏りがある。険しい地形もあるが、谷型の土石流危険溪流は少ない。風化や浸食により岩が崩れ、至るところで斜面型土石流危険溪流群が發育している。小江下流の東側では分布密度が約 21 本/km である。小規模堆積錘（堆積量 5,000 m³ 以下）が次々とつながり、斜面型土石流危険溪流地帯となっている。

＊ 玄武岩類：岩石は二迭紀の玄武岩である。岩石は硬く柱状の節理が發育している。

構造の影響の下、破碎後の玄武岩は抗風化力が弱く風化層は 20 m にも達する。崩壊や地滑りが極めて発生しやすい。急勾配の地形では直接土石流の形成に参与する。例えば尼拉姑溝、拖沓溝、老干溝等。斜面が緩やかな地形（小江源流高山面地区）では激しい斜面浸食を引き起こし、大量の岩屑が溪流に集まり河床質となる。土石流危険溪流の流域面積はこのタイプの岩石露出面積の 21% を占める。

- * 炭酸塩岩類：岩性は石灰岩及び白雲岩。主に中流域に分布する。岩石は変質後再結晶現象が起きる。岩石の構造は緻密で硬い。比較的まとまりがある。抗風化力、抗浸食力が強い。一般的に土石流危険溪流は發育していない。多くはきれいな水或いは洪水危険溪流である。例えば普岔河、中廠河である。変質していない炭酸塩岩はとても脆く極めて破碎しやすい。構造の影響下で地すべりや崩壊がある。しかしこのタイプの岩石は粘土の含有量が極めて少なく、水石流や石の混じった洪水を発生させることが多い。紅砂溝等。炭酸塩岩に碎屑岩が混じっている地区も稀釈性土石流危険溪流が發育している。小石洞溝、小海河等。

- b. 構造の形跡及び土石流の形成と發展：小江流域は構造が複雑で地殻の応力が強く、その作用を受ける時間が長い上に、新構造運動の強烈な構造帯付近に位置するため土石流危険溪流が極めてよく發育している。土石流危険溪流は流域全体に見られ発生頻度が高く規模も大きいので、この流域は有名な土石流地区として知られている。

断層とその他構造が重なる部分或いは断層自身の性質により折れ曲がった場所は、土石流活動がさらに活発な区域である。この区域内のこれら土石流危険溪流群は、発生頻度が高く規模も大きい幾つかの土石流危険溪流から成る。大白泥溝、達德溝、黒水河等から成る土石流危険溪流群と小海河－蒋家溝区間の土石流危険溪流がそうである。東側の断層を小江の主断層としているため土石流危険溪流は 2 つの断層より發育している。

地質構造は土石流の形成を制御している。構造の形跡が一樣でないため發育した土石流危険溪流の固体備蓄量や補給方法、土石流の性質に大きな影響を与えている。小江流域の構造形成は以下の通りである；

- * 下り斜面方向の断層：開放型の断層は下の地盤が上昇する際の塊が大きく応力は分散する。上の地盤が下降する際は基本的に重力方向と一致する。従って岩石の破壊力は比較的小さい。不良地質体を大規模形成することはない。その後の複合過程においても不良地質体をさらに拡大する可能性は少ない。圧力型断層の場合、下の地盤が上昇する際の強い推力が付近に二次亀裂を生じさせる。さらに上の地盤の斜面はすべて地表で応力が分散しにくい。一定規模の不良地質体を形成する可能性が十分ある。地滑り面と断層面が一体となった後、断層の復活過程において二次亀裂が大きくなり、地滑り面を徐々にうしろに延ばしていき、不良地質体の規模を拡大し、土石流の活動期を延ばす。開放型断層は銅廠箐溝、圧力型断層は大白泥溝、小白泥溝等。
- * 上り斜面方向の断層：下の地盤の岩石基礎は外界の条件がよく応力の分散がしやすい。運動中の岩体の破壊力も弱く一定規模の不良地質体を形成しにくい。しかし、上の部分は上下の地盤が運動する際不安定になり、小さい規模の地滑りや下り斜面に沿った崩壊を起こす可能性がある。後期の運動の影響下でその規模はあ

る程度大きくなる。但し、すでに形成された土石流に対して大きな作用を及ぼすことはできない。達徳溝の南斜面がそうであるが、上り斜面方向の断層の作用は長期的には河床質の集積に大きな影響を及ぼす。

＊ 斜めに上った部位と転換点：向斜は力がかかって変形する過程で応力が弧を描いて下に向くため、応力の伝達と分散に有利に働く。従って、軸の部分は二次構造が発生しにくく抗浸食力をもつ向斜山或いは向斜斜面となる。しかし、中心部で転換や両端が持ち上がるなどして力学的性質が変化し、応力が集中することで両翼の岩石を破壊する力が増す。外部からの力により、一定規模の不良地質体ができ、土石流の形成に必要な大量の固形物を提供する。太平村溝、豆腐村溝等。

＊ 新構造運動：小江流域の新構造運動の段階性は土石流の活動周期に制約を与える。固体物質は土石流形成の基礎である。新構造運動の各段階において、多くの不良地質体が發育し増加した。それに伴って土石流が頻繁に発生するようになり土石流の活発な活動段階となった。近年の状況をみると、地震が頻繁に発生し隆起が激しく土石流が頻発している。これは小江流域の土石流の活動期がさらに活発になっていることを示している。

(2) 水文と地質の概況

小江は金沙江の一級支流である。南から北へ流れて金沙江と合流する。流域内の支流は發育しており、溪流の多くは地下水源からの通年流出であるが、いくつかの溪流は季節性流出である。

1) 地下水の類型

流域内の地下水は主に中流、上流、源流に分布している。下流は比較的少ない。地下水の類型は以下のとおり分類される；

- a. 間隙水：谷間の第四紀堆積層から生じる。堆積層にはたくさんの礫石が含まれ構造が緩く賦水性に欠ける。
- b. 裂隙水：岩層中の節理と裂隙の發育程度によって含有量が決まる。流域内で裂隙水となる構造は北東 $10\sim 20^\circ$ が主である。裂隙水は主に砂岩、粉砂岩、頁岩、玄武岩中に存在する。地形と構造の違いによって含水性も大きく変化する。
- c. カルスト水：地質や地形によって決まる。地表水の排泄能力が強い。可溶性炭酸塩岩が帯状或いは断片的に分布している。可溶性岩の片側或いは走行方向に沿った小規模な鍾乳洞で發育する。密度は $2\sim 3/\text{km}^3$ 、カルスト率は $2.8\sim 8.8\%$ 。断層付近では構造の影響を受けカルストが發達しており、大量のカルスト水を湛えている。

2) 地下水の化学特性

- a. 地下水の化学特性：流域内の地下水の化学成分は地層岩性、地形、構造及び地下水の循環条件と関係がある。地下水は主にカルスト水と裂隙水、その次が間隙水である。一般的に流出ルートは短く、激しく循環している。水質は良好で無色、無味、無臭、透明である。化学類型は簡単で $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 、 HCO_3-Ca 型が主である。次が $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{K}+\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3-\text{Na}\cdot\text{Ca}$ 型の水である。鉱物度は一般的に

0.1～0.3g/l、総硬度は 5～15 ドイツ度、pH は多くが 6.5～7.5 の間で中性に属す。水の化学成分は空間上でははっきりした変化の法則は見られないが、一部区間の浅層地下水は人為的な影響を受けているため科学類型が複雑である。

表 2-3-4-2 地表水の化学分析（土石流支川）

支川名	分析項目									pH	ドイツ硬度
	K ⁺ +Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻⁻	CO ₃ ⁻⁻	CO ² 浮	CO ² 侵		
達徳溝	83.9	44.1	8.5	7.1		375.7	5.8	8.1		8.2	8.1
黒水河		46.1	12.1	7.1		164.1		8.1		8.0	9.3
黒沙溝		178.4	91.2	7.1		223.1		16.3		7.8	46.0
深 溝	7.5	66.1	28.6	10.7		346.3		13.8		7.9	15.8
尼拉姑溝		38.1	18.2	7.1		191.7		7.4		7.8	6.9
石羊溝	2.2	26.1	18.2	7.1		164.4		4.1		8.6	7.9
小海河		35.1	29.2	7.1		205.5		8.1		8.2	11.6
田堰干溝		37.1	17.6	10.7		152.6		8.1		8.4	9.3
小白泥溝	1.5	2.1	5.0	0.3	3.9	1.2	3.1	1.0		8.2	19.0
拖沓溝	1.2	1.9	0.6	0.3	0.8	1.0	1.5			8.2	6.7
許家小河		56.1	38.9	7.1		258.3		16.1		8.1	16.8
桃家小河		56.1	34.0	90.2	7.1	228.9		8.1		8.3	15.8
大白泥溝		10.8	7.6	0.4	7.9	0.4	2.4			8.0	48.7
小 江	8.8	26.9	22.8	4.1	33.0	176.0		3.0	2.6	7.8	28.8
銅廠箐溝	0.1	1.7	0.9	0.2		0.5	2.1			8.3	6.7

- b. 地表水の化学特性：流域内の流出水はその多くが地下水の影響を受けている。全体的な傾向としては不良地質体の発育程度と関係している。大白泥溝、小白泥溝、黒沙溝等は大規模な地すべりが起きているが、流出水はやわらかい地層に流れた時、大量の Ca と Mg を溶かすため流出水の硬度は高くなり、ドイツ硬度 16.8 以上になる。その他溪流の流出水の加水分解作用は比較的弱く、ドイツ硬度 4.2～16.8 の間である。流出水の化学類型は主に重炭酸カルシウムマグネシウム型（HCO₃-Ca-Mg）である。その次が重炭酸カルシウムマグネシウムカリウムナトリウム型（HCO₃-Ca-Mg-K+Na）と塩化物炭酸カルシウムマグネシウム型（Cl-CO₃-Ca-Mg）である。pH は 6～8 の間である。それぞれ弱酸性、中性、弱アルカリ性を示している。鉱物度は 1g/l 以下である。少量の侵食性 CO²を含有している。硬度はドイツ硬度 25 以下である（表 2-3-4-2 参照）。東川市環境保護ステーションでの水のサンプリング結果によると、COD は規定を超えている。大白河姑海は一級汚染、革勒坪子区間は三級汚染、それ以外は二級汚染であった。

2-3-5 自然環境（東川区）

（1）植生

小江流域の自然植生は標高別に大きく以下の3植生帯に分けることができる；

- a. 燥熱河谷植生帯：降雨の少ない標高 1,600 m 以下の谷部に分布し、草原が主要な植生で、表土層が厚いところでは灌木が自生する。水分条件の良いところでは、桐の混合林もみられる。他にリュウゼツランやウチワサボテンなどの多肉植物も見られる。

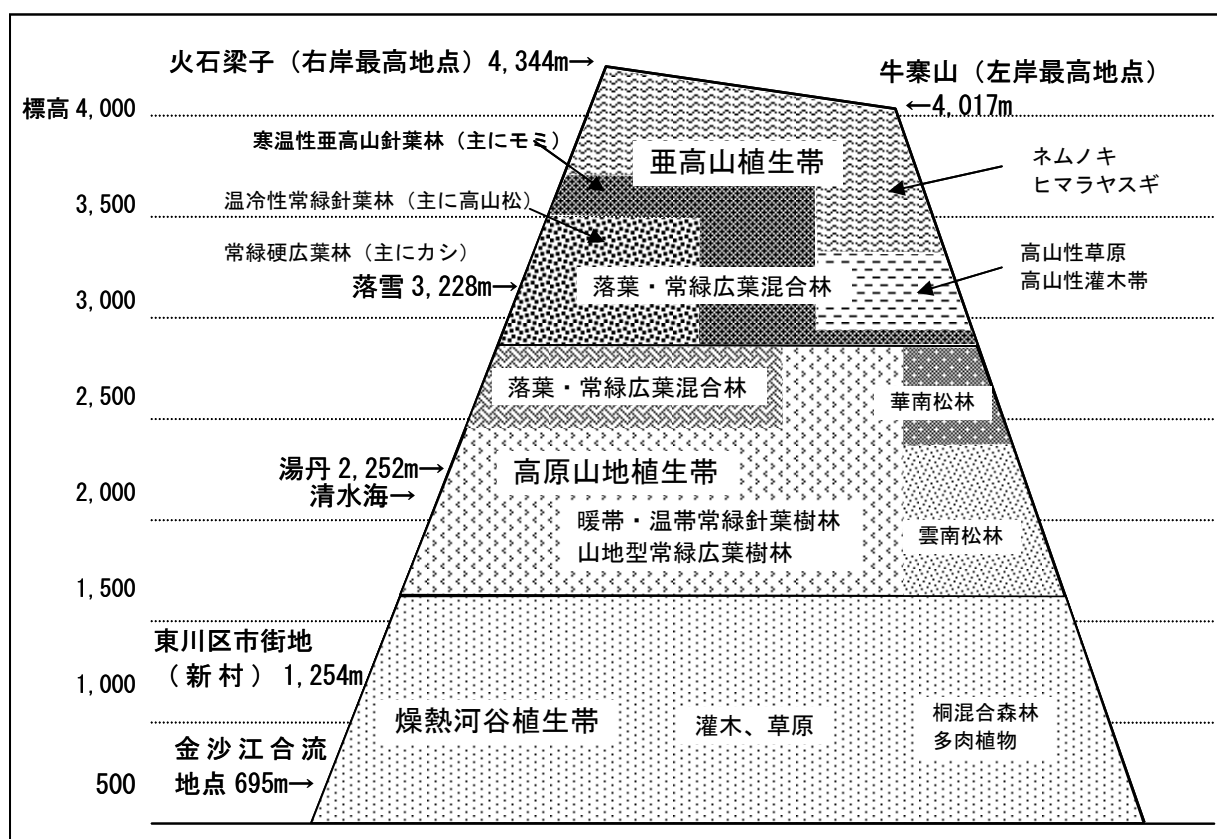


図 2-3-5-1 小江流域の代表的自然植生垂直分布

- b. 高原山地植生帯：標高 1,600~2,800 m の高原地帯に分布し、植物種が多く群落は複雑である。暖帯・温帯常緑針葉樹林と山地型常緑広葉樹林代表的な植生である。上部では落葉・常緑広葉混合林がみられる。雲南松・華山松の分布域が比較的広い。
- c. 亜高山植生帯：標高 2,800~4,300 m の山岳地に分布し、針葉樹・広葉樹の混合林が主要植生である。2,800~3,700 m ではモミが優先する寒温性亜高山針葉林、2,800~3,500 m では高山松が優先する温冷性常緑針葉林とカシが優先する常緑硬広葉林がみられる。また、2,900~3,300 m では高山性草原や灌木帯、3,300 m 以上ではネムノキやヒマラヤスギの群落も存在する。

現在では長年に渡る銅精錬事業に伴う森林伐採により森林植生は殆ど残されておらず、東川区の森林被覆率は 6%程度で雲南省全体の森林被覆率よりも 8 ポイント低く、灌木・疎林地帯を含めた植生被覆率でも 16%しかない。小江全流域においても植生被覆率は 10

数%である。

東川区内で確認されている樹木は、喬木 263 種、灌木 361 種、つる植物 33 種である。草本について詳しい調査結果はないが、有用草本種として飼料用草本植物 267 種、薬用草本植物 668 種が確認されている。

（２）動物

東川区内に生息する哺乳類は、ムンチャク（キョン）、アナグマ、タヌキ、キツネなど 30 種余りが確認されている。小型草食哺乳類が主で、ヒョウやオオカミといった大型肉食哺乳類は森林減少に伴い絶滅したと考えられている。野生動物は区西部の森林地帯が主な生息地で、バーラル（岩羊）、キバノロ（獐）、ジャコウジカ、オオジャコウネコ、センザンコウといった中国二級保護動物も確認されている。

鳥類は、雀、山鳥、錦鶏、鷹類など 100 種余りが確認され、生息種の中にはヒオドシジュケイ、ギンケイ、オオノスリ、アカハヤブサ、ミサゴなどの国家二級保護動物種の 10 種が含まれている。また、小江流域に生息する魚類については、生息環境が厳しいため量的に少なく、コイ科を中心に 15 種が確認されている。

（３）保護区

小江流域に存在する保護区（植林後の森林管理保護区、封山育林区を除く）は、流域西側、小清河上流部に位置する轎子山保護区だけである。轎子山保護区の概要は以下の通り；

類型：自然保護区（国家 4 級） 面積：137 km²

保護対象：森林生態系 管理機関：林業局

2－3－6 環境問題

（１）森林破壊

歴史資料によると、小江流域は唐の時代（618~907 年）から銅を採掘し、精錬していたと記載されている。この唐の時代、東川銅鉞山ではまだ樹木が密集した空が見えないような環境の中にあったとされている。銅の採掘が進むにつれて、炭を燃やして銅を精錬するために森林が伐採され、森林面積は減少していった。資料によると、50 kg の銅を精錬するために、500 kg の木炭が必要とされる。清の乾隆帝年間（1735~96 年）には銅精錬の最盛期を迎え、銅の年間最高生産量は 800 万 kg、木炭消費量は 8,000 万 kg であった。この数字から計算すると、毎年約 10 km² の森林を伐採することになる。解放前後（1949 年）には東川区一帯の森林はすべて伐採し尽され、現在に至っている。現在の東川区の森林被覆率は 6%程度である。

失われた森林を回復させるために水利庁や林業局では、植林事業を始め、入山や放牧を禁止した封山育林地区の設置、傾斜 25 度以上の耕作を禁止し、森林へ転換する退耕還林事業を積極的に進めている。

(2) 鉱業開発による水質汚染

鉱業廃水の水処理施設は 1960 年代から整備され始め、現在では鋼務局所属の 4 鉱山の廃水は一定の処理を経て放流されている。1985 年の東川区の鉱工業・医療廃水量は 726.56 万トンで、その内鉱業廃水は 479 万トンであった。1990 年では、鉱工業・医療廃水量は 1,023.75 万トンで、その内鉱業廃水量は 482.5 万トン（254.8 万トンは金沙江へ流入、227.7 万トンは小江へ流入）であった。小江の水質分析結果を表 2-3-6-1 に示す。尚、小江水中の銅濃度としては 1983 年に格勒坪子で最高値 0.628mg/l（中国および日本の飲料水基準は 1mg/l）が記録されている。

表 2-3-6-1 大白河－小江水質分析結果

採水 地点	分析項目							単位 : mg/l (pH を除く)
	総 Cr	六価 Cr	水銀	COD	NO3-N	NO2-N	NH4-N	
姑海	0.021	-	0.00019	2.0	3.3	0.084	0.048	6
板河口	0.033	0.004	0.0004	4.0	2.9	0.22	0.072	6
西牛山	0.050	0.005	0.00017	4.5	0.74	0.11	-	6
革勒坪子	0.039	0.01	0.00015	5.5	4.1	0.15	-	6

出典：西部山区河灘地開発と保護計画研究－昆明市東川区小江河谷例－（2002）

2－4 土砂災害

2－4－1 土砂災害の背景

(1) 土石流発生時の気象条件

気象の要素は、温度、風、降雨等があるが、土石流の発生に最も影響を与えるものは降雨である。小江流域の土石流は雨季が始まると発生し、雨季が終わると収束する。

1) 集中豪雨

小江流域の降雨量は雨期に集中しており、特に 6-8 月が多く、この 3 ヶ月間は暴風雨が頻発し、年降雨量の半分以上を占める。そのため小江河岸の土石流もこの 3 ヶ月間に集中して発生する。通年泥石流の発生する蒋家溝は、その 70%がこの期間に発生する。また、1984 年 5 月東川鉱山区における土石流は、この局地的な豪雨が引き起こしたものである。

2) 多雨区

小江流域では、降雨量は高度に比例する傾向があり、標高 1,300 m 以下の新村付近は小雨区である。標高 2,400 m 以上は多雨区に分類され、特に 2,500～3,300 m の間は何度か豪雨が発生、土石流危険渓流形成区に位置しているため、土石流の形成に十分な雨を供給し、土石流の発生を加速している。

3) 局地性雷雨

雷を伴うにわか雨は季節風気候の特徴である。地勢や地形の影響を受け、短い時間

内で局地的な豪雨を降らせる。この土砂降りの雨が小江流域で災害型土石流を引き起こす主な要因である。1984 年 5 月に発生した因民溝の土石流は、雷を伴う局地的な強い雨が引き起こしたものである。頻繁に発生する蒋家溝の土石流のうち、雷を伴う強い雨により発生した土石流は、土石流発生総数の 60%以上を占める。

4) 夜間の雨

夜間に降る雨は東川区の重要な降雨特性である。東川区では夜間に土石流が発生することが多く、人々が熟睡している時間帯なので、往々にして被害が大きくなる。土石流活動区で生活している人々は、雨季に入ったら夜間に発生する土石流を警戒すべきである。

(2) 高度区分

標高 1,300 m 以下の亜熱帯半乾燥河谷区は、小江沿岸の土石流危険溪流の堆積区で土石流災害による被害が最も深刻な区域である。標高 1,300~2,300 m に位置する温暖帯半湿潤中山区は、小江河岸土石流危険溪流の固形物補給区であり、土石流流動区でもある。標高 2,300~3,300 m に位置する寒温帯湿潤高山区は、小江沿岸土石流危険溪流形成区である。標高 3,300 m 以上は基本的にきれいな水が流れる区域である。

(3) 地質条件

1) 断層

小江の土石流危険溪流は、主に活動している小江の断層沿にある。古い土石流の跡を分析しても或いは現在の土石流活動の特徴から見ても、小江の断層は小江の土石流の形成に影響を及ぼしている。これらの断層は震旦紀以前にすでに形成され、晋寧運動以降長い間ずっと活動状態にあり、本地区の主要構造帯を支配している。

小江の断層は、北は巧家（北に向かって四川省に入る）から南は小江中流の小清河付近まで延びている。東と西に分かれており、西の断層は小清河西岸に沿って烏龍盆地、車湖、崇明、楊林、宜良の陽宗海を経て南に伸びている。東の断層は河家堡（老蒋家溝一帯）、緑茂塘に沿って、新村（東川市所在地）、尋甸、小新街を経て、さらに南の宜良の陽宗海一帯まで延びた後、徐々に消滅していく。この深い断層は垂直方向に振動するだけでなく、水平方向への揺れも顕著である。このため構造帯内部の断層が交差して褶曲が発生し、岩石層が古く風化しているため、岩石が脆く崩れやすい。

断層の両側には、比較的多くの第 4 紀堆積物がある他、原生界の昆陽群黒色、灰色、紫色粘板岩、千枚岩、震旦系石灰岩及び二疊系石灰岩と砂質頁岩がある。地層が古く、節理の割れ目が发育しているため、粘板岩、千枚岩、頁岩等地質が軟弱で侵食に弱く、風化し易く崩れてぼろぼろなる。これが土石流形成のための豊富で軟らかい固形物となる。

2) 新構造運動と地震活動

新構造運動と強烈な地震活動が本地区の地質上の顕著な特徴である。小江断層の新構造運動は活発だけでなく、顕著な継承性を有しており、特に地域的な隆起、局部

的な捲れ、古い断層の復活及び高原面の分解等となって現れている。小江は深く切断された構造を持つ典型的な河谷である。河谷兩岸の地形は険しく、地面の高さの差が非常に大きい。小江右岸の最高峰である牯牛嶺の標高は 4,016 m、左岸最高峰の緊風口の標高は 4,144 m、東川区付近の小江の河床は標高が約 1,100 m、相対高度差は 3,000 m にも及ぶ。兩岸の溪流は比較的大きな勾配で小江と合流するため、土石流の活動に有利な地形となっている。河に沿った兩岸には山頂から河谷まで階段状に下降した平地や段丘がある。(段丘は連続しておらず、いくつかの大きな支流の出口、例えば大橋河、蒋家溝、深溝、小海河等に 2 級から 3 級の古い段丘が残っている)。新村盆地一帯の第 4 紀堆積層の厚さは約 600 m で、その上に幾層かの洪水による扇状地(土石流扇状地を含む)が重なっている。これは本地区の新構造運動が活発な証拠である。

雲南省は地震の多い地域で、21 世紀に入り中国大陆で震度 5 以上の地震が発生しているが、その内半分は雲南省で起きている。小江の断層は強烈な地震帯を構成しており、歴史資料によると約 100 年毎に大地震(1733 年、1833 年、1966 年、マグニチュード 6 以上の地震)が発生している。小さな地震は殆ど毎年発生している。新構造運動は山を持ち上げ、河谷を削り、地震は直接山体の安定を破壊し、岩石の強度を弱め、

固形物の供給源を増やしている。特にマグニチュード 6 以上の強い地震は、岩石の節理を広げるだけでなく、山全体に巨大な割れ目を生じさせ、地滑り、崩壊、山崩れなどの地質現象の活動を激化させる。地震は間接的にも直接的にも土石流の形成に必要な大量の固形物を提供しており、それが豪雨によって流されて土石流となる。強い地震の後、往々にして土石流の規模が大きくなり、発生頻度が増加する。従って、地震観測により、土石流の発展動向を分析することが重要である。

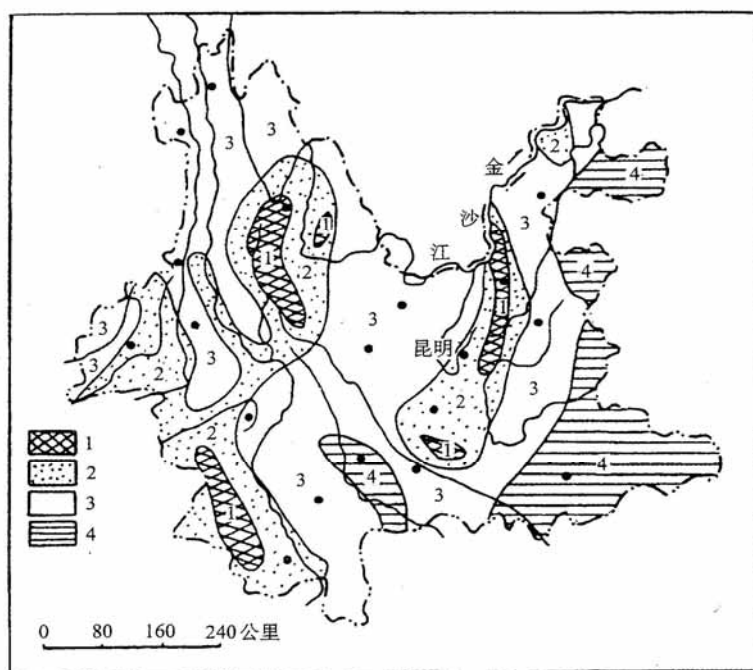


図 2-4-1 雲南省・地震による地すべり、土石流の発生の危険区域 (凡例: 区分 1、2 は発生頻度の非常に高い区域、3 は多発区域、4 は僅かに発生する区域。雲南省では小江流域、大理周辺、景洪付近の瀾滄江流域が区分 1 に該当する。出典: 資料 5-153p)。

(4) 人類活動の影響

小江土石流の形成過程には地質的な長い歴史がある。古い土石流跡から判断すると、早くも第四紀の中更新世には小江兩岸の一部の溪流に土石流が発生している。土石流は特定の地質構造のもとで、各種自然要素(物質、地形、水源)と総合的に作用しあって出来たものである。これが所謂「自然土石流」と呼ばれるものである。

しかし、人類社会が出現してから人々の経済活動範囲が山間部にまで広がり、過度の開墾、伐採、放牧、不合理な工事、掘削、爆破などを行い、地表構造を破壊し、山間部の環境の悪化を招いた。このことが土石流の活動を激化させた原因である。人類が活動してきた結果、すでに休止または衰退していた昔の土石流危険渓流が新たに復活しただけでなく、今まで土石流の活動が見られなかった清水溝でも土石流の活動が見られるようになった。これが所謂「人為的土石流」である。

小江流域の土石流はそれら両方を兼ね備えている。東川地区ではここ数百年来、土石流の活動は激化し、被害状況はさらに深刻になってきているが、これは固有の地質―地貌環境が作用しているだけでなく、人類の経済活動が拡大し強まってきたこともその要因の一つである。

小江流域は唐の時代から銅を採掘・精錬し、歴代の「銅政」、「商銅」は現地の自然を略奪するかのように採掘した。森林を伐採し、炭を燃やし、銅を精錬することが山の環境を

破壊することとなったが、当時は広く行われていた社会経済活動であった。歴史資料によると、当時東川の銅鉱山は樹木が密集した空が見えないような環境の中にあった。昔の銅の精錬方法はたくさんの木炭を必要とした。例えば 50 kg の銅を精錬するために、500 kg の木炭を必要とした。清の乾隆帝年間には銅精錬の最盛期を迎え、銅の年間最高生産量は 800 万 kg、木炭消費量は 8,000 万 kg であった。この数字から計算すると、毎年約 10 km² の森林を伐採することに相当する。それから解放前夜までにこの一帯の森林は伐採し尽された。鉱山は危機に瀕し、緑豊かな環境は禿山となり、土砂の流出がますます激しくなり、侵食が進み、土石流が次々と発生するようになった。土石流が小江へ流れ込み、両岸に住む農民は故郷を離れ山の上への移住を余儀なくされた。昔の肥沃な田畑は荒廃した石が目立つ土地になってしまった。



写真-10：野鴨塘付近の市の状況（ここにやく芋を積んだリヤカー）

これは「砂石化」現象と呼ばれている。数百年前、小江流域は湿気があって暑い環境であったが、その後森林が破壊され、河谷の気候はバランスを崩し、今は乾燥し焼け付くような気候に変わってしまった。きれいな水が流れていた小江は、今では泥水が流れる河になってしまっている。

一方、ここ数十年、導水施設からの漏水、道路建設のための土砂の放置、採掘後の鉱滓

の投棄、急斜面の開拓、過度の伐採と放牧が土石流の発生をさらに激しくしている。例えば小江上流東側支流の大白河左岸の大白泥河は急斜面の開墾で地表を破壊したため（この流域内の農地の勾配は $25\sim 60^\circ$ ）、崩壊と地すべりが同時に発生し、土石流が頻繁に発生するようになった。

2-4-2 土石流の分布

実地調査や衛星写真、航空写真から小江流域の両岸には 107 の土石流危険渓流があることが分かった。そのうち小江上流左支川、塊河の両岸には 20 の土石流危険渓流が、小江上流の右支川、大白河及び小江中下流両岸には 87 の土石流危険渓流がある。図からもわかるように、龍頭山から小江までの 90 km に満たない区間に、このようにたくさんの土石流危険渓流が存在する。その密度の高さは極めて珍しい。この中で土石流が頻繁に発生し、規模が大きく、非常に危険な土石流危険渓流は（上流から下流の順）、沙湾大溝、拖沓溝、小白泥溝、大白泥溝、黒水河、達德溝、老干溝、石羊溝、蒋家溝、尖山溝、太平村溝、豆腐村溝、牛坪子溝、大坪子溝等である。

（1）小江土石流危険渓流の分類

土石流危険渓流の特徴、谷の形態、固形物の補給方式及び流体特性に基づいて、小江兩岸の土石流危険渓流を三つのタイプに分類する。

1）粘性土石流危険渓流

このタイプの土石流危険渓流は、現在そのほとんどが活発な活動期にあたる。土石流の暴発頻度が高く、周期が短く、被害が深刻である。このタイプは小江土石流の中でも対策をとるのが難しい。この中には長い活動の歴史を持ち、発育が比較的典型的な流域形態をもつ危険渓流がある。流域面積は一般的に $10\sim 50\text{ km}^2$ である。土石流の形成区、流通区、堆積区にきちんと区分できる。形成区の多くは漏斗状の凹地で、合流条件が比較的良好、固形物の供給も充分で方式も多様である。規模の大きな地滑りや崩壊、落石等がある。このタイプの渓流で暴発する土石流はプロセスがはっきりしており、流れ方も完全で、多くは一定時間流れ続ける。流体は粘性で単位重量は $2.0\sim 2.3\text{ t/m}^3$ である。先端ははっきりした龍の頭の形をしている。流れは速く、動きは強く、時間は長く、規模も大きく、小江を閉塞し大きな災害となることが多い。有名な蒋家溝と大白泥溝、小白泥溝、銅廠箐、沙湾大溝、太平村溝、豆腐溝等はこのタイプに属す。地滑り、崩壊補給型に属する土石流危険渓流もある。その特徴は流域面積が一般的に 10 km^2 より小さく、中下流に豊富あるいは集中的な地滑り倒壊による補給がある。多くは斜面型土石流が発達して土石流危険渓流になったものである。水源不足のため、土石流の暴発頻度と規模は前者に及ばない。このタイプの渓流で発生する土石流は、単位重量が重く一定時間続く。河床がでこぼこなので流路が定まらず、土石流は渓流を出ると急にゆっくりした速度になりすぐに止まってしまう。流体中にはたくさんの石があつて流れる距離は短い。河床や扇状地に畝状または蛇のような形で堆積する。このタイプの渓流は普段は水が涸れているため「干溝」と呼ばれている。老干溝、汪家箐、紅砂溝、尼拉姑溝、牛坪子溝、大坪子溝等はこのタイプに属す。

2) 稀釈性土石流

許家小河、桃家小河、深溝、小海河、田堰干溝等 26 の溪流がこのタイプに属す。土石流の単位重量の変動は $1.5\sim 1.8\text{ t/m}^3$ 。このタイプの土石流危険溪流の共通する特徴は以下の通りである；

- * 流域内の固形物の量が比較的少なく補給が不十分。しかし集水面積が大きく水源は十分なので、各溪流で形成された粘性土石流が薄められ、小規模な稀釈性土石流となる。
- * 流体の動きが乱れており、流速が速かったり遅かったり、その差が大きい。大きな違う石を運べる。
- * 溪流内は浸食部分と堆積部分がある。浸食が主。扇状地は大きく浸食されているか大きく堆積している。或いは集中的に浸食され、部分的に堆積している。
- * 土石流の運動過程は滞りがなく、閉塞や滞留はあまり見られない。土石流の流れが停止した後、水と泥はあふれてなくなる。扇状地は平らで広い。中下流域の河床物質は比較的均一で水が流れている。

3) 粘性—稀釈性土石流危険溪流

このタイプの溪流で発生する土石流は、粘性のものもあれば稀釈性のものもある。両者は交互に出現し、相互に作用しあう。尖山溝、大橋河、黒水河、達徳溝、許家小河等がこのタイプに属す。このタイプの溪流の多くが間欠性土石流危険溪流である。一般的に数年から十数年に一回発生する。土石流の性質は溪流内の岩性の違いや土石流材料の補給の多寡によって異なる。流体の単位重量は $1.8\sim 2.0\text{ t/m}^3$ である。土石流が発生するために必要な雨量は、平年よりかなり多くを必要とする。土石流の規模の大小や被害の程度は、毎年土石流が発生している溪流より軽いわけではない。

ここで指摘しておかなければならないのは、以上 3 つのタイプの土石流危険溪流は、その形成過程や流体特性が一定不変のものではないということである。異なる自然条件と人為的な活動の影響下で发育した土石流に対して綿密な調査を行う必要がある。固定した印象や経験に基づいて、粘性か稀釈性かを評価し確定してはならない。最近の小江流域とその他地域の実例であるが、稀釈性土石流危険溪流または洪水性溪流と確定していた溪流で粘性土石流が発生した。流域内の植生は密生し、斜面は完全な状態が保たれ、土石流跡を探すのが困難なくいくつかの溪流でも大規模な土石流が発生した。小江右岸の達徳溝は普段はきれいな河である。流量は約 $0.1\sim 0.3\text{ m}^3/\text{秒}$ 、小江に延びている扇状地の傾斜角は僅か $2\sim 3\%$ で、表面は平らで物質も均一である。人々は徒歩で河を渡ることができる。鉄道橋、道路橋、水道橋もこの河を跨いでいる。長い間何事もなく過ぎていたので、この溪流を間欠性の稀釈性土石流危険溪流とみなしていた。豪雨が降る中、1981 年 6 月 30 日午後 1 時 40 分、突然巨大な粘性土石流が発生した。一夜の間に（実際には土石流の過程は 1 時間前後）溪流の下流にあった全ての工農業施設、大規模で肥沃な農地が破壊され、危うく死傷者がでるところだった。この土石流で大白河水道橋は破壊された。その時の塊 ($6.8\times 4.5\times 3.5\text{ m}$) は 40 m 下流まで流された。道路橋は埋まり、鉄道橋の橋脚は壊れてしまった。また長さが約 50 m あるレールがねじれて小江に入った。土石流は小江の主流線を約 700 m 対岸に押しやり、

本川の両側と溪流内のすべての農地を埋めてしまった。鉄道橋の下の方では 0.53 km² の新しい扇状地が形成された。平均の厚さは 2.5 m、総堆積量は 132 万 m³ である。土石流の長さは 1 km、溪流の両側にははっきりと土石流の縁の堆積物が残されている。その形状は尾根の形や島のような形、または面状で、総堆積量は約 43 万 m³ である。1983 年から 1985 年の夏、この溪流では災害型土石流が相次いで発生した。再度道路を塞いで車を止める等の事故を引き起こした。1981 年 7 月 9 日深夜 1 時頃、成昆鉄道利子依達溝（四川甘洛）で巨大な粘性土石流が発生した。橋梁は破壊され、交通は遮断され、汽車は転覆するなどし、おびただしい人的被害を被った。調査資料によると、この流域の上流はほとんど全てが森林で、中下流域の緩やかな斜面及び高台の平地に農地が少しあるのみで、その面積は全流域の 1/10 に満たない。森林面積は全流域の 81.1% を占める。さらに灌木が多く植生被覆率は 91.3% を占める。このことからその保水力は想像することができる。従って斜面の浸食や土砂の流出は深刻ではない。このタイプの溪流はある一定の間隔で土石流が発生する。これは固形物が蓄積するのに一定の時間が必要であることと関係する。形成の特徴としては、固形物がゼロの状態から溪流内にまとまったものとして蓄積され、豪雨や山津波によって土石流となり全てが流されてしまう。物質の補給面からみると、河床物質起動型の土石流に属する。このタイプの土石流危険溪流は危険な印象を与えないため、人々は警戒心を失ってしまう。しかし一旦土石流が発生すると、その速度が速いため避難に間に合わず深刻な被害を受けてしまう。警戒を怠ってはならない土石流危険溪流である。

（2）土石流の区分

土石流の発育状況、活動の特徴及び自然環境と社会環境に与える影響に基づいて、小江流域を 1 つの非土石流活動区と 4 つの土石流活動区に区分する；

1）高原湖盆平堰非土石流活動区

小江東側の支流大白河功山から上流の区域及び小江西側の支流塊河甸沙から上流の区域を含む小江河原区。ここは雲貴高原の一部で高原、湖、浅い谷、平地が入り混じっている。区域内の標高は 2,000～3,000 m、起伏は緩やかで丘が連綿と続き、湖と平地は将棋の駒のように配置され、地面は整っており林や灌木が密生し、農地と牧草地帯が連なっている。斜面の浸食やガリ浸食は比較的軽微で、生態環境も比較的よい状態に保たれており、人類活動と自然環境の調和が取れている。

2）中山峡谷土石流弱活動区

功山から拖沓溝までは、雲南の東北高原に沿った高原の崩れや侵食によって形成された峡谷地形である。標高は 2,500～3,000 m。相対高度差は約 500 m。小江上流の西側の支流甸沙より下流の区域も本区に属す。本区は小江上流に位置し、植生も比較的多い。しかし大部分が二次林と灌木である。人類活動が地表を破壊した影響が出始め、山と溪流に数は少ないが、小規模の斜面型土石流が発育している。高度差が大きく、人家が密集している場所には比較的大きな土石流危険溪流が形成されている。小江中下流域と比べてみると、ここは土石流危険溪流が少なく、発生頻度も低い。規模も比

較的小さく被害も軽い。主な被害は農地の埋没である。また一部村落の安全を脅かしている。

3) 高山寛谷土石流極強活動区

小江上流東側の支流大白河の拖沓溝から小海河までの区域は河谷が広々としており、東西に分かれた断層に挟まれた中間に位置する。構造線が密集しており、地殻応力が集中している。そのため規模の大きな崩壊や地滑りが広く分布している。この区域の地表の浸食は激しく、人類活動が山の環境を破壊したこともはっきり見て取れる。急斜面の開墾、過度の伐採と放牧、道路建設や水利施設の漏水等が引き起こした地滑りや崩壊が至るところで見られる。土石流の材料となる固形物が豊富にあるため、土石流危険渓流が密集している。そんなに長くもない河に 20 以上の土石流危険渓流がジグザグに入り組んでいて、非常に危険な地形となっている。活動が非常に活発で規模の大きな土石流危険渓流は太白泥溝、小白泥溝、老干溝、達德溝、銅廠箐、紅砂溝、拖沓溝等である。巨大な土石流扇状地は小江の河道をほとんど全て占領している。土石流が頻繁に発生するため、現地の交通（鉄道、道路）と農地や水利施設は度々破壊されている。ここは小江流域で土石流の活動が最も活発で、対策を取るのが一番難しい区域である。規模の大きな土石流が小江に入り込んでいるため、小江の主流が左右に移動し、扇状地の間で揺れ動き、広々とした浮遊性の河床を形成している。河谷の形態変化と河床の縦横方向の変化は、主に兩岸の土石流活動の影響を受けているためである。ここ数十年の間、この区間の河道は何度も閉塞し断流しており、小江の中でも土砂の堆積による河床の上昇速度が最も速い区間のひとつである。

小江上流西側の支流塊河（尋甸県金源郷）もまた土石流極強活動区のひとつである。この区域の土石流の形成も小江断層の影響を受けている。いくつかの大型渓流で土石流が発生し、塊河に流れ込み、広々とした河岸は石ころだらけになってしまう。土石流を避けるため、村はどんどん高いところに移ることになる。一部の住民は山裾の土石流扇状地の両側に身を寄せているが、一部の住民は山の上に移住し、生きる道を探している。しかしいくつかの村は未だに土石流の危険が及ぶ範囲内にある。土石流危険渓流の河床は村より高く非常に危険な状態である。村の安全を確保するためさらに調査を進め、確かな防災計画を提出する必要がある。

4) 高山寛谷盆地土石流強活動区

小海河と蔣家溝の間にある。小江中流のいくつかの長い支流（塊河、烏龍河、小清河、黄水箐等）が合流するところに位置する。地形は広い谷にある盆地が両側の高い山に挟まれた構造になっており、新村（東川市）盆地の所在地である。兩岸の土石流危険渓流の分布はまばらで、大部分が右岸に集中している。牯牛嶺を源とするいくつかの大型渓流で発生した土石流が、放射線状に小江に入り込んでいる。特に東川市後山の小海河、石羊溝、尼拉姑溝、深溝、田堰干溝等の土石流危険渓流は東川市を横切り、見晴らしのきく有利な地勢を占めているため非常に危険な状態である。

東川市の安全を確保するため、中国科学院成都地理研究所と東川市城郷建設環境保護局は現在東川区の土石流の防災計画と予測予報に関する研究を行っている。

東川区市街地北部の大橋河は有名な大規模災害型土石流危険溪流である。中国科学院の土石流専門家の協力のもと、東川市党政機関と住民は溪流の総合整備を行った。現在基本的に災害の防止に成功し、顕著な経済効果と社会効果を得ている。

菜園溝、黄水箐、頼石窩溝等は近くにある東川鉦山区が土石流形成のための条件を備えており、仮に鉦滓の廃棄、急斜面の開墾やその他人為的な有害な活動を阻止できなかった場合は、人為的な（鉦山）土石流が発生する可能性がある。



写真－11：整備のほぼ終了した大橋河流域（手前の影の部分に流路工がある。また、右側は東川区市街地北端）

蒋家溝の土石流は頻繁に発生し、規模が大きく、被害が甚大なことで有名である。今までに 8 回小江を閉塞し大きな災害を引き起こした。蒋家溝流域内とその下流に直接の危害を及ぼすだけでなく、上下十数キロメートルに波及する。小江流域の多くの土石流危険溪流の中で一番対策をとるのが難しい災害型土石流危険溪流となっている。川藏道路上の古郷冰川土石流（西藏波密県内）と比べても遜色がない。人々は古郷溝を「冰川土石流の王」と呼び、蒋家溝を「豪雨土石流の王」と呼んでいる。この区域の土石流の活動が相対的に稀で弱いとしても、いくつかの大きな支流とたくさんの土石流危険溪流が運んでくる固形物は、蒋家溝が閉塞する影響を受け大部分がこの地に堆積する。そのためこの区間の河床は 20～23 cm/年の速度で土砂が堆積している。三江口を跨ぐ小江橋は建設当時河床から 5 m の高さがあったが、現在は約 1 m しかない。



写真-12：蔣家溝土石流（手前の影の上は小江で土石流の厚さは15～20 m）

5）高山深谷土石流極強活動区

蔣家溝下流から小江と金沙江の合流点まで。小江の下流に位置する。深い溝の形をしており、はっきりと連なった段丘はない。河床と両側の山の標高差が非常に大きい。地形は高い山と深い谷から形成されている。小江断層の活動と新構造運動の影響を受けているため、岩性は脆く地滑りや崩壊が頻繁に発生する。両岸の土石流危険渓流の源流は、岩が崩れ落ちる音がし、黒い煙が空中に舞い上がっている。固形物は豊富にある。蔣家溝上流の区間と比べてみると、ここは典型的な乾熱河谷区である。山は秃山で基岩が露出し、岩は脆く溝と谷が入り組んでいる。ガリ浸食と斜面の浸食が激しく崩壊が至るところで見られる。広々とした河床はほとんど全て土石流による堆積物で埋まっている。30以上の土石流危険渓流が小江に入っているが、その中でも規模が大きく被害が甚大な渓流は尖山溝、達朶溝、大平村溝、豆腐溝、幸福村溝、牛坪子溝、大坪子溝等である。巨大な土石流扇状地が小江の主流を片側に押しやる。下流左岸の土石流危険渓流群はしっかり接合して並び、扇状地は最初から最後まで連なり、その距離は5 kmにも及ぶ。ここの河床は土砂の堆積が激しく、農地は何度も潰れた。土石流の影響で起こる砂石化現象は深刻である。河谷区は気候が劣悪で土石流と洪水が頻繁に発生する。村は山の麓から中腹に移動した。河原は大部分が荒廃地である。現在徐々に開発を進めている。しかし土石流災害がなくなったわけではなく、小江本川の水と砂の特性や浸食と堆積の法則もはっきり分かっていないので、闇雲な開発は効果をあげることが難しい。

（以上、出典：資料22より）



写真－13：小江橋及び小江右岸側山腹のガリ侵食



写真－14：小江右岸側の蒋家溝に隣接した下流側溪流及び小江

2－4－3 災害状況

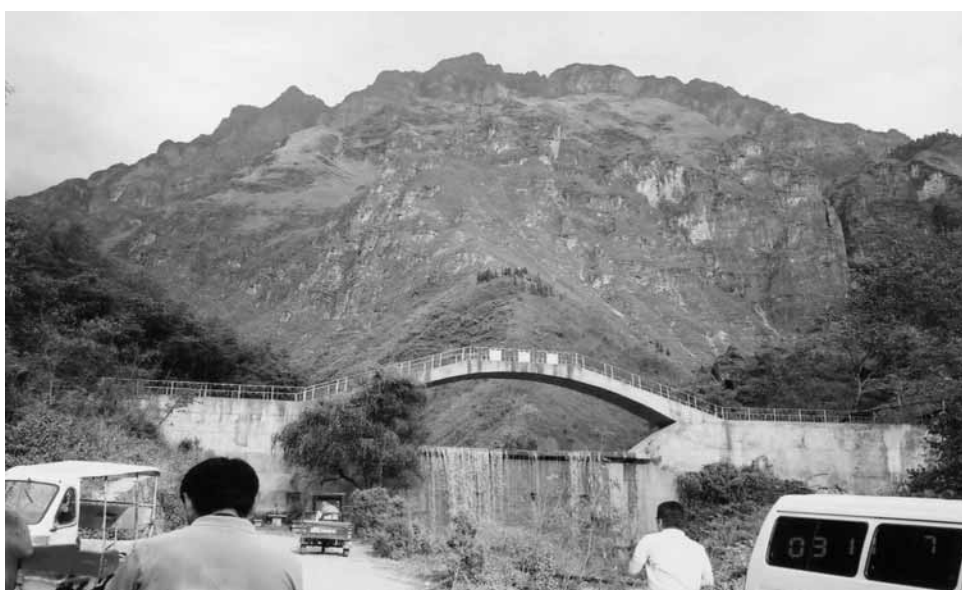
(1) 全体

小江流域全体における 1960 年以降の土石流・斜面崩壊などの土砂災害による被害は、死者・行方不明者 187 名、被害農地面積 2,133 ha、鉄道営業停止日数 2,395 日、道路通行止め 1,223 日、直接経済損失 7,712 万元で経済損失総額は 13,000 万元を上回っている。

(2) 市街地に及ぼす災害

東川区と小江沿いの村や町は、程度は異なるが土石流による被害を受けている。東川区の新しい市街地は大きな土石流扇状地にできた町である。市街地は烏蒙山牯牛嶺と背中合

わせである。牯牛嶺に源を発する小海河、石羊溝、尼拉姑溝、深溝、祝国寺溝、田堰干溝等の土石流危険溪流は市街地を跨ぎ直接小江に入る。歴史上たくさんの災害を引き起こし、住民に多くの損害を与えた。約 100 年前、石羊溝、尼拉姑溝（深溝の支川）では規模の大きな土石流が発生し、溪流沿いの町を押し流し、或いは土砂で埋め、農地を破壊した。解放後約 30 年、土石流の活動は頻繁になり、1961 年（尼拉姑溝）、1964 年（石羊溝）、1985 年（小江中下流域の多くの土石流危険溪流）に災害が発生した。1961 年 6 月に尼拉姑溝で発生した土石流は市街地まで流れ、住民の生命と財産に危害を及ぼした。1964 年に石羊溝で発生した土石流は山から流れ出た後、市街地の駐車場とそこに駐車していた車輛十数台を押し流し、たくさんの民家を破壊し数人の死傷者を出した。道路は塞がれ農地は土砂で埋まった。



写真－15：深溝の砂防ダム（上流側は満砂、周辺は休憩所等があり、住民の憩いの場となっている）

特に 1984 年 5 月 27 日 4 時に東川市鉱山区で発生した土石流は、ここ 100 年東川地区で発生した災害のなかで最も甚大な被害を被った災害であった。この土石流災害で 121 人が死亡、30 人以上が負傷した。直接の被災者数は 239 世帯 1,000 人以上に上る。多くの生産、生活施設を破壊し、鉱山は半月生産を停止した。経済損失は約 1,000 万元に達した。このように、土石流危険溪流が密集し、大きな被害を受ける可能性のある東川区市街地では、早期の対策が急がれている。

（3）集落に及ぼす災害

上流域の金源郷は尋甸県の県政府所在地の北西 64 km に位置し、総面積 154 km² である。郷区内の山は高く陰しく、谷は深い。東部の花石梁子は標高が 3,294.8 m、北部の小樹棵村の標高は 1,455 m である。水平距離 5 km 以内の標高差は 1,849.8 m である。板橋を水源とする四甲河は金源郷を南北に貫いているが、この河は尋甸県の中でも土砂の流出と土石流の災害が激しい流域である。標高 2,000 m 以下の地域は暖熱河谷区で、年平均気温は 16℃～16.5℃、無霜期は 320 日、年間降水量は 900～1,100 mm である。郷には 9 つの村民委員

会、106 の村民グループ、110 の自然村がある。2002 年末現在、漢族、回族、彝族合わせて 7,479 世帯、28,766 人、内少数民族は 5,790 人で全人口の 20.1%を占めている。耕地面積は 18,153 ムー、内訳は水田が 4,785 ムー、畑が 13,368 ムーである。2002 年の財政収入は 115.7 万元。一人当たりの食糧は 313 kg、一人当たりの純収入は 730 元である。

金源郷の土砂流出面積は 146.3 km²、土石流危険渓流は大小合わせて 137 ある。被害がひどい地域は沙湾大溝、大湾溝、小湾溝、老干溝、小河箐、四甲河等である。毎年 20～30 回土石流が発生する。土砂が堆積したり、水に流された土地が多い。槽区内の安豊、安秧、金源、滄溪の 4 つの村では土石流により土砂に埋もれた土地は約 13,000 ムーもある。沙湾大溝の出口に位置する道路より上の部分の集水面積は 17.8 km²、道路より下の部分は 1.44 km²の土石流扇状地を形成している。沙湾大溝は全長 8.7 km で、特大型粘性暴雨土石流である。総堆積量は 2 億 2470 万 m³、年平均流砂量は 174 万 m³（年最大 470 万 m³）である。対策を講じない場合、この土石流は 100～150 年続くと思われる。1991 年以降この地域の土石流危険渓流では、毎年土石流が 20～30 回発生し、水田 3,500 ムーが土砂に埋もれ、548 世帯 1,791 名が農地を失った。郷政府所在地に位置する機関、学校、そして金源村の村民 1,837 世帯 6,336 名の人命と財産を脅かしている。

これらの原因として、①約 100 年前にこの周辺で地殻変動があり、地盤が脆弱になったこと、②過度の伐採や開墾による人為的な植生破壊、③平地が少ないため人口密度が高いこと（約 186 人/km²）及び④集中豪雨（最大時間雨量 45.2 mm、1992 年頃）等を地元では挙げていた。地殻変動は、1998 年にもあり 100 年前と同様に約 10 m 程の煙が上がったようである。

（４）道路と鉄道に及ぼす災害

小江流域は雲南省東北高原山区に位置し、経済は立ち遅れ、交通の不便などところにある。道路と東川鉄道のみが唯一外地と繋がっているため、交通が寸断されると、東川区はたちまち苦境に陥ってしまう。従って土石流が交通に与える影響は計り知れない。土石流が交通を遮断する危険が集中している場所は主に大白河沿いである。いくつかの土石流危険渓流、例えば老干溝、達徳溝、黒水河、大橋河、拖沓溝等は、直接道路と鉄道に危害を及ぼしている。間接的に危害を及ぼしているのは大白泥溝、小白泥溝（共に大白河の左支川）の土石流で、大白河の河道閉塞後、右岸側の斜面を洗掘してしまうので、右岸側の鉄道や道路の安全を脅かしている。老干溝は交通輸送に最も深刻な危害を及ぼしている土石流危険渓流である。1963 年以降、たびたび土石流が発生しており速いスピードで土石流扇状地を形成している。1967 年には橋脚間の長さが 12 m ある鉄道橋を土砂で埋めてしまった。1970 年にはトンネルを改修する必要に迫られたが、土石流の被害から逃れることができず、毎年修復しながらどうにか車輛を通行させている状態である。達徳溝では 1981 年以降、連続して土石流が発生し、鉄道橋は土砂で埋もれ東川唯一の水道橋も破壊されるなど甚大な被害を被った。1985 年雨季には、鉄道が至るところで破壊されトンネルが土砂で埋まり道路が半年間寸断されるなど、東川の交通輸送に最も甚大な危害を及ぼした。調査によると土砂で埋もれた鉄道橋は 8 基、トンネル 4 基、道路 18 箇所、通信設備 14 箇所、駅 1 箇所、直接経済損失は 1,400 万元以上、鉄道が寸断されたことによる経済損失は 600 万元以

上に上る。

（５）河道閉塞・河床変動

小江両岸の多くの土石流危険渓流は、毎年雨季になると大量の土砂を川に運び（蒋家溝だけでも毎年約 300 万 m^3 ）、溪流出口付近では大きな扇状地が形成され、その脚部を小江の本川が侵食、段丘が形成されている。小江では、土石流による河道閉塞の被害が最も深刻である。蒋家溝の河道閉塞が及ぼす災害についてはよく知られているが（口絵写真・蒋家溝合流地点参照）、蒋家溝以外でも、大白泥河、小白泥河、銅廠箐、尖山溝、大平村溝、豆腐溝、牛坪子溝、大坪子溝等で閉塞を起こしたことがある。土石流の土砂運搬力は強く物質も多いため、小江に入った後、水流の条件も加わり移動できずに堆積し、物凄い速度で河床が上昇する。調査資料によると平年における倉房付近の河床の平均堆積高さは 10 cm /年、横山から木樹郎までは平均 25～30 cm /年、板河口から小江橋一帯は平均 17～22 cm /年である。一旦土石流による河道閉塞が起こると、土砂の堆積速度は更に加速する。小江の土砂量は多く（大量の粗い顆粒が変形した物質を含む）、金沙江との合流点には巨大な砂州が形成され金沙江を狭くしている。



写真－16：阿旺郷付近の大白河の河道（橋により狭くなっている）

（６）環境の退化と「砂石化」の加速

土石流が環境に与える影響は、局地的な「点」から部分的な「線」に、さらには流域全体の「面」に広がってきている。土石流災害はすでに小江流域全体に影響を及ぼしている。たくさんの土石流危険渓流（各土石流危険渓流内の小さな支流を含む）は山の斜面を侵食し、谷間に土砂を堆積し、環境を退化させている。山の斜面は荒廃し、川岸は「砂石化」現象が激しさを増している。生活できる土地が日増しに縮小し、生態バランスは崩れ、環境は悪化の一途を辿っている。

大白泥河は、今から 100 年以上前までは、緑が多くきれいな溪流があり、その出口には

「溜落」と呼ばれる村があった。水産物や米がよくとれる肥沃で豊かな土地であった。すぐ近くの小白泥河も緑が多く水のきれいなところであった。その後、樹木を伐採し炭を燃やして銅を精錬したため、森林は破壊され地滑りや崩壊が至るところで起き、これが土石流となり田畑や村を飲みこみ、現在のようになってしまった（口絵写真・小白泥河参照）。

一方、金源郷においても昔は郷内の山は緑が多く水もきれいで、お米や麦の香りが漂い、四甲河ではたくさんの鯉がとれることで有名だったため、「(米や魚などの) 物産が豊かな地」と呼ばれ、1950 年代の初めに「金源郷」の名前がついた（口絵写真・尋甸県金源郷－沙湾大溝及び老干溝参照）。

このような光景は小江両岸で徐々に広がっており、上流域では耕地が少なくなり、中下流域の農地はほとんどが消失し、「砂石化」が激しさを増している。

2－5 災害対策

2－5－1 砂防施設等（表 2-5-1 調査流域の状況及び対策参照）

こうした土砂災害に対し、東川区では 1998 年時点までに約 7,500 万元を投入し、砂防ダム 77 基、床固工 111 基、谷止工 944 基、流路工 27.7 km、迂回排水溝 19.4 km、堤防 3.6 km、封山育林・植樹造林約 7.8 万ムー、植樹 1,830 万株、貯留堆砂は 3,400 万 m³ といった砂防施設の建設および土砂生産・流出を抑制するための植林・森林保全事業を行ってきたが、総合的な土砂災害対策はまだ十分ではなく、土砂生産量・河川上昇速度に対策が追いついていない状況である。

一方、金源郷においては砂防ダム、流路工等の建設も過去に実施されたが、最近では植林関連の事業が中心となっている。2000-2003 年には退耕還林（農地を林にすること）8,300 ムー、荒造（荒れた土地での植林）9,130 ムー、緑色扶貧（貧しい農民を助け生産力を高めること）2,020 ムー、飛行機での播種 2,281 ムー（以上植林面積の合計 20,731 ムー）を、また封山育林 10,310 ムーを実施した。更に、生態保護のための植林 13,200 ムー（内訳は防護林 11,850 ムー、薪炭用の林 1,350 ムー）及び封山育林 1,650 ムーも実施している。

表 2-5-1 調査流域の状況及び対策

流域				状況	対策
名称	面積 (km ²)	延長 (km)	標高 (m)		
阿旺小河	15.1	7.55	1,400 ～ 3,200	・土石流：1990 年 5 月－豪雨・鉄道線路等被害、1998 年 7 月－被災農地 380 ムー、民家 3 戸、水道管 360 m、溜池 2 ヶ所、水路 250 m、橋 1 基、道路路盤 60m、鉄道 150 m、直接経済損失 100 万元以上、9 月豪雨（80 mm/日）－民家流失、鉄道被害 ・阿旺郷全域－約 2 万人、市街区－約 8 千人 ・ガリの下－12 集落	・1999 年砂防ダム 2 基、床固工 5 基、谷止工 1 基着工、2000 年 6 月完成（投資額約 146 万円） ・国家予算の生態環境プロジェクトとして実施、計画・設計は東川泥石流防治研究所、施工は東川泥石流事業公司が行った（上記施設は全体計画の一部） ・2000 年 8 月豪雨があったが被災無し ・鉄道－流路工の下を通るよう修復
桃家小河	75.50	16.60	1,400 ～ 3,237	・東川区市街地より約 20 km 南 ・土石流：1947-1949 年頻繁に発生、1957 年大土石流により小江の河道閉塞（8 m 大の巨石流下）、1958 年道路寸断 ・1969-1971 年－灌漑・工業用水取水堰建設（その後何度も嵩上げ） ・河床上昇率－30cm/年 ・標高1,400～1,650mでは川幅が広く、1,800～2,000mでは狭い ・人口 2 千人、5 村（村民委員会のある村）、25 集落（自然村） ・流域の約 8 割は会澤県で、ここで災害が起き、下流の東川区で被害が発生	・1985 年現在の橋建設－桁下 15 m、現在 6 m ・1999 年計画案作成（砂防ダム 8 基、谷止工 25 基）－この内 4 km 上流の砂防ダム 1 基（2002 年 10 月完成、計画 20m、現在 15m）と植林 5,000 ムー（1 ムー(畝)=666.7m²）を実施（投資額約 85 万円） ・設計、施工は阿旺小河に同じ
小白泥河	12.60	9	1,320 ～ 3,000	・阿旺小河流域と土質が異なるので、さらさらした土石流	・流域に住民がいないので現時点の対策はない
大白泥河	18.05	11.80	1,440 ～ 3,100	・平均降雨量：600～800 mm ・ほぼ毎年 7、8 月に小江本川の河道閉塞を発生させるが、背水域も含めて大きな被害にはつながっていない ・大白泥河扇状地面積 1.4 km²、平均厚 20 m、堆積量 2,800 m³、傾斜度 5.24% ・河道閉塞 1902（1 日）、1933（2 時間）、1957（3 時間）、1959（1 時間）、1963（3 時間）、1968（12 時間）、1980（2 時間）、1985 年（26 日間）	・流域に 100 人ほど住む村があるが、現時点の対策はない
黒水河	9.94	3.95	1,560 ～ 2,858	・東川区南の姑海郷にある ・土石流：1970～80 年代－多発、80 年代には駅まで流された、1983 年 6 月－河床堆積物 6,800 m³、鉄道線路埋没 140 m、交通止め 107 日、道路流失 150 m、交通止めにより東川区市街地孤立、経済損失 210 万円、1984 年 5 月（達徳溝も含め）－橋梁 2 基埋没、交通止め 57 日 ・流域には 4 村、6,000 人が居住 ・砂防施設が完成後は、1 度土石流が発生したが、大きな被害はなし ・上流に 3 基の発電施設（総発電量 2,500kW）がある ・発電所で取水した水（約 1 m³/s）は灌漑に利用	・1985 年より水利部の国家プロジェクトとして計画作成：砂防ダム 5 基、谷止工 9 基、床固工 27 基、排水路 1,600 m、迂回排水路 550 m、造林 6,000 ムー、植樹 30 万株、植林 700 ムー、経済林 300 ムー、農地整備 2,000 ムー－1994 年に完成（投資額約 215 万円） ・成功例の一つ

流域				状況	対策
名称	面積 (km ²)	延長 (km)	標高 (m)		
老干溝	7.76	5.68	1,300 ～ 2,660	・東川区市街地南 11 km ・1970～80 年代に土石流が多発、道路をふさぐ ・土石流：1985 年 7 月－車 1 台が流され、死者 12 人、重傷 3 人、交通止め 5 日間、鉄道線路埋没 140 m、1987 年 5 月（黒水河含む）－交通止め 181 日 ・1996 年の地震以降荒廃進む ・上流域に 2 つの自然村	・1985 年に計画を作成：砂防ダム 2 基、谷止工 50 基、床固工 4 基、流路工 0.98 km、封鎖林・植林・経済林 2,000 ムー）、1986 年に完成（投資額約 128 万円） ・河川沿いに良く生えるネムノキ（1,200～1,600m）を植林 ・砂防施設が完成後は、大きな被害はなし ・成功例の一つ
烏龍河	130.00	24.00		<u>烏龍河本流</u> ・6 つの危険渓流がある。 ・烏龍郷は米の産地、人口 16,000 人 <u>烏龍河支流野鴨塘・降龍河について</u> ・下流に 2,000 ムーの畑地、5,000 ムーの水田がある ・下流に 3 村、300 世帯、1,500 人が住む ・毎年 100 ムーの農地が流されている ・2000 年に土石流により橋が流された	<u>烏龍河本流</u> ・堤防は国家プロジェクトで建設、設計は東川泥石流防治研究所、施工は地元の建設会社が行った ・6 つの危険渓流の内、2 渓流で対策を行っているが、予算不足のため未完成 <u>烏龍河支流野鴨塘・降龍河</u> ・降龍河で 300m の流路工建設
深 溝	29.32	9.60	1,161 ～ 4,017	・東川区市街地北端 ・支川：尼拉姑溝 ・土石流：1961、1964 年（大規模）7 人死亡、7,000 万円の損害 ・標高 2,200～3,000m が土石流の発生源 ・降雨のほかに地震による崩落も土石流の原因 ・上流域に僅かながら住民がいるが、河川沿いには住んでいない ・現地踏査による推定土砂量は 40 万 m³/年	・1960 年代から小規模ながら整備を開始 ・1986～1997 年にかけて総合的な整備を行い（砂防ダム 9 基、流路工 4.8km、封山育林 6,000 ムー、植林 7,000 ムー）、中下流域の整備は終了（総投資額約 400 万余元り） ・標高 2,200m の川幅が広がったところに砂防堰堤があり、ほぼ満砂状態 ・この砂防堰堤までの河川沿いは自然公園となっている
石羊溝	9.2	7.03	1,200 ～ 3,045	・東川区市街地の南端にあり、土石流危険渓流の代表 ・土石流：1964 年 6 月－死者 8 人、負傷 71 人、車両 10 台余り、被災農地 300 ムー	・本川：砂防ダム－3 基（1996 年調査では堆砂は殆どない）、堤防 180 m、流路工約 4.5km（扇頂～扇端）、排水路 2.5 km ・支川：砂防ダム－8 基、谷止工 31 基、堤防 300 m ・植林：1978-1994 年に完了 ・流路工沿いも含め樹木の成長が著しい（銀合歡） ・総投資額約 410 万円
蒋家溝	47.10 (46.8)	12.00 (13.9)	1,042 ～ 3,269	・金沙江合流点から約 30 km 上流で、東川区の北縁にあり、小江流域の中で最も活発な土石流渓流（流域の大部分は会澤県－上流部） ・土石流：6-9 月の雨期には 10～15 回程度（降雨量及び前年の発生回数にもよる）、1968 年 8 月、1984 年 6 月 14 日、1991 年 8 月（間欠性土石流）、1996 年 7 月、1998 年、1999 年 10 月 ・上流支川の門前溝は無降雨時でも急斜面から溪床に土砂礫の供給あり ・河道閉塞 1919、1937、1949、1954、1961、1964、1968、2002 年－8 回（1968 年－交通中断 3 ヶ月、小江橋の水位 10 m 上昇、被災農地 8,400 ムー）	・東川区鉱山局による草木の種蒔、低ダム群の建設 ・構造物は 1960 年代-80 年代にかけて建設 ・中国科学院は 1961 年に東川泥石流観測所を設置－雨期のみ観測 ・至近 10 年間は主に緑化・植林が中心 ・2002 年 8 月の土石流による既存導流堤の破堤のため 2003 年復旧工事実施 ・自記雨量観測所 3 ヶ所（1980 年代から記録、成都にある） ・警報システムもある ・河床変動の測定はしているが、結果は未だ出ていない

流域				状況	対策
名称	面積 (km ²)	延長 (km)	標高 (m)		
蒋家溝	47.10 (46.8)	12.00 (13.9)	1,042 ～ 3,269	一、損失 140 万元、2002 年堆積土砂 H=15 m、導流堤、農地 1 万ムー、直上流の銅山に行く橋等が被害を受けた)、推定土砂量は 200~300 万 m³/年 ・土砂生産源：中・上流部の溪岸から山腹斜面にかけてのガリ状の裸地（降雨時には小規模な土石流が発生、蒋家溝の河床に堆積する） ・ピーク流量 2,800 m³/s ・谷出口は扇状地が形成され、農地として利用（対岸の銅鉾山が耕作） ・最下流右岸の沢からの土石流は導流堤に直角に入るが、規模が小さく、問題なしとの説明であった ・東川泥石流観測研究所周辺は千枚岩（変質岩） ・人家は平坦な尾根付近にあり、その周囲は畑となっているが、斜面の殆どは裸地となっており、牛・山羊が放牧されている ・扇状地左岸側（小江右岸）の丘に小集落あり ・対岸（小江左岸）：銅鉾山、採掘・選鉾のみ、精錬一昔はやっていたが今は昆明)	
豆腐村溝	17.16	10.16	810 ～ 2095	・合流点まで約 45 km ・上流ーきれいな水、中流上部ー土石流発生域、中流下部ー地滑り・崩壊地、下流ー土石流流路（川幅一昔 10 ～20 m、現在 1 km、生態環境が破壊された地域） ・橋上流で 2 支川合流（右支川 10km²、左支川 7 km² 程度の流域面積） ・4 集落、人口 3,000 人以下（中腹部以上に居住） ・左岸側の隣接溪流（幸福村溝と考えられる、流域面積約 5.74 km²）との間に集落ありー道路沿い、豆腐村溝と幸福村溝は一体で調査することも考えられる ・夏の気温は 40℃にもなる熱帯気候	・土石流対策計画地域 ・施設の整備により農地を開発（7 万 ムー）し、中腹部以上に居住している住民を移住させ、貧困を解消する計画（東川区が実施機関） ・作物ー米、果樹、ぶどう、スイカ、ざくろ、玉ねぎ、にんにく、野菜等（水源ー下流では伏流で水が無いいため上流から導水） ・コンクリート橋ー2003 年完成
新田湾	12.00	3.00		・右岸ー杉木郷、左岸ー拖布卡郷、対岸ー会澤県 ・2003 年 8 月土石流（橋作る予定ー来年舗装・） ・3 集落、人口 3,000 人位（中腹部以上に居住） ・流水あり	・農地整備形態・作物（上記に同じ） ・道路の舗装に伴い橋を建設する予定
達朶溝	58.07	13.75	1,036 ～ 3,100	・上流の村ー山崩れが多く耕作地が無い ・6 集落、4 千人位、最大ー右岸で橋の下流の集落 ・上流部左岸に鉄の鉾山があり現在、採掘中 ・美しい石が取れる河川	・農地 2000 ムー計画、この内 600 ムー完成（2002 年 12 月着工、今年 5 月完成） ・上流砂防ダム 4 ヶ所計画、流路工 1,000 m 完成（工事は住民も参加、設計流量 15 m³/s） ・農地整備形態・作物（上記に同じ） ・小江の対岸は会澤県、河川の中央が

流域				状況	対策
名称	面積 (km ²)	延長 (km)	標高 (m)		
達朵溝	58.07	13.75	1,036 ～ 3,100		県界線 ・ 東川区の河川整備に対する会澤県からのクレームなどはない
大橋河	53.10	16.70	1,100 ～ 4,017	・ 東川区市街地北側、源流は会澤県 ・ 流域内の崩壊地・地滑り地の面積約 11.64 km² ・ 土石流：1952、1959、1964、1989 年 8 月砂防施設一部被害、1993 年（小規模、中流で停止）、1997 年 7 月 ・ 河床勾配 7～21.2%	・ 1976 年 5 月調査、7 月初歩設計（設計は成都山地災害研究所と東川泥石流防治研究所）、砂防ダム 9 基、谷止工 214 基、流路工 6.4 km、床固工 3 基、迂回排水溝 500 m、堤防 400m、封山育林、植樹造林 8,000 ムーの植林（完成 1994 年） ・ 河川管理に伴い最初に整備された農地（5,000 ムー）で、米やさとうきびを栽培 ・ 砂防ダム設計流量 185.0 m³/s（50 年確率） ・ 生態環境モデル小流域に指定されている ・ 上流の調査、工事は最近実施されていない ・ 整備率 85%以上（国家投資額約 263 万円）
清水海 (尋甸県)	33.00			・ 小江右支川－大白河の源流、標高 2,175 m ・ 自然湖：湖水面積－7.57 km²、深さ：20m（平均）、30m（最深部）、水量調節なし、	・ 魚類調査結果：なし
沙湾大溝 (尋甸県 金源郷)	17.80	8.70		・ 上流に 7 つの支流および大崩壊地がある ・ 地滑り：1990 年 6 月死者 10 人、家屋損失 102 戸、農地被害－1,300 ムー ・ 1996 年に橋を建設後、橋直下の河床上昇 1m/年 ・ 土石流：1997 年－3m 大の巨石が流下（大規模）、2002 年－14 回の土石流が発生、大きな被害なし ・ 上流の 4 村に住んでいた 423 人を安全確保および貧困対策のため移転させたが、現在でも 80 人ほどのイ族が住んでいる ・ 金源郷市街地の人口約 18,000 人（内少数民族約 4,600 人）	・ 谷止工 84 基、退耕還林 864 ムー ・ 砂防ダム：1970 年代 1 基建設したが翌年全壊、1980 年代 2 基建設したがこれも全壊 ・ 植林、空中播種を実施、植林の方が効果的 ・ 8 名の職員で退耕還林を進めている ・ 清水海から 45 km 前後の道路距離で、現在道は悪いが 2004 年舗装予定 ・ 20 年確率洪水流量：607 m³/s
老干溝 (尋甸県)	24.50			・ 5 つの危険溪流があり、その内 3 つは特に危険 ・ 土石流：1976 年 7 月 20 日－死者 4 人、重傷 8 人、家屋倒壊 60 戸、農地被害－800 ムー	・ 1992 年に流路工 960m（幅 4m）を建設（設計：成都山地災害研究所）－傾斜が緩く、本川と直角に合流しているため土砂が流れない ・ 20 年確率洪水流量：351 m³/s
小云箐	4.60			・ 土石流：1982 年、農地被害－620 ムー	・ 20 年確率洪水流量：113 m ³ /s
小湾溝	8.50			・ 土石流：1984 年－家屋倒壊 12 戸、農地被害－800 ムー	・ 20 年確率洪水流量：167 m ³ /s
三月三溝	2.10			・ 土石流：1990 年－家屋倒壊 4 戸、農地被害－400 ムー	・ 20 年確率洪水流量：61 m ³ /s
豹子箐	6.60			・ 土石流：1976 年－家屋倒壊 20 戸、農地被害－600 ムー	・ 20 年確率洪水流量：141 m ³ /s
大箐溝	14.40			・ 土石流：1976 年－農地被害－420 ムー	・ 20 年確率洪水流量：284 m ³ /s

流域				状況	対策
名称	面積 (km ²)	延長 (km)	標高 (m)		
大湾溝	7.80			・土石流：1986 年－死者 2 人、重傷 4 人、農地被害－500 ムー、道路通行止め	・20 年確率洪水流量：154 m ³ /s
小河箐溝	17.70			・土石流：1986 年－農地被害－600 ムー	・20 年確率洪水流量：47 m ³ /s

註 1：大湾溝及び小河箐溝は塊河左支川で残りは右支川

註 2：表中の数値は現地踏査時の説明或いは既存資料等から得たものであるが、同じ数値と考えられる場合でもばらつきがあるため、本格調査時に確認のこと

- ・雨量観測－3 ヶ所（新村、湯丹、落雪）雲南省気象庁
- ・水位観測所なし（昔は実施していた、10～20 年間、水利部水文局－北京）
- ・銅鉱山は蒋家溝対岸の他に山の上に 4 ヶ所、鉄鉱山－達朶溝上流に 1 ヶ所
- ・蒋家溝直上流の銅山に行く橋の袂（小江左岸側）に料金所あり
- ・金沙江との合流点右岸側に会澤県の水力発電所 32 万 kW あり
- ・危険溪流は大体 10～50 km²
- ・鉱石は鉄道終端までトラック輸送
- ・小江公路（昆明市の市道）で四川省まで続く
- ・支川から調整池（アスファルト・フェーシング）へ導水し、東川区の灌漑用水、上水の水資源開発事業建設中
- ・東川区泥石流防治研究所－設計
- ・東川区泥石流事業公司－工事

2-5-2 ソフト対策

金源郷の郷長の説明によると、気象情報の入手は通常各家庭の殆どがテレビを持っているため気象庁の情報により得られるが、災害時は「群測群防」といって集落ごとに予警報システムがあり、その前兆のある時或いは災害発生時にはラッパ、銅鑼等の音により伝達し、村の場合にはスピーカーによる方法を取っている。避難場所としては広場のような場所があり、施設としてはない。

2-6 関連組織の概要

雲南省水利庁は、水資源開発・保護や河川管理（砂防や水土保持、災害復旧工事などを含む）、水力発電に係る計画立案、指導、検査、監督などの権限を有する中国国務院水利部傘下の行政機関である。雲南省水利庁は行政部門、直属組織、地方水利局の3つに別れており、本件と直接関係する部署は行政部門の「科技外事処」と地方水利局の「東川区水務局」である。職員数は水利庁行政部門が64名、水利庁直属組織が約40名、東川区水務局が16名である。尚、水土保持事業と関連の深い退耕還林事業は主として林業庁の管轄、土砂災害発生後の人道的援助は民政庁の管轄である。

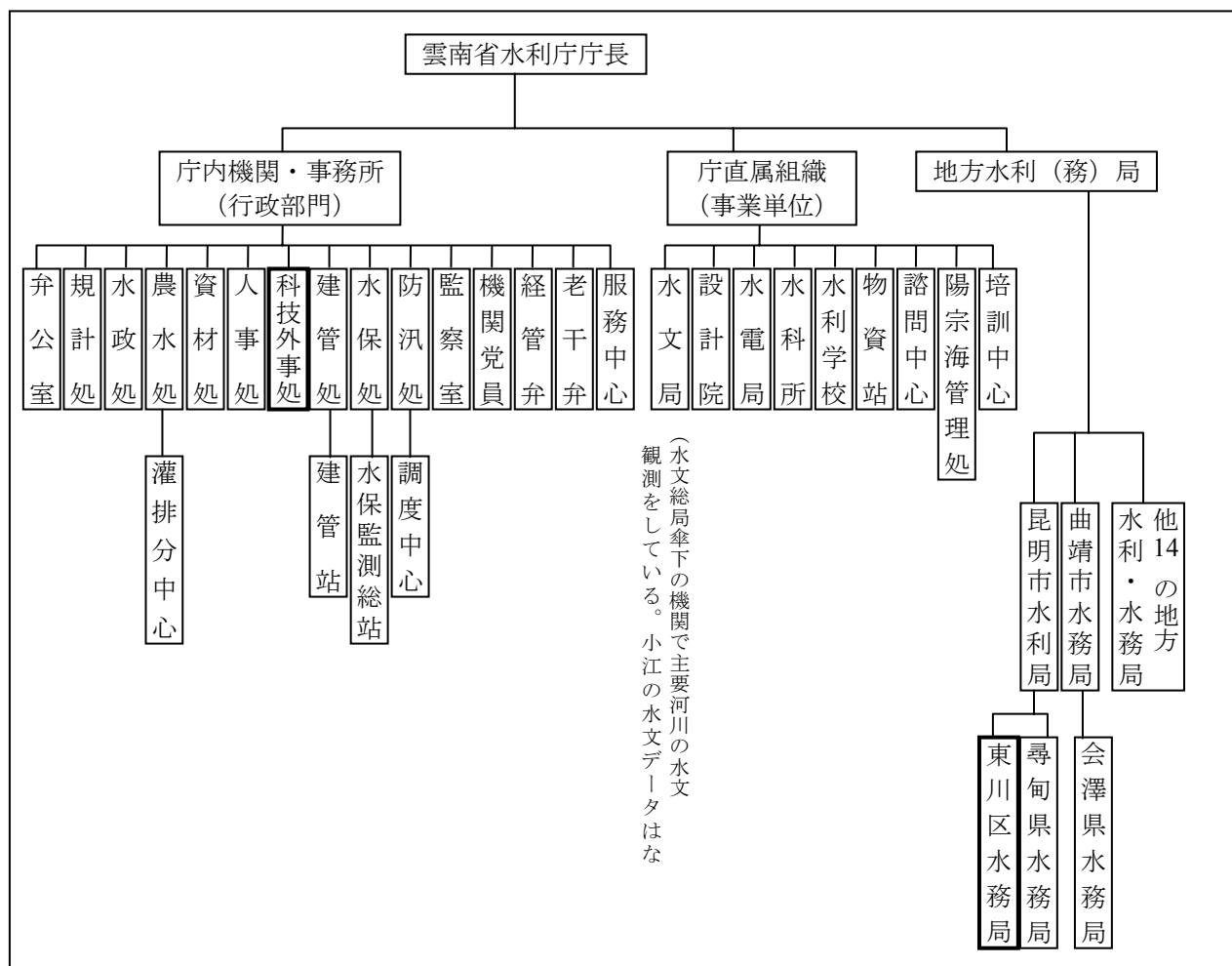


図 2-6-1 雲南省水利庁組織図

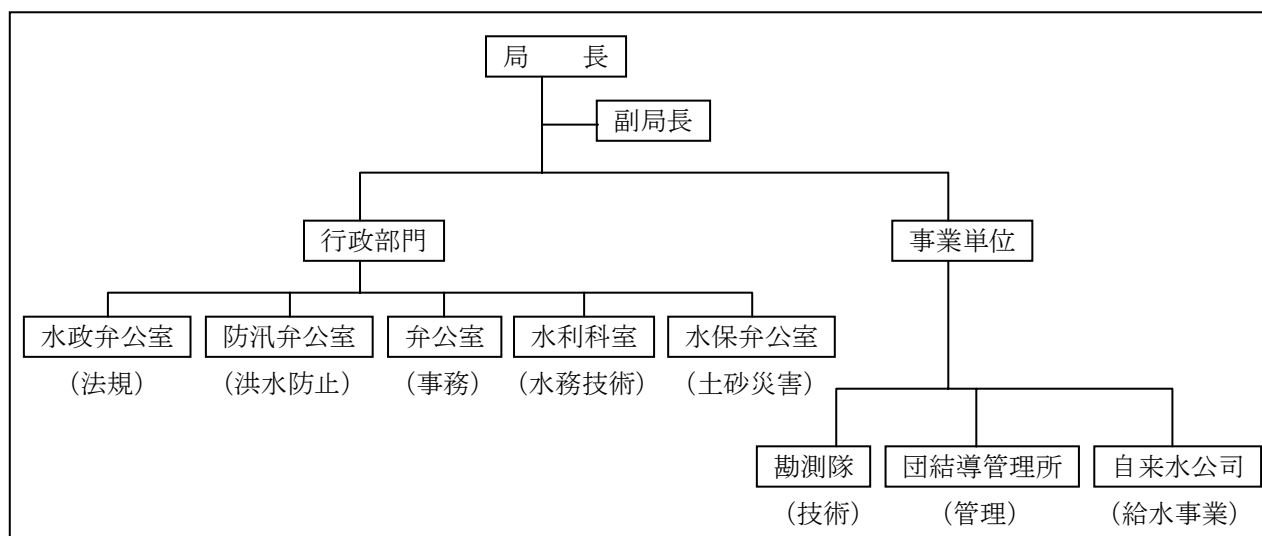


圖 2-6-2 東川区水務局組織圖