

主報告書 基本計画編

目次

最終報告書の構成

調査対象位置図

小江基本計画図

地質図

写真

頁

第1章	はじめに	1-1
1.1	調査の背景	1-1
1.2	調査の目的	1-1
1.3	調査の上位目標	1-1
1.4	調査対象地域	1-1
1.5	調査工程および本報告書の内容	1-2
第2章	小江流域の現状	2-1
2.1	社会経済	2-1
2.1.1	行政組織	2-1
2.1.2	人口・民族	2-1
2.1.3	地域経済	2-2
2.1.4	社会資本整備状況	2-2
2.1.5	貧困問題	2-4
2.2	地形・地質・土壌	2-5
2.2.1	地形	2-5
2.2.2	地質	2-6
2.2.3	地震	2-7
2.2.4	土壌	2-8
2.3	気象・水文・河川	2-10
2.3.1	気象・気候	2-10
2.3.2	水文	2-11
2.3.3	河川	2-12
2.4	土地利用	2-13
2.4.1	土地利用	2-13
2.4.2	森林の分布	2-14
2.5	洪水土砂災害	2-16
2.5.1	災害記録	2-16
2.5.2	主要激甚災害の概説	2-17
2.5.3	災害特性	2-18

2.6	環境	2-19
2.6.1	環境影響評価制度	2-19
2.6.2	自然環境	2-21
2.6.3	社会環境	2-22
第3章	土砂災害対策および自然環境修復の現状	3-1
3.1	組織法制度	3-1
3.1.1	関連法規	3-1
3.1.2	組織	3-1
3.2	施設対策	3-3
3.2.1	構造物対策	3-3
3.2.2	造林	3-6
3.3	非施設対策	3-7
3.3.1	災害警戒体制	3-7
3.3.2	住民移転	3-10
3.3.3	流域・河道管理	3-11
3.3.4	土石流観測・研究	3-13
第4章	基礎解析	4-1
4.1	水文・水理解析	4-1
4.1.1	水文観測	4-1
4.1.2	降雨解析	4-1
4.1.3	流出解析	4-4
4.1.4	河道流下能力	4-5
4.2	既存地形図・航空写真・衛星写真判読による地形解析	4-6
4.2.1	谷次数区分	4-6
4.2.2	小流域主流路縦断勾配	4-7
4.2.3	地形分類	4-7
4.2.4	崩壊地推移・河床変動状況	4-7
4.2.5	地被状況	4-9
4.2.6	標高区分	4-9
4.2.7	傾斜区分	4-10
4.2.8	ハザードマップ	4-10
4.3	土砂解析	4-11
4.3.1	実績土砂収支検討	4-11
4.3.2	河床変動解析	4-17
4.4	社会調査	4-19
4.4.1	住民意識調査	4-19
4.4.2	参加型ワークショップ	4-21
第5章	基本計画作成方針	5-1
5.1	土砂災害対策及び自然環境修復基本計画の必要性	5-1

5.1.1	小江流域の土砂災害・自然環境劣化の悪循環.....	5-1
5.1.2	長江流域または雲南省における小江流域の重み.....	5-3
5.1.3	基本計画の必要性	5-5
5.2	基本計画作成のための基礎条件	5-5
5.2.1	上位計画	5-5
5.2.2	関連計画	5-7
5.2.3	基本計画の計画目標年および開発レベル.....	5-8
5.3	基本計画のコンセプト	5-10
5.3.1	土砂災害対策及び自然環境修復に係わる限界と制限.....	5-10
5.3.2	基本計画のコンセプトと目標.....	5-10
5.4	段階的な施設対策基本計画の作成	5-12
5.4.1	支川流域単位の検討と全流域.....	5-12
5.4.2	段階的な施設対策基本計画作成手順	5-13
5.4.3	小流域のインベントリー作成	5-13
5.4.4	代表小流域の選定	5-14
5.4.5	施設対策の2つの視点(土石流対策と水系砂防).....	5-15
第6章	代表流域での施設案の検討	6-1
6.1	土石流に対する施設対策の検討	6-1
6.1.1	対策土砂量	6-1
6.1.2	施設配置計画代替案の検討	6-4
6.1.3	代替案の概略設計と費用概算	6-7
6.1.4	便益算定	6-8
6.1.5	最適案の選定	6-11
6.2	水系砂防の施設対策の検討	6-12
6.2.1	水系砂防計画検討手順と適応可能な施設案	6-12
6.2.2	代表流域生産土砂抑制対策計画	6-13
第7章	小江流域基本計画の作成	7-1
7.1	土石流対策及び水系砂防対策の代表小流域から小江流域全体への展開	7-1
7.1.1	土石流対策	7-1
7.1.2	水系砂防対策	7-1
7.2	小江本川の治水計画.....	7-3
7.2.1	将来も続く河床上昇と計画的転流の必要性.....	7-3
7.2.2	治水計画基本方針	7-4
7.2.3	想定被害額の算定	7-5
7.2.4	計画案.....	7-8
7.3	非施設対策.....	7-9
7.3.1	小江工程管理局(仮称)の設立.....	7-9
7.3.2	局地レーダ雨量計を利用した予警報システム.....	7-10
7.3.3	副産物利用案	7-13
7.3.4	住民参加の必要性	7-14

7.4	事業実施計画	7-14
7.4.1	実施工程	7-14
7.4.2	概算事業費	7-15
7.4.3	事業実施体制案.....	7-17
7.5	事業評価	7-18
7.5.1	経済評価	7-18
7.5.2	償還能力の検討.....	7-20
7.5.3	技術評価	7-22
7.5.4	初期環境評価	7-24
第8章	緊急プロジェクトの選定	8-1
8.1	緊急プロジェクト案.....	8-1

巻末付表

巻末付図

協議議事録

表一覧

表R 2.1.1	小江流域人口	2-1
表R 2.1.2	小江流域内の区県の経済指標	2-2
表R 2.1.3	大規模灌漑水路.....	2-3
表R 2.1.4	農民収入と財政収入	2-4
表R 2.2.1	地質年代別地質特性	2-6
表R 2.2.2	小江流域周辺の地震一覧.....	2-7
表R 2.2.3	東川区における標高別土壌分類と主要樹種	2-8
表R 2.2.4	尋甸県における標高別土壌分類と主要樹種	2-8
表R 2.3.1	垂直性気候	2-10
表R 2.3.2	小江水文点における洪水ピーク流量.....	2-11
表R 2.4.1	小江流域土地利用の現状.....	2-14
表R 2.4.2	林地用地の内訳(2001年時点)	2-15
表R 2.4.3	標高別植林分布.....	2-16
表R 2.5.1	小江流域土砂災害記録.....	2-17
表R 2.5.2	小江流域の主な土砂災害	2-18
表R 2.6.1	保護動植物	2-22
表R 3.1.1	土砂災害対策および自然環境修復に係わる代表的法規.....	3-1
表R 3.1.2	流域の管理に関わる主な行政機関.....	3-2
表R 3.2.1	小江流域の主な構造物対策事業 (1976年～2000年)	3-4
表R 3.2.2	既設構造物調査結果概要.....	3-5
表R 3.3.1	小江流域内の移転実績(2001～2003年)	3-10
表R 3.3.2	水土保持管理活動	3-11
表R 4.1.1	水文観測地点および期間	4-1
表R 4.1.2	最大日雨量	4-1
表R 4.1.3	継続時間別降雨強度	4-3
表R 4.1.4	継続時間別降雨強度	4-3
表R 4.1.5	再現計算結果	4-4
表R 4.1.6	基本高水ピーク流量とピーク時間	4-5
表R 4.1.7	現況河道の流下能力	4-6
表R 4.2.1	小江谷次数区分.....	4-7
表R 4.2.2	崩壊地推移状況の分類項目	4-8

表R 4.2.3	崩壊地推移から見た小流域の荒廃状況（流域面積 5 km ² 以上）	4-8
表R 4.2.4	小流域の地被状況特性（流域面積 5 km ² 以上）	4-9
表R 4.2.5	小流域の標高区分特性（流域面積 5 km ² 以上）	4-9
表R 4.2.6	小流域の傾斜区分特性（流域面積 5 km ² 以上）	4-10
表R 4.2.7	ハザードマップの分類項目	4-10
表R 4.3.1	年平均崩壊土砂量	4-12
表R 4.3.2	地すべり性大規模崩壊地からの年平均流出土砂量	4-12
表R 4.3.3	地被状況・傾斜別の年間表面侵食深	4-12
表R 4.3.4	地被状況別年平均表面侵食土砂量	4-13
表R 4.3.5	0次谷（深いガリーを含む）の年平均侵食土砂量	4-13
表R 4.3.6	年平均河床堆積土砂量	4-13
表R 4.3.7	各土砂量の単位体積重量	4-14
表R 4.3.8	小江流域年平均生産土砂量（重量換算）	4-14
表R 4.3.9	小江流域の土砂生産-移動現象検討（重量換算）	4-15
表R 4.3.10	各土砂量の 0.01 mm未満含有率	4-15
表R 4.3.11	小江流域年平均生産土砂量（細粒 0.01 mm未満）	4-16
表R 4.3.12	小江流域年平均生産土砂量（粗粒 0.01 mm以上）	4-16
表R 4.3.13	小江流域の土砂生産-移動現象検討（細粒 0.01 mm未満）	4-16
表R 4.3.14	小江流域の土砂生産-移動現象検討（粗粒 0.01 mm以上）	4-17
表R 4.3.15	掃流土砂量の検証	4-18
表R 4.3.16	浮遊土砂量の検証	4-18
表R 4.3.17	将来予測計算結果（小江、大白河）	4-19
表R 4.3.18	将来予測計算結果（块河）	4-19
表R 4.4.1	参加型ワークショップ実施概要	4-21
表R 4.4.2	流域別の原因比較	4-22
表R 5.1.1	云南省、長江流域と小江流域の比較	5-4
表R 5.1.2	屏山水文観測点観測土砂量	5-4
表R 5.2.1	土砂災害対策および自然環境修復に関する目標	5-6
表R 5.2.2	世銀プロジェクトの概要	5-9
表R 5.3.1	安全の確保のための対策案	5-11
表R 5.3.2	自然環境修復（水系砂防）のための対策案	5-12
表R 5.4.1	小流域数	5-13

表R 5.4.2	代表小流域の諸元.....	5-15
表R 5.4.3	土石流対策と水系砂防対策	5-15
表R 5.4.4	土石流対策の検討対象とする溪流	5-16
表R 6.1.1	都市部における山地洪水・土石流対策の計画規模.....	6-1
表R 6.1.2	農村部における洪水対策計画規模.....	6-1
表R 6.1.3	代表流域の土石流対策検討溪流の基準点	6-2
表R 6.1.4	代表流域の土石流計画流出土砂量およびピーク流量	6-4
表R 6.1.5	代替案として適用が考えられる対策	6-5
表R 6.1.6	代表流域土石流対策代替案比較.....	6-8
表R 6.1.7	堆積厚別土石流氾濫区域の推定	6-9
表R 6.1.8	代表流域の土石流対策便益の合計.....	6-11
表R 6.1.9	代表流域の土石流対策最適案	6-11
表R 6.2.1	適用が考えられる施設.....	6-13
表R 6.2.2	荒山草地に対する造林面積の設定	6-14
表R 6.2.3	各標高ごとの造林樹種	6-15
表R 6.2.4	混在林毎の造林樹種割合	6-15
表R 6.2.5	各対策による表面侵食抑制効果量	6-17
表R 6.2.6	地被別の新規崩壊発生率.....	6-18
表R 6.2.7	対策による新規崩壊抑制量.....	6-18
表R 6.2.8	継続崩壊地に対する拡大崩壊発生率.....	6-18
表R 6.2.9	山腹工(崩壊地)による拡大崩壊抑制量	6-19
表R 6.2.10	水系砂防対策による年間生産土砂抑制量	6-19
表R 6.2.11	代表流域の水系砂防工事費集計	6-19
表R 6.2.12	水系砂防便益計測項目及び原単位	6-21
表R 6.2.13	代表流域水系砂防の費用便益検討結果	6-21
表R 6.2.14	各対策の経済効率及び面積持分	6-22
表R 7.1.1	代表流域以外の小江流域土石流対策最適案.....	7-1
表R 7.1.2	地被状況別の造林・山腹工対象面積	7-2
表R 7.1.3	水系砂防対策による小江全流域年間生産土砂抑制量.....	7-2
表R 7.1.4	水系砂防対策による堆積土砂及び流出土砂抑制量	7-2
表R 7.1.5	小江全流域水系砂防の費用便益検討結果.....	7-3
表R 7.2.1	想定氾濫面積および浸水農地.....	7-5

表R 7.2.2	被害率.....	7-6
表R 7.2.3	浸水による被害額.....	7-6
表R 7.2.4	事業費.....	7-8
表R 7.2.5	年平均被害軽減期待額(千元).....	7-8
表R 7.2.6	費用対効果.....	7-9
表R 7.3.1	基本計画実施組織の概要.....	7-10
表R 7.3.2	局地レーダ雨量計と大型レーダの比較.....	7-11
表R 7.4.1	概算事業費集計.....	7-16
表R 7.4.2	事業費年度配分集計.....	7-16
表R 7.4.3	退耕還林のための補償費年度配分集計.....	7-17
表R 7.5.1	基本計画と緊急プロジェクトの経済便益.....	7-18
表R 7.5.2	基本計画の経済評価検討結果.....	7-19
表R 7.5.3	基本計画の感度分析結果.....	7-19
表R 7.5.4	緊急計画プロジェクトの経済評価検討結果.....	7-20
表R 7.5.5	緊急計画プロジェクトの感度分析結果.....	7-20
表R 7.5.6	3区県および雲南省の財政状況.....	7-21
表R 7.5.7	主な開発基金.....	7-22
表R 8.1.1	2010年まで完成予定の緊急プロジェクト案.....	8-1

図一覧

図R 1.5.1	調査工程案.....	1-2
図R 2.1.1	小江流域行政組織構成	2-1
図R 2.1.2	郷長・村長の貧困対策に対する要望	2-4
図R 2.3.1	‘04年6月10日洪水データと小江水文点付近の写真(同日15時頃).....	2-12
図R 2.3.2	小江平均河床高縦断図	2-13
図R 2.6.1	審査手続きの流れ.....	2-20
図R 3.1.1	水利庁・水務局等の所属関係	3-2
図R 3.3.1	土砂災害群測群防体制および水防体制における情報伝達網.....	3-7
図R 4.1.1	雨量の時間分布	4-2
図R 4.1.2	年間降雨量と海拔標高の関係.....	4-2
図R 5.1.1	小江流域の土砂災害・自然環境劣化の悪循環.....	5-1
図R 5.3.1	小江流域総合土砂災害対策及び自然環境修復基本計画」のコンセプト....	5-11
図R 5.4.1	段階的基本計画作成手順	5-13
図R 5.4.2	小流域の比生産土砂量と人口密度の関係.....	5-14
図R 6.1.1	不透過型及び透過型砂防えん堤の捕捉量.....	6-6
図R 6.2.1	崩壊地斜面に対する山腹工法模式図.....	6-16
図R 6.2.2	傾斜農地の棚畑化	6-17
図R 7.2.1	天井川および堤防倒壊概念図	7-4
図R 7.2.2	流量配分図(単位:m ³ /s).....	7-5
図R 7.2.3	想定被害額.....	7-7
図R 7.4.1	基本計画実施工程案.....	7-14
図R 7.4.2	基本計画の実施体制	7-17
図R 7.5.1	基本計画実施のための資金調達の仕組み	7-21
図R 7.5.2	資金ソース別の土石流事業件数の割合	7-22

卷末付表一覧

表 2.2.1	东川区内の土類の基本的理化学特性	T-2-1
表 2.4.1	寻甸県土地利用割合	T-2-2
表 2.4.2	寻甸県有林地面積	T-2-2
表 2.4.3	会泽県土地利用割合	T-2-3
表 2.4.4	会泽県有林地面積	T-2-3
表 2.4.5	会泽県の小江流域内有林地面積.....	T-2-3
表 2.5.1 (1/2)	东川区小江流域土砂災害記録(土石流)	T-2-4
表 2.5.1 (2/2)	东川区小江流域土砂災害記録(地すべり)	T-2-5
表 2.5.2	会泽県小江流域土砂災害発生状況	T-2-6
表 2.5.3	寻甸県小江流域地すべり・土石流災害記録一覧.....	T-2-7
表 2.6.1	小江流域の動植物	T-2-8
表 3.2.1	小江流域構造物調査結果概要(砂防えん堤)	T-3-1
表 3.2.2	小江流域構造物調査結果概要(流路工等).....	T-3-2
表 4.1.1	流下能力不足要因	T-4-1
表 4.2.1 (1/2)	地形分類項目の説明	T-4-2
表 4.2.1 (2/2)	地形分類項目の説明	T-4-3
表 4.2.2	地形と主たる災害	T-4-4
表 4.3.1	生産土砂量集計(重量換算)	T-4-5
表 4.3.2	実績土砂収支検討(重量換算)	T-4-6
表 4.3.3	土砂生産—移動の追跡検討(重量換算)	T-4-7
表 4.3.4	土砂生産—移動の追跡検討(重量換算、細粒 0.01mm 未満).....	T-4-8
表 4.3.5	土砂生産—移動の追跡検討(重量換算、粗粒 0.01mm 以上).....	T-4-9
表 4.3.6	蒋家沟における泥石流観測記録.....	T-4-10
表 4.4.1	移転前、移転後のインパクト.....	T-4-11
表 5.4.1 (1/3)	小流域インベントリー	T-5-1
表 5.4.1 (2/3)	小流域インベントリー	T-5-2
表 5.4.1 (3/3)	小流域インベントリー	T-5-3
表 5.4.2 (1/2)	土石流対策検討溪流の基準点と保全対象	T-5-4
表 5.4.2 (2/2)	土石流対策検討溪流の基準点と保全対象	T-5-5
表 6.1.1	既往研究による土石流の分類.....	T-6-1
表 6.1.2	代表流域土石流対策の砂防えん堤(代替案1)	T-6-2

表 6.1.3	代表流域土石流対策の代替案比較	T-6-3
表 6.1.4	農地開発便益単価の算定	T-6-4
表 6.1.5(1/2)	年平均被害軽減額算定計算表算定	T-6-5
表 6.1.5(2/2)	年平均被害軽減額算定計算表算定	T-6-6
表 6.1.6	代表流域の土石流対策便益	T-6-7
表 6.1.7	代表流域土石流対策代替案の経済評価	T-6-8
表 6.1.8	代表流域土石流対策の最適案	T-6-8
表 6.2.1	造林及び山腹緑化工対象面積	T-6-9
表 6.2.2	造林単価表	T-6-10
表 6.2.3	山腹工の単価	T-6-10
表 6.2.4	造林費用の積算(代表流域)	T-6-11
表 6.2.5	棚畑化工事費	T-6-11
表 7.1.1(1/2)	代表流域以外の土石流対策代替案の経済評価	T-7-1
表 7.1.1(2/2)	代表流域以外の土石流対策代替案の経済評価	T-7-2
表 7.1.2(1/2)	代表流域以外の土石流対策最適案	T-7-3
表 7.1.2(2/2)	代表流域以外の土石流対策最適案	T-7-4
表 7.1.3	代表流域以外の土石流危険対策優先順位	T-7-5
表 7.1.4	造林費用の積算(全流域)	T-7-6
表 7.1.5	棚畑化工事費	T-7-6
表 7.2.1(1/2)	確率洪水年毎の想定被害額	T-7-7
表 7.2.1(2/2)	確率洪水年毎の想定被害額	T-7-8
表 7.2.2(1/3)	計画案とその事業量(5年確率)	T-7-9
表 7.2.2(2/3)	計画案とその事業量(10年確率)	T-7-10
表 7.2.2(3/3)	計画案とその事業量(20年確率)	T-7-11
表 7.2.3	年平均被害軽減期待額	T-7-12
表 7.4.1(1/2)	プロジェクト別土石流対策及び水系土砂管理工事費集計	T-7-13
表 7.4.1(2/2)	プロジェクト別土石流対策及び水系土砂管理工事費集計	T-7-14
表 7.4.2	小江流域土砂災害対策及び自然環境修復プロジェクト事業費年度配分	T-7-15
表 7.4.3	基本計画の経済性検討計算表	T-7-16
表 7.4.4	緊急計画プロジェクトの経済性検討計算表	T-7-17
表 7.4.5	スコアピング・チェックリスト	T-7-18

卷末付図一覧

図 2.1.1	行政区界	F-2-1
図 2.3.1	东川区気象局および东川泥石流防治研究所試験農場位置図	F-2-2
図 2.3.2	河床堆積物粒度分布	F-2-3
図 2.4.1	东川区森林分布図	F-2-4
図 2.5.1	土砂災害位置図	F-2-5
図 2.6.1	省級および県級自然保護区の概略位置図	F-2-6
図 3.2.1	構造物調査結果	F-3-1
図 4.1.1	水文観測機器設置位置地図	F-4-1
図 4.1.2	掃流砂・浮遊砂—流量関係図	F-4-2
図 4.1.3	近接する2観測所間における時間雨量の比較 (新村観測所—东川泥石流防治研究所試験農場)	F-4-3
図 4.1.4	累加雨量曲線図(マスカープ図)	F-4-4
図 4.1.5	降雨強度曲線図	F-4-5
図 4.1.6	流出解析モデル用流域分割図	F-4-6
図 4.1.7	流出解析模型図	F-4-7
図 4.1.8	再現計算結果(1977年6月21日洪水)	F-4-8
図 4.1.9	確率規模別降雨ハイトグラフ及び高水流量	F-4-9
図 4.1.10	本川流下能力縦断図	F-4-10
図 4.1.11	流下能力平面図	F-4-11
図 4.2.1	谷次数区分図	F-4-12
図 4.2.2	小流域主流路縦断勾配図	F-4-13
図 4.2.3	地形分類図	F-4-14
図 4.2.4	崩壊地推移・河床変動状況図	F-4-15
図 4.2.5	崩壊地面積率・拡大縮小率	F-4-16
図 4.2.6	地被状況図	F-4-17
図 4.2.7	標高区分図	F-4-18
図 4.2.8	傾斜角度区分図	F-4-19
図 4.2.9	ハザードマップ	F-4-20
図 4.3.1	河床変動状況図	F-4-21
図 4.3.2	泥石流堆積物粒度分布	F-4-22
図 4.3.3	泥石流源土粒度分布	F-4-23

図 4.3.4(1)	河床変動計算計算結果(検証計算:小江～大白川).....	F-4-24
図 4.3.4(2)	河床変動計算計算結果(検証計算:块川).....	F-4-25
図 5.1.1	云南省水土流失現況図.....	F-5-1
図 5.4.1	110小流域分割図.....	F-5-2
図 5.4.2	110小流域の特性.....	F-5-3
図 5.4.3	土石流対策検討対象溪流とその計画基準点.....	F-5-4
図 6.1.1(1/4)	土石流対策計画砂防えん堤位置図(豆腐沟流域).....	F-6-1
図 6.1.1(2/4)	土石流対策計画砂防えん堤位置図(乌龙河流域).....	F-6-2
図 6.1.1(3/4)	土石流対策計画砂防えん堤位置図(东川市街地域).....	F-6-3
図 6.1.1(4/4)	土石流対策計画砂防えん堤位置図(桃家小河流域).....	F-6-4
図 7.2.1	転流概念図.....	F-7-1
図 7.2.2	氾濫区域図(現況).....	F-7-2
図 7.2.3	堤防位置図.....	F-7-3
図 7.3.1	局地レーダ雨量計のカバーエリア.....	F-7-4
図 7.3.2	局地レーダ雨量計を利用した予警報システムの観測網.....	F-7-5

第1章 はじめに

1.1 調査の背景

小江は云南省北東部に位置し、流域面積約 3,000km²、流域域内人口約 50 万人を抱える、長江上流の金沙江に流れ込む河川である。小江流域は、もともと地形が急峻で地質も脆弱な上に長い間の森林伐採で植生の乏しい地域が広範囲に分布し、水土保持機能が極めて低下している。降雨時には土石流、地すべりなどの土砂災害が頻発し、集落や農地、道路、鉄道にして大きな被害を与えている。

云南省では小江流域に対し、砂防ダムや流路工、谷止工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・森林保全事業の実施に努めているところであるが、総合的な土砂災害対策はまだ十分でなく、流域の荒廃、土砂生産・河床上昇速度に対策が追いついていない状況である。また、小江流域は少数民族の居住地域であると共に最貧困地域に指定されており、防災対策、自然環境修復を基にして地域の経済促進を目的とする副産物利用/関連事業計画も求められている。

このような背景のもと、中国は我が国に対し本件に係わる要請を行い、これに応える形で JICA は 2003 年 11 月に事前調査団を派遣し、同 11 月 12 日に云南省水利庁と実施細則の署名、交換が行われた。さらに、2004 年 3 月 29 日、JICA は、松本良治を団長総括とする本格調査団を中国云南省に派遣し、ここに本調査が開始されることになった。

1.2 調査の目的

調査の目的は以下のとおりである：

- (1) 日本側は、中国側と協力して、小江流域の土砂災害対策及び自然環境修復計画に関わる基本計画の策定と緊急プロジェクトのフェージビリティ調査を行い、小江流域の土砂災害対策及び自然環境修復計画を取りまとめる。
- (2) 日本側は、本調査の期間中、調査に参加する中国側専門家に対し、現地調査業務を通じ砂防に関する技術移転を行う。

1.3 調査の上位目標

上記目的を達成し、到達を目指す上位目標は、小江流域の中・長期的な土砂災害が軽減され、自然環境が改善されることである。

1.4 調査対象地域

巻末に添付した、2004 年 4 月 15 日署名の着手報告書に係わる協議議事録に記されているように、調査対象流域は小江の全流域、及び以下の優先度の高い 4 地域とすることが確認された。

- (1) 深沟（深溝）、石羊沟（石羊溝）の 2 流域を含む昆明市东川区市街地域（祝国寺沟（祝国寺溝）は深沟流域に含まれる）
- (2) 乌龙河（烏龍河）
- (3) 豆腐沟（豆腐溝）
- (4) 桃家小河

1.5 調査工程および本報告書の内容

調査工程案を以下に示す。調査は2004年3月に始まり、2005年2月までの、約計24ヶ月間に渡って実施される。調査期間は大きく、2段階に分けられ、すなわち2005年2月までの第1段階では基礎調査および基本計画の作成が、2005年5月～2006年2月の第2段階では緊急プロジェクトに関わるフィージビリティ調査が行われた。

年次 年 月	第1年次調査												第2年次調査														
	2004年												2005年												2006年		
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
現地調査 (中国)	第1次現地調査												第2次現地調査														
国内作業 (日本)	国内準備 □												第1次国内作業 □											第2次国内作業 □			
調査内容	← 基礎調査および基本計画 →												← 緊急プロジェクトに関する フィージビリティ調査 →														
報告書	着手報告書 ★												現地報告書 ★											中間報告書 ★	最終報告書案 ★	最終報告書 ★	
技術移転セミナー																											

図 R 1.5.1 調査工程案

本主報告書基本計画編はこの第1段階での基礎調査および基本計画作成についてまとめたものである。第2段階の緊急プロジェクトのフィージビリティ調査については、フィージビリティ調査編にまとめられている。

第2章 小江流域の現状

2.1 社会経済

2.1.1 行政組織

小江流域 3,058km² は昆明市に属する东川区、寻甸県および曲靖市に属する会泽県より構成される。このうち东川区は1,462km² (48%)、寻甸県は1,002km² (33%)、会泽県は594km² (19%)を占める。なお、寻甸県は正式には寻甸回族彝（イ）族自治县といい、後述するように回族や彝（イ）族などの少数民族が多く、民族自治区域となっている。

东川区、寻甸県が属する昆明市および会泽県が属する曲靖市は、ともに云南省の省轄市となっている。県、区はさらに鎮や郷に分けられ、鎮は比較的市街化の進んだ地域、一方郷は農業人口の割合が高い地域である。鎮、郷はさらに村に、村はさらに村民小組（自然村）に分けられる。

以下に小江流域での行政組織構成を示すとともに、図 2.1.1 に小江流域を郷鎮単位に分割したものを図示する（东川区では2005年6月15日に郷鎮の統廃合が行われ、7鎮1郷となった。これらの図はそれ以前のものである）。

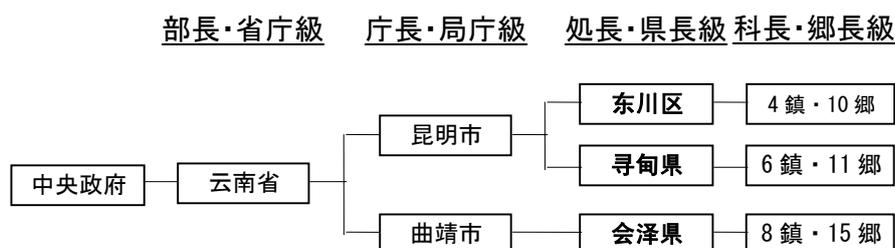


図 R 2.1.1 小江流域行政組織構成

2.1.2 人口・民族

1) 人口

2002年の統計データによる东川区、会泽県、寻甸県の人口はそれぞれ、302,072、896,558、501,000人であり、人口の過去の推移より推定した今後2020年までの人口増加率は5.5、11.1、13.7%（年平均増加率はそれぞれ0.3、0.6、0.7%）である。

上記人口統計データおよび2004年撮影のSPOT衛星画像より判読した家屋数などを基に2002年小江流域人口を約471,000人と推定し、さらにこれに各区県毎の人口増加率を乗じて、2020年のそれを511,000人と推定した（年平均増加率は0.5%）。

表 R 2.1.1 小江流域人口

区県	流域内 2002 年 人口 (人)	推定増加率* (%)	流域内 2020 年 人口(人)
东川区	264,715	5.5 (0.3)	279,281
会泽県	94,780	11.1 (0.6)	105,229
寻甸県	111,501	13.7 (0.7)	126,777
合計	470,996	8.6 (0.5)	511,357

* : ()内の数値は年平均増加率

2) 民族

云南省は少数民族の多い省である。彝族、白族、哈尼族、壮族等 25 の少数民族があり、全体人口 4,333 万のうち、少数民族の人口は、1,386 万人で、全体人口の 33.4% を占める。

少数民族が総人口に占める割合は、东川区で 6.5%、寻甸県で 21.7%、会泽県で 5.0% であり、云南省平均より低いものの小江流域では寻甸県の少数民族の多さが際立っている。少数民族のうち、东川区では彝族、寻甸県と会泽県では回族が多い。寻甸県は正式には寻甸回族彝族自治县といい、民族自治区域となっている。

2.1.3 地域経済

云南省は内陸省であり、沿海地域に比べて経済発展は大きく遅れている。小江流域ではさらに山地等の地形条件、地すべり・土石流・干ばつ等の自然災害、インフラの不備等の影響により、云南省の中でも遅れた貧困地域となっている。云南省、昆明市、小江流域内の区県の主な 2002 年の経済指標はつぎのとおりである。

表 R 2.1.2 小江流域内の区県の経済指標

地域	人口 (万人)	農業 人口 (万人)	非農業 人口 (万人)	農業人口 の割合 (%)	国内総生産		産業構成 (%:金額ベース)		
					総額 (万元)	一人あたり (元/人)	第一次 産業	第二次 産業	第三次 産業
云南省	4333.1	3636.3	696.8	83.9	22,323,200	5,152	21.1	42.6	36.3
昆明市	494.8	294.3	200.5	59.5	7,300,813	14,755	7.7	46.1	46.2
东川区	30.20	23.20	7.00	76.8	74,568	2,469	19.1	47.8	33.1
寻甸県	50.1	47	3.1	93.8	108,800	2,172	42.4	13.5	44.0
曲靖市	556.1	487.7	68.4	87.7	2,543,962	4,575	22.7	49.4	27.9
会泽県	89.7	82.9	6.8	92.4	317,207	3,536	14.5	70.7	14.7

注) 出典: 「昆明統計年鑑 2003」、「云南統計年鑑 2003」

一人あたりの国内総生産額を見ると、小江流域内の东川区、寻甸県、会泽県のいずれも云南省平均を大きく下回っており、経済は他地域に比べて遅れている状況にあることがわかる。

东川区では、古来銅の採掘が盛んで基幹産業は鉱業だったが、近年銅鉱は衰退し基幹産業は農業となっている。農業人口は全体人口の 77% を占め、各郷鎮の農業人口の割合は 95% 以上である。しかし地形条件が厳しい上、地すべり・土石流・干ばつ等の自然災害が多いため、農業条件は非常に厳しいものとなっている。農業人口 1 人あたりの農地面積は僅かに 0.9 畝/人 (1 畝=667m²) と非常に低く、そのうち水田の面積は 17.7% を占め、8 割以上の農地は生産性の低い畑である。そのため農業人口一人あたりの生産額は僅かに 548 元/年 (2002 年データ、出典「昆明統計年鑑 2003」) に過ぎない。

2.1.4 社会資本整備状況

1) 道路・鉄道

小江流域内の近代的道路建設は鉱山開発に伴い 1953 年から始まった。しかし道路事情は、未だに未舗装区間が多いなど総じて貧弱であるが、嵩待高速道路の開通に

より、昆明から新村までに2時間半で結ばれるようになるなど、急ピッチで道路整備が行われている。現在、大白河、小江、金沙江に沿って全長95.5kmの2級道路が建設中である(龙潭—东川区間は2005年、东川—巧家区間は2007年完成予定)。この道路が完成すれば、新村から昆明まで2時間、小江口から昆明までも、3時間程度で結ばれることになる。

1968年にソ連の援助で完成した东川支線鉄道は新村から大白河沿いに上り、干塘子で貴昆線に繋がる全長96.6kmの単線路である。『东川市誌』によれば、建設以来300回以上に渡って土砂洪水を受け、被害額は数千万元に及ぶと言われている。支川からの土石流や大白河の堰上げによって引き起こされる洪水氾濫を避けるため、1992年に計9kmの低い区間が高所へ移設されたが、いまだに低い区間が残っている。かつては客車も走っていたが、度重なる土石流などの土砂災害や道路交通の発達のため、現在は貨車のみが運行されており、今日ではその貨物量も东川区輸送量の5%程度に過ぎない。

2) 電力供給・通信

小江流域内における電力供給は云南省大電網を主要電源とし、その他いくつかの小規模な水力発電所による。200KW以上の主な発電所は、黒水河の姑海発電所(2,500KW)、団結渠の桃樹沟発電所(2,600KW)である。市街地部での電力供給は達成されたが、農村部での電化率は东川区内で67.7%(1990年の値、『东川市誌』)、会泽県で93.1%(2000年の値、『云南省会泽県水利電力誌』)、寻甸県で83.3%(1989年の値、『寻甸県水電誌』)など、山岳地を中心に未電化地域がまだ残っている。

一方、通信分野の発達は小江流域にも及んでいる。『东川年鑑2001』によると、2000年までに东川区内の全村民委員会に電話が通じ、固定電話の普及率は1999年末時点で、东川区全体で8.19台/100人、市街地で26.82台/100人にも達している。携帯電話の普及も目覚しく、东川区内で2000年末までに総計10,372台が売れ、8基の中国移動通信(GSM)の中継局によって、法者郷、舍块郷および因民郷を除くエリアがカバーされるようになった。現在では新村鎮や因民郷を中心にPAS(Personal Access system)も普及もし始めている。

3) 灌漑・都市用水、下水・農村水供給

建国後、小江流域において大小さまざまな灌漑事業が実施されてきた。下表は东川区内の100ha以上の灌漑面積を持つ灌漑水路の一覧である。この中で最も大規模なのは団結渠であり、これらの灌漑水路も道路・鉄道同様に度々、土砂災害を受けている。

表 R 2.1.3 大規模灌漑水路

区県	水路	関係郷鎮	延長(km)	主要水源	取水量(m ³ /s)	灌漑面積(ha)	建設年
东川区	団結渠	姑海郷、新村鎮、碧谷鎮	34.3	大白河(小江)	4	1,400	1974
	新乐水沟	法者郷、乌龙郷	9.2	小清河	1	363.7	1965
	背冲水沟	緑茂郷	9.5	小江	1	233.3	1972
	早谷地水沟	新田郷、乌龙郷	9	乌龙河	0.3	166.71	1954
	新坪水沟	法者郷	25	小清河	0.7	366.6	1973

东川区市街地の都市用水は深沟沿いの湧水を重要な水源としている。浄水場を 3 箇所と、調節地 (300m³) を 1 箇所備え、計 7.5 万人に対し重力方式にて 16,000 m³/日 を供給している。浄水場からの給水水質は国家の飲用水基準を満足している。一方、汚水は未処理のまま開渠、暗渠を通じて大白河へ排水される。

農村部では、近隣の谷水、湧水を小水路や管路で導水したり、地下に建設した貯水庫 (水窖) に雨水を貯蔵し、飲料水や家畜用や灌漑に使う方法が取られている。『东川区水利誌』によれば、东川区全体の人畜の飲料水問題は基本的に解決されたとして 1990 年に国家水利部より表彰を受けている。

2.1.5 貧困問題

表 R2.1.4 は、云南省、昆明市、曲靖市全体および 3 区県における農民平均年収と行政機関の人口 1 人当たりの財政収入をまとめたものである。いずれの区県の農民年収および財政収入は、云南省・昆明市・曲靖市の平均を大きく下回っている。とくに东川区の平均収入は、昆明市平均の半分以下で、一人あたりの財政収入は、昆明市平均の 12% 程度に過ぎない。また、いずれの区県の平均収入は、1,000 元強であり、中国政府による 2003 年の絶対貧困の 637 元、相対貧困 (低収入) の基準の 882 元に近いレベルであることから、地域全体の貧困人口の割合が高いと予想される。貧困の原因としては、2004 年 6 月に調査団が行った小江流域内の郷長・村長に対するアンケート調査結果 (図 R2.1.2) でも示されるように、急峻な地形条件に基づく土砂災害の頻発の他に、優良農地の不足、干ばつと水不足、交通の不便が考えられる。

表 R 2.1.4 農民収入と財政収入

項目	云南省	昆明市			曲靖市	
		全体平均	东川区	寻甸県	全体平均	会泽県
農民年間収入 (元/人・年)	1,609	2,441	1,143	1,382	1,600	1,119
財政収入 (元/人・年)	480	1,114	134	144	332	277

出典：云南統計年鑑 2003

注) 云南省で 1000 元で買えるもの：米約 330kg、豚肉約 80kg、玉子約 125kg

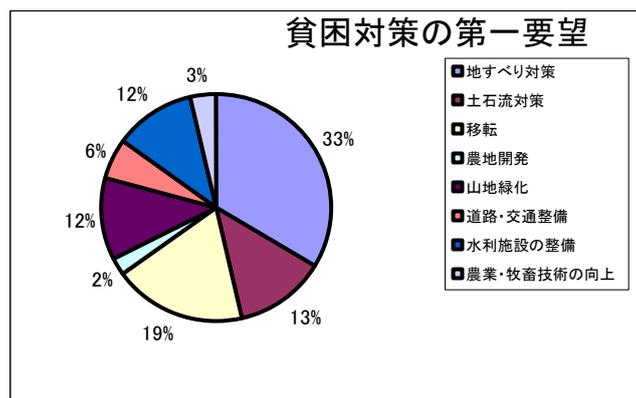


図 R 2.1.2 郷長・村長の貧困対策に対する要望

2.2 地形・地質・土壌

2.2.1 地形

小江は云南省北東部の魚味后山（標高 2,975m）を源流とし、南北に走る小江断層沿いに北流し金沙江（長江の上流部）に合流する、流域面積約 3,058km²、流路長 138.2km の河川である。流域は南北に細長く、流域の長さは約 110km、最大幅は 45km である。

上流域は標高 3,000m 以下の分水嶺に囲まれているが、中流域では東西の分水嶺に標高 4,000m 級の山々が連なり、下流域の分水嶺は再び 3,000m 以下となり金沙江に至る。流域の最高峰は、中流域西側分水嶺の拱王山脈の火石梁子（別名雪嶺）4,344m である。また流域の最低標高は小江と金沙江の合流点の 695m であることから、高低差が 3,000m 以上となる支川もある。特に中下流部では起伏量、起伏量比とも大きな支川が多く、断層による破碎や風化を受けた斜面には、地すべり、崩壊、ガリーが発達し、土石流の発生が顕著である。

小江流域の地形は以下のような特徴を持つ。

- (1) 地質構造の影響を強く受けた地形である。南から北に流れる小江は小江断層、大白河は大白河断層、乌龙河と块河は乌龙河断層に沿って形成された適従谷である。支川は北東―南西方向、東―西方向のものが多く、支川が発達方向は主たる地質構造の方向に概ね一致している。このため、小江や大白河、块河右岸の支川は本線への合流方向が調和的でない。
- (2) 中期更新世に形成された準平原（夷平面）が急激に、間欠的に隆起したため 5 段の山頂・山腹平坦面（緩斜面）や侵食小起伏面が形成される。これらの平坦面は流域全体に見られるが、時に块河上流域では広い面積を占めて分布している。また一部の平坦面は、カルスト台地としての特徴を有する。
- (3) 大規模な地すべり地形が広い面積を占めて分布する。大白河中流から下流、块河中流から下流、小江及び小江の支川中～下流部はほぼ連続的に地すべり地形となっている。特に桃家小河から蒋家沟付近までの本川右岸は地すべり地形の規模が大きく、標高 2,500m～3,000m より低標高の尾根や斜面は連続的な地すべり地形である。
- (4) 新鮮な亀裂や段差地形を伴う地すべり地形の集中する地域には大規模な崩壊が集中している。块河中流の沙湾大沟、大白河左岸の大白泥沟、小白泥沟、小江支川の蒋家沟、尖山沟、排子地、太平村沟、豆腐沟などがそれにあたる。
- (5) 特に、蒋家沟、大白泥沟、小白泥沟、沙湾大沟では不安定な地すべり地形が多く、地すべりブロック前面の急斜面を中心に大規模な崩壊地が多数存在する。
- (6) 山頂・山腹緩斜面や侵食小起伏面と地すべりブロック内の緩斜面の周縁には、遷急線が形成され谷底と緩斜面の間は急斜面となっている。最新の侵食が及んでいる谷壁斜面はきわめて急傾斜で、谷壁斜面上部には明瞭な遷急線が形成されている場合が多い。谷壁斜面には崩壊が多数見られるとともに、ガリーが良く発達している。
- (7) 断層に沿って破碎を受けた地域や、地すべりによって破碎を受けて長時間経た区域、また長い期間風化にさらされた侵食小起伏面や山頂・山腹緩斜面などでは、厚い風化層が形成されていることが多い。
- (8) 小江流域内には新村盆地をはじめとして、乌龙、金源、功山、娜姑、盐水などの盆地が存在する。これらの盆地は断層に沿って形成された断層盆地である。盆地内には第三紀末～第四紀の堆積物が厚く堆積し、比較的広い堆積平坦面が存在する。

- (9) 比高の大きな河岸段丘は、小江最下流左岸、尖山沟、阿旺小河、新村盆地、乌龙盆地など一部の地域で見られるのみで、全般に発達が悪い。それに対し小江本川や大白河、乌龙河などでは、幅 100m～数 100mの氾濫平野と土石流扇状地が形成される。
- (10) 流域西側分水界の小江流域最高峰である火石梁子周辺には氷食地形がみられる。氷食地形はカールとU字谷及び数時期のモレーンより成る。モレーンの下端は標高 2,700m～2,800m付近まで達する。
- (11) 一方、流域東側分水界の最高峰のである大牯牛山（標高 4,017m）周辺の小江流域側には、明瞭な氷食地形がみられず、比高差 500m～1,000mに達する壁岩が連続している。
- (12) 小江流域では地すべりの崩落や激しいガリー侵食によって地形変化が著しいため、各所に河川争奪地点が存在する。典型的な例が三家村沟下流で見られる。

2.2.2 地質

小江流域では、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、それがカレドニア時階以降の造山運動によって更に変形している。古生代以降の褶曲軸の方向は北東～南西方向で、それらはほぼ南北性の断層によって切られている。これらの断層の一部は活断層と見なされる。

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を受け、また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。更に小江、大白河、块河、乌龙河に沿って南北に東西小江断層が通過しており、断層に沿って破碎帯が形成されている。

小江流域には原生代から第四紀までの地層が不連続に出現する。各時代の特性を以下に比べる。

表 R 2.2.1 地質年代別地質特性

地質年代	特性
前震旦系	粘板岩・千枚岩・変砂岩・結晶石灰岩・結晶白雲岩などより成り、岩石は構造運動の影響を受けて二次褶曲や断裂が多く、抗風化力が弱く、厚い風化殻を形成することが多い。分布面積は流域の約 19%を占める。小江中流から下流に主として分布する。蒋家沟や豆腐沟などにはこの地層が分布する。
震旦系	上部は砂岩と頁岩、中部は頁岩と粉砂岩、泥礫岩、下部は白雲岩より成る。小江中流域の小清河中流左岸や蒋家沟左岸から大桥河一帯、小白泥沟、大白沟河下流や桃家小河沿いなどに分布する。分布面積は小江流域の 7.3%を占める。
古生層	小江流域の 60%を占めて分布する。主として中流から上流にかけて分布するが下流域でも露出している。砂岩、粉砂岩、頁岩、泥岩、石灰岩、白雲岩などの堆積岩類と火成岩である玄武岩から成る。二疊系上統の玄武岩類は块河左岸から小清河上流、大白河上流などに広く分布しており、古生層の約 53%、流域面積の 32%を占めている。断層や地すべりによる破碎を受けた玄武岩は抗風化力が弱く、厚い赤色の風化殻を形成している。
中性層	三疊系、ジュラ系の砂岩、粉砂岩、粗砂岩などの砂岩類、泥岩、石灰岩などの堆積岩類より成り、流域面積の約 10%を占めて分布する。三疊系の上部には石炭層を挟んだ堆積岩が見られる。大白河上流の功山付近や块河上流、小清河上流域、小江下流右岸の大平村沟から盐水沟にかけて分布する。
第三系	主に粘土岩、粉砂岩、砂岩から成り上部には褐炭層が混じる。分布面積はわずかで小江流域の 0.2%を占めて分布するのみである。
第四系	第四系の分布面積は大きくなく、新村、功山、乌龙などの盆地内や尖山沟、蒋家沟などの段丘や谷底平野に分布する。堆積物は未固結な粘土やシルトから成る湖成層や河川堆積物、土石流扇状地堆積物等の砂礫層で構成される。

2.2.3 地震

小江流域は重力負異常区で、東側－崇明－宜良に沿ったラインは、滇東重力梯線帯と呼ばれ、南北の細長い塹壕型の大規模な深部断裂帯（東西小江断層）である。この断層は各地質構造期において活動が活発であっただけではなく、最近でも中国における大地震発生地帯のひとつとなっている。

東西小江断層は主として左横ズレの成分（一部、逆断層）が卓越する大規模な活断層で、小江流域では2本の断層（大白河断層、乌龙断層）が約20kmの間隔で南北に並走している。既往文献によれば、東川から昆明付近のマグニチュード6.0以上の地震の震央は、大部分が東西小江断層上と、その南への延長線上に位置している。

表R2.2.2の地震統計によると、小江流域の地震は強震の発生頻度が高い。小江流域の地震は震源が浅く、破壊力が強く、中・弱震が少ないという特徴を持つ。記録にある地震で最大のものは、1833年9月6日に東川より80km北に位置する杨林で発生したマグニチュード8.0の地震である。更に東川区内では1966年2月5日～18日の間に北緯26.1～4°東経103.0～103.2°でマグニチュード4.0以上の地震が4回生じている。この時の最大規模は1966年2月5日のマグニチュード6.5の地震である。なお、その後も今日までの約40年間でマグニチュード4以上の地震が計12回も小江流域周辺に発生している。

表 R 2.2.2 小江流域周辺の地震一覧

年月日	座標		マグニ チュード	地点
	北緯	東経		
1713年2月26日	25.6	103.2	6.7	寻甸
1733年8月2日	26.2	103.2	7.7	东川
1833年9月6日	25.1	103.1	8.0	杨林
1850年9月12日	27.5	102.5	7.7	西昌、宁南
1911年10月18日	26.5	103.1	5.5	东川
1928年5月1日	26.4	103.3	4.7	东川、会泽
1930年5月15日	26.6	102.9	6.0	巧家新湾塘
1934年5月3日	26.6	103.1	5.2	蒙姑
1936年8月17日	26.6	103.1	5.5	蒙姑
1947年6月7日	26.3	102.8	5.5	东川
1966年2月5日	26.2	103.2	6.5	东川
1966年2月6日	26.3	103.2	4.9	东川
1966年2月13日	26.1	103.2	6.2	东川
1966年2月18日	26.0	103.2	5.0	东川
1975年1月22日	26.6	103.0	4.7	蒙姑
1985年3月18日	26.6	103.0	4.8	蒙姑
1985年4月18日	25.9	102.8	6.3	禄劝
1985年11月1日	25.9	103.1	4.7	东川
1986年4月13日	26.5	102.9	4.7	东川、会泽
1988年4月15日	26.4	102.9	5.4	东川、会泽
1998年12月1日	26.4	104.1	5.1	宣威市龙潭乡
2000年1月15日	25.6	101.1	6.5	姚安县
2003年7月21日	25°57'	103°14'	6.2	大姚县
2003年10月16日	25°55'	101°18'	6.1	大姚县
2003年11月15日	27°0'2"	103°0'6"	5.1	鲁甸县
2003年11月26日	27°0'2"	103°0'6"	5.0	鲁甸县

出典： 东川市誌，1995 他

2.2.4 土壌

当流域の土壌の特性について、既存資料および今回調査で行った土壌調査結果の2つの観点から述べる。

1) 既存資料による土壌特性

当流域の土壌特性をまとめたものとして、东川市志、会泽県志などの資料がある。これら資料によると当流域の土壌特性として次のことがあげられている。

a) 东川区の土壌特性

东川市志によれば、东川区域の土壌は計10土類、23亜類、45土属、62土種からなっている。その10土類の基本的理化学特性を表2.2.1に示す。主な土壌は燥紅土、褐紅壤、紅壤、黄紅壤、黄褐色壤、褐色壤、暗褐色壤亜高山野原土などで、海拔による縦方向の分布は、基本的には表R2.2.3のように分類できる。

表 R 2.2.3 东川区における標高別土壌分類と主要樹種

標高 (海拔)	土壌分類	主要樹種
1500m 以下	燥紅土	ユーカリ、銀合歡、劍麻
1500m-1700m	褐紅壤	キワタノキ、ユーカリ、紅椿
1700 m -2200m	紅壤	馬桑、金糸桃、銀木荷、云南松
2200 m -2550m	黄紅壤	云南松、崑山松、云南油杉、牛筋条
2550 m -2900m	黄褐色壤	云南松、高山松、云南油杉
2900 m -3500m	褐色壤、暗褐色壤	高山松、泡花樹、化香、ヤダケ
3300 m 以上	亜高山野原土	野古草、羊茅短柄草、高山鳶

出典：东川市志

全区の土地を地力によって8級に分けて示すと、东川区では、地力の割合高い耕地は1級～3級で総面積の10.8%を占めており、耕地・非耕地が入り混じる4級は3.6%、地力が貧弱で非耕地である5～8級は総面積の85.6%を占めている。この原因の一つとして、風雨による侵食で地力が劣化している一方で農地での有機肥料の使用が少なく化学肥料で地力を補ってきたことがあげられる。

b) 寻甸県の土壌

寻甸県の土壌分類としては計10土類、15亜類、36土属、71土種ある。主な土壌のタイプは山地紅壤、黄褐色土壌、褐色土壌などで、主な土種は水稻土、高山草原土などである。また、これら土壌のPH値は5.8-7.8である。

寻甸県も他の东川区、会泽県と同様、土壌の分布は垂直方向に沿う区分がはっきりしている（表R2.2.4参照）。

表 R 2.2.4 寻甸県における標高別土壌分類と主要樹種

標高 (海拔)	土壌分類	主要樹種
1500m 以下	水稻土	暖温性針広葉混交林帯、云南松、旱冬瓜
1500m-2300m	山原紅壤	低中高さの山の車桑子、馬桑など
2300m-2700m	山地黄褐色壤	云南松、崑山松、油杉、黄杉、旱冬瓜
2500m-3100m	褐色壤	崑山松、旱冬瓜、青岡など
2900m-3100m	暗褐色壤	刺櫟、楮櫟、ヤダケ、堅葉低い灌叢
2800m-3300m	亜高山草原土	ツツジ、低刺櫟、羊茅、牛毛草、翻白草、冷蕨など草原植物

出典：寻甸県農業局

c) 会澤県志による土壌特性

会澤県志によると、当地域に含まれる土壌は、亜高山野原土、褐色壤、紅壤、燥紅土、紫色土、石灰岩土、沖積土、沼沢土、草甸土、水稻土、黄褐色壤など 11 土類、24 亜類、54 土属、97 土種あることが明らかになっている。

このうち褐色壤、紅壤、紫色土の土類の面積は計 5,114km² で、全県土壌の面積の 90.9% を占める。この三類の土類の中、粗骨性土は 50.8% を占める。これは会澤県で土壌流失が厳しく、農産物の生産高の低い主要原因の一つになっている。

土壌の種類は地形の高さに沿って明確に分布している。海拔 1,100m 以下は燥紅土、海拔 1,100m-1,700m は褐紅壤亜類、海拔 1,700m-2,300m は紅壤、海拔 2,300m-2,600m は黄褐色壤、海拔 2,600m-3,200m は褐色壤、海拔 3,200m 以上は亜高山野原土である。

当地区土壌の科学的特性として、全般に有機質の含有量は高いが、転化率は低いことがいえる。それに自然土の有機質含有量は耕地に比べて高い。自然土の有機質含有量は 6.4% で、耕地は 3.9% である。有機質含有量の一番高いのは亜高山野原土で、次は褐色壤で、あとは黄褐色壤である。自然土含有量のもう一つの特徴は海拔高度の増加に従って増えていることがあげられる。炭素と窒素の比率 (C/N) は耕地より自然土の方が大きく、やはり海拔高度の増加に従って増えている。

2) 今回調査による土壌調査結果

今回調査では 4 優先小流域で各々 5 サンプルずつ採取し、土壌分析調査を行った。詳しい調査結果を「付属報告書 H 山腹緑化計画」に示すとともに、以下にまとめる。

- 今回調査で得られた土壌のほとんどは褐色土、黄・紅褐色類が主なものである。
- 溪流別にみると、豆腐沟は黄もしくは紅褐色土類、东川市街地流域は紅・褐色・黄褐色、乌龙河が紅褐色、桃家小河が紅・黄褐色・褐色となっている。
- 东川市志で記述されている標高と土類の関係とは異なる土類も一部存在している。
- 土壌の肥沃性や生物の生育には土壌の 3 相（固相、液相、気相）の適正な関係が決め手になるが、この採取された土壌についての 3 相分析結果をみると水分率についてはあまり問題はないものの、ほとんどの土壌は空気率が低く（空気不足）、固相率も比較的高い（緻密すぎる）ところから、一般に言われている土壌の適正 3 相範囲からは外れたものが多くなっている。
- 分級結果からみると、一部栄養分の良好な土壌もみられるが、大半の土壌で栄養分は低い。特にリン分については、分類上、ほとんどの土壌で低い。

これらの結果から総じて、当地域の土壌は栄養分が低く、造林をする上ではあまり望ましい状況にはないものの、現実には類似の土壌条件で造林が進められており、ある程度栄養分の低い土壌に対しても耐久性のある樹種を選定することで、対応は可能と判断される。

2.3 気象・水文・河川

2.3.1 気象・気候

小江流域の気象・気候について、东川気象局管轄の新村（標高 1,254m）、汤丹（標高 2,252m）、落雪（標高 3,228m）の3測候所の観測記録に基づいて述べる。（図 2.3.1 参照）

1) 気候特性概観

小江流域の気候は垂直性気候と呼ばれ、標高によって、亜熱帯半乾燥河谷区、温暖帯半湿潤地区、寒温暖帯湿潤山地区の三つの気候帯に区分されている。それぞれの気候における垂直性気候概要は表 R 2.3.1 の通りである。

表 R 2.3.1 垂直性気候

地区	標高(m)	気温(°C)			年間降水量(mm)	年間蒸発散量(mm)
		年平均	最高	最低		
亜熱帯半乾燥河谷区	900~1,300	20	40	-2	700	2,099
温暖帯半湿潤山地区	1,300~2,300	13	31	-9	830	988
寒温暖帯湿潤山地区	2,300~3,300	7	22	-16	1,200	909

出典) 云南小江泥石流综合考察与防治规划研究

2) 気温

东川市街地近傍に位置する新村測候所における観測結果によると、気候は年間を通じて比較的温暖な傾向を示している。具体的には、年間を通じた新村の気温は約 12 度から約 25 度の範囲にあり、1 月に最も低く 7 月に最高となる。年間平均気温は 20.2 度となっている。

また、小江流域は標高差が大きいため、緯度よりも標高の差が気温の変化に対して支配的であることがうかがえる。例えば、云南小江泥石流综合考察与防治规划研究(科学技术文献出版社重庆分社)によると、小江と金沙江の合流点(標高約 700m)における平均気温は 24°C であることに対して、矿王山脈雪岭(標高 4,344m)の平均気温は 0°C であり、標高差の気温差への影響は顕著である。

3) 湿度

湿度は乾季の終わりに近い 3 月頃に最低値となり、雨季の 7 月から 10 月にかけて高い。月平均湿度は新村測候所で 35~69%、汤丹測候所では 46~80%、落雪測候所では 51~88% の範囲にある。新村の湿度が示すように、小江沿川の谷底平野部においては、雨季においても比較的湿度の上昇は穏やかで過ごし易いことがうかがえる。

4) 降水

小江流域は、云南省全体がそうであるように、熱帯モンスーン気候の影響により、南アジアや東南アジアと同様に雨季と乾季の境が明瞭な気候となっている。気象局

から入手した情報や降雨観測記録によると、雨季(5月から10月)の降雨量は、年間降雨量の約87%を占めており、乾季(11月から4月)は約13%を占める。年間降水量は新村測候所で690mm、汤丹測候所で830mm、落雪測候所で1,140mmである。

5) 蒸発量

蒸発量は雨季に小さく、乾季に大きい。また、標高が低くなるほど大きくなる傾向にある。年間蒸発量は新村測候所で2,180mm、汤丹測候所で1,700mm、落雪測候所で1,570mmである。

2.3.2 水文

1) 年間流出

小江水文点観測所(図2.3.1参照)における観測記録によると、平均月流量は6月から上昇し始め、7、8月にピークを迎え、雨季の終わりとともに下降し、4、5月に最低となる。水量が豊富な6月から12月の水量は全体の85.3%を占め、1月から5月にかけては14.7%程度である。なお、云南小江泥石流综合考察与防治规划研究(科学技术文献出版社重庆分社)によると、小江水文点観測所で観測された最大流量は674 m³/s、最小流量が6.1 m³/sである。

2) 洪水

a) 洪水氾濫形態

小江流域の洪水は6月～8月に集中しており、1回の洪水は1日程度でおさまり、増減が激しいという特徴がこれまでの観測から認識されている。小江本川沿いの氾濫形態は、大略的に、本川の増水によって小江沿いの農地や家屋が浸水するタイプと、支川の土石流が小江本川をせき止めて氾濫に至るタイプに分類される。西部山区河滩地开发与保护规划研究(科学出版社)によると、前者の形態による洪水氾濫は2年に1回の頻度で発生し、後者については、蒋家沟からの土石流が代表的であり、1919年～1968年の間に、蒋家沟の土石流が7回も小江の流れをせき止め、蒋家沟合流点から上流約10kmがその天然ダムにより浸水したという事例がある。

なお、洪水記録としては小江中流部の小江水文点における28年の観測流量を用いて下表のような洪水流量の整理がされている。ただし、小江本川や支川において実施されていた流量観測記録については、殆どが鉞山局の廃局とともに遺失されている。

表 R 2.3.2 小江水文点における洪水ピーク流量

No	年月日	洪水ピーク流量(m ³ /s)	確率規模
1	1977.6.21	674	1/50
2	1960.7.28	531	
3	1974.9.1	507	
4	1981.6.28	481	
5	1987.7.6	445	1/20

出典: 西部山区河滩地开发与保护规划研究: 科学出版社

b) 実査からみた降雨と流出

本調査期間中において、2004年6月10日に中規模洪水が発生した。水文観測記録によると、小江水文点におけるピーク流量は300m³/sであり、同地点上流における平均2日雨量は約92mmである。流域平均雨量と小江水文点における水位の時系列変化は図R2.3.1の通りである。

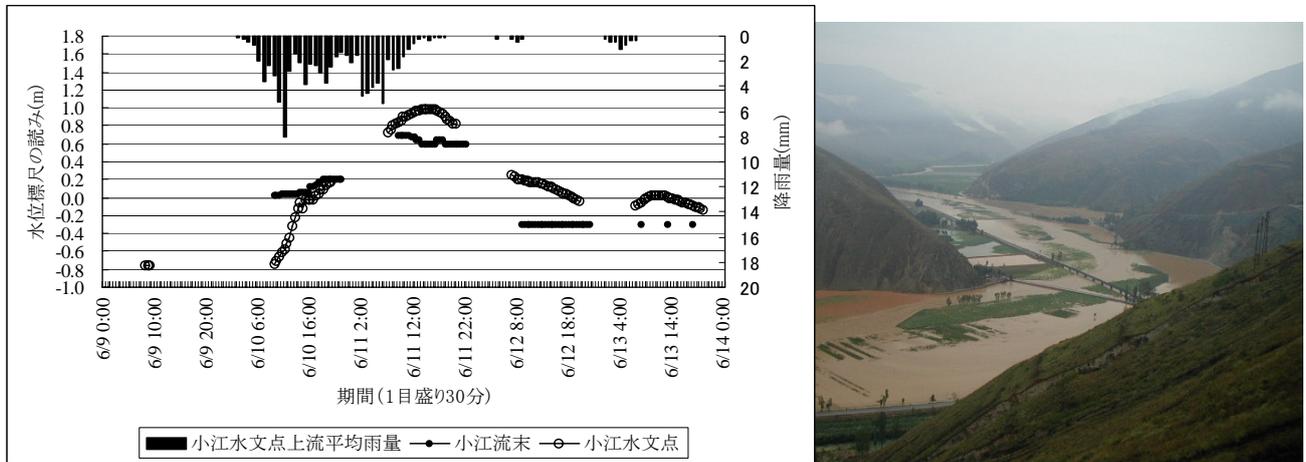


図 R 2.3.1 04年6月10日洪水データと小江水文点付近の写真(同日15時頃)

2.3.3 河川

1) 小江水系

小江は云南省北東部に位置し、昆明市寻甸県の清水海付近に端を発し、寻甸県、昆明市东川区、曲靖市会泽県を流下し長江上流の金沙江に流れ込む。流域面積は3,058km²で、流路延長は約120kmである。小江上流部は大白河と呼ばれ、途中阿旺小河、桃家小河、大白泥沟、小白泥沟、小江最大の支川块河を合流しながら、小清河合流後に小江となる。さらに蒋家沟、豆腐沟等を合流して金沙江へと通じる。

2) 現況河川の状況

小江は図R2.3.2に示すように、平均河床勾配は約1/100と急で、山間部を流れる山地河川であり、谷幅は十数m～数百mと様々で谷底平野が散見される。代表粒径は、小江本川で10～28mm程度、块河で28～58mm程度である。河道内に樹木等の植生はほとんど見られず河床の変動が激しい河川である。また、河道(高水敷・河原)を農地として利用しており、中には石積みもしくは堤防で区切られている所もある。

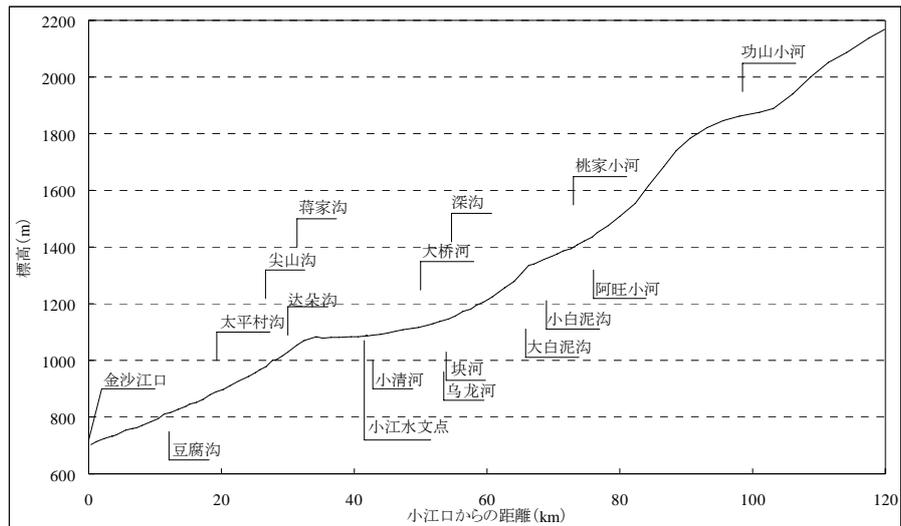


図 R 2.3.2 小江平均河床高縦断図

3) 河床材料調査結果

流域内河床堆積物の特性を把握するために河床材料調査を実施した。詳しい調査結果を「付属報告書 E 土砂水理」に示し、結果概要を以下にまとめる。

- 礫比重は、最小 2.68 tf/m³、最大 2.87 tf/m³、平均 2.77 tf/m³である。
- 現場密度は、最小 1.55 tf/m³、最大 2.58 tf/m³とばらつきがある。平均は 2.24 tf/m³とかなり締まった状態である。
- 本川、支川（豆腐沟、乌龙河、深沟、桃家小河等）の粒度分布に顕著な差は認められない（図 2.3.2 参照）。データにばらつきはあるが、平均するとシルト分（-0.075 mm）約 3%、砂分（-2 mm）約 16%、中礫（-20 mm）約 52%の粒度の良い砂礫といえる。

2.4 土地利用

2.4.1 土地利用

会泽県、寻甸県の土地資源局から提供を受けた郷鎮別データおよび「东川区総合農業区画」から抜粋した东川区全体の土地利用面積表をもとに、小江流域に関わる土地利用を下表に整理した。この土地利用別面積は小江流域そのものの値ではないが、小江流域の大よその土地利用特性を理解するには充分である。

表 R 2.4.1 小江流域土地利用の現状

土地利用項目		东川区		会泽県		寻甸県		合計	
		(km ²)	(%)						
耕地	水田	35	1.9	51	3.6	44	2.9	130	2.7
	畑	157	8.4	306	21.3	394	25.4	857	17.7
	その他	142	7.7	8	0.6	1	0.1	151	3.1
	小計	334	18.0	366	25.4	439	28.3	1,139	23.5
林地	有林地	121	6.6	261	18.2	569	36.7	951	19.6
	灌木林地	123	6.7	9	0.6	164	10.6	296	6.1
	その他	69	3.6	279	19.3	32	2.0	380	7.8
	小計	313	16.9	549	38.1	764	49.3	1,626	33.6
荒山草地		931	50.2	282	19.6	36	2.3	1,249	25.8
居住地		19	1.0	23	1.6	29	1.9	71	1.5
工鉱業用地		24	1.3	4	0.3	2	0.2	30	0.6
交通用地		8	0.5	3	0.2	5	0.3	16	0.3
水域		11	0.6	29	2.0	3	0.2	43	0.9
未利用地		214	11.5	78	5.4	166	10.7	458	9.5
その他		1	0.0	105	7.4	105	6.8	211	4.3
合計		1857	100.0	1,438	100.0	1,549	100.0	4,844	100.0

注) 东川区は全区の集計地、会泽県は娜姑鎮、金钟鎮、大海郷、车骂郷の4郷鎮の集計地、寻甸県は金所、六硝、风仪、金源、甸沙、巧山郷の6郷の集計値。

东川区の値は「东川市総合農業区画」より抜粋した1989年の土地利用。会泽県および寻甸県の値はそれぞれの土地資源局から提供を受けた2003年の土地利用。

表 R 2.4.1 によると、林地、荒山草地、および耕地は全体の80%以上を占める。そのうち林地が最も大きく全体の34%を占め、灌木を含めると有林地は25%である(林業局は別の定義による林地に関するデータを持っており、林地の詳しいデータについては次節を参照されたい)。耕地において水田は少なく3%弱で、大部分が山腹斜面での畑作となっている。また流域の荒廃を裏付けするように、荒山草地が26%も占めている。

2.4.2 森林の分布

森林の分布について、林地種別による3区県での面的分布、また樹種別に標高分布をまとめると次のようである。

1) 面的森林分布

a) 东川区の森林分布

东川区域全体面積約2,800千畝(1,874km²)のうち2001年時点調査での林地用地は約1,500千畝(1,000km²)である。有林地では云南松、云南油松、木荷、高山松が、灌木林地ではサダケ、苦刺、小桐子、牛筋条が代表的な樹種となっている。また1995年時点の东川区林業局作成の森林分布図を図2.4.1に示す。

表 R 2.4.2 林地用地の内訳(2001年時点)

年次	林地用地		林地種別面積(千畝)						森林被覆率(%)		
	面積(千畝)	割合(%)	有林地	疏林地	灌木林地	未成林造林地	苗圃地	若林地	有林地	灌木地	計
1985	1,085	38.5	187.2	94.8	188.1	1.4	0.3	614.1	6.6	6.7	13.3
1990	1,269	45.0	191.3	91.8	221.1	39.8	0.3	725.0	6.8	7.8	14.6
1995	1,137	40.5	350.3	24.9	247.4	129.5	0.1	384.9	12.5	8.8	21.3
2001	1,506	53.6	555.0	4.5	340.8	29.7	-	575.7	19.8	12.1	31.9

出典：東川区林業局

b) 寻甸県の森林分布

寻甸県での森林分布について、寻甸県林業局から東川区のように整理されたものは入手できていないが、2001年時点では寻甸県の森林の占有率は1997年の27.3%から31.7%に上昇しているようである。

寻甸県林業局での聞き込みによると、小江流域で導入もしくは導入可能な樹種として雲南松、華山松、雲南ハンノキ、アカシア科（フサアカシア、聖誕）、ユーカリ等が挙げられるようである。

c) 会澤県の森林分布

会澤県林業局報告「会澤県の森林資源及び伐採の現状」（2000年）によると県の土地総面積は、8,826千畝（5,887km²）あり、そのうち林業用地面積は4,919千畝（3,281km²）で総面積の56%を占めている。この林業用地の中で有林地面積は3,983千畝（2,657km²）と林業用地面積の81%に及んでいる。しかし小江流域に限れば、土地総面積は891千畝（594km²）あり、そのうち林業用地面積は327千畝（218km²）で総面積の37%を占めている。この林業用地の中で有林地面積は131千畝（87km²）と林業用地面積の40%を占めるが、土地総面積の15%に過ぎない。

また同県林業局への聞き込みによれば、会澤県の小江流域では標高が高く、急峻で寒冷なため植樹として可能なものは華山松くらいで、また低地（娜姑鎮等）では暑くて乾燥しているため銀合歡くらいとの話である。さらに経済樹種の主なものとしては、栗、クルミ、林檎、梨、蜜柑、茶の葉などがあげられる。

2) 標高別森林分布

標高別森林面積そのものを取りまとめた資料はないが、その樹木の分布は地形・気候・土壌の影響を受け概ね以下の三つの植生帯に分かれ、東川区、会澤県、寻甸県共通して表R2.4.3のようになっている。

表 R 2.4.3 標高別植林分布

標高	植生	基本樹林	樹種
4,500m	亜高山植生	寒温性亜高山針葉林	モミ、ヒマラヤ杉
4,000m		温冷性常緑針葉林	高山松、高山クヌギ、ホトトギス
3,500m			
3,000m	高原山地植生	常緑硬広葉林	カシ
2,500m		落葉・常緑広葉混合林	華南松
2,000m		暖帯・温帯常緑針葉樹林	云南松、馬桑、牛筋条、ユーカリ
1,500m		山地型常緑広葉樹林	
1,000m ～ 500m	乾熱河谷	灌木・草原	桐混合林、ネム、ユーカリ、リュウゼツラン、セندان

2.5 洪水土砂災害

2.5.1 災害記録

表 2.5.1、表 2.5.2、表 2.5.3 および図 2.5.1 はそれぞれの 3 区県水務局から提供を受けた災害記録に関する資料をまとめたものである。各区県によってデータの精度、記録期間、被害の定義・算定方法などが異なるが、総じて大規模な災害のみを抽出しているようであり、それ以外にも記録に現れない無数の土石流、地すべりが発生していたと見られる。

东川区、会泽県のデータでは土砂災害として泥石流（土石流）と滑坡（日本でいう、地すべりのほかに表層崩壊やがけ崩れのようなより小規模な崩壊現象も含んでいるようであるが、ここでは、地すべりという用語を代表して用いる）に分類しているが、寻甸県のデータには分類がない。

表 R2.5.1 は 3 区県のデータを小江流域としてまとめたものである。死者は累計 66 人、家屋被害約 1,700 軒、農地被害は 50 千畝（約 3,300 ha）、直接損失（家屋、家財、農作物などの被害前の価値と被害後の価値の差額或いは復旧費用、さらに防災緊急対応、救助、避難、移転など実際にかかった費用）は時価で 1 億元に達している。前述したように、これらの数値は最低限の値であり、集計から漏れた被害、小規模な災害が数多くあることは想像に難くない。

この他に主な間接被害として东川区での道路や东川支線鉄道の被災による交通遮断が挙げられる。例えば、1971 年～1986 年の総計によると、鉄道沿線で土石流は 505 回発生し、700 日間車両運行停止となったそうである。小江流域のほぼ中心に位置する新村（东川）は災害による交通遮断によって度々孤立状態に陥ったようである。

表 R 2.5.1 小江流域土砂災害記録

県		东川区	会泽県	寻甸県	合計
記録の範囲		主に'60年代以降	'66年以降	主に'70年代以降	
死者数 (人)	土石流	27	9	16	(36)
	地すべり	6	8		(14)
	小計	33	17		66
家屋被害 (棟)	土石流	181	120	496	(301)
	地すべり	45	834		(879)
	小計	226	954		1,676
農地被害 (畝)	土石流	42,800	700	7,120	(43,500)
	地すべり	300	700		(1,000)
	小計	43,100	1,400		51,620
直接損失 (百万元)	土石流	101.2	0.7	データなし	(101.9)
	地すべり	4.5	4.0		(8.5)
	小計	105.7	4.7		(110.4)
その他 主な被害	土石流	道路、鉄道交通	道路被害	—	—
	地すべり	の遮断、	—	—	—

()内の数値は东川区と会泽県の合計

2.5.2 主要激甚災害の概説

代表的な災害として、比較的情報が豊富でかつ被害が激甚であった1985年7月26日老干沟土石流、1997年10月1日新村鎮尼拉姑村芦柴塘地すべり、2002年8月蔣家沟土石流の3災害を取りあげ、以下に概要を述べる。

1) 1985年7月26日老干沟土石流

老干沟流域では1966年の东川大地震後70年～80年代にかけて土石流が頻発し、鉄道、道路、団結渠に大きな被害を与えている。

1985年7月26日午後6時過ぎ、暴風雨の下、突然大規模土石流が発生した。土石流は通行中のバスを巻き込み、12人が死亡させ、3人が重症を負った。この土石流は巧新（巧山—新村）道路および东川支線鉄道線路を埋没させ、5日間の交通止めを招いた。直接損害額は20万元である。

2) 1997年10月1日新村鎮尼拉姑村芦柴塘地すべり

1997年9月30日昼ごろから降り出した雨は夕方には上がったが、翌10月1日朝3時10分、突然、地すべりが発生した。地すべりの規模は面積0.5km²、平均厚40m、体積1,950万m³という巨大なものであった。58世帯の218名が被災し、そのうち6名が死亡し、22戸の家屋および300余頭の家畜も埋没した。直接経済損失は3百万元以上に達した。

災害後、政府は住民移転を決定し、1km程度山を下った牛奶場に移転地を確保し、1世帯当たり5,000元を投入して道路、家屋建設、給水設備を整備し、翌年5月までに移転を完了した。

3) 2002年8月蔣家沟土石流

2002年8月15日と16日、蔣家沟で3次にわたる土石流が発生し、100万m³以上の土砂が小江に流出した。土石流は既存の導流堤を約250mにわたって破壊し、約15mの高さで小江河道内に堆積し、河道閉塞を引き起こした。これにより上流側には溢水氾濫が生じ、約1万畝の農地、鉱山道路に大きな被害を与えた。このような河道閉塞は蔣家沟において1919年以降、1919、1937、1947、1949、1954、1961、1964、1968、2002年と8回にわたって発生している。1968年8月の土石流の際には、河道閉塞は6ヶ月間にもおよび、これにより道路交通は3ヶ月間中断したようである。

2.5.3 災害特性

代表的土砂災害現象としては、土石流と地すべり（表層崩壊やがけ崩れのような小規模な崩壊現象も含む）が挙げられる。しかし、山地の崩壊現象の結果として土石流が発生していることは充分考えられ、土石流と分類された災害の多くは、地すべりを間接的に原因としているものが少なくないと推定される。

一方、被災形態としては、土石流や地すべりなどの災害現象が発生した場所（オンサイト）で直接的に破壊作用を受けるものの他に、災害現象が発生した場所から離れたところ（オフサイト）で被害を受けるものがある。例えば、蔣家沟や大白泥沟、小白泥沟の土石流が小江や大白河を閉塞させ、その上流区間に洪水被害を引き起こしている。また災害記録には現れていないが、経年的な小江への土砂堆積による堰、道路、橋梁など構造物の埋没・比高差の減少や天井川化そして洪水氾濫、さらに下流の金沙江への土砂流出などもこれに相当する。

表 R 2.5.2 小江流域の主な土砂災害

主な土砂災害		備考
地すべり (がけ崩れ、斜面崩壊含む)		小江流域に地すべり地形が広く分布。
土石流		流域のほぼ全ての支川は土石流発生可能。
小江河床 の上昇	支川土石流による閉塞	支川（蔣家沟、大白泥沟、小白泥沟など）からの土石流（が本川を閉塞。）
	経年的上昇	取水堰（団結渠堰は'69年の完成以来2回、計3.1mの嵩上げ実施）、道路、橋梁の埋没、河川の天井川化および洪水氾濫。
下流の金沙江への土砂流出		下流ダム貯水池の堆砂、下流河床の上昇の要因。

2.6 環境

2.6.1 環境影響評価制度

1) 環境保護関連法規

a) 中華人民共和国環境保護法

「環境保護法」は、日本における「環境基本法」に相当する。第1条は、「生活環境と生態環境を保護・改善し、環境汚染とその他の公害を防止し、人の健康を保障し、社会主義近代化建設の発展を促すために制定した。」と本法の目的を示している。第13条では「環境を汚染するプロジェクトの実施は、環境保護管理の関連規定を守らなければならない」と規定し、プロジェクトによる環境影響報告書には、プロジェクトがもたらす汚染と環境への影響について評価を行い、防止策を定め、プロジェクト主管部門の予審を経た上で、規定の手順に従い環境保護行政主管部門の認可を受けねばならないこと、また環境影響報告書が認可された後、計画部門はプロジェクト設計任務書を認可することができることを規定している。

b) 中華人民共和国環境影響評価法

中国における環境影響評価の手続きは、2003年9月1日より施行されている「環境影響評価法」に依拠して実施される。本法の特徴の一つは、「計画の環境影響評価」と「建設事業の環境影響評価」を分け、それぞれ事業の特徴および環境への影響の程度に応じ、異なる環境アセスメントの手続き適用することによって審査認可の効率を向上させている点にある。

第7条において、5年から10年の比較的長期間の土地利用計画、流域の建設計画に対し、その計画策定の段階で環境配慮を行い、計画の環境影響の文章あるいは説明をすることが義務付けられている。第8条では、「セクター別計画」に対し、ドラフトを上申・承認する前に環境影響評価を行い、当該セクター計画を承認する機関に「環境影響評価報告書」を提出することが規定されている。

建設事業については、環境への影響の程度により分類管理を行っている。これは、国务院環境保護行政主管部門によって制定・公布された「建設事業の環境影響保全分類管理リスト」において、鉱工業開発、農業開発、商業開発を含め170種の事業について規定しており、それぞれ環境影響報告書、環境影響報告表あるいは環境影響登録表を作成することが求められている。これによると「あらゆる流域開発、開発区の建設、都市区の新興市街地の整備および旧市街地の再開発など、地域的な開発活動または建設プロジェクト」は、環境影響評価報告書を作成することが必要である。

2) 本事業の環境影響評価

本緊急プロジェクトは、2003年9月1日より施行されている「環境影響評価法」に基づいて環境影響評価報告書を作成することが必要である。この環境影響評価報告書の構成は、1) 建設事業の概況、2) 建設事業の周辺環境の現状、3) 建設事業が環境に対し与える可能性のある影響の分析、予測および評価、4) 建設事業の環境保護措置及びその技術、経済の論証、5) 建設事業の環境に対する影響の経済

損益分析、6) 建設事業の実施に対する環境モニタリングの提案、7) 環境影響評価の結論からなる。

3) 環境影響評価における住民参加

住民参加は環境影響評価法第 11 条の中で規定されており、本条項では「負の環境影響が予測され、公衆の環境権益に直接関わる計画に対し、計画ドラフトの提出、承認の前に論証会、公聴会を挙げるあるいは他の形式により関係機関、専門家及び公衆の環境影響報告書ドラフトに対する意見を聴取すべきである。」と規定している。

4) 環境影響評価報告書の審査手続

本案件の環境審査の手続きの流れは、以下の図に示したとおりである。

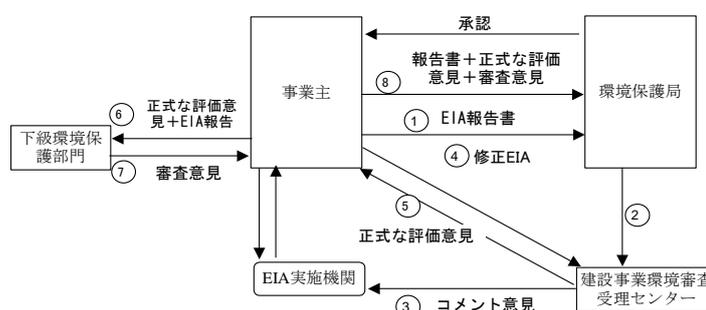


図 R 2.6.1 審査手続きの流れ

5) 他の援助機関のガイドラインとのギャップ

本案件の融資候補機関の一つである日本の国際協力銀行 (JBIC) による「環境社会配慮確認のための国際協力銀行ガイドライン」と比較して、中国の環境影響評価関連法規は、1) 環境影響保全分類基準とカテゴリー分け、2) 住民参加の 2 点で注意が必要である。

中国の環境影響評価の関連法規では、「あらゆる流域開発」は環境影響評価の実施が義務付けられる。しかしその環境影響評価の内容や詳細さ、また住民参加の方法等は、事業地域の特性、環境問題の敏感さ、環境影響の特性、影響の程度などの判断に基づきケースバイケースで決定されている。すなわち中国における環境影響保全分類は、海外融資機関である JBIC 及び世銀などのカテゴリー分けと 1 対 1 で対応するものではなく、カテゴリー分けにあたっては、事業地域の特性、環境問題の敏感さ、環境影響の特性、影響の程度等を十分に考慮の上で判断することが必要である。

また中国における環境影響評価法では、公衆参加は第 11 条に規定されている。本事業は、本来環境改善を目的としており、環境に対する負の影響も限られていることから、中国における環境影響評価関連法規及び通常の慣習に従えば、公衆参加と言っても住民に対するアンケート調査で十分と判断されている。しかし、国際協力機構の新しい環境社会配慮ガイドラインおよび国際協力銀行の「環境社会配慮確認のための国際協力銀行ガイドライン」では、首尾一貫して住民参加による事業形成という精神が貫かれている。そのため本計画調査では、基本計画策定段階より、可能な限り住民参加を促し、事業形成に住民の声を反映させるよう繰り返しワークショップを開催した。

2.6.2 自然環境

1) 環境保護区

a) 自然保護区

自然保護区とは、『典型的な自然生態系統、絶滅に瀕する希少野生動植物品種の天然集中分布区域、或いは特別な意義を持つ自然遺跡など保護対象の所在する陸地、陸地水体あるいは海域において、法律に基づいて一定面積を割り出して特別な保護と管理を実施する区域』を指す(中華人民共和国自然保護区条例)。

雲南省には国家級自然保護区が13箇所、省級自然保護区が49箇所、県級自然保護区が56箇所ある。そのうち2つの省級自然保護区と2つの県級自然保護区が小江流域及びその周辺に位置している。これらの4自然保護区の概略位置を図2.6.1に示す。

驾车崑山松自然保護区(省級。1984年認定)は会澤県南部、烏蒙山脈西部の標高2,400m~3,400mに位置し、崑山松がその保護対象である。面積は8,280ha、湿度が高く気温が低いため通年霧に覆われる。樹木では崑山松が現地天然林の主要樹種であり、会澤県林業局の管理職員(約10名)により管理される。保護区には国家重点保護動物キンセンヒョウ(豹)、センザンコウ、ジャコジカ、バーラルが生息している。

轿子雪山自然保護区(省級。1994年認定)は、小江地域の主峰(4,223m)にあり、保護区面積は1,6704haである。主峰はカゴのような形で、轿子(カゴ)雪山と呼ばれる。その保護対象は亜高山針葉林及び山地湿性常緑広葉林である。雲南省では最も緯度が低い地域での雪山であり、観光産業推進の計画が進められている。

寻甸回族彝族自治州六哨郷黒首鶴自然保護区(県級)は、黒頸鶴が冬季に飛来する越冬地域の中では世界で最も南方に位置する。

会澤県大海草山自然保護区(県級)は、面積が12,000ha、亜高山地帯に属し、芝生名勝区として知られる。保護対象は、亜高山草地、ツツジ灌木林地で、中国では内蒙古の大草原に似通った様相を保っている。草山の総面積は18万畝、標高は2,570m~4,017mであり、四季を通じて水、草、雪、雲による華麗な風景を醸成している。近年、人口の増加に伴い植生の破壊が進み生態系および自然環境の悪化が懸念されている。

b) 东川区の景観生態保護区

东川区観光開発計画で定められた保護区と観光スポットでは、小江口、紅土地などがある。小江口は、金沙江に注ぎ込む2省四県が境を接しているところにあり、歴史上の有数の人物が通過した箇所としても知られる。紅土地は、烏龍河上流にある段々畑上に開墾された赤土地のことであり、景観の美しさから特に国内外のカメラマンに人気があり、ブラジルと並び賞されている。他には、黒水河上流の高原芝生、东川区深沟森林公園があり、生態環境保護対象となっている。後者は特に小江右岸、东川区街地の後背部に位置し市民に親しまれている。

c) 湿地

尋甸県清水海は重要湿地であり、雲南省の湖水では第14番目の面積（5.4km²）を持つ。貯水量は1.4億m³、平均水深は26mであり、尋甸県市街地の主要な飲用水水源として機能しており日給水量は8,600m³に至る。周囲30km²の範囲内には崑山松、雲南松、ハンノキ、旱冬瓜、柏などの数種類の樹木が密生している。（清水海は厳密には保護区ではないが、雲南省では2005年に4箇所の国際重要湿地指定を受け、湿地の重要性が認識されてきている。）

2) 動植物

森林破壊によってヤマイヌ、オオカミ、豹などの大型獣類はほとんど絶滅し、現在は30種類の草食性獣類と小型哺乳動物が地域の南部と西部の森林に生息している。鳥類は100種以上の生息が認められ10種類あまりは国家保護種に指定されている。魚類は山間の溪流で流量は小さくて河川幅は変わりやすく川床は不安定のため、大きな資源を形成するには至っていない。

植物については、国家一級保護植物は2種、二級は2種、三級は3種あり、14種以上の灌木木種、9種以上の喬木木種、14種以上の経済種がある。喬木では、雲南松と華南松の分布面積が一番広く、雲南松の面積が10.49万畝であり森林面積の58%を占める。崑山松の面積は5.38万畝で、森林面積の30%を占める。モミ(*Abies georgei* Orr)は雲南省では一番よく保存されたモミ林地である。

小江流域の動植物資源を巻末の表2.6.1にまとめるとともに、表R2.6.1に保護指定を受けている動植物を示す。

表 R 2.6.1 保護動植物

保護指定	対象動植物
国家一級保護動物	オグロゾル
国家二級保護動物	18種
国家三級保護動物	2種
国家一級保護植物	タイワン杉
国家二級保護植物	油杉の一種（子三尖杉）、ギンナン、センキュウ
国家三級保護植物	シナトガサワラ、モミの一種、雲南トチノキ、油杉、チャンチン（トーナノキ）

出典：中国野生動物保護協会ホームページ

2.6.3 社会環境

1) 土砂災害と住民移転

小江流域では、中国科学院水利部成都山地災害及環境研究所所属の東川泥石流観測研究站、東川区水務局の東川泥石流防治研究所といった砂防専門研究機構が設立され、かつ、大量の資金が砂防事業に投資されている。2001年まで、東川区は累計6,384万元を投資して、造林と封山育林実施面積が24,677haに達し、村、家屋と農地、道路周辺で木1,800万本を植えた。砂防堰堤87基、床固工120基、谷止工千基余り、流路工30km余りを建設し、3401万m³の土砂を止め、169km²の水土流失が止められたが、3,000km²の広大な流域面積全体の一部への効果でしかないのが現状である。

流域内の多数の農民は土石流溝沿い、地滑り危険箇所付近に住んでおり、深刻な災害を受けた場合、またはその脅威を感じた場合自発的に移転する。耕作地のことがあり、元居住地からあまり離れた移転をしない農民も多い。一部の住民は移転先が農地まで遠くなり経済的・時間的損失が大きくなる。移転をしたものの再び土石流と地滑りの危害に晒され、やむをえず再移転を行う。その度に費用がかさみ生活が更に貧しくなる。

一方、政府による災害防止、貧困対策の計画的な移転も行われている。政府は移転の補助費用を支給、生活改善への支援（貯水池、メタンガス池づくり）などを実施しているが、必ずしも移転経費費用が全額まかなえるわけではなく、移転を行うことでより貧困になるという、貧困のスパイラルに入る家庭も多いと思われる。

2) 交通

道路は省道（3）、市道（2）、市郷道（10）、郷村道（30）、場鉱用道路支線（40）に分けられる。流域内では道路が少なく、交通量も少ないため、自動車排ガスによる汚染が少ないと考えられている。交通量が少ないため、騒音による道路沿いの住民生活の影響も大きくない。

民間交通では、主な交通手段は、自転車、三輪車、バイクと馬車であるが、正確な数の統計データは無い。自転車、三輪車、バイクは農村と市街地で、馬車は主に農村部で利用される。

3) 産業

a) 農業

地域の主要産業は農業である。標高が低い平野部では河川敷をも利用しながら水稻、季節果樹（スイカなど）、野菜などが、山間地ではトウモロコシ、サツマイモ、燕麦、などが栽培されている。また山間地では放牧業も一般的である。最近ではワイン醸造用葡萄と石榴などの果樹園栽培、黒山羊、ハナトリカブト（雪上一枝蒿）、法落海（特種当帰の根、云南特有の漢方薬）、雪胆、ドクダミ（魚腥草）などの特色のある品種の栽培も試みられている。

山がちな地形と頻発する土砂災害のため、小江流域では農地面積が少ない。畜産業による経済収入は農業総収入の35%を占めるが、退耕還林政策の実施によって、従来の放牧から厩舎飼育に切り替えることになった為、畜産の発展への影響が一部懸念されている。

b) 漁業・養蜂

2001年では、東川区の漁業就業人数は265人、生産金額は631万元である。漁業従事者は主に碧谷鎮と新村鎮に分布し、新村鎮では165人、生産高が326万元、碧谷鎮では100人、147万元を数える。山間の溪流で流量は小さくて幅は変わりやすく、頻発する土砂災害のため川床は不安定であり、漁業を支えるだけの魚類資源が形成されにくい環境にある。

小江中流・下流の川沿いに小規模な養殖場があり、ティラピア、鯉、草魚などを栽培し東川区や昆明などの近隣都市部へ出荷している。1960年以降、ティラピアの水田養殖が普及し1980年には1畝あたりの生産量が550kgに達した。1990年、東川区内の養殖水面面積は723畝まで拡大した。他には、養蜂が営まれており、蜂蜜の年生産量は約16tである。

c) 工業

东川区は鉱物資源を開発する同時に、80年代から工業を発展させた。現在は冶金、化学工業、機械、建材、食品、電子、革製品、製紙、製薬、陶器、印刷、服装などの企業系列が形成し、銅、アルミ、リン、鉄などの鉱物の採掘と加工が現れ始めている。

d) 観光業

有名な景勝地として、紅土地や轿子雪山などがあり、紅土地はカメラマンの撮影地として内外の人気が高い。地方政府はグリーン産業としての観光業を狙っている。地方独特の食文化、工芸品（例えば会澤県の斑銅工芸品）、文化風習（彝族の松明祭り）などがある。

4) 文化遺産・古跡

文化遺産、古跡には、木樹朗新石器時代の遺跡、中厂河漢朝の製陶遺跡、樹桔紅軍渡り、銅鉱石採掘と精錬の遺跡などが上げられる。古墳としては、古墓 春秋戦国、東漢、西漢時代のものが3箇所あり、そのほかには古建築及び石刻類（祝国寺、清真寺、娜姑古鎮、安順橋、麻栗坪石窟、銀広坂洞穴造像、普車河橋碑）が存在している。

5) 生活環境

a) 水質

小江流域では水質汚染が見られる。生活廃水と工業生産による汚水が小江へ流れ込んでおり、主な汚染物質はリンであり、河川と湖の有機汚染が進んでいる。乌龙河上流のダムにおいては水質汚染が進み、ダム周辺住民の飲用水への深刻な影響が懸念されている。会澤県の小江流域の下流では、新村の工場、东川の銅鉱、以礼河発電所などの影響で、飲用水の水質悪化が懸念されている。

东川市街地では、工業汚水と生活污水の処理が重要な課題である。东川市は本来人口2万人足らずの町であった為、排水システムが人口増加に沿った形にはなっておらず、排水はすべて露溝に流れる。1959年以降、町の両側で下水道を施工し、都市部の汚水は下水道を通じて東から西方向に大白川に流されている。排水量は1万t規模に達している。三峡ダム、及び、三峡ダムの上流でもある东川区では、昆明市东川区污水处理場及び都市排水ネット改造工事がF/S段階に入っている。污水处理能力は1万t/日を予定している。

b) 大気

近年、小江流域の大気汚染が進んでいる。当該流域では、豊富な銅鉱や亜鉛鉱を精錬するため精錬所から大量のSO₂を始めとした有害物質の排気放出が原因であると言われている。酸性雨の発生した時間と率から分析すると、酸性雨形成の要因は非鉄金属の精錬所から輩出された大量のSO₂にあるという報告もある。东川区では局地的な大気汚染が進行している。北部にある工業区、化学業、造紙業、建材業や非鉄金属精錬などが汚染の発生源と考えられており、会澤県、寻甸回族彝族自治县の主な空気汚染源は工場の排気であると言われている。

c) 衛生

2003 年末の時点で、东川区には、衛生医療施設 21 箇所、ベッド数 914 があり、衛生医療専門技術者 845 名、医者 405 名が在籍している。1990 年、东川市防疫所は防疫、地方病と肺結核の防止・治療、労働衛生、食品衛生、学校衛生、環境衛生および外来診療部などの部署を設け、職員 61 名（内衛生技術者 48 名）が在籍している。近年、銅鉱山の管理強化と医療施設の充実によって、地方病が効果的に抑制された。建国後、小江流域では様々な病気（例えば、甲状腺腫、マラリア、ツツガムシ病、発疹チフス、ハンセン氏病）が相次いで流行したが、近年はインフルエンザと赤痢などをのぞけば、百日咳や脳炎のような伝染病はほとんど発生しなくなった。

d) ごみ・廃棄物

小江流域は銅、亜鉛などの非鉄金属を豊富に産出する。しかし、採掘業、化学原料工業、化学製品製造業、金属精錬工業、それぞれの現場では固体廃棄物が適切に処理されないので汚染の原因となっている。东川区には、銅の生産、精錬箇所が集中している。流域の人々は日常生活のゴミを適切に処理するという認識があまり無く、行政も積極的にゴミ回収サービスを行ってはいない。そのため、せっかく作られた流路工なども生活ゴミが投げ込まれるゴミ箱と化している箇所もある。

6) 教育政策

云南省の人口増加率は全国平均レベルより高く、教育レベルが全国平均より低いといわれている。2003 年 7 月の段階で云南省政府は、云南省農業人口一人子奨励暫定規定、を制定し、翌月より 34 の県（市、区）にてテスト的な実施を始めた。一人っ子に、優先進学、各種の資金援助、教育費の免除、生活補助の支給をすることなどにより、人口の減少と家庭の教育費用の負担を減少することを目論んだ、中国初の試みである。

第3章 土砂災害対策および自然環境修復の現状

3.1 組織法制度

3.1.1 関連法規

中国は近年土砂災害対策および自然環境修復分野において着々と法制度の整備・強化を行っている。代表的法規として以下の9法規があげられ、土砂洪水対策事業、水防活動、水土保持、森林保護、造林、環境保全・修復等の計画、実施、管理の法的根拠となっている。

表 R 3.1.1 土砂災害対策および自然環境修復に係わる代表的法規

法規	施行年月日	内容
水法	2002年10月1日	合理的に水資源を開発・利用・節約・保護し、水害を防止し、水資源の持続的利用の実現を図り、国民経済と社会発展の需要に適應するための法律。
洪水防止法	1998年1月1日	中国で最初の自然災害対策事業関連の法律。洪水防止計画立案、事業の実施、管理についての法律。
水防条例	1991年7月2日	増水期の洪水の監視、水防、避難、被災地の救助、救済の活動、体制などについての法律。
河道管理条例	1988年6月10日	洪水対策、河川や湖沼の総合的かつ効果的な利用のための河道管理についての法律。
水土保持法	1991年6月29日	土壌資源を保護し、水害、干ばつ、土砂災害を軽減し、生態環境を改善するための土砂流出の予防と管理についての法律。
地質災害防止条例	2004年3月1日	地すべり、土石流などの地質災害を防除するための、監視、予防、管理についての法律。
森林法	1998年4月29日改正	森林資源を保護し、緑化を加速するため、森林経営、保護、造林、伐採などの管理についての法律。
環境保護法	1989年12月26日	人間の健康を保護し、生活環境、自然環境を保護・改善し、汚染や公害を防止、抑制するための管理・監督についての法律。
退耕還林条例	2003年1月20日	退耕還林活動を規範化し、実行する人々の合法的權益を保護し、退耕還林の成果を固めて農村の産業構造を最適化し、生態環境を改善するための法律。
環境影響評価法	2003年9月1日	建設事業実施後、環境に対して悪影響が発生するのを防止するための、建設計画・事業の環境影響評価の実施についての法律。

以上のような法整備の進展によって、土砂災害対策および自然環境修復に向けての法的根拠は概ね整ったと考えてよかろう。問題は、今後これらの法に従い如何に着実に執行していくのか、である。財源、組織体制の充実が求められる。

3.1.2 組織

1) 土砂災害対策及び自然環境修復に関わる組織体制

中国の行政機関は基本的にマトリックス型の組織体制となっている。横では、各行政レベルの省・市・県・郷鎮・村があり、縦では、各専門の部・庁局・処・科がある。地方の行政組織は、横の地方政府に属し、管轄されるとともに、縦の業種別の組織に技術指導、人事指導、予算配分等によって管理される。

小江流域での土砂災害対策、自然環境修復に最も深く関係する機関は3区県の水務局であるが、それぞれの林業局、国土資源局、農業局との関連も多い。これらの行

政機関間の関係は以下のとおりである。

表 R 3.1.2 流域の管理に関わる主な行政機関

役割	水防、水土保持管理、河道管理、水資源管理	林地（森林）管理、造林	土地利用管理、土砂災害管理、鉱山管理、地質災害管理	農業管理
中央政府	水利部	林業局	国土資源部	農業省
省政府	省水利庁	省林業庁	省国土資源局	省農業庁
市政府	市水務局	市林業局	市国土資源局	市農業局
区县政府	区県水務局	区県林業局	区県国土資源局	区県農業（農牧）局

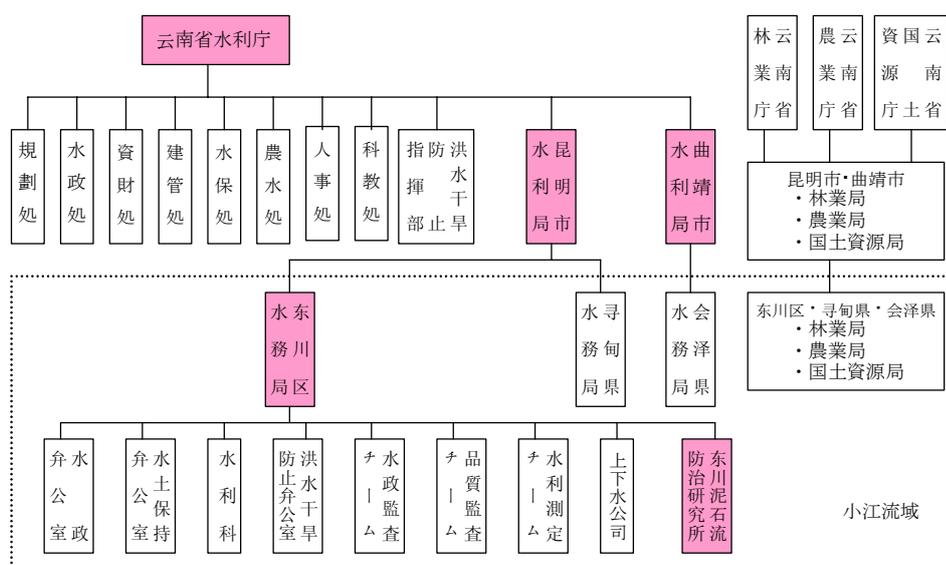


図 R 3.1.1 水利庁・水務局等の所属関係

2) 組織体制の課題

a) 専門組織の欠如

小江は2市（昆明市・曲靖市）の3区県に跨る河川であり、省の統一的な管理が必要であるが、云南省の中では小江流域の管理を担当する専門部署はなく、3区県に管理を任せているのが現状である。しかし、土砂災害および水土保持問題に対する認識、財政力等の違いにより、区県によって管理の状況は大きく異なる。东川区では、区面積の約8割が小江流域に属すること、土石流、地すべりなどの土砂災害被害が大きいこと等から、东川泥石流防治研究所を設けるなど早い時期から土砂災害に対する調査、対策事業の実施に取り組んできた。それに較べて、会泽県、寻甸県の取り組みは少ないようである。

b) 組織間の連携の不足

小江流域は複数の区県に跨るため、区県間の連携は不可欠であり、また土砂災害および水土保持問題に関わる政府部門は、水利部門、林業部門、国土部門、農業部門、都市部門等に及ぶため、これらの部門間の連携は必要である。しか

し、現況では、部門間、地域間の自発的な連携が見られるが、制度化されておらず、連携は不十分である。

例えば、優先流域の1つである桃家小河流域では上流側の約8割を会澤県が、残る下流側の2割を東川区が占めるが、区県間の連携は不十分で整備は進んでいない。また、地質災害は国土資源局の業務分野、河川災害は水務局の業務分野とされているが、地すべりも土石流も山地（地質災害）で発生し、河川（河川災害）を通して被害を拡大することが一般的であり、山から河川まで総合的な対策が必要である。その総合的な対策を実施するには水務局と国土資源局等の緊密な連携が不可欠であるが、現況では十分な連携関係にない。

c) 予算の不足・財源の不安定性

砂防事業は規模が大きく、工事期間が長いため、十分かつ安定した財源の確保が重要である。しかし関係政府機関の財政予算は、職員の給料と事務所運営費が大半を占め、事業に当てる予算はかなり少ない。例えば、人口が大きく、鉱業やタバコ生産が盛んで財源のより豊かな会澤県では水務局の年事業費は1,000～8,000万元だが、東川区および尋甸県の水務局のそれは300万元程度に過ぎない。また、各区県では土砂災害対策関連事業の費用を、事業毎に国・省・市の関係機関に申請することになるが、申請先は発展改革委員会、財政部、水利部、国土資源部、省政府などと多岐に渡る一方で、安定した財源の確保は困難である。

3.2 施設対策

3.2.1 構造物対策

1) 構造物対策の現状

泥石流が頻繁に発生する小江流域では、集落、道路、鉄道等の保全対象を土砂災害から守るため、砂防えん堤、流路工、護岸工、導流堤、床固工、谷止工などの対策工が採用されてきた。

中国において定義されている各構造物の機能・効果は下記のとおりである。

- 砂防えん堤 砂防えん堤は、土石流の主溝あるいは主要な支溝に設置される高さ5m以上の横方向構造物で、土砂を遮り土石流エネルギーを減らし土砂をコントロールする。また、床侵食基準面を固め、崩壊体、地すべり体の脚部を安定させるとともに、溪床を広め、縦勾配を緩くし、土石流固体物の粒径を小さくし河床の変動を抑える。
- 流路工 流路工は、土石流の形成区、流通補給区、堆積区に設置される。上流に設けたえん堤により土水を分離し、河床及び流路を固め、両岸のり面、河床堆積物を安定させる流れ方向に沿う枠組構造物である。
- 護岸工 護岸工は、河道側岸に沿って設置される縦方向構造物である。土石流や洪水流が不安定のり面、地すべり箇所、崩壊堆積物を洗い流し大量の土砂流になることを防止する。
- 導流堤 導流堤は、そのほとんどは土石流堆積区に設けられる。側岸を固定して土石流を制約し流れ方向を変えることにより、建築物、民家、耕地が被害を受けないように土石流を堆積場に安全に流下させる。
- 床固工 床固工は、土石流の主溝あるいは主要な支溝に設置される高さ0.5

ー2.0mの横方向構造物である。河床を固定し縦断勾配を調整することにより縦侵食、側岸侵食を防止する。

- 谷止工 谷止工は、土石流の上流形成区あるいは支溝に設置される高さ5m以下の横方向構造物である。縦断勾配を緩和し床侵食を防止するとともに両岸斜面を安定させる。階段状に『谷止えん堤群』として設計されることが多い。

流域内での本格的土石流対策は1960年代から開始されている。东川区市街地の南を流れる石羊沟では、1964年に8人の死者を出す土石流被害が発生し、1965年から东川区により砂防えん堤、流路工、谷止工等の構造物による土砂災害対策が実施された。帯工と練り石積み護岸の組合せで施工された流路工は、中国初の技術であった。また、东川区中心街の北に位置する大桥河では、1976年から本格的な土砂災害対策事業が開始された。1995年までに、清水沟、浑水沟の2支川及び大桥河本川に、9基の砂防えん堤、3基の床固工、214基の谷止工、そして6,400mの流路工が施工された。造林、退耕還林、封山育林等の生物的対策とあわせて実施されたこの事業は、土砂災害の緩和、流域の自然回復、豊かな農地開発を実現した成功例として『东川モデル』と呼ばれ、2000年3月、中国財政部より表彰されている。

上記の2小流域に加え、东川区内では、人口密集地、幹線道路、鉄道、農地を土砂災害から守るために、小水沟、热水塘沟、深沟、黑水河など多くの小流域において対策工事が実施されてきている。一方、会泽県流域、寻甸県流域においては、構造物対策はあまり実施されていない。1976年から2000年の25年間に実施された小江流域内の主な構造物対策事業を表R3.2.1に示す。

表 R 3.2.1 小江流域の主な構造物対策事業（1976年～2000年）

区県	支川名	施工期間	投資額 (千元)	構造物					
				えん堤 (基)	流路工 (m)	護岸工 (m)	導流堤 (m)	床固工 (基)	谷止工 (基)
东川区	小水沟	1989-1991	390	5	0	60	-	5	8
	大桥河	1976-1995	2,630	9	6,400	400	-	3	214
	热水塘沟	1999	220	-	150	-	-	1	0
	田坝干沟	-	-	2	-	-	-	-	-
	深沟	1984-1997	4,000	10	5,590	-	-	-	-
	石羊沟	1982-1994	4,110	2	3,580	1,523	-	-	284
	腊利河	1994-1998	1,490	4	-	-	-	-	6
	老龙箐	1999-2000	1,740	1	500	-	-	2	0
	李家湾沟	1999-2000	2,064	5	1,600	-	-	1	5
	汪家箐	1994-1997	740	3	50	-	-	2	1
	老干沟	1991-1997	1,280	2	980	-	-	4	8
	达德河	1984-1996	760	7	-	800	-	14	7
	黑水河	1984-1997	2,150	5	1,600	780	-	27	9
	小石洞沟	1994-1997	320	2	-	-	-	-	1
	桃家小河	1999-2000	850	1	-	-	-	-	-
	落戈沟	2000	600	1	-	-	-	-	8
	黑沙沟	1991-1996	1,250	2	252	-	-	14	8
	阿旺小河	2000	1,460	2	60	200	-	5	0
拖沓沟	1987-2000	1,170	5	-	-	-	2	2	
吊嘎河	1994-1997	1,130	2	155	86	-	-	-	
会泽県	陈家沟	1995	-	1	2,100	-	-	-	-
寻甸県	老干沟	1991-1995	1,920	6	3,050	-	-	-	82
	街子河	1996-1998	-	1	1,145	-	-	-	-
計			28,210	78	27,212	3,849	-	80	643

出典： 东川泥石流防治研究所-25周年記念誌
 云南小江泥石流総合考察および防治計画研究
 調査団収集資料

上表に整理した構造物に加え、2000年以降現時点までに、石羊沟支沟得莫沟、黑水河支沟三家村沟、桃家小河、阿旺小河（东川区）、沙湾大沟（寻甸県内）流域

にそれぞれ1基の砂防えん堤が建設されている。また、小水沟、込朵河（东川区內）流域に流路工が、蒋家沟（东川区內）、沙湾大沟（寻甸県內）流域末端に導流堤が建設されている。蒋家沟に建設された導流堤は、2002年8月に発生した土石流災害により破壊された既存導流堤の災害復旧事業である。

2) 既設構造物調査

小江全流域を対象として、既設主要構造物の規模、堆砂状況、破損の有無等について調査を実施した。調査を行った67基の砂防えん堤、26ヶ所の流路工、2ヶ所の導流堤の位置及び調査結果を図3.2.1、表3.2.1～3.2.2に整理する。また、調査結果概要を表R3.2.2に示す。

表 R 3.2.2 既設構造物調査結果概要

砂防えん堤

区県	調査数	えん堤形式			土砂補足形式		ダム高			堆砂状況		状態	
		重力式	重力式アーチ	フィル	不透過	透過	10m未満	10m～15m	15m以上	満砂	未満砂	良好	磨耗破損有
东川区	65	59	5	1	54	11	29	26	10	52	13	40	25
会泽県	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	1	-
寻甸県	1	1	-	-	1	-	-	-	1	-	1	1	-
計	67	60	6	1	56	11	29	27	11	52	15	42	25

流路工

区県	調査数	床版		深さ		底幅		長さ		堆砂状況		状態	
		有り	なし	3m未満	3m以上	5m未満	5m以上	500m未満	500m以上	なし少量	多量	良好	磨耗破損有
东川区	22	10	12	14	8	12	10	12	10	17	5	16	6
会泽県	1	-	1	1	-	-	1	-	1	1	-	1	-
寻甸県	3	2	1	2	1	2	1	-	3	2	1	2	1
計	26	12	14	17	9	14	12	12	14	20	6	19	7

導流堤

区県	調査数	形式		高さ		長さ		堆砂状況		状態	
		もたれ壁	重力式	3m未満	3m以上	2,000m未満	2,000m以上	なし少量	多量	良好	磨耗破損有
东川区	1	1	-	1	-	-	1	1	-	1	-
会泽県	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
寻甸県	1	-	1	-	1	1	-	1	-	1	-
計	2	1	1	1	1	1	1	2	-	2	-

3) 構造物対策現況の問題点

予算が限られていること、造林・退耕還林等の生物的対策を重視していること等に起因するが、流域の大きさ、荒廃度からみると、構造物対策の絶対量は圧倒的に不足しているものと考えられる。既設構造物の問題点としては、下記の点が上げられる。

- 砂防えん堤、流路工において越流部の磨耗、水叩きの破損、床版の破損箇所が見られる。全体構造の安全性を損なわないように早急な補修が必要である。

- 上流域の砂防整備率が低く、既設流路工の断面積は土石流ピーク流量を安全に流下させるには過小である。
- 堆砂により水路の流下能力が低下している流路工がある。堆砂を除去し施設の正常な機能を維持することが必要である。
- 扇状地上の流路を流路工で固定する場合、掘り込みではなく、築堤やパラペット方式を採用しており構造的に脆弱である。

3.2.2 造林

1) 造林事業の状況

小江流域では1989年に始まった長江中流・上流保護林プロジェクトを契機に、その後の天然林保護プロジェクトや退耕還林プロジェクトなどの国家プロジェクトを通じて、各区県林業局により造林事業が推進されている。長江中流・上流保護林プロジェクトでは造林の一方で封山育林（放牧禁止、伐採禁止）を実施し、また1998年からの天然林保護プロジェクトでは天然林地区での伐採禁止と合わせて造林が行われている。さらに2000年から始まった退耕還林プロジェクトでは原則25°以上の傾斜農地が林地に転換されている。

この結果、例えば東川区では1990年時点に14.6%しかなかった森林被覆率が2001年までには31.9%まで回復した。2003年9月に行われた東川区第二期人民代表大会に提出された資料によれば、東川区林業局は2010年までに東川の森林面積比率を現在の31.9%から40%以上までに引き上げる、さらに20年をかけ（2030年）森林面積比率を50%以上に引き上げる（この森林面積比率50%は現在の林地用地面積のほぼ91%に相当する）ことを計画している。

これまでの造林事業で植えられてきた樹種として、1,600m以下の乾熱河谷では新銀合歡、金合歡、赤ユーカリ、台湾トウアズキ等、また経済林として石榴、柑橘、なつめ、葡萄などが植えられている。1,600m～2,800mの針葉・広葉林の混じる地域での主な樹種としては雲南松、華山松、クヌギ類、黒イバラ、クリスマスツリー等で経済林としては胡桃、桜桃などである。2,800m～3,500mの高山針葉林地域では主に雲杉、冷杉、高山松が植えられている。

2) 造林の課題

小江流域の造林事業についての課題を以下にまとめる。

a) 依然として乏しい森林

資金の投入が十分でなく、造林のテンポが遅いため、森林はまだまだ乏しい。調査団の推定では森林地域は小江流域全体の1/4に過ぎず、ほぼ同程度が荒山草地となっている。

b) 森林のマルチ機能の未活用

現状の森林規模が小さく、体系としてまだ不完全なため、生態環境への影響力はまだまだ弱く、森林の効果（生態効果・社会効果・経済効果）が十分発揮されていない。

c) 止まらない森林破壊行為

小規模ながら造林地域での盗伐、採鋤、採石、採砂などが依然として行われており、森林保護管理の強化が必要である。住民の協力を得るための教育・宣伝活動を活発化させるとともに、メタンガス利用や省エネかまどの改良などの住民に対する支援も重要である。

d) 造林技術と経営管理技術の遅れ

以下の点での林業に対する科学技術、経営管理技術が遅れている。

- 自然環境の厳しい（乾熱河谷、亜高山寒冷地区）地区での植林技術
- 植生による水土流出・土石流抑制などへの効果推定
- 経済林栽培と管理の実用技術の普及活動
- 森林の経済効果・社会効果・生態効果などの開発と経営管理技術
- 退耕還林に関する経営管理技術

e) 造林・維持管理施設の不足

標高の低いところでは、水不足のため造林しては、枯れている現状がある。また造林やその後の管理のための林道、通信機器、管理小屋などの施設が無く、作業効率が悪く、管理が行き届かないところがある。

3.3 非施設対策

小江流域での主な非施設対策として、災害警戒体制整備、住民移転、流域・河道管理を取り上げる。また、蔣家沟を中心とした小江流域での観測・研究活動にも触れる。

3.3.1 災害警戒体制

小江流域の災害警戒体制には、地すべりや土石流災害を主な対象とした群測群防と呼ばれる監視活動と洪水を対象とした水防活動の2系統ある。群測群防の土砂災害監視体制には国土資源局地質環境科が、洪水水防活動には水務局に置かれる水防指揮部弁公室が中心的役割を果たしている。ここではまず、土砂災害および洪水災害に対する早期警戒体制構築に欠かせない気象局による降雨予測の現状について述べ、つぎに2系統の警戒体制それぞれについて説明する。

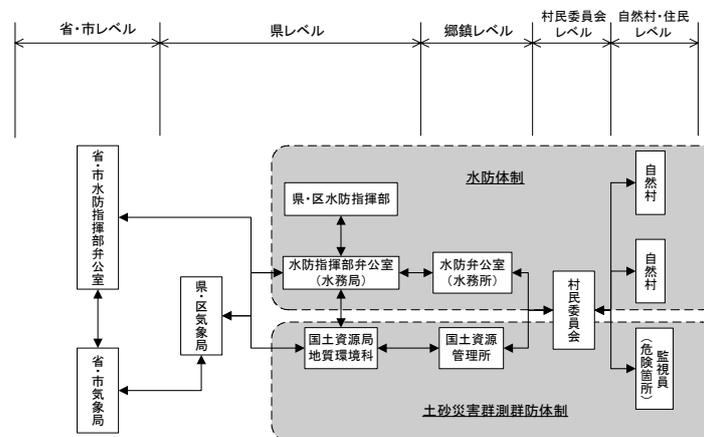


図 R 3.3.1 土砂災害群測群防体制および水防体制における情報伝達網

1) 気象局による降雨予測の現状

各区県庁所在地には気象局があり、降雨、気温、気圧等の気象観測を行い、管轄内の天気情報をテレビや関係機関に提供している。24 時間以内に大雨（25～50mm）もしくは暴雨（50mm 以上）の降雨が予想される場合は水防指揮部弁公室や国土資源局に通報することになっている。

天気、降雨の予測には、衛星画像（風雲 2 号）、レーダ画像、気象局敷地内の観測データおよび上位機関である国家、省および市の気象局からの情報を用いている。云南省には計 6 基のドップラーレーダがあり、昆明市の东川区気象局と寻甸県気象局は昆明市気象局のレーダ情報を、曲靖市会泽県気象局は曲靖市気象局のレーダ情報を、インターネットを通じて入手している。どちらのレーダも小江流域全体をカバーしている。現在、云南省気象局間で光ファイバー回線を敷設中で、来年 6 月には開通予定であり、これにより他地域のレーダ情報も含め、高速かつ大量に気象情報が入手できることになる。

レーダの導入により大幅に降雨予測の精度は上がったものの、まだ満足できる精度はない。东川区気象局の話では、大雨（25～50mm）以上の降雨予測の精度は 20% 程度に過ぎないようである。东川区気象局は、精度向上のための方策として、

- 衛星・レーダ画像解析の向上
- 上級気象局（国家、省、市）からの情報の増加
- 気象テレメータ観測所の導入

を挙げている。

2) 土砂災害群測群防体制の現状

小江流域で行われている地質災害対策の中心は、群測群防とよばれる土砂災害危険箇所（重点地区）の監視体制である。これはあらかじめ、地すべり・土石流の危険箇所を抽出しておき、雨季（5 月 1 日～10 月 31 日）には 24 時間体制で、村民委員会から任命した監視員 1, 2 名を各危険箇所に配置し、災害の予兆を監視させるというものである。

一度異常が確認されれば、図 R 3.3.1 に示すように、村民委員会、各郷鎮の国土資源管理所もしくは国土資源局地質環境科に通報され、避難が必要と判断されれば、監視員の誘導の下、住民は避難することになる。情報伝達は基本的に電話（固定および携帯）が使われ、電話が通じない危険箇所の場合、歩いて村民委員会に出向くようである。大雨などの気象情報は逆のルートで危険箇所に伝達される。

危険箇所の抽出は各区県毎、郷鎮政府の情報を下に、昆明市環境監測総站や东川泥石流防治研究所などの支援を受けて行われているようである。例えば、会泽県では小江流域内で計 88 箇所（その内、地すべり 67 箇所、土石流 7 箇所を含む）が抽出されている。これらの危険地域に関する情報については、民政局、貧困対策事務所（扶貧弁公室）、発展計画局にも提出され、移転事業、貧困対策事業のために参考されている。

監視員の責務は、危険箇所の監視の他に、災害時の避難誘導および日常活動としての宣伝活動である。このシステムの成否の鍵を握る監視員の質を確保するために、毎年、雨季前に、国土資源局は監視員の訓練を昆明市環境監測総站や东川区泥石流

防治研究所などに委託して実施しているようである。監視員は基本的に危険箇所に住む、小グループや村民委員会役員から選定されるが、この業務目的のための手当ては特に与えられていないようである。それでも自分たちの命は自分で守るという意識から士気は高い、との各区県の国土資源局の話であるが、実際にどの程度確実に実行されているか裏付けるデータはない。

このような土砂災害群測群防体制は 90 年代後半から始まったばかりで、その有効性を評価するには運用期間が短過ぎるが、地すべりの兆候発見により災害を防ぐことができた 2, 3 の例が報告されている。一方で、土石流の兆候発見は難しいようである。

3) 水防体制の現状

雨季（5 月 1 日～10 月 31 日）には区县政府内に副県長を指揮長とする関係機関（水務、国土資源、農業、林業、公安、民政、発展計画、交通局）の代表が集まる水防指揮部が置かれる。また同時にその弁公室が水務局内に設置され、24 時間の当直体制を敷いて、図 R 3. 3. 1 に示すように災害に関する情報を関係機関より入手し、対応を関係機関に指示する。実際の水防活動には民兵の応急対策チームが動員される。

情報の伝達には基本的に電話（固定および携帯）が使われている。近年、携帯電話のカバーエリアが急速に拡がり、水防にも積極的に活用されている。また、各県の林業局は各郷鎮の林業工作站や林場等を繋ぐ VHF 無線電話のネットワークを所有しており、電話のバックアップとして利用可能である。

災害予防のためには、天気、雨量、水位などの気象・水文情報の入手が極めて重要である。会澤県では 2004 年に各郷鎮政府および各ダムに雨量計を設置し、洪水時には電話により雨量情報を取得するようになったが、東川区と尋甸県には雨量計はなく、気象局からの天気・降雨情報および郷鎮政府を通じての現場情報に限られているのが現状である。

4) 災害警戒態勢の課題

a) 観測システムの不足

災害警戒体制において最も重要なことはいち早く、災害の予兆を察知し、関係機関、住民に警戒・避難を呼びかけることである。特に、ゲリラ的・突発的に発生する土砂災害においては早期の予兆発見が成功の可否を握っている。しかしその予知・予測を気象局のシステムに大きく頼った現システムは観測施設に乏しく、精度上、また迅速性という面からも満足できるレベルからはほど遠いところにあり、土石流、地すべりのような局所的・突発的な災害にはうまく対応できていないものと想像される。とくに災害の最大要因である降雨を正しく、迅速に観測するためのシステムの質・量における改善が急務である。

b) 群測群防の限界

一方で群測群防体制は観測・通信機器の不足を補う、いわば人海戦術によるシステムである。このシステムは比較的挙動のゆっくりした地すべりには、システムが適切に運用されるならば、十分有効ではないかと思われ、関係者からも事前に地すべりの予兆を発見し、大事に至らなかった事例を幾つか聞いている。

しかし、突発性の強い土石流にはあまり有効ではないと思われ、実際の監視も地すべりに主眼がおかれているようである。

システムの適切な運用を担保するためには、監視員の技術とモラルが肝要であり、そのための適切な報酬、機器、訓練を確保する必要がある。その一方で、いくら技術やモラルが高くとも、4.1.2で述べるように小江流域の雨は深夜から早朝にかけて多いことなど不利な条件も多い。

3.3.2 住民移転

中国政府は住民移転を土砂災害対策および貧困対策の大きな柱の一つと位置づけ、積極的に移転事業を推進している。さらに住民の自発的な移転も行われている。以下では政府による移転事業について説明する。

1) 移転事業体制

各区県の民政局、発展計画局、貧困対策事務所（扶貧弁公室）がそれぞれ移転事業を実施している。発展計画局および貧困対策事務所（扶貧弁公室）の移転は貧困対策を含めた生活環境の改善を、民政局は防災を主目的としているようである。

移転対象の選定は郷鎮政府や国土資源局からの情報等に基づいて行われる。移転先については、以前は遠い云南省南西部の徳宏州や思茅地区へのサトウキビ栽培農家として移転した例があったが、近年は同じ郷鎮、村民委員会内での移転がほとんどである。移転に際して政府補助があり、家屋建設、道路整備、水道整備などに当てられるが、その額は一世帯当たり 3,000～5,000 元、もしくは 1 人当たり 2,400～5,000 元と区県または実施機関によって大きく異なる。

2) 移転事業実績

小江流域内での 2001～2003 年の 3 ヶ年での移転事業実績は、以下に示すように約 2,900 世帯（約 11,000 人）で、年平均に直せば、毎年約 1,000 世帯（約 4,000 人）ものペースで進められていることになる。各区県の移転実績を比べてみると、比較的財政が豊かで政府補助の大きい会澤県での移転実績のペースが、小江流域に占める面積割合を考慮すると、高いようである。

一方で、このような関係機関の努力にも係わらず、小江流域にはさらに数万人の人々の移転が必要だとされている。

表 R 3.3.1 小江流域内の移転実績(2001～2003 年)

区県	东川区			会澤県 貧困対策 事務所、 発展 計画局	寻甸県			総計
	民生局	発展 計画局	小計		民政局	貧困対策 事務所	小計	
世帯数	958	388	1,346	942	約 500	115	約 600	約 2,900
人数	約 3,500	1,452	約 5,000	3,603	約 2,000	432	約 2,500	約 11,000
政府補助	3,000 元/世帯	不明	-	5,000 元/人	5,000 元/世帯	2,400 元/人	-	-

3) 移転事業の課題

a) 移転地確保の困難

現地政府の推計によると、今後も数万人の移転が必要とのことであるが、それだけの人々を移転させる移転地が今後も確保できるかが、大きな課題となってきた。かつては遠隔地に移住させる施策が取られていたこともあったが、近年は住民の生活手段である農地の確保が難しくなってきたことから、所有している農地を移転後も使えるように、同一の郷内、さらに同一の村民委員会内での移転がほとんどである。しかし、農地のみならず、宅地にできるような安全な土地が今後数万人分も近隣地域に確保できるかという難しい問題がある。

b) 移転条件に対する不満

4.4の社会調査結果によると、移転事業に対する移転住民の反応は総じて、「危険であるので仕方がない」というように消極的ではあるが肯定的である。しかし、「移転地が農地から遠くなった」、「移転に費用がかさみ財産が減った」、「政府補助金で建設された家屋が良くない」などの不満も上がっている。

3.3.3 流域・河道管理

銅精錬、農民の開墾や薪採取のための森林伐採、過放牧、道路建設などの人間の行為が小江流域を荒廃させてきたことは周知の事実となっている。中国政府は近年、水土保持法、森林法およびそれらの実施条例などを公布し、構造物対策や植林を積極的に進める一方で、これ以上流域を荒廃させないように流域管理を強化している。以下では、流域管理として、水土保持管理、森林保護、および河道管理を取り上げ、その概要を述べる。

1) 水土保持管理の現状

各区県には、県政府のほか水務局、林業局、国土資源局、農業局などの代表からなる水土保持委員会が設置され、実務は水務局に置かれた水土保持弁公室が行っている。その主な活動は、以下のとおりであるが、監督・監視などの現場業務には各郷鎮に置かれた水務所が主体となっている。また水土保持法の執行については水政監察チームが担当する。

表 R 3.3.2 水土保持管理活動

主な活動	概要
水土保持事業の実施	構造物対策、造林の計画作成・実施。
建設事業の審査	区県レベルの建設事業に関して、専門家から成る審査会を組織し、事業者から提出される水土保持計画の審査・承認を行う（県レベル以上の事業については国家、省、市の水土保持弁公室が対応する）。事業者が水土保持対策を計画・実施できない場合は、弁公室が費用を徴収して対策を実施する。
監督・監視	建設事業や採石、採砂、採鉱活動を、水土流失を招かないように監督・監視する。また、5カ年に一度、現地踏査またはリモートセンシングによる水土流失状況に関する調査を行う。
宣伝活動	7月を水土保持の月に決め、テレビ、看板、ポスターなどで水土保持の重要性を訴えている。

各水務局の話では、近年の管理業務の強化や水土保持に関する住民意識の高まりによって、深刻な影響を与える悪質な建設作業、採石、採砂、採鉱活動はほとんど姿を消したとのことである。しかし一方で小規模な個人的な活動の取り締まりは難しいようである。

2) 河道管理の現状

小江は長江の第1級支川に分類され、その支川ともに原則的には各水務局がその管轄内の管理を行うことになっている。二つ以上の行政区に渡る場合は、その共通の上級機関が管理責任を負うことになる。例えば、東川区と尋甸県に係わる事項には、その共通の上級機関である昆明市水務局が当たることになり、一方、昆明市東川区と曲靖市会泽県に係わる事項には、さらに上級の云南省水利庁が当たることになる。

水務局の河道管理は水防弁公室が水政監察チームと共同して実施している。具体的な管理活動としては、河道管理条例に則り、河道内での道路建設、活動（採砂、採石、建築など）の承認、河道内障害物の撤去指示、堤防の管理などである。水土保持管理と同じく、県レベル以上の事業の承認業務は、事業のレベルに応じて長江水利委員会、省水利庁、もしくは市水務局の水防弁公室が担当している。

各水務局の話では、河道管理は問題なく、うまく機能しているとのことである。その一方で、水土保持管理と同様に、小規模な個人的な活動の取り締まりが難しいようである。

3) 森林保護管理の現状

森林保護管理は林業局の責務である。県の林業局内部では一般的に、森林保護管理を林政科が担当し、犯罪に絡む事項には森林公安分局が担当する。現場では、各郷鎮に置かれた林業工作站、さらに林業工作站を通じて委託を受けた森林保護員が封山育林地域での盗伐や放牧に対する見張り役を務めている。小江流域には1,000名を超える森林作業員がおり、担当地域（一人当たり1,000～1,500畝）の難易に応じて月平均60～250元程の報酬を受けている。

林業局の話では、以上のような管理体制が整備されてきたことのほかに、森林保護に対する住民意識が向上してきていることや違法行為には重い刑罰が科せられることなどに理由から、盗伐や放牧は少なくなっているようである。しかし、第4章のワークショップの結果によれば、生活苦のための薪取りや放牧による森林破壊は依然として続いているようでもある。

4) 流域・河道管理の課題

流域・河道管理の課題として以下の住民の協力・参加の重要性が上げられる。

a) 住民の協力・参加の重要性

近年の法整備などによって、水土保持管理、河道管理、森林管理の法的根拠が確立し、また運用もシステム化されてきている。それによって大規模な違法行為は影を潜めるなどそれなりの効果は上がってきているようである。しかし、一方で小規模な違法行為は依然として行われている。

今後さらに管理の実を上げるために取り締まりをより厳しくすることも考えられるが、小規模な違法行為をも含めて完全に取り締まるのは、多大な費用と人員を投入したとしても、非常に難しいと推定される。これらの多くは現地住民によって引き起こされているものであり、持続的な流域・河道保護のために

は「住民が自ら護る」ような住民の協力が欠かせない。そのためには住民に対する教育、宣伝だけでなく、メタンガスの普及などの貧困対策支援が不可欠である。

3.3.4 土石流観測・研究

小江中流部右支川である蒋家沟流域には中国科学院水利部成都山地災害及環境研究所所属の东川泥石流観測研究站が建設され、1964年から長年に渡って土石流の観測・研究が行われている。1987年からは外国にも開放され、'90年代には日本の京都大学防災研究所と協同研究を行った実績がある。近年、観測活動は以前とくらべてかなり下火になっているようであるが、それでも雨季には観測員が観測站到りして観測を続けている。



このような膨大な観測データに基づく研究成果は、小江流域だけにとどまらず、広く中国全土の土石流対策に活用されている。また蒋家沟の粘性泥石流は京都大学防災研究所との共同研究などを通じて、日本にも紹介されており、本調査においても多くの研究成果を引用している。

一方、东川区には水務局に属する东川泥石流防治研究所があり、水土保持に関わる対策の計画、設計、施工管理を実施している。同研究所は試験農場を持ち、土壤浸食の実験などを行った実績もある。

第4章 基礎解析

4.1 水文・水理解析

4.1.1 水文観測

本調査では図 4.1.1 に示すように自記雨量計、水位標尺をそれぞれ7箇所および6箇所に設置し、2004年6月から同年11月にかけて、雨量、水位、流量、流砂量観測を実施した。観測結果については「付属報告書C 水文・水理」に整理した。

表 R 4.1.1 水文観測地点および期間

観測項目	観測期間	観測地点
雨量	6ヶ月(6月～11月)	巻末図 4.1.1 参照
水位	6ヶ月(6月～11月)	巻末図 4.1.1 参照
流量	2ヶ月(7月～8月)	水位観測と同地点
流砂量(掃流砂)	1ヶ月(7月)	小江水文点(小江橋)と小江流末(格勒)
流砂量(浮遊砂)	1ヶ月(7月)	小江水文点(小江橋)と小江流末(格勒)

4.1.2 降雨解析

1) 最大日雨量

东川区気象局の観測記録によると、最大日雨量は観測期間の最も短い烂泥坪を除けば約110mmであり、平均年最大日雨量は60mmから70mmの範囲にある。落雪、烂泥坪、汤丹、新村測候所の観測記録における最大日雨量等について表 R4.1.2 に整理した。

表 R 4.1.2 最大日雨量

観測所名	最大日雨量(mm)	平均年最大日雨量(mm)	平均年間雨天日数(日)	標高(m)	統計年
落雪	107.9	60.3	91	3,228	1955-1993(39年間)
烂泥坪	82.7	58.2	122	3,103	1957-1967(11年間)
汤丹	107.9	66.7	103	2,252	1955-1988(34年間)
新村	108.6	67.6	74	1,254	1955-2004(50年間)

2) 降雨の集中する時間帯

小江流域の东川区周辺においては、昆明停滞前線の影響により21時から10時にかけて降雨が集中する時間帯となっている。また、標本数の最も多い10mm以上のケースに着目すると、最も雨の降る頻度が高い時間帯は、3時から5時となっている。

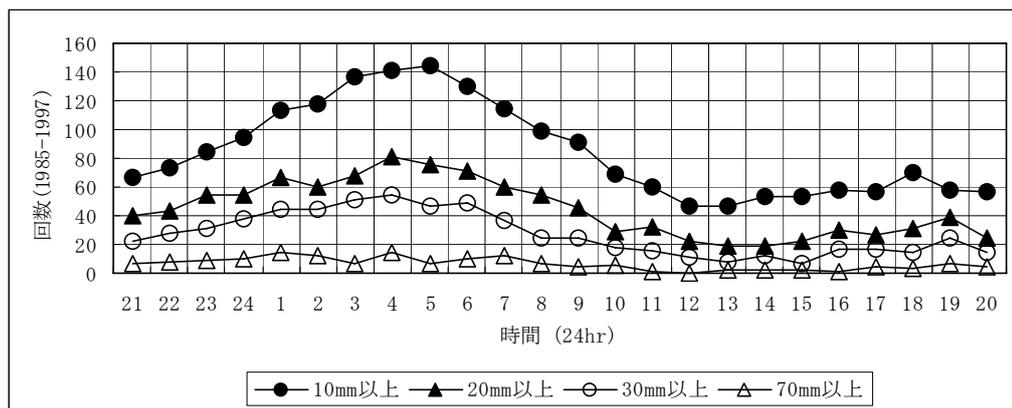


図 R 4.1.1 雨量の時間分布

3) 雨量－高度関係

図 R4. 1. 2 は、年間降雨量と海拔標高の関係を調べたものである。相関係数 $R=0.883$ が示すように、標高が増すに従って年間降雨量が増すという明瞭な関係が見られる。一方で最大日雨量については、表 R. 4. 1. 2 に示すように標高と明瞭な関係は見られない。

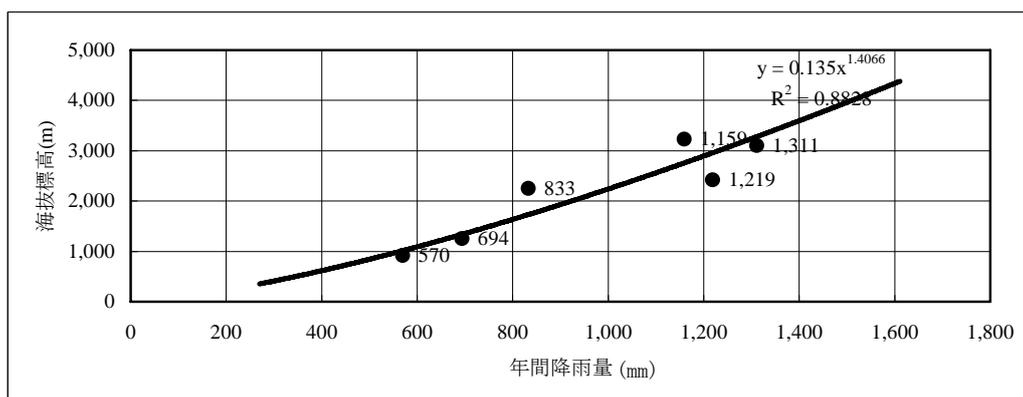


図 R 4.1.2 年間降雨量と海拔標高の関係

4) 豪雨の場所的分布

小江流域の豪雨は局所的性格が強いようである。図 4. 1. 3 は、小江流域内で互いに最も近い位置関係にある（直線距離で 5km 弱、図 2. 3. 1 参照）、东川区气象局新村測候所と东川泥石流防治研究所の試験農場で観測された豪雨時の時間雨量を比較したものである。この図を見ると、5km 離れているだけで雨の降り方は大きく異なることが理解できる。

例えば、1991 年 6 月 21 日の豪雨では、东川泥石流防治研究所の試験農場で時間雨量 24mm 降っているとき新村測候所では 3mm 程度しか降っていない。逆に 1997 年 9 月 18 日では新村測候所で時間雨量 29mm 降っているときに試験農場では 4mm しか降っていない。また両観測所の時間雨量の相関係数は 0.53 であり、相関は低い。

5) 降雨継続時間

东川泥石流防治研究所の観測所における記録用紙によると、主要な降雨の継続時間は短く、多くは 6 時間以内、長くても 2 日以内に降り終わっている。図 4. 1. 4 に日雨量 30mm 以上の一連の降雨についてのマスカーブをまとめた。

6) 継続時間別降雨強度

东川泥石流防治研究所から入手した 12 年間の観測記録用紙と、気象局から入手したデータをもとに、継続時間別最大降雨量を継続時間ごとに抽出し、それらを降雨強度(mm/hr)に換算した。表 R4. 1. 3 に継続時間別降雨強度の最大値、平均値、最小値を示す。

表 R 4.1.3 継続時間別降雨強度

継続時間	降雨強度(mm/hour)								降雨強度 (mm/day)	
	5	10	20	30	60	120	180	360	1日	2日
平均	63.2	55.7	46.1	34.9	23.3	15.6	11.8	8.1	57.9	35.7
最大	120.0	93.6	63.8	46.0	38.0	28.6	20.0	13.8	108.6	63.4
最小	39.6	36.6	27.3	18.6	10.5	8.5	6.4	4.5	28.6	17.9

7) 降雨確率計算

a) 継続時間別降雨確率

整理した降雨強度をもとに継続時間ごとに確率計算を実施し、表 R4. 1. 4 に整理した。

表 R 4.1.4 継続時間別降雨強度

確率年	降雨強度(mm/hr) ^{*注1}								降雨強度 (mm/day) ^{*注2}	
	5min.	10min.	20min.	30min.	60min.	120min.	180min.	360min.	1day	2day
2	59.6	53.6	44.2	33.5	22.2	14.8	11.2	7.7	55.2	33.9
5	79.3	65.0	54.3	40.7	28.4	19.2	14.2	10.1	70.5	42.8
10	92.4	72.6	61.0	45.4	32.5	22.2	16.2	11.6	80.7	48.7
20	105.0	79.9	67.5	50.0	36.5	24.9	18.0	13.1	90.4	54.3
30	112.3	84.1	71.2	52.6	38.7	26.6	19.1	14.0	96.0	57.6
50	121.3	89.3	75.8	55.9	41.6	28.6	20.5	15.1	103.0	61.6
100	133.5	96.4	82.0	60.3	45.4	31.3	22.3	16.5	112.5	67.1

注 1: 东川泥石流防治研究所のデータを使用。注 2: 気象局新村測候所のデータを使用。

b) 確率規模別降雨強度式の算定

上記ににおいて整理された継続時間別最大雨量を、図 4. 1. 5 にプロットし、確率規模別の降雨強度式（君島式 $R=a/(T^n+b)$ ）を最小 2 乗法により求めた。

4.1.3 流出解析

本川治水計画の基本となる基本高水流量を設定するために流出解析を行った。流出解析の詳細については「付属報告書C 水文・水理」に説明するが、以下のその要約を示す。

1) 流出解析モデルの構築

a) 流域分割

本調査で入手した5万分の1の地形図を基に、小江本川へ直接流入する支川を99川抽出し、流域分割を行った(流出解析モデルの精度を保つため100km²以上の流域面積を有する小清河、盐水沟、黄水箐、乌龙河などについてはさらに複数に分割し、分割数は最終的に110とした)。流域分割結果を図4.1.6に示す。

b) 流出計算手法の選定

支川流域の流出計算手法として地表流成分、中間流成分、地下水流出成分の3つの貯留層を表現するタンクモデル法を採用し、河道における遅れの計算はキネマティックウェーブ手法を採用した。なお、流出解析モデルは、127の流域モデル(内残留域は17)と25の河道モデルで構成されている。流出解析モデルの模型図を図4.1.7に示す。

c) 降雨量の設定

代表観測所として観測期間が最も長い新村観測所を選び、面積-降水量関係(世界気象機構による面積-降雨量関係図を参考)および標高-降雨量関係によって同観測所の降雨量を引き伸ばすことによって、各流域に流域平均降雨を与える。

d) 蒸発量

小江流域における蒸発量は海拔標高が高いほど減少する傾向にある。そこで、各支川流域における蒸発量については、新村、汤丹、落雪観測所における観測記録と、流域の平均標高との関係に基づいて設定する。

e) 再現計算の実施および結果

対象洪水としては1977年6月21日に発生した既往最大洪水(ピーク流量674m³/s、西部山区河滩地开发与保护规划研究における流量確率で1/50)を選定した。

a)~d)までの与条件のもと、再現計算を実施した。モデルの定数を試行錯誤により設定し、ピーク流量の計算値と観測値とを同程度に整合させた。再現計算結果を表R4.1.5および図4.1.8に整理した。

表 R 4.1.5 再現計算結果

洪水ピーク流量 生起年月日	洪水ピーク流量 (m ³ /s)		モデルに与えた 流域平均2日雨量 (小江水文点上流)	2日雨量 の観測値 (新村)	洪水到達時間
	観測値	計算値			
1977.6.21	674	650	95mm	91mm	約8時間

2) 基本高水流量の設定

a) 計画降雨の設定

4.1.2 の降雨解析において算出した確率規模別の降雨強度式と 2 日雨量の降雨確率から、図 4.1.9 に示すように確率規模別計画ハイトグラフを作成した。なお、各支川流域には、さらに面積降雨関係、高度降雨関係によって計画ハイトグラフに補正を加えたものを与えた。

b) 基本高水流量

上記作成した流出解析モデルにおいて氾濫戻しを考慮して流出解析を実施した。その結果を表 R4.1.6 および図 4.1.9 に整理する。

表 R 4.1.6 基本高水ピーク流量とピーク時間

(流量:m³/s, 時間:Hour)

地点 確率年	三江口		小江水文点		小江流末 (小江口)		塊河流末		大白河流末	
	流量	時間	流量	時間	流量	時間	流量	時間	流量	時間
2	362	9:20	481	10:00	631	11:20	145	9:20	194	9:10
5	503	9:00	667	9:20	876	10:00	201	9:00	270	8:50
10	669	8:00	887	8:20	1166	9:00	267	8:00	359	7:40
20	703	8:40	931	9:10	1224	9:50	280	8:40	378	8:20
30	797	8:10	1056	8:40	1390	9:20	318	8:10	428	8:00
50	922	7:30	1221	8:10	1606	8:50	367	7:40	496	7:20
100	1112	7:00	1473	7:20	1932	8:10	441	7:00	599	6:40

注1 : 計算開始時刻(計画降雨の降り始め時刻)を 23:00 としている。

注2 : 三江口とは塊河、大白河、乌龙河が合流する地点である。

4.1.4 河道流下能力

本調査における河川横断測量(2004年7月に実施)により得られた河川横断図をもとに、1次元不等流計算を行い、小江(大白河)および塊河(四甲河)の現況河道流下能力を算定し、表 R 4.1.7 にとりまとめた。詳細は図 4.1.10(流下能力縦断図)および図 4.1.11(流下能力平面図)に示すとおりである。

流下能力の算定は、まず、各確率流量が流れた時の水位を1次元不等流計算によって求め、その流量と水位を用いて各断面について水位流量関係式(H-Q式)を求める。次に、各断面の流下能力評価高(有堤区間は堤防の天端高、無堤区間は田畑の地盤高)を設定し、その高さを先で求めたH-Q式を用いて流量に変換することにより行った。

小江の特に蒋家沟合流点上流~三江口付近の区間(下表の⑥⑦の区間)においてはほぼ全川で流下能力が2年以下となっている。塊河については、下に示す区間の一部で流下能力が低い地点が存在する。流下能力が低い地点に関してはその不足している原因を表 4.1.1 に取りまとめた。

計算条件としては、下流端水位(小江については小江口、塊河は小江への合流点)を等流水深で置き換え、流出解析によって得られた各確率別の基本高水流量を与えた。算定に用いた粗度係数は、自然河川で礫河床であることから $n=0.030$ とした。

表 R 4.1.7 現況河道の流下能力

【大白河・小江】

番号	下流		上流		区間最低 流下能力 (m ³ /s)	基本高水流量 1/20 (m ³ /s)
	KP	地点	KP	地点		
①	0.00	小江口	3.50	格勒坪橋下流	1,990	1,300
②	3.50	格勒坪橋下流	10.50	牛坪子上流	420	1,200
③	10.50	牛坪子上流	25.06	尖山沟合流点	1,030	1,200
④	25.06	尖山沟合流点	29.20	新田坝上流	960	1,200
⑤	29.20	新田坝上流	32.47	蒋家沟合流点	2,000	1,100
⑥	32.47	蒋家沟合流点	42.83	小清河合流点	140	1,100
⑦	42.83	小清河合流点	52.86	三江口	370	950
⑧	52.86	三江口	68.55	小白泥沟合流点	430	380
⑨	68.55	小白泥沟合流点	71.50	桃家小河合流点	80	380
⑩	71.50	桃家小河合流点	98.02	功山小河合流点	20	290
⑪	98.02	功山小河合流点	111.42	瓦窑村付近	60	75
⑫	111.42	瓦窑村付近	119.92	清水海下流	30	20

【四甲河・块河】

①	0.00	小江への合流点	22.00	金源郷下流	90	280
②	22.00	金源郷下流	33.07	沙湾大沟合流点	90	220
③	33.07	沙湾大沟合流点	41.34	治祖河合流点	40	110
④	41.34	治祖河合流点	53.15	新法村(最上流)	30	15-40

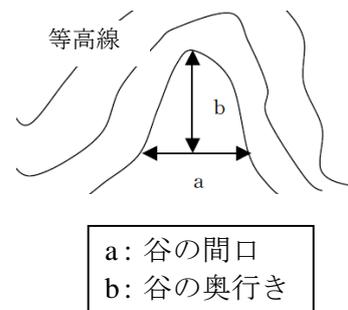
4.2 既存地形図・航空写真・衛星写真判読による地形解析

1974年作成の1/50,000地形図、1979年12月撮影の1/28,000航空写真、2004年3月撮影のSPOT衛星写真(解像度2.5m)を用いて地形/地被判読し、谷次数区分図、地形分類図、崩壊地推移・河床変動状況図、地被状況図を作成した。これらの図面をGIS化し、生産土砂量算定、土石流危険溪流検討、ハザードマップ作成に利用している。

4.2.1 谷次数区分

小江流域の谷の発達程度を明らかにし、土砂災害対策検討の指標のひとつとすることを目的として谷次数区分図を作成した。

既存の縮尺1/50,000地形図に基づき、谷筋の最上流部において、右図に示すように「谷の奥行き b」が「谷の間口 a」よりも大きい場合(つまり $b > a$)、その谷を1次谷とした。また、1次谷とはならないが、土砂生産の場となると考えられる深いガリーを含む山ひだをSPOT衛星写真から読み取り0次谷とした。



上記規定に従い小江流域の谷次数区分を行った結果、小江本川は7次谷となった。0次谷を含む総谷本数は19,678本、総延長は10,677kmである。検討結果を図4.2.1に示すとともに表R 4.2.1にまとめる。

表 R 4.2.1 小江谷次数区分

項目	0次谷	1次谷～7次谷							計
		1次谷	2次谷	3次谷	4次谷	5次谷	6次谷	7次谷	
谷次数別延長 (km)	6,159.6	2,484.3	1,012.4	520.0	234.6	93.8	114.8	57.4	4,517.30
谷次数別本数 (本)	15,936	2,816	709	164	39	10	3	1	3,742
谷一本当り延長 (km/本)	0.39	0.88	1.43	3.17	6.02	9.38	38.27	57.40	1.21
単位面積当り延長 (谷密度、km/km ²)	2.01	0.81	0.33	0.17	0.08	0.03	0.04	0.02	1.48

4.2.2 小流域主流路縦断勾配

小江、大白河、块河本川の縦断勾配は、第2章に記したとおり1/70から1/300程度である。ここでは、既存1/50,000地形図を用いて、本川に合流する主要な95の小流域主流路の縦断勾配を求めた。結果を図4.2.2に示す。95の主要小流域の約3割が勾配1/5以上、約9割が1/15以上の急勾配溪流である。

4.2.3 地形分類

小江流域の荒廃状況の把握、実績土砂収支のための基礎資料の提供、ハザードマップ作成を目的として、2004年3月撮影のSPOT衛星写真(解像度2.5m)を実体視することにより地形判読を行い、図4.2.3に示す地形分類図を作成した。地形分類に際して、表4.2.1に示す9の大分類、31の小分類を設定した。

4.2.4 崩壊地推移・河床変動状況

1979年12月撮影の1/28,000航空写真と2004年3月撮影のSPOT衛星写真を比較判読してGISデータ化し、図4.2.4に示す崩壊地推移・河床変動状況図を作成した。なおこの崩壊地推移・河床変動状況図の作成範囲は崩壊地の多発する金源郷南部と功山を結ぶ線以北である。このとき崩壊地推移状況の分類は、表R4.2.2のように設定した。

表 R 4.2.2 崩壊地推移状況の分類項目

<崩壊地推移>

分類	説明
新規・拡大崩壊地	1979～2004年の間に新たに発生した崩壊地と1979年に存在した崩壊地が拡大した部分。
継続崩壊地	1979年、2004年の2時期の写真に継続して存在した崩壊地。
縮小・消滅崩壊地	1979年には存在したが2004年には植生が回復し消滅、または、縮小した崩壊跡地。

<大規模崩壊>

分類	説明
地すべり性崩壊地	2時期（1979～2004年）の間に生じた土砂量10万～100万 ³ 程度で、面積、崩壊深とも大きな地すべり性の崩壊地。

<河床変動状況>

大分類	小分類	説明
堆積区間	特大	12～16m程度の河床上昇が見られる区間
	大	8～12m程度の河床上昇が見られる区間
	中	最大で8m程度の河床上昇が見られる区間
	小	明らかに堆積傾向にある区間（最大で4m）
変化小区間	堆積傾向	ほとんど変化が読み取れないが堆積傾向と判読される区間
	変化無し	変化のない区間
	侵食傾向	ほとんど変化が読み取れないが侵食傾向と判読される区間
侵食区間	小	明らかに侵食傾向にある区間（最大で4m）
	中	最大で8m程度の河床低下が見られる区間
	大	8～12m程度の河床低下が見られる区間
	特大	12～16m程度の河床低下が見られる区間

2004年時点の崩壊地面積率および1979年から2004年にかけての崩壊地面積拡大縮小率について図4.2.5に示す。これらの検討結果から、小流域の荒廃状況について表R4.2.3に整理する。

表 R 4.2.3 崩壊地推移から見た小流域の荒廃状況（流域面積5 km²以上）

項目	順位	支川/ 溪流名	流域	流域面積 (km ²)	行政区域	崩壊地面積率		
						1979年	2004年	増減
荒廃している 流域	1	蒋家沟	小江	45.5	会泽県、东川区	13.4%	15.3%	+1.9%
	2	大白泥沟	大白河	18.7	东川区	15.9%	14.4%	-1.5%
	3	小白泥沟	大白河	12.3	东川区	22.2%	11.5%	-10.7%
	4	大平村沟	小江	10.5	会泽県	8.2%	9.3%	+1.1%
	5	沙湾大沟	块河	18.5	寻甸県	8.2%	8.6%	+0.4%
荒廃が改善し ていると考え られる流域	1	小白泥沟	大白河	12.3	东川区	22.2%	11.5%	-10.7%
	2	芋头塘沟	大白河	5.3	东川区	5.2%	2.6%	-2.6%
	3	铜厂箐	大白河	8.1	东川区	6.3%	3.9%	-2.4%
	4	老干沟	大白河	8.0	东川区	4.2%	1.9%	-2.3%
	5	黑水河	大白河	12.9	东川区	2.6%	1.1%	-1.5%
荒廃が進んで いると考えら れる流域	1	大田坝	小江	5.5	东川区	4.9%	8.4%	+3.5%
	2	蒋家沟	小江	45.5	会泽県、东川区	13.4%	15.3%	+1.9%
	3	落戈沟	大白河	7.6	东川区	1.6%	3.4%	+1.8%
	4	花沟	块河	6.8	东川区、寻甸県	3.2%	4.9%	+1.7%
	5	阿旺小河	大白河	14.1	东川区	2.1%	3.6%	+1.5%
小江全流域平均				3,058.0		2.6%	2.4%	-0.2%

河床変動状況については、4.3.1節において考察する。

4.2.5 地被状況

現在の地被状況を把握するため2004年撮影SPOT衛星写真を用いて、図4.2.6に示す地被状況図を作成した。また各小流域の地被状況について表R4.2.4に整理する。

表 R 4.2.4 小流域の地被状況特性（流域面積 5 km² 以上）

項目	順位	支川/ 溪流名	流域	流域面積 (km ²)	行政区域	地被状況		
						荒山 草地率	耕地率	林地率
荒山草地の 多い小流域	1	大平村沟	小江	10.5	会泽県	55%	16%	20%
	2	黒水河	大白河	12.9	东川区	50%	19%	29%
	3	老村沟	小江	11.4	东川区	50%	31%	14%
	4	浪田坝	小江	6.0	东川区	47%	31%	16%
	5	尖山沟	小江	173.1	东川区	46%	23%	25%
耕地の 多い小流域	1	龙潭河	块河	25.9	寻甸県	16%	68%	16%
	2	老驻基小河	块河	36.6	寻甸県	3%	65%	31%
	3	铜厂箐	大白河	8.1	东川区	29%	64%	3%
	4	甸沙	块河	132.5	寻甸県	3%	64%	31%
	5	大刺蓬沟	块河	6.5	寻甸県	18%	63%	17%
林地の 多い小流域	1	九公田沟	大白河	12.0	寻甸県	5%	30%	64%
	2	八岔哨小河	块河	9.9	寻甸県	6%	38%	55%
	3	象鼻岭小河	块河	9.8	寻甸県	3%	41%	53%
	4	阿旺小河	大白河	14.1	东川区	12%	32%	51%
	5	额秧小河	块河	14.8	寻甸県	1%	52%	45%
小江全流域平均				3,058.0		27%	40%	28%

4.2.6 標高区分

小江流域の最低標高は小江と金沙江の合流点の695mである。一方、流域は南北に走る標高3,000~4,000m級の山脈により仕切られている。最高峰は中流域西側分水嶺である拱王山脈の火石梁子（別名雪嶺）4,344mであり、流域内の標高差は約3,650mとなる。

既存の1/50,000地形図を用いて等高線をGISデータ化し図4.2.7に示す標高区分図を作成した。小流域の標高区分特性について表R4.2.5に整理する。

表 R 4.2.5 小流域の標高区分特性（流域面積 5 km² 以上）

項目	順位	支川/ 溪流名	流域	流域面積 (km ²)	行政 区域	標高別面積率		
						1,500m 以下	1,500~ 3,000m	3,000m 以上
標高1,500m 以下が 多い小流域	1	大田坝	小江	5.5	东川区	54%	46%	0%
	2	石羊沟	大白河	18.7	东川区	52%	48%	0%
	3	浪田坝	小江	6.0	东川区	42%	58%	0%
	4	大平村沟	小江	10.5	会泽県	36%	64%	0%
	5	豆腐沟	小江	16.0	东川区	35%	65%	0%
標高3,000m 以上が 多い小流域	1	小清河	小江	340.7	东川区	5%	57%	38%
	2	黄水箐	小江	93.3	东川区	5%	61%	34%
	3	黒水河	大白河	12.9	东川区	5%	64%	32%
	4	沙湾大沟	块河	18.5	寻甸県	0%	72%	28%
	5	老干沟	块河	24.5	寻甸県	0%	77%	23%
小江全流域平均				3,058.0		11%	81%	8%

4.2.7 傾斜区分

ここでは、前述の等高線を用いて 100mメッシュの各点の標高データ (DEM、Digital Elevation Model) を求め、このデータを用いて図 4.2.8 に示す傾斜角度区分図を作成した。小流域の傾斜区分特性について表 R4.2.6 に整理する。

表 R 4.2.6 小流域の傾斜区分特性 (流域面積 5 km² 以上)

項目	順位	支川/ 溪流名	流域	流域面積 (km ²)	行政 区域	傾斜別面積率		
						15° 以下	15° ~25°	25° 以上
傾斜が 緩い小流域	1	黒泥沟	大白河	14.1	寻甸県	86 %	13 %	1 %
	2	龙潭河	块河	25.9	寻甸県	80 %	19 %	1 %
	3	功山小河	大白河	95.4	寻甸県	73 %	25 %	2 %
	4	磨盘山小河	大白河	7.2	寻甸県	71 %	28 %	1 %
	5	甸沙	块河	132.5	东川区	68 %	28 %	4 %
傾斜が 急な小流域	1	黄水箐	小江	93.3	东川区	12 %	19 %	69 %
	2	大平村沟	小江	10.5	会泽県	7 %	26 %	67 %
	3	腊利河	大白河	29.4	东川区	13 %	26 %	61 %
	4	新村箐	小江	30.0	东川区	14 %	29 %	57 %
	5	浪田坝	小江	6.0	东川区	16 %	27 %	56 %
小江全流域平均				3,058.0		38 %	32 %	30 %

4.2.8 ハザードマップ

地形分類図を利用して小江流域全体のハザードマップを作成した。地形分類図で区分された地形単位上で発生する土砂・水災害を表 4.2.2 に示すが、この図を参考に地すべり、崩壊、土石流、洪水の生じ得る地形単位を地形分類図と傾斜角度区分図 (図 4.2.8) から抽出し、図 4.2.9 に示すハザードマップとした。

表 R 4.2.7 ハザードマップの分類項目

分類項目	説明
土石流・ 洪水氾濫危険区域	沖積錐、扇状地、支川の洪水段丘、溪床勾配 2° 以上の現河床 (支川筋)、山麓堆積斜面、急傾斜谷底堆積地、現河床 (支川、本川筋)、谷底平野・氾濫平野・洪水段丘を『土石流・洪水氾濫危険区域』とした。
地すべり地形	地すべりブロック 1, 2 を『地すべり地形』として示した。地すべりブロック末端から一定の距離にある区域は崩落した土砂が到達する危険がある。
地すべり地形 (近年不安定)	地すべりブロック 3 を『地すべり地形 (近年不安定)』とした。地すべりブロック末端から一定の距離にある区域は崩落した土砂が到達する危険がある。
急傾斜地	崩壊は地形分類にかかわらず斜面の傾斜が 30° 以上になると生じやすくなる。そこで、傾斜 30° 以上の斜面を傾斜角度区分図より抽出し『急傾斜地』として示した。地すべりと同様、斜面脚部から一定の距離にある区域は崩壊土砂が達する危険がある。

4.3 土砂解析

4.3.1 実績土砂収支検討

1) 検討の基本方針

土砂災害対策の基本となる土砂量を決定するためには、その構成要素である生産土砂量、河道堆積（侵食）土砂量、流出土砂量について、流域の荒廃特性、河道の土砂移動特性等に基づいて具体的に検討を行う必要がある。

ここで行う実績土砂収支検討は、前節までに行った谷次数区分、小流域主流路縦断勾配、崩壊地推移、河床変動状況、地被状況、現地調査結果等の流域特性データを用いて年平均生産土砂量および河道堆積土砂量を算出し、土砂の生産・移動現象を各小流域から小江本川へ、小江本川から金沙江へと流出土砂の移動経路に沿って追跡するものである。

土砂の追跡にあたっては、生産、移動、流出の場での土砂の単位体積重量の違い（空隙率の違い）を明確にするために、各土砂量を重量に換算し収支計算を行う。さらに、各場での粒径の違いを計算に組み込むために、掃流状態で流れ流速によっては河道に堆積する粗粒分と、浮遊状態で流れ河道には堆積しない細粒分とに分けて検討する。

2) 生産土砂量の推定

生産土砂量は、『土砂の生産に伴って溪流に流出する土砂量』と定義される。実績土砂収支検討において考慮する生産土砂量は、既存報告書・現地踏査結果等から小江流域において主要な土砂生産源と考えられる下記の形態別に算出する。

- ・ 崩壊土砂量（山腹崩壊、溪岸崩壊含む）
- ・ 地すべり性大規模崩壊地からの流出土砂量
- ・ 地被状況別表面侵食土砂量
- ・ 0次谷（深いガリーを含む）侵食土砂量

a) 崩壊土砂量

2時期の写真判読により作成した崩壊地推移図（図4.2.4）において、新規・拡大崩壊地は、『1979年12月から2004年3月の約24年の間に新たに発生した、あるいは、既存崩壊地が拡大した部分』と定義されている。実績土砂収支においては、この新規・拡大崩壊地から発生した土砂量を対象とし年平均に換算し生産土砂量とする。

前節で求めた崩壊地面積に対して、現場踏査、写真判読結果から崩壊地規模別崩壊深（元斜面から崩壊面までの深さの平均）を3～35mと推定し、小流域ごとの平均崩壊深を崩壊面積に乘じることにより崩壊土砂量を算定する。残土率については、元斜面勾配が急で崩壊地直下に残土がほとんど認められないことから0%とし、崩壊土砂量は100%移動流出するものとする。小流域ごとの崩壊土砂量を集計した結果を表R4.3.1に示す。

表 R 4.3.1 年平均崩壊土砂量

流域名	小江	大白河	块河	小江全流域
流域面積 (km ²)	1,166.8	1,176.5	714.7	3,058.0
崩壊土砂量 (m ³ /年)	4,075,000	2,337,000	1,212,000	7,624,000
比崩壊土砂量 (m ³ /年/km ²)	3,490	1,990	1,700	2,490

b) 地すべり性大規模崩壊地からの流出土砂量

2 時期 (1979~2004 年) の間に明らかに活動したと考えられる土砂量 10 万~100 万 m³ 程度の大きな地すべり性の崩壊地 (図 4.2.4 参照) について、崩壊深、残土率を個別に推定し流出土砂量を計算した。集計結果を表 R 4.3.2 に示す。

表 R 4.3.2 地すべり性大規模崩壊地からの年平均流出土砂量

流域名	小江	大白河	块河	小江全流域
流出土砂量 (m ³ /年)	2,770,000	923,000	1,332,000	5,025,000
比流出土砂量 (m ³ /年/km ²)	2,370	780	1,860	1,640

c) 地被状況別表面侵食土砂量

雨水のうちの地中に浸透しない表面流によって土壌の土粒子が剥離・運搬される現象を表面侵食と呼ぶ。侵食量は降雨強度、地形、地質、植生、土壌特性等多くの要因に支配される。ここでは、表面侵食の大きな要因のひとつと考えられる地被状況について、作成した地被状況図 (図 4.2.6) から各々の面積を算出し、表 R 4.3.3 の推定表面侵食深を乗じることにより各侵食土砂量を推定する。

表 R 4.3.3 地被状況・傾斜別の年間表面侵食深

(mm/年)

項目	荒廢地 崩壊地	裸地	耕地	荒山 草地	林地 粗密度	草地	林地 高密度
四川省実験資料	13~2	7~2	2~0.4	-	-	-	-
四川省農業局資料	-	-	3 (10°) 4 (15°) 7 (20°) 9 (25°)	-	-	-	-
东川区実験資料	-	5	6~0.4 (20°)	-	-	0.2~ 0.1	-
日本での検討値	100~ 10	10~1	1~0.1	-	-	0.1~0.01	-
本検討採用値	10	-	0.5 (0~6°) 2 (6~15°) 4 (15~25°) 8 (25~45°) 12 (45° 以上)	0.2 1 2 4 6	0.5	-	0.02

出典：中国四川省安寧河流域造林計画調査報告書

东川泥石流防治研究论文集

东川区実験資料は、裸地の侵食深を 5 mm とした場合の相対的な値

集計結果を表 R4. 3. 4 に示す。

表 R 4.3.4 地被状況別年平均表面侵食土砂量

流域名		小江	大白河	块河	小江全流域
侵食土砂量 (m ³ /年)	崩壊地	386,000	269,000	118,000	773,000
	耕地	1,134,000	1,490,000	1,033,000	3,657,000
	荒山草地	1,397,000	690,000	242,300	2,329,000
	林地(粗・低木)	73,000	88,000	43,000	204,000
	林地(密・高木)	3,000	3,000	2,000	8,000
	計	2,993,000	2,540,000	1,438,000	6,971,000
比侵食土砂量 (m ³ /年/km ²)		2,570	2,160	2,010	2,280

d) 0次谷(深いガリーを含む)の侵食土砂量

常時は水の流れていない0次谷やガリーでは、降雨時には雨水の表面流が集中し流速も早くなることから、その侵食土砂量は前述の表面侵食の何倍にも達する。ここでは、谷次数区分図(図4.2.1)に示す0字谷延長(深いガリーも含む)に、侵食幅20m(側壁侵食含む)、年平均侵食深20mm(前述の崩壊地侵食深の2倍とする)を乗じることによりその侵食土砂量を求めた。集計結果を表R4.3.5に示す。

表 R 4.3.5 0次谷(深いガリーを含む)の年平均侵食土砂量

流域名	小江	大白河	块河	小江全流域
侵食土砂量 (m ³ /年)	1,440,000	696,000	328,000	2,464,000
比侵食土砂量 (m ³ /年/km ²)	1,230	590	460	810

3) 河床堆積土砂量の推定

河床変動傾向を検討するためには、長期にわたる経年変化データ(実測横断)があることが望ましいが、小江流域にはこのようなデータはない。本検討においては、既存資料を総合的に判断し、長期的な河床変動傾向および年平均河床堆積(2次侵食)量を算出する。すなわち、2時期の写真判読により読み取った変動の大きさ(特大、大、中、小の4段階に区分)に対して、各段階を数値化することとした(特大の年平均河床変動量は0.7mとした)。結果を図4.3.1に示す。

作成した図4.3.1に基づき算出した年平均河床堆積土砂量を表R4.3.6に示す。

表 R 4.3.6 年平均河床堆積土砂量

項目		小江	大白河	块河	小江全流域
堆積土砂量 (m ³ /年)	小流域	1,129,000	795,000	222,000	2,146,000
	本川	2,935,000	3,274,000	2,283,000	8,492,000
	計	4,064,000	4,069,000	2,505,000	10,638,000
比堆積土砂量 (m ³ /年/km ²)		3,480	3,460	3,510	3,480

4) 実績土砂収支検討

a) 重量換算による実績土砂収支

前項までに発生源別生産土砂量、河床堆積土砂量の体積を算出したが、各土砂量はその発生形態・粒度組成等の違いにより単位体積重量が異なる。このため、土砂の生産・移動現象を移動経路に沿って追跡しその収支を計算するためには、生産、移動、流出の各場での土砂の単位体積重量の違いを明確にし計算に組み込む必要がある。そこで、前項までに算出した各土砂量の体積に、各々の単位体積重量（地山密度、表 R4.3.7 参照）を乗じることにより重量に換算し収支計算が可能な値とする。

表 R 4.3.7 各土砂量の単位体積重量

土砂量種別		単位体積重量 (tf/m ³)	単位体積重量推定根拠	
生産土砂量	崩壊土砂	2.0	礫混じり土、風化岩	
	地すべり性大規模崩壊	2.3	岩すべりを含むことから崩壊土砂より大として推定	
	表面侵食	崩壊地	2.0	崩壊土砂と同じ
		荒山草山	1.7	崩壊地と林地の中間の性状
		農耕地	1.5	調査団試験結果 シルト（0.075mm 以下）80%
		林地（粗密度）	1.5	
		林地（高密度）	1.5	
0次谷（ガリー含む）侵食	1.7	崩壊地と林地の中間の性状		
河床堆積土砂量		2.2	調査団試験結果	

重量換算を行った各小流域毎の年平均生産土砂量を表 4.3.1 に、集計結果を表 R4.3.8 に示す。

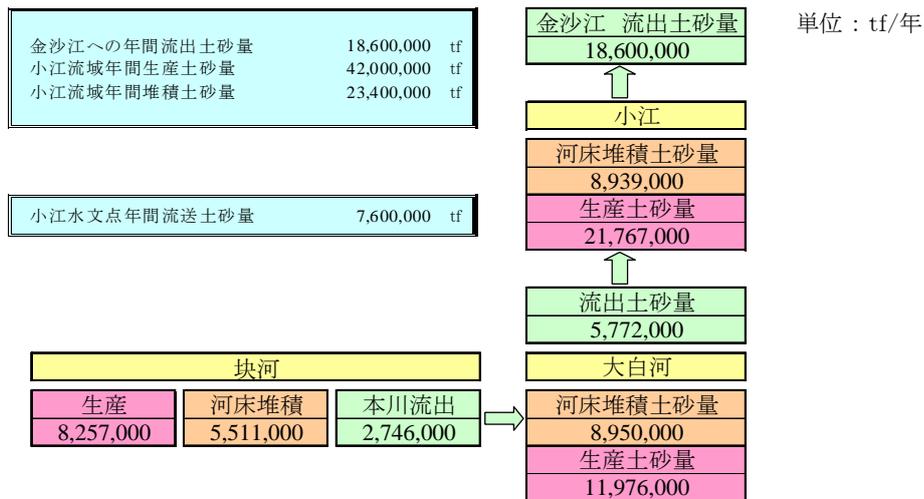
表 R 4.3.8 小江流域年平均生産土砂量(重量換算)

(tf/年)

流域名	崩壊土砂量	地すべり性崩壊からの流出土砂量	地被状況別侵食土砂量	0次谷（ガリー含）侵食土砂量	計	比生産土砂量 (tf/年/km ²)
小江	7,984,000	6,371,000	4,963,000	2,449,000	21,767,000	18,700
大白河	4,582,000	2,123,000	4,087,000	1,184,000	11,976,000	10,200
块河	2,374,000	3,064,000	2,261,000	558,000	8,257,000	11,600
全流域	14,940,000	11,558,000	11,311,000	4,191,000	42,000,000	13,700

重量に換算した生産土砂量、河床堆積土砂量を用いて、土砂の生産・移動現象を各小流域から小江本川へ、小江本川から金沙江へと流出土砂の移動経路に沿って追跡した結果を表 4.3.2 と表 4.3.3 に、集計結果を表 R 4.3.9 に示す。

表 R 4.3.9 小江流域の土砂生産-移動現象検討(重量換算)



b) 粗粒分・細粒分に区分した実績土砂収支

土砂の生産・移動現象の追跡検討を行う場合、流送過程において粒径による移動形態の違いによる選択流出を計算に組み込み、収支計算に矛盾が生じないかについて確認する必要がある。

調査団が行った河床材料調査結果によれば、本川、支川に係わらず河床の堆積物には0.01 mm未満の細粒分はほとんど含まれていない(図2.3.2)。また、既存報告書(総合考察与防治规划研究)によれば、小江流域支川で土砂移動のかなりの部分を占めると考えられる泥石流堆積物の0.01 mm未満含有率は数%以下である(図4.3.2)。この細粒分も泥石流堆積後、通常流により洗い流されてしまうものと考えられる。

したがって0.01 mm未満の細粒分は上流域での生産後、河床に堆積せず金沙江まで浮遊状態で流下するものと考え、0.01 mmを境界に粒径を区分する。すなわち各土砂量の0.01 mm未満含有率を表R4.3.10のとおり推定し、細粒0.01mm未満と粗粒0.01mm以上に分け、生産土砂量を計算した。計算結果を表R4.3.11、表R4.3.12に示す。

表 R 4.3.10 各土砂量の0.01 mm 未満含有率

土砂量種別		0.01 mm 未満含有率	0.01 mm 未満含有率推定根拠	
生産土砂量	崩壊土砂	15 %	礫混じり土、風化岩 泥石流源土の粒度(図4.3.3)	
	地すべり性大規模崩壊	10 %	岩すべりを含むことから崩壊土砂より粗粒として推定	
	表面侵食	崩壊地	15 %	崩壊土砂と同じ
		荒山草山	40 %	崩壊地と林地の中間の性状
		農耕地	65 %	調査団土壌調査結果 シルト(0.075mm以下)80%
		林地(粗密度)	65 %	
林地(高密度)	65 %			
0次谷(ガリー含む)侵食	40 %	崩壊地と林地の中間の性状		
河床堆積土砂量		0 %	調査団河床材料調査結果	

表 R 4.3.11 小江流域年平均生産土砂量(細粒 0.01 mm 未満)

(tf/年)

流域名	崩壊土砂量	地すべり性崩壊からの流出土砂量	地被状況別侵食土砂量	0次谷(ガリー含)侵食土砂量	計	比生産土砂量(tf/年/km ²)
小江	1,199,000	637,000	2,246,000	979,000	5,061,000	4,300
大白河	687,000	212,000	2,091,000	474,000	3,464,000	2,900
块河	356,000	307,000	1,251,000	223,000	2,137,000	3,000
全流域	2,242,000	1,156,000	5,588,000	1,676,000	10,662,000	3,500

表 R 4.3.12 小江流域年平均生産土砂量(粗粒 0.01 mm 以上)

(tf/年)

流域名	崩壊土砂量	地すべり性崩壊からの流出土砂量	地被状況別侵食土砂量	0次谷(ガリー含)侵食土砂量	計	比生産土砂量(tf/年/km ²)
小江	6,785,000	5,734,000	2,717,000	1,469,000	16,705,000	14,300
大白河	3,895,000	1,911,000	1,991,000	710,000	8,507,000	7,200
块河	2,018,000	2,757,000	1,013,000	335,000	6,123,000	8,600
全流域	12,698,000	10,402,000	5,722,000	2,514,000	31,335,000	10,200

粒径を区分した生産土砂量、河床堆積土砂量を用いて、流出土砂の移動経路に沿って追跡した結果を表 4.3.4、4.3.5 に、その集計結果を表 R4.3.13、表 R4.3.14 に示す。

表 R 4.3.13 小江流域の土砂生産-移動現象検討(細粒 0.01 mm 未満)

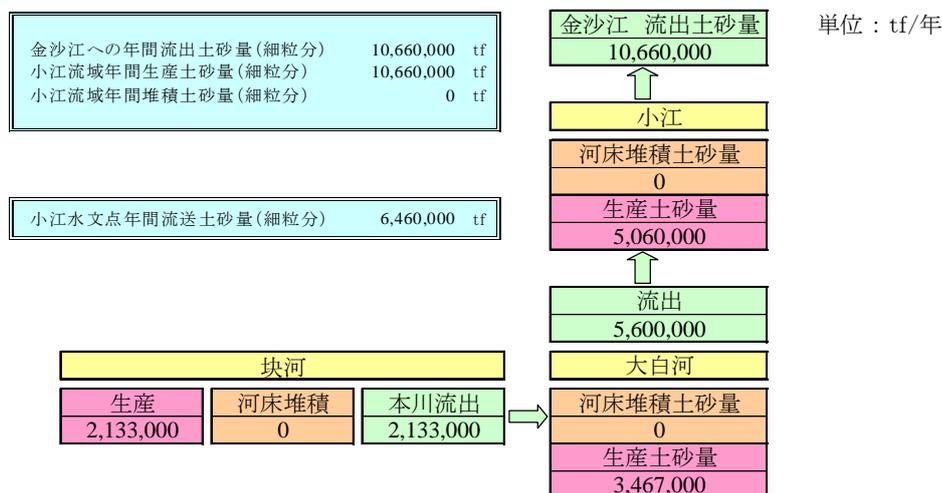
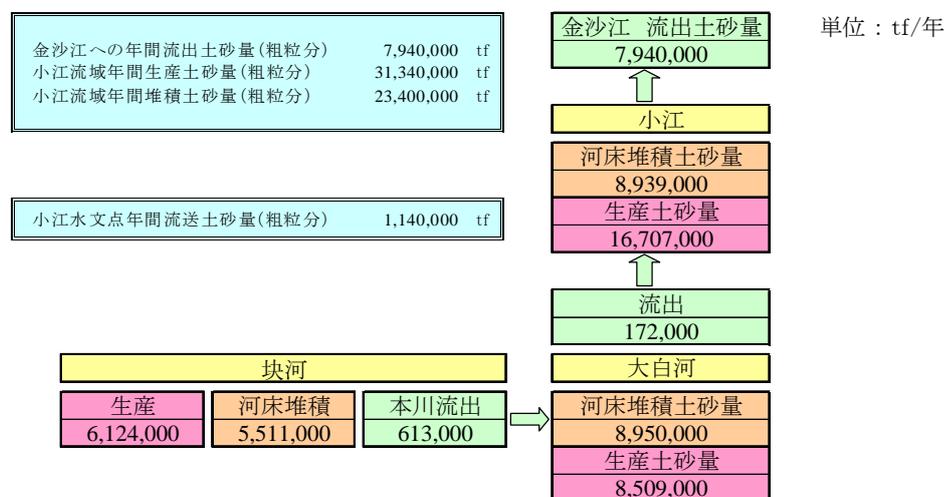


表 R 4.3.14 小江流域の土砂生産-移動現象検討(粗粒 0.01 mm 以上)



上記のとおり、粒径区分を考慮した土砂生産-移動現象の追跡検討は収支計算上矛盾のないことが明らかとなった。計算結果から、小江から金沙江への年平均流砂量は18,600,000 tf/年、そのうち0.01 mm未満の細粒分が10,660,000 tf/年、0.01 mm以上の粗粒分が7,940,000 tf/年である。

4.3.2 河床変動解析

1) 土砂収支計算の水理的検証

4.3.1 節の実績土砂収支検討において、量的側面から算定された掃流土砂・浮遊土砂量を水理的算定結果や流砂量観測結果との比較によって検証する。なお河床変動計算の詳細については「附属報告書 E 土砂水理」に記述している。

a) 掃流砂量

日本の急勾配河川で一般的に用いられていること、さらに本調査中実施された掃流砂観測結果にも適合度が高いと認められる(図 4.1.2)ことから、ATM(芦田・高橋・水山)式を用いて、表 R4.3.15 に示した条件で掃流砂量を算定する。

代表地点について、ATM 式による掃流土砂量計算結果と 4.3.1 節の実績土砂収支検討結果における掃流土砂量を比較した(表 R4.3.15 参照)。この結果、4.3.1 節の実績土砂収支検討結果における掃流土砂量は、ATM 式を用いた結果とほぼ整合しており、水理的にも土砂収支検討結果の妥当性がうかがえる。

表 R 4.3.15 掃流土砂量の検証

項目	三江口付近	小江水文点	金砂江流入点	計算条件等	
流域面積(km ²)	1,730	2,249	3,058	-	
年平均流量 10 ³ (m ³)	717,000	832,000	1,156,000	-	
土砂収支計算結果 (tf/年)	172,000	1,140,000	7,940,000	-	
ATM 式による検証結果(河床勾配毎) (tf/年)	河床勾配 (I=現況より 1 割緩)	132,000	1,060,000	5,918,000	<ul style="list-style-type: none"> 断面(実測断面の谷幅を用いた(S01,S045,S53 付近)。V型規則による修正あり) 粗度係数=0.035 流量時系列=1980 年-2004 年 河床材料=それぞれの地点における実査結果(S3,S1,S6 地点)を使用
	河床勾配 (I=現況)	180,000	1,263,000	6,843,000	
	河床勾配 (I=現況より 1 割急)	249,000	1,522,000	7,994,000	

b) 浮遊土砂量

本検討においては浮遊土砂量観測結果をもとに $Q_s = \alpha Q^\beta$ 型の浮遊砂関数式を作成し(図 4.1.2)、小江の代表的な地点の浮遊砂量を 1980 年から 2004 年の流出計算結果による時系列流量データから算定した。その結果を表 R4.3.16 に示すが、実績土砂収支検討結果における浮遊土砂量は、浮遊土砂関数式による結果とほぼ整合し、土砂収支検討結果における浮遊土砂量の妥当性がうかがえる。

表 R 4.3.16 浮遊土砂量の検証

項目	三江口付近	小江水文点	金砂江流入点	計算条件等
流域面積(km ²)	1,730	2,249	3,058	-
年平均流量 10 ³ (m ³)	717,000	832,000	1,156,000	-
土砂収支計算結果(tf/年)	5,600,000	6,460,000	10,660,000	-
浮流砂量算定式による検証結果(tf/年)	4,127,000	5,650,000	11,565,000	<ul style="list-style-type: none"> 三江口付近: $Q_s = 6E-05Q^{1.66}$ 小江水文点: $Q_s = 6E-05Q^{1.66}$ 金砂江流入点: $Q_s = 4E-06Q^{2.1}$ 流量時系列=1980 年-2004 年

2) 河床変動計算の実施

ここでは、4.3.1 節で設定した支川からの供給(流出)土砂量を用い、本川(小江、大白河、块河)の河床変動予測を 1 次元河床変動計算により行った。

まず、検証計算として過去 24 年間(1980 年から 2004 年)について 1 次元河床変動計算を実施した。本川粗度係数や、優先小流域以外の支川や残流域における河床材料の推定値を試行錯誤で修正した。

さらに上記検証されたモデルを用いて 2004 年から 2020 年まで 16 年間の河床変動予測計算を行った。このとき支川からの流入土砂量については、第 7 章の土石流対策および水系砂防対策後の流入量を用いている。結果は表 R4.3.17、表 R4.3.18 及び図 4.3.4 の通りである。

表 R 4.3.17 将来予測計算結果(小江、大白河)

距離 (Km)	16年間の河床変動量 (m)	年平均河床変動量 (m/年)	備考
0	-	-	小江口(金沙江合流点)
~20	4	0.3	~太平村沟合流点付近
~45	3	0.2	~小清河合流点上流
~65	7	0.4	~大白泥沟合流点下流
~70	7	0.4	~小白泥沟合流点下流
~80	5	0.3	~桃家小河合流点下流
~85	2	0.1	~吊戛河合流点上流
~110	-	-	~功山小河合流点

表 R 4.3.18 将来予測計算結果(块河)

距離 (Km)	16年間の河床変動量 (m)	年平均河床変動量 (m/年)	備考
0	-	-	小江口との合流点
~25	5	0.3	~花沟合流点付近
~35	5	0.3	~沙湾大沟合流点上流
~45	7	0.4	

3) 実績土砂収支検討結果の評価

东川泥石流防治研究论文集等の既存報告書には、『小江流域の生産土砂量は 4,000 万 t 程度』、という記述があり、东川区、东川泥石流防治研究所の研究者たちもこの値を認識している。ここで求めた年平均生産土砂量 42,000,000 tf/年という値は、過去の文献の記述及び彼らの認識とほとんど同じ値となっている。

唯一、蒋家沟流域においては、成都山地災害及環境研究所所属の东川泥石流観測研究站、京都大学防災研究所などによる 1980 年から 1998 年の 18 年間（1986 年は欠測）に渡る詳細な観測データがある（表 4.3.6）。この観測データによれば、蒋家沟では年に 4 回から 22 回の泥石流が発生し泥石流による流砂量は 700,000 tf/年から 17,500,000 tf/年と年によって大きく変化するが、18 年間の平均を取ると約 6,000,000 tf/年となる。この泥石流による流砂量に通常流量の流送土砂量が加わることを考えれば、ここで算出した蒋家沟流域年平均生産土砂量 6,661,000 tf/年という値は妥当なものと考えられる（蒋家沟での通常流量による流送土砂量は約 430,000 tf/年という記述が「云南蒋家沟泥石流観測研究」にある）。

4.4 社会調査

4.4.1 住民意識調査

桃家小河、黒水沟、乌龙河、豆腐沟、大桥河、东川市街地域（深沟、石羊沟、祝国寺沟）の 6 流域に対し、山間部より 150 戸世帯（各流域 25 戸世帯ずつ）、および东川市街地流域の市街地住民約 130 世帯を対象に、2004 年 7 月から 9 月にかけて、アンケート表を用いた聞き取り調査を行った。その結果を以下にまとめる。

1) 山間部の調査結果

家族人数は2人から8人。民族は漢族が多数を占め、続いて回族、彝族であった。居住年数は、移転してきた家族は2年から5年の間であるが、それ以外の家族は数十年以上の居住歴をもつ。

農家の栽培品目は、水稻、トウモロコシ、サツマイモ、ジャガイモ、ブドウ、アブラナ、落花生などである。生産物の販売は、徒歩での運搬か、または、徒歩に加えて車の所有者に委託するケースが多い。徒歩の場合は数分から数時間（4時間）という開きが見られる。

収入については農牧業に依存しており、世帯年間収入は400元/世帯から14万元/世帯と開きが大きい。経済林として希望する樹種は、アカシア、ギンネム、桃、栗、山椒、葡萄、石榴、胡桃、リンゴ、ミカンと多岐に渡り、果樹を希望する農民が多いのが特徴である。放牧場所の規制については、生態系回復に良い、合理的である、という意見が多く受け入れられている。数人のみが、放牧規制は困る、という意見を出している。使用肥料については殆どの農家が有機肥料と化学肥料の混合使用である。殆どの農家がマキを使用し、台所と燃料としての使用である。薪の入手先は自宅庭ないしは個人所有林である。代替燃料を使用する家屋は全体の15%であり、全てがメタンガスであった。

災害情報や警報を得るために有効性が高いと考えられている家電製品の内、76%の戸数がTVを所有しているが、ラジオの所有は全体の13%にとどまった。全体の30%はVCD家電を所有している。全体の86%は土砂災害被害を受けた経験を有している。災害防止に個人又は集団で行っていることがあると応えた戸数は全体の60%に及ぶ。村で行っている対策としては、植樹、降雨日に観測、雨季の降水状況の監視、兆候を見て住民に知らせる、砂袋でふさぐ、避難を組織する、雨季には交替で当直する、民兵を組織する、緊急時にはスピーカーで呼びかける、などの回答が得られた。これからの災害防止対策事業に期待することは、砂防えん堤、造林・植林、ダム、地すべり対策が挙げられている。73%の農民は洪水災害防止対策が開始されたらならば積極的に参加したいと考えており、一部は、労働収入を期待しているのがうかがえる。最も重要と考える資産の内、上位3点は、家屋、家畜、田畑であり、食料はほんの数人が上げていたに過ぎない。

2) 东川市街地地区の調査結果

家族人数は1人から4人である。29%の戸数がオートバイを所有し、98%はTVを保有している。世帯あたりの年収は多岐に渡り1,500元/世帯から5万元/世帯までである。家庭での使用エネルギーは電気またはプロパンガス（LPガス）から得ている家庭が殆どであるが、薪を使用する家庭は全体の2%ほどであった。電気に加えての太陽光発電を代替燃料と使用する家庭は全体の34%であった。

土砂災害被害を受けたことがある戸数は、全体の40%である。災害が来そうな状況は、新聞やTV、ラジオ知ることが多い。実際に災害がやってきたときの情報入手方法は、新聞やTVに加えて、電話、政府の公示情報、人に聞くなど。災害が到来したときの逃げ場は、具体的な場所の回答が殆どなく、多くは安全な場所、高いところ、または、政府の指示に従う、と回答している。約3%は、知らない、と回答している。防災対策を実施している住民委員会は全体の44%であり、具体的な対策としては、消火器の設置、避難を誘導、警報電話、当直、植樹、防水溝の設置、宣伝などが挙げられている。

全体の 96%の回答者は、現状の防水対策施設を有効と考えている。植樹、ダムを作る、という直接工事以外に、生態系保護も含む総合的な計画作りを望む声もある。洪水災害防止対策事業が始まった暁には、積極的に参加、自由意志で参加、労働に参加、宣伝に参加、寄付、何もしない、という回答に分かれた。

最も重要と考える資産としては、不動産、家屋、お金、知識、家電（TV、冷蔵庫、洗濯機）家具、預金、保険、といった多岐に渡る回答が得られた。

4.4.2 参加型ワークショップ

土砂災害対策や自然環境修復に関わる住民の抱える問題、ニーズ、潜在的可能性などを明らかにするために、东川市街地流域および豆腐沟の3箇所において住民参加型ワークショップを実施した。

表 R 4.4.1 参加型ワークショップ実施概要

目的	優先小流域において、土砂災害における住民の抱える問題、ニーズ、潜在的可能性などを明らかにする。		
実施地区	东川市街地流域(石羊沟、深沟) -上流域、中流域、下流域- 新村鎮	豆腐沟流域	
		下流域 三家村	中上流域 4小组
主な問題	土砂災害が頻発。整備工事後の問題。	土石流。移転。	地すべり。土石流。
日時	2004年9月27日(9:30~17:30)、28日(9:30~17:30)	2004年10月11日(9:30~16:30)	2004年10月12日(9:30~16:30)
会場	新村鎮政府会議室	三家村集会场	播卡郷政府会議室
参加者	住民、地区行政機関、东川区水務局	住民、地区行政機関、东川区水務局	住民、地区行政機関、东川区水務局
参加者数	48名	32名	30名
参加者の属性	殆どが農民	全員が農民(6割男性、4割女性)	参加者は農民(9割)、その他に东川区水務局、土地資源局支部職員。
使用手法	PCM	PRHA	PRHA、PCM
内容	ワークショップでは、住民と行政担当者の双方から活発な意見が出された。东川市街地流域ワークショップにおいては、土砂災害を引き起こす原因が下流、中流、上流域でそれぞれ異なることが明確に示され、今後の対策作りに反映されることとなった。豆腐沟流域ワークショップにおいても議論結果が視覚化されて提示されたため殆どの参加者に内容がシェアされた。市街地、山岳地帯ワークショップ共に、住民を含むプライマリステークホルダーによる気づきが見られた。		

1) 东川市街地流域ワークショップ

东川市街地流域のワークショップで、土砂災害対策や自然環境修復に関わる中心問題として、上流域では「生態環境が劣悪である」、中流域では「水土流失」、下流域(集叉村)では「いつでも土石流が発生する可能性がある」、さらに同じく下流域(石羊村)では「土石流災害に脅かされる」が上げられた。その中心問題について行われた問題分析結果に基づいて、参加者から強調がなされた問題を列挙すると以下のように整理できる。

表 R 4.4.2 流域別の原因比較

タイプ	問題	上流域	中流域	下流域 (集叉村)	下流域 (石羊村)
物理現象	土石流が多い	●	●		
	地すべりが多い	●	●		
	地質構造、天候、気候の問題		●		●
	工事の計画、カバレッジ、量	●	●		●
	政策上の重視度が低い		●		
生活生存	住宅、墓地の建設	●	●		
	田畑の開墾拡張	●	●		
	生活のための伐採		●		
	家畜の放牧	●	●		
	生活のための砂石採集	●	●		
森林	過去の大規模森林伐採	●			
	現在の不適切な森林伐採	●	●		
	森林が少ない（被覆率が低い）		●	●	
	森林火災		●		
	退耕還林が足りない	●	●	●	
	造林の成果と効率が低い		●		
河道	河道に不法の建築物			●	
	河道の廃棄物				●
上流	上流の対策（工事ほか）が不十分			●	
	上流域での過度な農村地開発				●
	上流での崩壊、土砂堆積が多い				●
	設置施設（老朽化、メンテナンス）			●	●
	住民の環境保護意識、知識	●	●		

(注) 地域について断りが無いものは、それぞれ該当する地域の問題である。

流域の上下での共通項としては、これまでの工事計画と実施について、問題や課題があると参加者は実感している（下流域（集叉村）を除く）。上流と中流域からの参加者は、自分たちが行う生活生存のための行為と森林減少についての関連性を強く意識している。下流では、一通りの工事が集中的に行われてきた経緯から施設の老朽化やメンテナンスについての問題を、更には、上流域での対策（構造物、非構造物共に含めた対策）が自分たちの安全には不可欠であることを、強く意識した結果となっている。

また、流域固有の問題が浮き彫りにされている。例えば、下流域では河道の不法建築物（深溝砂防えん堤上の食堂など）や河道の廃棄物（石羊溝では生活ゴミが流路工に満載状態）であり、中流域では政策の重視が足りないと感じていることや森林火災の発生、上中流域固有の問題としては住民の環境意識が挙げられる。

2) 豆腐沟下流域（三家村）ワークショップ

三家村は豆腐沟が小江と合流する地点にあり、小江本川の傍または河床からやや高台になっているポイントの数箇所に集落をもつ村である。過去に洪水、土石流、地すべり災害を幾度か受けている。政府の支援を受け移転した家屋もあれば、被害を受けても移転していない家屋もある。ワークショップでは同村内のやや高台になった箇所に設営した集落へ移転した住民を対象に、PRHA（主体的参加型農村災害調査手法）を実施した。

集落民は基本的に農牧畜作業を営んでいる。水稻が最も大切な農作物として意識されている。土砂洪水災害で流されると食べ物がなくなってしまう。水稻の栽培季節は、過去、3月～10月間で二期作を行っていたが、現在、3月～7月間で一期作である。7月までは雨量も少ないが8月以降は上中流での雨量が多く洪水が発生しやすく、そのため8月からは上流域の雨による洪水の発生により2期作はできない。住民の多くは、昔のように2期作に戻りたいと希望している。

受けたことがある災害の種類として、参加者は、土石流、洪水、旱魃（乾季の水不足）、病虫害を挙げている。自然災害の中では、土石流（5月～6月）が一番頻度が高く、続けて旱魃（7月～8月）、強風、洪水、病虫害の順であった。土砂災害被害は家屋と田畑に最も多く、続けて、動物、人の順である。参加者が覚えている範囲での被害状況としては、家屋全壊が13軒、半壊が9件、重傷者は無いものの、恐怖感によって精神に異状をきたした病人の発生が見られた。人が大きな怪我をしない原因としては、土石流は大きな音と共に流れるので、注意していれば即座に逃げることが可能であることが住民から示された。

参加者が異口同音に主張することとして、移転後の今も災害に不安がある。本年既に2回の地震を感じ、地震以外にも今のところ地滑り、土砂崩れの心配がある。そのことは地質構造から判断できる、とのことである。

住民移転のインパクトに関連して、参加者に移転前と後の良かった点と悪くなった点を上げてもらった。移転前の問題点として男女ともに土石流の怖さを挙げていた。移転前に良かった点としては、田畑に近く農作に便利だったこと、家畜用の厩舎があったことが挙げられている。

移転後の問題点は、家屋と農地に関することが多い。全家屋は同じ造りであり政府が建設したものであるが屋根が弱い、庭が無い、家畜小屋が無い、台所が無い、という生活上の不平等不満が出ている。一方、良くなった点としては、安全な土地に移った安全感、補助金による貯水タンク設置により水汲みが楽になったこと、現在地は交通の便が良い、などが挙げられている。

3) 豆腐沟中上流域（4集落）ワークショップ

播卡郷政府集会室において、播卡村の坪子窑、小水井、老溜口、および象鼻村长地（豆腐沟流域外）の4小组の住民計30名が集まった。

各小组の参加者がそれぞれの小组での災害マップを描き、それに基づいて自分たちの村の災害状況の発表を行い、参加者全員で情報を共有した。

また、4小组からの参加者全員にて問題分析を行った。中心的な問題は「土石流が多い」ということであり、9つの原因が挙げられた。ワークショップ結果を今後の対策につなげるためには、問題構造の把握と同時に問題の重み付けを知っておくことが大切である。そのため、スコアリングとランキングを行い、住民が身近に感じる災害の原因のうち、どれをより重要と認識しているかを確認することとした。そ

の結果として、植生の少なさ、地滑りの多さが上位を占め、造林の難しさ、地形地質が重要な原因として続いた。本地域における対策策定の際には忘れてはならないポイントである。

第5章 基本計画作成方針

5.1 土砂災害対策及び自然環境修復基本計画の必要性

前章までの検討結果に基づき、「小江流域土砂災害対策及び自然環境修復基本計画」の必要性を以下に整理する。

5.1.1 小江流域の土砂災害・自然環境劣化の悪循環

現地調査、情報収集、基礎解析などを通じて、小江流域は厳しい自然条件の下、以下に示すような「流域の荒廃」→「災害の発生・生態環境の悪化・水土流失」→「災害による損失・地域経済の停滞」→「森林破壊・無秩序な採鉱・道路開発」→「流域の荒廃」という土砂災害・自然環境劣化の悪循環を繰り返している実態が明らかになってきた。この様な悪循環に対し、現地政府は様々な施設対策・非施設対策を実施しているが、その実施状況は圧倒的な流域の荒廃、大規模な災害、極限的な貧困状況に対して微々たるものに過ぎず、問題の解決には程遠い。この悪循環はさらに下流域に、ダム貯水池の堆砂や河床上昇などの悪影響をも引き起こしている。

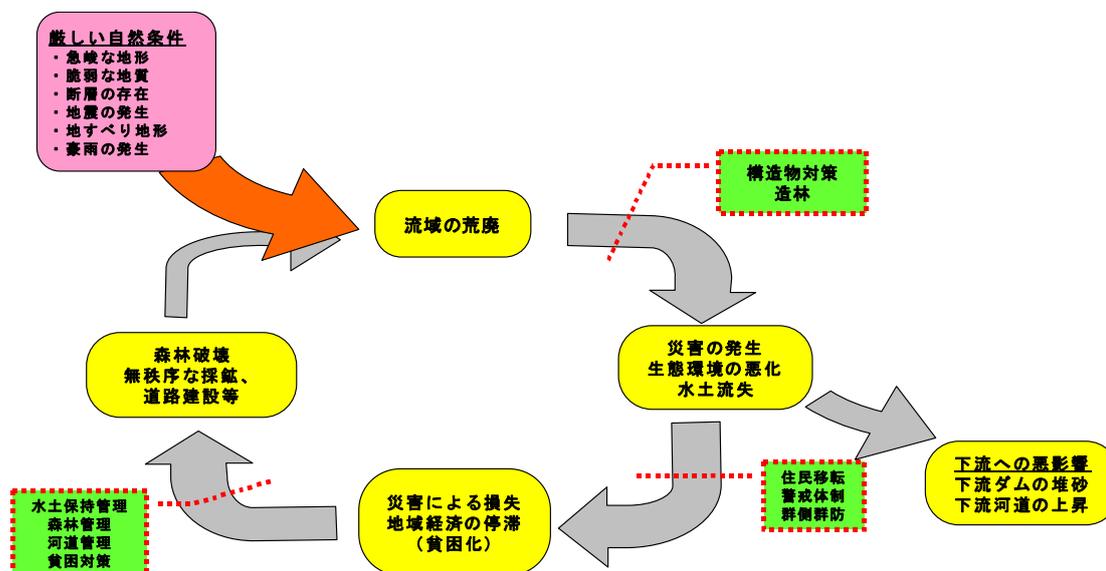


図 R 5.1.1 小江流域の土砂災害・自然環境劣化の悪循環

1) 厳しい自然条件

小江流域の土砂災害・自然環境劣化の基本的な問題はその厳しい自然条件にある。まずその大きな特徴として急峻な地形・脆弱な地質・小江断層が上げられる。東西の分水嶺には標高 4,000m 級の高山が連なり、比高差 3,000m を越える支川がいくつか存在し、また流域斜面の 30% が勾配 25° を越える急傾斜となっている。とくに中下流部には起伏量、起伏量比とも大きな支川が多く、断層による破碎や風化を受けた斜面には地すべり、崩壊、ガリーが発達している。

また小江断層は中国における大地震発生地帯のひとつとなっており、1966 年 2 月 5 日にはマグニチュード 6.5 の地震が発生した。その後も、今日までの約 40 年間でマグニチュード 4 以上の地震が計 12 回も小江流域周辺に起こっている。

また小江流域は雨季（5～10月）と乾季（11～4月）が明確に分かれており、雨季には豪雨が発生する一方で、乾季は乾燥し、農作物、樹木の生育を阻害している。

2) 流域の荒廃の現状

以上の厳しい自然条件に加え、長い間の人間による鉱山活動や農地の拡大、放牧などによる森林伐採、山腹斜面を切り刻む無秩序な道路工事などにより、小江流域は長江流域の中で最も荒廃に進んだ流域となっている。東川区水務局によると、とくに1958年からの5ヵ年計画において東川区は銅生産重点地域となり、この時期の過度の森林伐採が今日の流域荒廃の大きな一因になっているそうである。

SPOT衛星写真や航空写真を判読したところ、森林は流域の1/4を占めるに過ぎない。農地は25°を越える急斜面にも広く分布し、小江全体で140km²(21万畝)にも及ぶ。また小江流域平均の崩壊地面積率は2.4%であるが、蒋家沟、大白泥河、小白泥河などでは崩壊がとくに著しく、崩壊地面積率は10%を超える。さらに1979年～2004年の約25年間に生じた大規模な地すべり性崩壊地は500haにも達する。そして以上のような荒廃した流域から生産される土砂量は年間42百万tfにも及ぶ。

3) 土砂災害、自然環境の劣化、水土流失

荒廃した小江流域では様々な土砂災害が頻発している。代表的なものとして土石流と地すべり（かけ崩れのような崩壊現象を含む）が上げられる。これらの災害は災害現象が発生した場所で直接的に資産に破壊作用を与えるだけでなく、流下して本川河道内に堆積し、河道閉塞を引き起こす。また場所によっては30年間で20mにも達するような経年的な土砂の堆積によって、堰道路、橋梁の埋没、天井川化、さらに洪水氾濫を招いている。

生態環境の劣化も深刻である。森林破壊により狼、豹などの大型野獣はほぼ絶滅し、黒首鶴の飛来も激減した。また水土流失による土壌流出により、農業生産性の低下が懸念されている。

4) 下流への悪影響

小江流域だけではなく、その下流の金沙江、長江にも悪影響が現れている。当調査によれば年間18.6百万tfもの土砂が金沙江に流出しており、これが下流ダムの堆砂、河床の上昇を招いている。1998年の長江大洪水災害ではこのような河床上昇が原因で被害が大きくなったと云われており、その後、長江中上流の水土保持の重要性が叫ばれる契機となった。

5) 災害による損失、地域経済の停滞

災害被害はこれまで記録として残っているものだけでも死者66名、家屋被害1,700軒、農地被害50千畝(3,300ha)、直接被害額は時価で1億元にも達している。また鉄道、道路に対する被害も甚大である。1971年から1986年の15年間に東川支線鉄道沿線で土石流が計505回発生し、延べ700日運行停止を余儀なくされた。住民意識調査結果でも土砂災害を経験した者は農村部で86%、東川市街地で40%にも上っている。

これらの災害は小江流域住民に直接的に大きな損害をもたらすとともに、心理的にも地域に大きな暗い影を落としている。例えば、あまりに頻発する土砂災害は小江流域に対し危険地域としての暗いイメージを植えつけており、外部からの投資誘致もなかなか進んでいない。かつてこの地域の大きな基幹産業であった鉱業が衰退し

ていく中で、農業の生産性は上がらず、新たな農地開発も進まず、地域経済の停滞、貧困問題が深刻である。

6) 森林破壊、無秩序な採鉱、道路建設

2) 荒廃の現状 で述べたように、かつて長い間、鉱山活動や農地の拡大、放牧などによる森林伐採、山腹斜面を切り刻む道路工事が無秩序に行われてきたことが、今日の小江の流域荒廃の大きな原因の一つとなっている。しかし近年、水土保持法、森林法、河道管理条例などの法整備が行われ、それに基づく流域・森林管理が実施されてきたことにより、関係者の話では、近年は大規模な森林破壊、無秩序な採鉱、道路建設などは影を潜めたようではある。それでも一方では、依然として小規模な違法破壊行為が続いている。

これらの違法行為が続いている原因として、法律の執行が甘い、管理が行き届いていないという抜本的な問題があるが、貧困に喘ぐ山地住民の厳しい経済状況という側面もある。つまり災害などにより貧困生活を余儀なくされた住民がやむを得ず、燃料確保のため森林を伐採したり、食料確保のため傾斜地を開墾したり、放牧を続けている現状がある。

7) 不十分な対策

以上の悪循環に対し、中国政府は様々な対策を実施してきた。施設対策として主に砂防えん堤、導流工の構造物を建設し、退耕還林や天然林保護プロジェクトなどによる造林を行ってきた。しかし、小江流域の荒廃の規模に比べ、財源不足などからその実施はわずかに過ぎず、災害発生抑制、水土保持の効果もごく一部に留まっている。

現地政府は非施設対策にも力を注いでいる。群測群防を含む災害監視体制の整備、危険地域からの住民移転事業などを進めるほかに、水土保持法、森林法、河道管理条例などに基づく流域・森林管理を行い、流域保全に努めている。しかしこれらの対策についても、財源不足、技術、組織上の問題などにより、どの程度の効果が期待できるか不確実な面がある。移転事業については今後の移転地の確保に大きな問題を残している。

5.1.2 長江流域または雲南省における小江流域の重み

小江流域を雲南省または長江流域という立場から俯瞰し、社会経済および土砂生産という面からの重みを考察した。その結果は以下に詳しく記述するように、小江流域は雲南省、長江流域から見ても経済的に遅れている一方で、土砂生産の面からは荒廃の激しい重要な地域となっている。

1) 社会経済的な重み

まず社会経済的な面から小江流域の重みを検討する。下表は雲南省、長江流域と小江流域の面積、人口、国内総生産（GDP）を比較したものである。まず雲南省における小江流域の重みは、面積・人口については1%程度であるが、GDPは0.45%とより低くなり、小江流域は雲南省においてかなり遅れている地域であることが理解される。対長江流域についても面積、人口についての割合が0.2~0.1%程度にあるに対し、GDPの割合はわずか0.025%に過ぎない。したがって長江流域全体から見れば、経済的にさらに遅れた地域であることが容易に理解できる。

表 R 5.1.1 雲南省、長江流域と小江流域の比較

項目	面積	面積	人口	GDP
小江流域		3,000 km ²	47 万人	約 10 億元
雲南省		390,000 km ²	4,300 万人	2,200 億元
長江流域		1,800,000 km ²	50,000 万人	約 40,000 億元
小江流域の割合 (%)	対雲南省	0.77 %	1.1 %	0.45 %
	対長江流域	0.17 %	0.094 %	0.025 %

注) GDP については 2002 年の統計値からの推定値。小江流域の GDP は東川区の値 (表 R. 2. 1. 2) を参考とし、長江流域の値は中国の総 GDP の約 102,000 億元の約 40%とした。

2) 流域荒廃、土砂生産の重み

次に流域の荒廃、土砂生産について、同じく雲南省と長江流域 (金沙江) との比較を試みる。

図 5.1.1 は雲南省水利庁が作成したりモートセンシングによる水土流失現況図である。雲南省全体の中で小江流域部分に強度侵食～劇烈侵食判定地域が集中している様子が理解される。つまり雲南省の中で最も侵食 (土砂生産) の激しい地域の一つであると位置づけられる。

下表は金沙江 (長江上流部) の屏山水文観測点での年流量、年土砂量の観測記録である。図 5.1.1 に示されるように、屏山水文観測点は小江合流点よりも約 300km 下流にあり、流域面積は 48.5 万 km² である。その掃流土砂および浮遊土砂合わせた土砂流出量は 1956～2000 年の平均値で 2.55 億 tf/年である。

一方本調査による小江から金沙江への推定流出土砂量は表 R 4.3.9 に示すように 0.186 億 tf である。すなわち、屏山水文観測点での流域面積に占める小江流域の割合は 0.62% しかないのに対し、小江からの流出土砂量は屏山水文観測点での流出土砂量の 7.3% をも占め、面積の重みの約 12 倍にもなっている。もちろん小江から金沙江への流出量が全量屏山水文観測点まで達しているのか不明ではあるが、たとえ半分が 300km の金沙江河道内に堆積したとしても (小江流域の場合生産土砂の約半分が河道に堆積している) 屏山水文観測点での流出土砂量の 3.6%、面積的重みの約 6 倍になる。したがって金沙江 (長江) においても、小江は重要な土砂供給源となっていることが理解される。

表 R 5.1.2 屏山水文観測点観測土砂量

項目	1956-2000 年平均値	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
年流量 (億 m ³)	1,426	1,772	1,742	1,503	1,547	1,552
年土砂流出量 (億 tf)	2.55	2.72	2.43	1.87	1.56	1.48

出典: 「2000～2004 年長江泥沙広報」長江水利委員会水文局

5.1.3 基本計画の必要性

以上、小江流域は土砂災害・自然環境劣化の悪循環に陥っており、雲南省、長江流域から見ても経済的に遅れ、荒廃の激しい重要な地域となっていることが明らかになっている。

上記の悪循環を断つためには、あらゆる局面において抜本的対策を施す必要がある。しかし人間の力のとうてい及ばない、余りにも厳しい自然条件のため、完全なる解決は、財政的にも技術的にも難しい。したがって限られた投入で、最大の効果を上げるためには、技術、費用、人的資源等を総合的かつ合理的に配分することが重要である。「小江流域総合土砂災害対策及び自然環境修復基本計画」は、そのような総合的かつ合理的に投入を実施するための指針となるべきものである。

小江流域における土砂災害対策及び自然環境修復については、次節で説明するように国家政策と合致するところであり、また住民意識調査やワークショップを通じて住民の期待が大きいことが明らかになってきている。

以上のような状況から、「小江流域総合土砂災害対策及び自然環境修復基本計画」の必要性は正当化されるべきものと判断される。そして、計画作成に引き続き、早急なる対策事業の実施が必要である。

5.2 基本計画作成のための基礎条件

5.2.1 上位計画

1) 土砂災害対策及び自然環境修復に関する目標

土砂災害対策及び自然環境修復に関して、1999年1月に採択された『全国生態環境建設計画』と国務院水利部から2002年1月に公告された『全国水土流失公告』において、それぞれ、短期（2010年まで）、中期（2010年から2030年）、長期目標（2030年から2050年）が発表されている。

また国家水利部、国土資源部、中国気象局、建設部、国家環境総局が中心になって、施設、非施設対策からなる山地地域の洪水・土砂災害対策計画『全国山洪災害防治計画』をまとめることになっており、現在、関係機関から成る全国山地洪水災害対策計画指導小組が作成したガイドライン（2003年4月）に基づき、各省レベルで計画作成が行われている。

表 R 5.2.1 土砂災害対策および自然環境修復に関する目標

目標	目標の種類	内容
生態環境 建設計画	短期目標 (2010年まで)	2010年まで、人為による水土流失の新発生と砂漠化の進展を防止する。長江の上、中流域などの重点水土流失地区を管理して大いに成果を見せる。全国の森林被覆率19%以上を達成する。
	中期目標 (2010年から 2030年)	2011年から2030年までに、生態環境悪化の趨勢を抑制した上で、約20年の時間をかけて、全国の生態環境の明らかな好転を実現する。長江の上、中流域などの重点水土流失地区を管理して大いに成果を見せる。全国の森林被覆率24%以上を達成する。
	長期目標 (2030年から 2050年)	2031年から2050年まで、さらに20年間の努力をして、全国で持続可能な発展の要求に適応する良好な生態系を確立する。全国の水土流失管理可能な地区を大体整備し、林地の全てを緑化し、全国の森林被覆率26%以上を達成する。
全国水土 流失公告	短期目標 (2010年まで)	長江中流および上流の水土流失が深刻な地区における重点整備工事に初歩的な成果がみられるように取り組み、全国の水土流失地区に予防監督体系と水土流失監視・観測ネットワークを構築するほか、砂防に関する法律法規を更に完全化し、生態環境の悪化傾向に基本的な歯止めをかける。
	中期目標 (2010年から 2030年)	重点整備区（長江中上流域を含む）の生態環境を良性的循環軌道に乗せ、全国に健全な水土流失予防監督体系と水土流失監視・観測ネットワークを構築し、砂防の法律法規に完全な体系を形成する。
	長期目標 (2030年から 2050年)	全国に国民経済における持続的発展の良性生態システムを構築し、整備に適する水土流失区に基本的な整備を達成し、水土流失と砂漠化を基本的に抑制するほか、傾斜地を棚畑化するとともに、山林に適する土地を全ての緑化を基本的に実現し、「三化（草原の退化、砂漠化、アルカリ化）」草地を回復し、全国の生態環境を明らかな変化させ、大部分の地区において基本的に美しい山と川を実現する。
全国山洪 災害防治 計画	短期目標 (2010年まで)	重点防止対策区域（雲南省を含む）において、観測・通信・予警報及び関連政策法規などの非構造物対策をメインにして、構造物対策措置と結合する防災被害軽減体系を初歩的に構築する。
	長期目標 (2010年から 2020年)	重点防止対策区域（雲南省を含む）において、非構造物対策と構造物対策措置を結合した総合防災被害軽減体系を完成する。

『全国生態環境計画』、『水土保持公告』、『全国山洪災害防治計画』のいずれもの小江流域を重点地域と位置づけている。『全国生態環境計画』と『水土保持公告』の目標の内容はよく整合しており、短期計画の2010年までに水土流失の進展を防止し、中期計画の2030年までに明らかな好転を達成し、長期計画の2050年までには水土保持の整備、林地の緑化を達成し、良好な生態環境を構築するというものである。一方、山地流域における洪水、土石流、地すべりなどの災害防止を主目的とした『全国山洪災害防治計画』は、より早い2020年までに、被害軽減体系の完成を目標としている。

2) 西部大開発戦略

西部大開発戦略とは中国政府が西部地区における未開発の資源を有効利用し、東西格差を埋めることを目的に、1999年から推進している国家プロジェクトである。対象となる西部地区には雲南省をはじめとする6省5自治区1直轄市3自治州が含まれ、以下の5点に重点を置き開発を進める方針である。

- インフラ整備の増進
- 生態環境の保護と建設
- 産業構造の調整
- 科学技術と教育の発展
- 改革開放の一層の深化

上記開発の推進には多額の投資が必要となるが、中央財政の建設投資資金と建設国債資金をより多く西部地域に配分するとともに、国際金融資金や外国政府ローンもできるだけ多く西部地区プロジェクトに手配する方針である。

5.2.2 関連計画

1) 土地利用計画、都市計画

a) 土地利用計画

会澤県、寻甸県の土地資源局から提供を受けた1999年作成の2010年の土地利用計画を2003年の現況土地利用と比較すると、7年間においてそれほどの変化はないようである。

現在会澤県では土地利用計画を見直しており、2004年土地利用をベースに、2010年までの中期計画と2020年までの長期計画を作成する予定である。その際の基本方針は、国家政策に基づき、以下のとおりである。

- 土地生態環境保全と持続可能な社会経済全面発展を保障する。
- 厳格に農地を保護して食糧生産の確保を前提にして、各種と各地域の用地を割り当てる。
- 合理的にエネルギー・交通・水利・都市インフラなどの各種建設用地を確定する。

东川区土地資源局によると、东川区でも1999年作成の土地利用計画があるが、会澤県同様に近々に見直しする予定になっている。

b) 东川市街地都市計画

また郷鎮政府所在地の都市計画は都市建設管理局が担当している。以下は深沟、石羊沟の麓に広がる小江流域随一の市街地（东川市街地）の都市計画に関する記述である。

この腊利河口～碧谷までの大白河右岸の約30km²の地域を対象にした都市計画が1991年に作成されている。この計画では人口を25万人と想定していたが、その後鉱業が振るわず、そこまでの発展には、到達が難しいとされている。そのため目標年現在作成中の目標年2020年の都市計画では、計画区域を10.6km²～12.7km²、計画人口10～12万人に縮小するそうである。

‘91年の計画では腊利河、深沟、石羊沟、尼拉姑沟の両岸に幅15mの防護林区域をしていたが（防護林化は実施されていない）、この考えは新計画にも採用する予定である。また土石流対策施設の計画規模について従来の50年確率を100年確率に上げる方針である。また生態環境改善も新しい計画に含まれることになる。

2) 関連事業

本基本計画作りに関係する主な関連事業には以下のようなものがある。これらのうち道路開発事業については本計画作りに取り込むが、その他の事業については不確定な部分が多いことなどから、関係局との協議を踏まえて、本調査の中では特に考慮しないこととする。

- 水務局の行う水土保持事業（砂防えん堤工、防護林）

- 林業局の行う造林事業（退耕還林、生態林保護）
- 国土資源局が行う地質災害対策事業（土石流対策工、農地開発）
- 金沙江での発電ダム事業計画
- 道路開発事業（龙潭－東川道路、東川－巧家道路）

5.2.3 基本計画の計画目標年および開発レベル

1) 計画目標年

小江流域の土砂災害対策および自然環境修復基本計画の目標年次は、2003年11月12日、日本国独立行政法人国際協力機構と中国雲南省水利庁とで交わされた協議事録に記載されているとおり、2020年とする。すなわち基本計画で提案される全ての事業は、2020年までに実施することになる。

この2020年は前述した『全国山洪災害防治計画』での長期計画の目標年と合致している。そこで『全国山洪災害防治計画』と同様に2010年までを緊急計画、さらに2020年までを長期計画と位置づけることとする。

2) 目標開発レベル

次に目標年次である2020年までに『どの程度まで開発すべきであるか』という目標とする開発レベルを設定する必要がある。この開発レベルは国家目標・戦略という上位計画と整合したものでなくてはならず、また経済的にも財政的にも妥当なものでなければならない。

ところで小江流域は土砂災害・自然環境劣化の悪循環に陥っており、雲南省、長江流域から見ても経済的に遅れ、荒廃の激しい重要な地域となっていることが明らかになっている。このような悪循環を断つために、あらゆる局面において抜本的対策が求められている。さらに小江流域は生態環境建設計画や西部大開発戦略の対象地域の含まれていることから、小江流域をモデル流域と捉え、重点的整備を行うことは合理的であると言える。

したがって基本計画の開発レベルとしては、まず技術的に許される最大限の開発レベルを想定することとする。具体的には、後述するように、基本計画の中心となる、土石流、洪水対策では中国での基準に応じた計画規模を採用し、水系砂防対策では可能な限りの広域の地域で造林、山腹工、棚畑化を実施する方針とする。

しかし、その開発レベルの妥当性については、経済性、財政能力、技術、環境・社会配慮の面からの検証が必要である。また以下に述べるように、中国側は世銀プロジェクトを参考に単位面積当りの投資量として、60万元/km²程度を想定しているとのことであり、このような中国側に意向にも配慮する必要がある。そこで基本計画作りに当たっては、経済性や財政能力などに配慮しつつ技術的に可能な範囲での最大開発を開発目標レベルとして計画検討を行い、その妥当性について「7.5 事業評価」において検証する。

a) 世界銀行云貴鄂渝四省（市）水土保持流域治理項目

雲南省水利庁は、世銀からの融資を受け、『世界銀行云貴鄂渝四省（市）水土保持流域治理項目（Changjiang/Pearl River Watershed Rehabilitation Project）』（雲南省、貴州省、湖北省および重慶市を対象とした総額2億米ドルのプロジェクト）の実施を計画している。この事業では単位面積当りの事

業費を約 50 万元/km² と見積もっており、小江流域は前述のようにより荒廃の著しい地域なので、さらに 10 万元を上乗せした 60 万元/km² を投資したいとのことである。2005 年 4 月 4 日の国家水利部による発表によると、同プロジェクトは国家発展改革委員会の原則的同意を得、水利部はフィージビリティ調査や環境影響調査の作業に入ることになっている。

以下は『世界銀行云貴鄂渝四省（市）水土保持流域治理項目』について、2003 年 3 月 17 日に国家水利部弁公庁より配布された議事録通知からの抜粋である。

i) 対象区域

長江と珠江上流域水土流失区域（約 1000 万 ha）から、38 県を選出して実施する。中国の公表情報によると、実施面積 3000 平方キロメートル。

ii) 事業目標

中国の生態環境悪化且つ貧困な流域で、持続可能な農業発展方式を作り上げ、経済と環境が共に持続可能な発展を目指す。事業実施によって、農民収入が増加し、農民の環境保護の積極性を引き出す。水土資源の有効且つ持続可能な利用で数十年続いてきた貧困と環境破壊的な持続不可能な資源開発利用活動を改める。同時に長江と珠江へ流出する土砂を減らす。

iii) 事業内容と初期予算

世界銀行調査団の初期予測によると、総事業費が約 2 億ドルが必要で、世界銀行が 1 億ドルの融資を提供する。

表 R 5.2.2 世銀プロジェクトの概要

項目	単位	数量	単価 (千元)	小計 (百万元)	小計 (百万米ドル)	%
1. 基本農地整備	ha	17,000	18.00	306.00	36.87	18%
2. 傾斜農地保護						
a. 喬木	ha	45,000	2.20	99.00	11.93	6%
b. 薪炭林と灌木	ha	40,000	2.00	80.00	9.64	5%
c. 経済林	ha	20,000	4.00	80.00	9.64	5%
d. 果樹園	ha	20,000	5.00	100.00	12.05	6%
e. 自然修復（封山）	ha	190,000	0.10	19.00	2.29	1%
f. 草地整備	ha	5,000	0.70	3.50	0.42	0%
g. その他	ha			30.00	3.61	2%
小計	ha	320,000		411.50	49.58	25%
3. 土砂抑制工事	式	1		300.00	36.14	18%
4. 収入増加支援						
a. 家畜養殖	式	1		100.00	12.05	6%
b. 灌漑と給水	式	1		150.00	18.07	9%
c. 代替燃料	式	1		50.00	6.02	3%
d. その他	式	1		50.00	6.02	3%
小計		1		350.00	42.17	21%
5. 訓練	式	1		175.00	21.08	11%
6. 実施管理など	式	1		120.00	14.46	7%
合計	ha	337,000		1662.5	200.30	100%

注) 337,000ha 当り 1662.5 万元とすれば、約 50 万元/km² となる

5.3 基本計画のコンセプト

5.3.1 土砂災害対策及び自然環境修復に係わる限界と制限

これまでの調査・解析を通じて、いくつかの技術的、財政的な限界・制約も存在することが明らかになってきた。基本計画をより現実性かつ持続性のあるものとするためには、このような限界・制約を踏まえてのコンセプト作りが肝要である。

1) 技術的限界・制約

技術的限界・制約には以下のものがある。

- 森林の効果には限界がある。森林の侵食防止効果については衆目の一致するところであるが、崩壊防止に対しては崩壊深度の浅い表層崩壊に限られるようである（本調査の解析では 6.2.3 にあるように、林地の方が耕地よりも崩壊面積率が若干低いという結果が得られている）。
- 地すべり災害を抜本的に抑えるための地表水・地下水排除工や杭工、アンカー工など斜面の安定を図る対策工は非常に高価なものである。一方地すべり地は小江流域全体で広く分布しており、これらに施設対策工で対処するにはあまりに膨大な投資を要することになる。したがって地すべり対策としては、施設対策は非現実的であると考え、従来から行われてきている移転や群測群防の強化などの非施設対策を中心に考えていく。
- 流域の荒廃がひどく、あまりに膨大な生産土砂量のため、本川河床上昇を解消することは不可能であり、本川の治水対策は河床上昇を前提とせざるを得ない。河床上昇を解消するには約 23 百万 tf の生産土砂を抑制する必要があるが、造林や山腹工などの考えられる対策ではそれだけの生産土砂抑制は到底不可能である。

2) 財政的、経済的限界・制約

財政的・経済的限界・制約には以下のものがある。

- 小江流域は勾配が急で流域も荒廃していることからほぼ全ての溪流が土石流を発生する可能性を秘めている。しかし、このような溪流全てに対策を施すことは、財政的にも経済的にも非現実的であり、保全対象の重要度に応じて対策を施す溪流を絞り込む必要がある。
- 中国側は基本計画の開発レベルとして 60 万元/km² を想定し、主に海外融資機関から借款により 2020 年までに小江流域全体に 18 億元規模の投入を計画している。

5.3.2 基本計画のコンセプトと目標

以上のような技術的、財政的、経済的な限界・制約をも考慮した上で、現実的に妥当と思われる全ての対策を取り込むこととし、「小江流域総合土砂災害対策及び自然環境修復基本計画」のコンセプトを以下のように設定する。

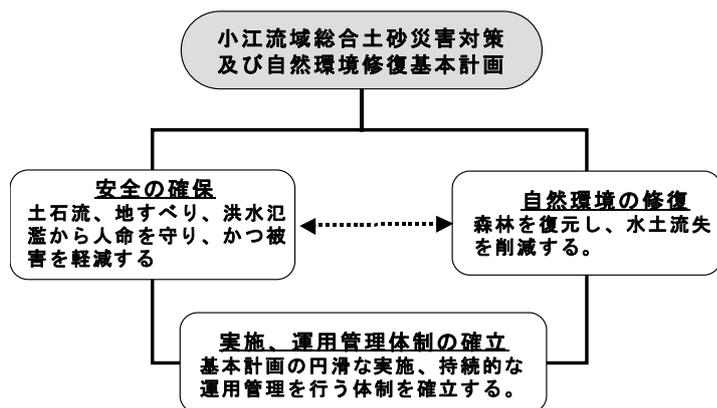


図 R 5.3.1 小江流域総合土砂災害対策及び自然環境修復基本計画」のコンセプト

まず本調査の目的の趣旨に則って、「安全の確保」と「自然環境の修復」を、基本計画の支柱となる2つのコンセプトとして掲げる。この2つのコンセプトは互いに補完しあう関係にあり、「安全の確保」の対策を実施することによって「自然環境に修復」にも寄与することにもなり、その逆も云える。そして2つの柱の実現と持続的発展を支えるために、もう一つのコンセプト、「実施・運用管理体制の確立」を加える。

これら個々のコンセプトの具体的な中身は以下のとおりである。

1) 安全の確保

土石流、地すべり、洪水氾濫から人命を守り、資産の被害を軽減することである。取り得る対策案は、災害の種類に応じて下表のようになる。地すべりに対しては、前述したような技術的限界から、非施設対策で対応する。非施設対策は洪水予警報システム整備、群測群防の強化、ハザードマップの整備・活用などを主体とし、人命保護を第1目標とする。

表 R 5.3.1 安全の確保のための対策案

災害の種類	施設対策	非施設対策
土石流	重要溪流での土石流対策工	洪水予警報システムの整備 群測群防の強化 ハザードマップの整備・活用
地すべり（がけ崩れを含む）	適用せず	洪水予警報システムの整備 群測群防の強化 ハザードマップの整備・活用
本川河川氾濫	河床上昇を前提にした洪水対策工	洪水予警報システムの整備 ハザードマップの整備・活用 河道管理の強化

2) 自然環境の修復

森林を復元して、水土流失を削減する。自然環境の修復には森林の回復が不可欠であることから、造林を主体とする対策を実施する。また造林に加え、傾斜農地には退耕還林あるいは棚畑化、また崩壊地には山腹工などの水土保持対策を実施して、生産土砂の削減を図る。この自然環境の修復対策の検討に際して、水系全体の土砂収支に着目し、「水系砂防」の観点から検討を行う。

非施設対策については、流域や森林を保全する管理を強化するとともに、貧困対策の一つとして副産物利用を行い、住民の収入増、生活改善を図り、住民の流域・森林破壊の自粛を促す。

表 R 5.3.2 自然環境修復(水系砂防)のための対策案

対策の種類		内容
施設対策	構造物対策	急傾斜農地の棚畑化
	生物的対策	植林可能地に造林の実施(退耕還林を含む) 崩壊地、ガリーに山腹工
非施設対策		水土保持、森林保護管理の強化 副産物利用による貧困対策の実施

3) 実施・運用管理体制の確立

基本計画の円滑な実施と持続的な運用管理のための体制を確立する。現状では雲南省の中で小江流域の管理を担当する専門部署はなく、小江流域は行政的に3区県に分かれ、さらに水務局、林業局、土地資源局が独自に関連事業を進めている状況である。基本計画は、従来の事業に比べ、規模、多様性、総合性のいずれの面からも桁違いに大きいものであり、既存の組織がそのままに、この基本計画を実施、運用管理していけないものではない。したがって小江流域の確実な実施と持続的な発展を担保するためには実施・運用管理組織の確立は重要な課題となっている。

5.4 段階的な施設対策基本計画の作成

5.4.1 支川流域単位の検討と全流域

本川の洪水対策を除く施設対策(構造物対策、生物的対策)は地形、地質、土壌など個々の支川小流域状況をつぶさに把握した上での検討が求められる。一方で広大な小江流域3,058km²の個々の小流域に対し、詳細な検討を行っていくことは時間的にも作業的にも難しい。そこでできるだけ施設対策検討を効率的に進めるため、代表小流域をいくつか選定し、それらについて重点的に検討を行って基本計画案をまとめ、その検討から得られる知見をさらに他の流域に展開・拡張することで小江流域全体の基本計画とする、という段階的な方法を採用する。

支川流域インベントリー作成、代表流域の選定については本節に、代表小流域の基本計画案作成に6章に、小江流域全体の基本計画作成については第7章で記述する。

一方、本川の洪水対策と非施設対策の検討については、上記のような段階的検討を行わず、第7章において全流域一括で検討を行い、必要に応じて個々の支川小流域についてさらに検討を加えるものとする。

5.4.2 段階的な施設対策基本計画作成手順

第1段階において、小江流域全体を小流域に分割し、各小流域流域の特性をまとめてインベントリーを作成する。第2段階では、作成した小流域インベントリーから代表的な数小流域を選定する。この代表小流域の選定にあたっては、既に優先小流域として上げられている4地域を第一候補とする。第3段階では、代表小流域について代替案の検討を含めた対策案の検討を行い、代表小流域の基本計画案を作成する。最終段階では、代表小流域での検討を通して得られた知見（対策案の種類、費用、効果など）を他の小流域に拡大・展開することによって全小流域の対策案を作り上げることになる。

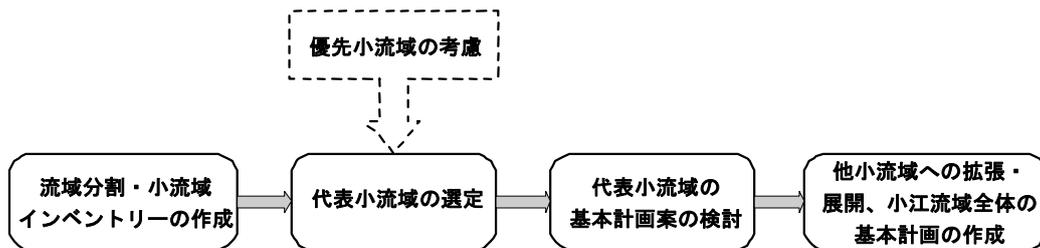


図 R 5.4.1 段階的基本計画作成手順

5.4.3 小流域のインベントリー作成

1) 流域分割

以下の方針に沿って、小江流域 3,058km² を図 5.4.1 に示すように 110 の小流域に分割した。最大は XZ-16 小清河流域の 340.7km²、最小は XY-3 白木筥、DY-8 司马沟、KY-5 大多江沟の 1.7 km² である。

- 小江、大白河および块河の3河川を小江本川とみなす。
- 3本の本川に直接流入する支川のうち 1/50,000 地形図に標記されているものを小流域として流域分割を行う。
- 1/50,000 地形図に標記がなくても、既往災害記録のある支川についてはできるだけ採用して流域分割を行う。
- 本川沿いの残流域については、本川の延長 15km 程度を目安に分割を行う。

表 R 5.4.1 小流域数

本川	左岸流域	右岸流域	残留域	合計
小江	16	8	3	27
大白河	21	25	7	53
块河	11	14	5	30
合計	48	47	15	110

2) 小流域インベントリー

分割した小流域について、前章までの情報収集、解析検討結果をもとに、社会（郷鎮、人口、人口密度、土地利用）、地形（標高、主流路、谷次数、谷密度）、土砂量関係（地質、崩壊地面積率、生産・流出土砂量）、土石流（土石流対策検討溪流の有無、土石流の分類）、過去の災害記録等について、各小流域ごとに整理し、表

5.4.1のような小流域インベントリーを作成した。さらにこれらの各項目データをGISデータ化することによって、図5.4.2に示すように各小流域の特性が一目で分かるような図面を作成した。

5.4.4 代表小流域の選定

代表小流域は110小流域の土砂災害対策や自然環境修復に係わる特性を代表するものでなくてはならない。図R5.4.2はインベントリーで上げた項目の中で、資産状況を反映していると思われる人口密度と最も流域の荒廃状況を反映していると思われる比生産土砂量(tf/km²/年)をそれぞれX,Y軸として110小流域のデータを散布図として表現したものである。

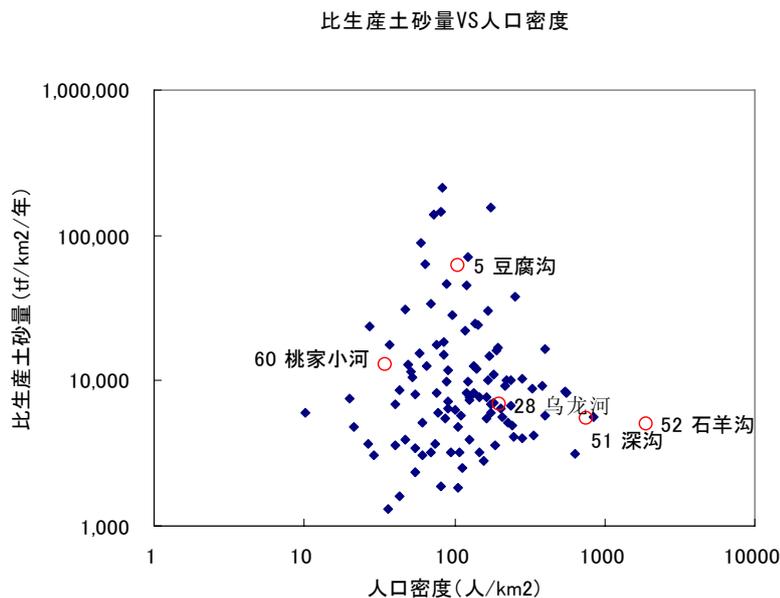


図 R 5.4.2 小流域の比生産土砂量と人口密度の関係

図R5.4.2には優先小流域であるXZ-5豆腐沟、DZ-1乌龙河、东川市街地(DY-3深沟、DY-4石羊沟)、DY-12桃家小河を○印で示してある。これを見ると、優先流域は適度に分布し、110流域を代表していると考えられる。例えば、豆腐沟は流域の荒廃が著しい小流域の代表、桃家小河は荒廃が中程度の代表、人口密度が高い东川市街地(深沟、石羊沟)は市街地を含む小流域の代表、さらに乌龙河は荒廃の程度が低い小流域の代表と考えることは可能である。そこでここでは、これら4優先小流域を代表小流域として選定し、次章において対策案の検討を行うこととする。

代表小流域(優先小流域)の諸元は、表R5.4.2のとおりである。

表 R 5.4.2 代表小流域の諸元

流域	区郷鎮	流域面積 (km ²)	推定流域人口 (人)	村数	主な土地利用	林地面積率 (%)	比生産土砂量 (tf/km ² /年)	主な災害記録	
豆腐沟	东川区播卡郷	16.0	1,690	4	荒山草地、耕地、林地	25.8	62,700	土石流、地すべり	
乌龙河	东川区乌龙郷、新村鎮、新田郷	134.6	27,550	13	耕地	26.9	7,100	土石流、地すべり	
东川市街地	深沟	东川区新村鎮、碧谷鎮	37.9	28,630	9	林地、耕地、荒山草地	33.0	6,300	1964年土石流
	石羊沟	东川区新村鎮	18.7	35,530	6	耕地	15.1	5,200	1964年土石流、1997年芦柴塘地すべり
桃家小河	会泽県駕車郷、东川区姑海鎮	72.6	2,500	6	荒山草地、耕地	17.9	13,700	1957年土石流	
合計		279.8	95,900	38		24.5	11,800		

5.4.5 施設対策の2つの視点（土石流対策と水系砂防）

本川の洪水対策を除く施設対策の検討にあたっては、個々の溪流を対象とした土石流対策と、小江流域全体の土砂バランスに基づいた水系砂防の2つの視点から検討を行う。

土石流対策では、110小流域内における全ての1次谷の河川・溪流から保全すべき資産を持つ土石流溪流を抽出し、それらを土石流対策検討対象溪流として対策案を検討する。計画土砂量は1洪水における土砂量を原則として用いる。水系砂防の視点というのは「自然環境の修復」を主に念頭におき、さらに本川・支川の河床上昇、下流の金沙江、長江への土砂流出の抑制を図る方策について検討する。したがってより長期間の土砂バランスに注目して、土砂量としては年平均土砂量を扱うことになる。

表 R 5.4.3 土石流対策と水系砂防対策

視点	目的	対象とする河川・溪流	計画で扱う土砂量	主な想定される施設
土石流対策	土石流	保全対象がある土石流危険溪流	1洪水の土砂量	砂防えん堤、谷止工、床固工、護岸工、流路工、山腹工、遊砂地、導流工
水系砂防	自然環境修復、河床上昇、下流への土砂流出	小江全流域	年平均土砂量	造林、砂防えん堤、谷止工、床固工、護岸工、流路工、山腹工、遊砂地、造林

1) 土石流対策検討対象溪流の選定

これまで小江流域には計107本の土石流溪流があると言われているが、それは本川に合流する主だった支川のみを指しているのものであって、実際にはその急峻な地形から判断して、『土石流が発生する可能性のある支川、谷は、無数にある。』と云わざるを得ない。ちなみに本調査で拾った0次谷を含めた河川、溪流の本数は約2万本で、そのほとんど全てが土石流を発生させる危険性を秘めている。

これら全ての河川、溪流に対して、対策を施すことは無意味であり、守るべき資産がある溪流についてのみ重点的に投資をすべきである。そこで、守るべき資産として暫定的に、市街地、100戸以上の大規模集落、主要道路、500畝以上の既存農地・開発可能農地を採用し、推定土石流氾濫域にそのような資産を有する1次谷以上の河川、溪流を土石流対策検討対象溪流として1/50,000地形図およびSPOT衛星画像から選定する。また過去において、その土石流が本川（小江、大白河、快河）を閉塞させたことがある溪流についても土石流対策検討対象溪流に含めることにする。

こうして表R5.4.4のように計106溪流・河川（総流域面積956km²）を土石流対策検討対象溪流として選定した。5.4.3節で分割した110小流域のうち、55小流域にこれら106本の溪流・河川が含まれている。この106河川、溪流の詳細については表5.4.2および図5.4.3に示すとおりである。行政区別に集計すれば、东川区内在60本、会泽県内在31本、寻甸県内在9本、东川区と会泽県に跨るものが6本である。

表 R 5.4.4 土石流対策の検討対象とする溪流

流の特性		溪流（基準点）の数	備考
保全対象	新村鎮市街地	5	深沟、石羊沟流域
	上記市街地を除く100戸以上の集落	26	
	主要道路	47	巧山－新村道路 龙潭－东川道路（建設中） 东川－巧家道路（改良予定）
	農地開発可能地を含めた農地面積が500畝（33ha）以上	49	
過去に溪流からの土石流が本川（小江、大白河、快河）を閉塞させたことがある		11	大田坝、牛坪子、豆腐沟、太平村沟、尖山沟、泥浆沟、蒋家沟、铜厂箐、大白泥沟、小白泥沟、桃家小河
合計		136（106）	

注）（ ）の数値は重複分を除いた数

2) 水系砂防

水系砂防では小江流域全体を対象とし、本川、支川の河床上昇や下流の金沙江、長江への土砂流出の抑制を図る方策について検討する。第4章での実績土砂収支バランスの検討結果に基づき、土砂の生産源に注目して、必要な対策を検討する。

第6章 代表流域での施設案の検討

本章では代表流域（豆腐沟、乌龙河、东川区市街地、桃家小河の各流域）における環境修復に配慮した総合土砂災害対策について、土石流対策及び水系土砂管理の面から検討を行う。

6.1 土石流に対する施設対策の検討

まず、小江流域の支川代表流域での市街地、集落、農地、道路等の資産や施設及び小江本川に対して土砂災害を生じさせる土石流に対する構造物対策の検討を行う。

6.1.1 対策土砂量

1) 計画基準点、補助基準点及び計画規模の設定

土石流対策計画を策定する場合、その対策の対象とする土砂量を決定する地点（計画基準点）を設定する必要がある。代表流域での流出土砂量算定の基本となる計画基準点は、土石流氾濫開始地点（地形）、重要保全対象物の位置、土石流対策施設の状態を勘案し表 5.4.2、図 5.4.3 のように設定した。また、豆腐沟基準点 1 および桃家小河基準点 1 には農地開発可能地の直上流にも補助基準点を設けた。

一方、土石流対策や洪水対策の計画規模に関しては、5.2.1 節で述べた『全国山洪災害防治計画作成ガイドライン（2003 年 4 月）』や国家水利部が定めた全国的な洪水・旱魃対策ガイドラインである『防汛抗旱・総合技術（1995 年 1 月 1 日施行）』において、都市部、農村に分けて表 R 6.1.1 および表 R 6.1.2 のように規定されている。これに従えば、小江流域の全ての土石流対策検討溪流は都市部、農村部を問わず、一番レベルの低い等級 4 に分類され、都市部での基準に従えば、土石流対策の計画規模は 20 年となる。また農村部の土石流対策の計画規模については明記されていないが、都市部のそれに準ずれば、洪水対策より若干高めということで 20 年前後となる。

表 R 6.1.1 都市部における山地洪水・土石流対策の計画規模

等級	重要度	人口	計画規模（確率年）	
			山地洪水	土石流
1	特別重要都市	150 万人以上	50～100	100>
2	重要都市	50～150 万人	20～50	50～100
3	中等都市	20～50 万人	10～20	20～50
4	小都市	20 万人以下	5～10	20

出典：『全国山洪災害防治計画作成ガイドライン（2003 年 4 月）』

表 R 6.1.2 農村部における洪水対策計画規模

等級	防止保護区域の人口	農地面積	洪水対策（確率年）
1	150 万人以上	300 万畝以上	50～100
2	50～150 万人	100～300 万畝	20～50
3	20～50 万人	30～100 万畝	10～20
4	20 万人以下	30 万人畝以下	5～10

出典：『防汛抗旱・総合技術』

一方、東川泥石流防治研究所によると、土石流対策の計画規模については原則として20年確率、新村鎮や碧谷鎮などの東川市街地については50年確率が採用されている。東川市街地については都市計画からの要請があり、さらに100年確率への格上げを検討しているそうである。

ここでは、以上の基準や現地での慣例、動向を重視し、20年確率を原則とするが、東川市街地の溪流（深沟、石羊沟、田坝干沟）では100年確率を土石流対策の計画規模とする。

表 R 6.1.3 代表流域の土石流対策検討溪流の基準点

支川流域	流域番号	基準点	流域面積 (km ²)	土石流対策 計画規模(確率年)	適用
豆腐沟	XZ-5	1	12.7	20	
	XZ-5	1-1	8.6	20	補助基準点
	XZ-5	1-2	2.1	20	補助基準点
	XZ-5	2	1.9	20	
乌龙河	DZ-1	1	4.5	20	
	DZ-1	2	1.8	20	
	DZ-1	3	3.9	20	
	DZ-1	4	2.1	20	
	DZ-1	5	0.5	20	
	DZ-1	6	0.7	20	
东川区 市街地流域	DY-3	1	24.2	100	深沟流域
	DY-3	2	2.8	100	深沟流域
	DY-3	3	0.9	100	深沟流域
	DY-4	1	7.3	100	石羊沟流域
	DY-4	2	1.8	100	石羊沟流域
桃家小河	DY-12	1	72.6	20	
	DY-12	1-1	65.1	20	補助基準点

2) 計画流出土砂量の算定

a) 移動可能土砂量

移動可能土砂量（不安定土砂量）は、以下の方法により算出した。

各流域の計画規模の降雨に対する移動可能土砂量は、0次谷の崩壊を含めた次式で土石流に対する移動可能溪床堆積土砂量とした。

$$V_e = A_e \times L_e$$

$$A_e = B \times D_e$$

V_e : 移動可能土砂量(m³)

A_e : 溪床堆積物の平均断面積(m³)

L_e : 谷出口から流域の最遠点までの流路に沿って計った距離(m)
(支溪がある場合はその長さも加える。)

B : 土石流発生時に侵食が予想される平均溪床幅(m)

D_e : 土石流発生時に侵食が予想される溪床堆積物の平均深さ(m)

b) 運搬可能土砂量

計画規模の土石流によって運搬できる土砂量（運搬可能土砂量 V_{ec} ）は、計画規模の降雨量に流域面積を掛けて総水量を求め、これに流動中の土石流の容積土砂濃度を乗じて算定した。その際、流出補正率を考慮した。

$$V_{ec} = \frac{10^3 \times R_T \times A}{1 - \lambda} \left(\frac{C_d}{1 - C_d} \right) \times fr$$

$$fr = 0.05(\log A - 2.0)^2 + 0.05$$

R_T : 計画規模の降雨量 (mm)

A : 流域面積 (km²)

λ : 空隙率

C_d : 土石流土砂濃度

Fr : 流出補正係数

ここで、空隙率 (λ) と土石流濃度 C_d は、中国科学院水利部成都山地災害及環境研究所等の既往調査結果による粘性、粘性-稀性、稀性という土石流分類からその平均的な値を用いた（表 6.1.1 参照）。分類されていないものについては、粘性-稀性土石流の値を用いた。補正係数 fr は、0.5 を上限とし、0.1 を下限とした。

c) 計画流出土砂量

移動可能土砂量と運搬可能土砂量を比較し、計画流出土砂量を決定する。表 R.6.1.5 に示されるように、いずれの流域も荒廃が激しく、不安定土砂（移動可能土砂量）が圧倒的であり、移動可能土砂量が運搬可能土砂量の数倍から十数倍にも及んでいる。したがって運搬可能土砂量を計画流出土砂量とする。

d) 土石流ピーク流量

土石流のピーク流量は日本の算定式である下式より算定される。

$$Q_{sp} = \alpha Q_p$$

$$\alpha = C_* / (C_* - C_d)$$

Q_{sp} : 土石流ピーク流量 (m³/s)

Q_p : 清水流量 (m³/s)

C_* : 土石流容積濃度

C_d : 堆積土砂の容積土砂濃度

なお、係数 α は土石流分類に基づき、粘性、粘性-稀性、稀性に応じ、それぞれ $\alpha = 10.7$ 、 3.0 、 1.8 となる。分類が不明のものには粘性-稀性の値 ($\alpha = 3.0$) を採用する。

一方、清水流量 Q_p は、到達時間を求める角屋式とピーク流量を求める合理式を用いて算定される。

$$Q_p = 1/3.6 \times r_e \times A \quad (\text{合理式})$$

$$t_c = 120 \cdot A^{0.22} \cdot r_e^{-0.35} \quad (\text{角屋式})$$

A : 流域面積 (km²)

r_e : 有効雨量強度 (mm/hr)

t_c : 到達時間 (分)

以上の算定方法に基づき、各代表流域の計画基準点および補助基準点での計画流出土砂量、ピーク流量は表 R 6.1.4 に示すようになる。

表 R 6.1.4 代表流域の土石流計画流出土砂量およびピーク流量

支川流域	基準点	土石流分類	流域面積	計画規模 (確率年)	移動可能 土砂量 V_e (m ³)	運搬可能 土砂量 V_{ec} (m ³)	計画流出 土砂量 (m ³)	土石流 ピーク流量 (m ³ /s)	
豆腐沟	1	粘性	12.7	20	3,089,000	324,000	324,000	1,029	
	1-1	粘性	8.6	20	2,177,000	234,000	234,000	744	
	1-2	粘性	2.1	20	433,000	102,000	102,000	226	
	2	粘性	1.9	20	549,000	96,000	96,000	207	
乌龙河	1		4.5	20	651,000	80,000	80,000	118	
	2		1.8	20	208,000	46,000	46,000	54	
	3		3.9	20	494,000	74,000	74,000	105	
	4		2.1	20	254,000	51,000	51,000	63	
	5		0.5	20	22,000	20,000	20,000	18	
	6		0.7	20	69,000	25,000	25,000	24	
东川市街地流域	深沟	1	稀性	24.2	100	3,601,000	197,000	197,000	389
		2		2.8	100	426,000	76,000	76,000	105
		3		0.9	100	92,000	37,000	37,000	39
	石羊沟	1		7.3	100	818,000	133,000	133,000	233
		2		1.8	100	292,000	58,000	58,000	71
桃家小河	1	稀性	72.6	20	7,144,000	471,000	471,000	733	
	1-1	稀性	65.1	20	6,388,000	422,000	422,000	674	

6.1.2 施設配置計画代替案の検討

1) 代替案の選定

ここでは前述の計画流出土砂量、ピーク流量に対し、施設対策（構造的対策及び生物的対策）の各種組み合わせによる代替案を検討する。

この土石流をどのように取り扱うかにより、次の4つの考え方がある。

- 土石流の発生を抑制する。
- 土石流を貯留する。
- 土石流を抑制・調節する。
- 土石流を安全に流下させる。

これらの考え方に適用される対策は、その機能から表 R6. 1. 5 のように整理される。

表 R 6.1.5 代替案として適用が考えられる対策

分類	内容	構造物対策	生物的対策
土石流発生抑制対策	土石流発生域において土石流の発生を抑制する施設対策	砂防えん堤、床固工、護岸工、溪流保全工	山腹工、造林
土石流貯留対策	土石流下区間において土石流を貯留する施設対策	遊砂地工、砂防えん堤（貯砂）、	—
土石流抑制・調節対策	土石流下区間において土石流を抑制・調節する施設対策	砂防えん堤（抑制・調節）、	—
土石流流下対策	土石流流下区間および堆積区間において、土石流ピーク流量を安全に流下させる施設対策	導流工	—

流域の荒廃状況の改善という観点から見れば、これらの対策案の中で、発生抑制対策が最も抜本的な対策といえる。しかし、全流域において年間 42,000,000tf の土砂生産があり、かつ、表 R 6. 1. 4 で移動可能土砂量 (Ve) が運搬可能土砂量 (Vec) を凌駕していることから理解されるように、いずれの代表流域の土石流対策検討溪流においても、膨大な不安定斜面、不安定土砂が存在しており、これら全てに対し発生抑制を施すことは技術的・経済的に非効率である。したがって土石流対策としては発生抑制対策ではなく土石流災害防止の観点から計画を立案する。6. 2 節で後述するように、造林や山腹工などの土石流発生抑制対策については、水系土砂管理対策として採用し流域の荒廃抑制を図る。

また、遊砂地工、貯砂えん堤など、土石流貯留を目的とした施設では、土石流計画流出土砂量に相当する容量を土石流発生に備えて常に確保しておく必要がある。しかし、小江流域では流域の荒廃のため土砂生産が激しく、このような容量を確保するためには貯まった土砂を常に掘削除去するか、経年の生産土砂量を死容量としてあらかじめ貯砂計画に見込んでおくか、容量を確保するために貯砂施設を新たに作り続けなければならない、維持管理に手間がかかり経済的にも不利となる。

一方、砂防えん堤を中心とした土石流抑制・調節対策や導流工建設による流下対策は従来から小江流域で採用されてきた対策で、数が圧倒的に不足しているもののそれなりの成果を上げてきており実用的な対策と言える。

以上の検討から、以下で検討する代替案としては、『土石流調節を目的とした砂防えん堤』及び『土石流を安全に流下させることを目的とした導流工』を採用する。

2) 砂防えん堤

a) 砂防えん堤の機能と計画流出土砂量

砂防えん堤は、溪岸・溪床侵食の防止、流下土砂の調節、土石流の捕捉・減勢（土石流の調節）、流木の捕捉などの機能を持つ。

ここでは、前述のとおり、移動可能土砂量が運搬可能土砂量に比べて圧倒的に多いことから、土石流の捕捉・減勢（土石流の調節）の機能にのみ着目し、砂防えん堤の捕捉量のみを整備土砂量として検討を進める。砂防えん堤の配置により各計画基準点での計画流出土砂量を上流に配置した砂防えん堤により捕捉し、大出水時の下流への流出土砂量は 0m^3 とする。

b) 砂防えん堤のタイプ

砂防えん堤を土石流の捕捉方法から区分すると不透過型と透過型に分けられる。不透過型は出水時と平常時の含砂率の差によりそれぞれの堆砂勾配に差が生じることから（平常時堆砂勾配と計画堆砂勾配）土砂調節機能が発揮され、この部分の調節量が捕捉量となる（図 R6. 1. 1 参照）。

透過型についてもその基本的な機能は同じであるが、大出水時には土石流や土砂を一時的に貯留するが、平常時や中小出水時の土砂はスリットなどの透過部を通して捕捉することなく下流へ流す機能を持っている。このため、常時の空き容量が大きく下図に示すとおり不透過型に比べて大きな捕捉量を見込むことが可能である。

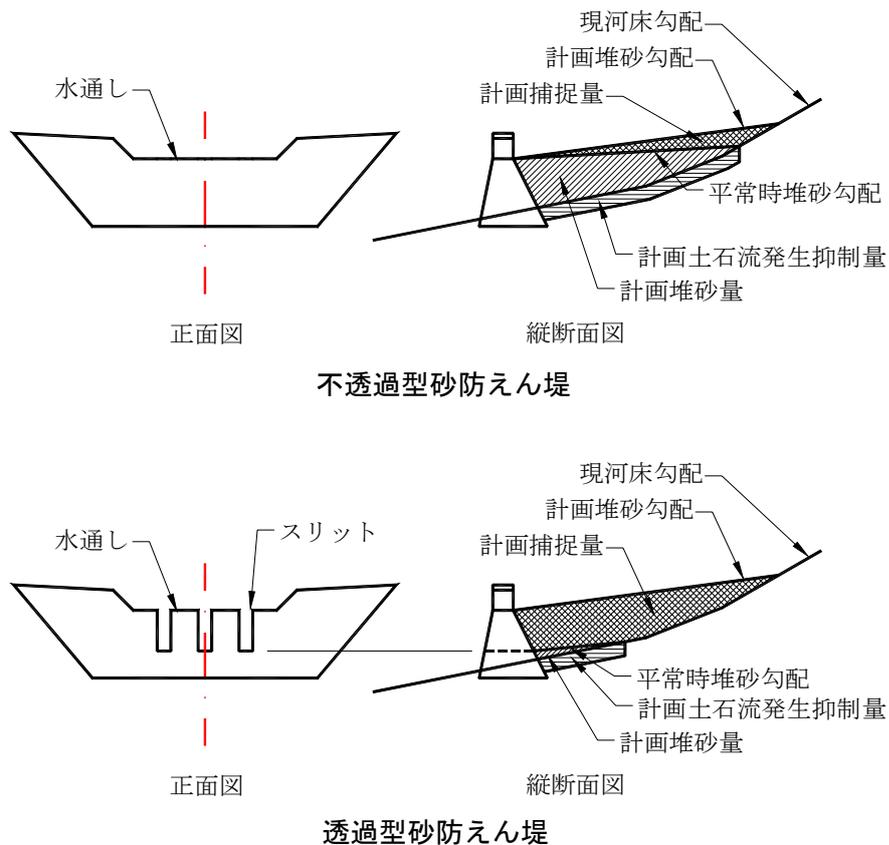


図 R 6.1.1 不透過型及び透過型砂防えん堤の捕捉量

しかし透過型砂防えん堤の土石流補足効果を発揮させるためには、スリットなど透過部の設計に注意が必要である。また、えん堤に補足した石礫の透過部からの突発的な流出等に対して下流保全対象の安全性を確保する必要があるなど、不透過型と較べて技術的に難しい点がある。

以上の考察より、上流域においては捕捉効果が大きい透過型砂防えん堤を配置し、基準点、補助基準点直上流など近傍に重要な保全対象が控えている箇所については機能が安定し実績のある不透過型砂防えん堤を配置するものとする。

また、透過型砂防えん堤には、コンクリートスリット型、鋼製スリット砂防型などの種類がある。堤体に大きな開口部を設け鋼管等の枠（棧）を設置する鋼製スリット型は、開口部が広く土石流中の礫と水の分離がスムーズに行われるため、えん堤のポケットは湛水せず砂礫分のみ効果的に堆積させることができ、

礫径の大きな砂礫型土石流の発生する溪流に適している。一方、堤体に細い切れ込みを持つコンクリートスリット型は、平常時はこのスリット部から土砂混じりの流水を流下させ、土石流時や洪水時には流入する多量の土砂を堆積させ流出土砂のピークをカットする効果がある。この機能は小江の挟砂洪水、稀性泥石流などにも効果を発揮するものと考えられる。また、粘性の強い火山泥流に対しての実績もある。これら各種透過型えん堤の特質については、現在も研究が進められている所であり最新の研究成果を踏まえ選定していく必要があるが、本検討では、小江流域の河床堆積物粒度が小さいことを考慮し、粒度が細かく粘性の高い土石流に対して効果を発揮するコンクリートスリット型を採用するものとする。

c) 砂防えん堤の配置・規模等

施設配置計画に当たっての留意点は次のとおりである。

- 計画基準点または補助基準点に基幹砂防えん堤（不透過型）を計画する。
- 補助基準点がある場合は補助基準点までに土石流を捕捉し、補助基準点から計画基準点間に導流工を計画する。
- 計画砂防えん堤は、岩着は難しいと考えられることから 15m以上のハイダムは避ける。根入れを 2.5～3.0mとし有効高 12mを最大高とする。

d) えん堤下流の流路工

最下流の砂防えん堤の下流には後続流を無害に流下させるため、また、河床低下を防止するために流路工を設置する。この流路工の計画確率規模としては、前述の『全国山洪災害防治計画作成ガイドライン』の山地洪水に対する計画規模を参考に、土石流対策より若干規模を下げ、東川市街地の溪流（深沟、石羊沟、田坝干沟）では 20 年確率、その他の溪流では 5 年確率とする。

3) 導流工

導流工は発生した土石流を氾濫させることなく、無害なところまで速やかに流下させる方法である。小江流域では蒋家沟、达朵沟、沙湾大沟等で採用されており、それぞれ発生した土石流を流路によって小江本川まで導くものである。導流工の流入部には、河道を固定し土石流を滑らかに導流工に導くために床固め工を設置する。

導流工は砂防えん堤に比べ、廉価であるが、土石流の流下を許容することになるため、発生時に導流工内およびその周辺から確実に人々を避難させておく必要がある。このことから、導流工採用にあたっては、経済分析のみでなく下流の状況、特に人家の有無、規模等に配慮する必要がある。

6.1.3 代替案の概略設計と費用概算

前節までの検討を踏まえ、代替案の検討を行った。

砂防えん堤の規模、捕捉量を表 6.1.2 に、代替案 1:砂防えん堤+流路工と代替案 2:導流工+流入部床固工の施設規模及び概算費用を表 6.1.3 に、その概要を表 R6.1.6 に示す。

表 R 6.1.6 代表流域土石流対策代替案比較

支川流域	基準点	流域面積 (km ²)	代替案 1:砂防えん堤+流路工			代替案 2:導流工+流入部床固め			
			えん堤 基数	流路工延長 (m)	工事費 (千元)	導流工延長 (m)	床固工 基数	工事費 (千元)	
豆腐沟	1	12.7	8	4,500	18,300	4,500	1	13,150	
	2	1.9	4	1,100	6,360	1,100	1	2,160	
乌龙河	1	4.5	2	1,300	3,250	1,300	1	2,220	
	2	1.8	3	2,000	4,480	2,000	1	2,490	
	3	3.9	4	2,000	5,770	2,000	1	2,820	
	4	2.1	3	1,300	3,580	1,300	1	1,760	
	5	0.5	2	1,100	2,460	1,100	1	1,180	
	6	0.7	2	1,500	2,000	1,500	1	1,580	
东川市街地	深沟	1	24.2	3	3,900	11,080	3,900	1	7,770
		2	2.8	4	3,700	8,370	3,700	1	4,700
		3	0.9	3	1,600	4,790	1,600	1	1,890
	石羊沟	1	7.3	4	3,700	9,610	3,700	1	5,290
		2	1.8	3	3,700	7,220	3,700	1	4,220
桃家小河	1	72.6	3	4,000	15,480	4,000	1	11,750	

6.1.4 便益算定

「土石流対策事業の費用便益分析マニュアル（案）、日本国国土交通省」では土石流対策事業の効果として、直接的な被害軽減効果、間接的な被害軽減効果、さらに地域経済等に及ぶ効果として様々な項目が上げられている。ここではこの中から、現実的に定量的評価が可能である効果について便益を計上する。すなわち、まず直接的な被害軽減効果として、被害軽減便益（家屋被害軽減効果、耕地被害軽減効果、公共・公益施設被害軽減効果、人命保護効果を、間接的な被害軽減効果として機能低下被害軽減効果（営業停止被害軽減）、交通途絶被害軽減効果）を、さらに地域経済等に及ぶ効果として農地開発便益（土地利用可能地拡大効果）を計上する。

1) 便益算定方法

a) 被害軽減便益

i) 土石流氾濫区域の推定

土石流氾濫区域は本来、氾濫シミュレーションによって推定すべきであるが、基本計画レベルの検討では若干精度を落としても問題ないと判断し、上記マニュアルを参考に氾濫地域を扇状地と谷底平野に分け、氾濫区域面積を以下のように簡易的に推定する。

表 R 6.1.7 堆積厚別土石流氾濫区域の推定

項目	扇状地	谷底平野
土石流氾濫面積の算定	$A_i = (V_i / 0.925)^{1/2} \times L / 667$ A_i : i 年確率時の氾濫区域 (畝) V_i : i 年確率時の土石流量 (m ³) L : 平均流下距離 (km)	$A_i = A_p \times (V_i / V_{100})$ A_i : i 年確率時の氾濫区域 V_i : i 年確率時の土石流量 (m ³) A_p : 地形判読による氾濫可能面積
堆積厚別の氾濫面積の割合 (%) *	125cm : 90 75cm : 5 25cm : 5	60 15 25

* : 「土石流対策事業の費用便益分析マニュアル (案) 、日本国国土交通省」

ii) 家屋、家財および農作物被害

資産額に堆積厚別の被害率を乗じることによって算出する。資産の数量は SPOT 衛星写真から推定し、資産額は村民委員会へのアンケート調査、現地での聞き込み調査結果などにに基づき設定した。また被害率は上記マニュアルを参考にして決定した。豆腐沟や桃家小河のように過去に土石流が本川を閉塞させた溪流については、せき止めによる浸水被害をも計上した。

iii) 公共施設への被害

东川市街地のような市街地には公共建物、道路、電柱等の公共施設が密集している。そこでこのような施設の被害として家屋被害の 50% を仮定する。また、豆腐沟には道路橋、桃家小河には道路橋および団結渠の取水堰がそれぞれの土石流氾濫区域内にあり、土石流の脅威にさらされている。100 年洪水時に資産額の 50% の被害を受けるものとして、20 年確率以上の土石流では、土石流の土砂量に比例した被害を受けるものとする。

iv) 人命被害

死者の発生は、家屋の全壊と、保全対象の道路橋梁を通過中に土石流の直撃を受けた場合の、2 ケースを想定する。

家屋の全壊による死者数は、日本における土石流被害に関する人的被害と家屋被害に関する調査結果に基づいた下式によって、50 年確率以上の土石流について算定する。

$$Y = 2.600 X^{0.663}$$

ここに X : 全壊家屋数 (125cm の土石流堆積を受けた家屋数)
Y : 死亡者数 (人)

また通行中の直撃による死者については、1985 年に老干沟で土石流が走行中のバスを襲い、12 名が死亡した事例を参考とする。豆腐沟や桃家小河ではこのような事故が起こりうるとして、100 年確率土石流で 12 名が、50 年確率以上の土石流では土石流の土砂量に比例して死者がでるものとした。

人命の価値は、生きていたら受け取ったとされる逸失利益の現在価値として算定する。割引率を 8%、中国での人口年齢構成を元にライブニッツ係数を計算したところ年収の約 15 倍という値が得られた。

v) 間接被害

間接被害として営業損失被害、橋梁被害による交通断絶被害、団結渠堰被害による農業被害を計上する。営業損失被害としては、家屋被害を受けた家庭の収入が90日間停止するものと仮定した。豆腐沟の交通断絶被害については、迂回による通行時間増による営業損失被害、燃料費増を考慮した。しかし桃家小河については巧山-新村道路が不通になっても近傍に迂回路（龙潭-东川道路）があるため交通断絶被害を計上しない。

桃家小河の団結渠が被害を受けた場合の農業被害は100年確率土石流で10%の被害を受けると仮定し、20年確率以上の土石流で、土砂量に比例して被害を受けるとする。

vi) 年平均被害計減額の算定

表6.1.1に示したように、既往研究によると、土石流分類によって土石流の発生する頻度が異なると考えられる。そこで土石流は粘性土石流溪流では5年確率から、その他の土石流分類では5~10年で土石流氾濫が発生するものとする。

年平均被害軽減額は生起確率を考慮した期待値として計算する。計算結果を代表流域のうち、豆腐沟、深沟それぞれの基準点番号1の2溪流に関する確率別被害額および被害軽減額を表6.1.5にサンプルとして示す。

b) 農地開発便益

急峻な山岳地域である小江流域では農地開発も土石流対策の大きな目的の一つである。砂礫が堆積する扇状地、河谷平野も土石流対策によって土砂を制御することによって農地化することが可能となる。'70年代から'90年代にかけて実施された大桥河の土石流対策事業では、約5,000畝(333ha)の農地開発に成功し、その事業は「东川モデル」として全国レベルの模範事業となっている。

2004年3月撮影のSPOT衛星写真(解像度2.5m)から推定すると、本調査の対象となっている計106本の土石流対策検討溪流でも約16,000畝(1,070ha)の新規農地開発が見込まれ、代表流域でも豆腐沟、乌龙河、桃家小河から合計2,180畝(145ha)の開発が可能となる。

この農地開発による便益は、農地開発後の収穫高から生産費用を除いたものとする。ただし、農業地域での土石流対策は20年確率であるので20年に1年は土石流被害により無収入になると考える。表6.1.4に計算過程を示すが、農作物としては水稻と地域で収量の高い穀物または野菜の2毛作とし、結局、1,130元/畝/年を単位面積当りの開発便益とする。

2) 便益算定結果

以上の方針に基づき、算定した過程及び結果を表6.1.6に示すとともに、代表流域の計14溪流の土石流対策便益を表R6.1.8にまとめる。

表 R 6.1.8 代表流域の土石流対策便益の合計

流域面積	氾濫域の資産					便益（市場価格）		
	土石流 溪流数	既存 農地	開発可 能農地	家屋数	主要 橋梁・堰	被害 軽減額	農地 開発	合計
(km ²)	(本)	(畝)	(畝)	(軒)	(基)	(千円/年)	(千円/年)	(千円/年)
137.7	14	19,610	2,180	9,480	4	11,413	2,463	13,876

6.1.5 最適案の選定

各代替案に対する経済評価を表 6.1.7 に示す。経済評価指標として純現在価値 (NPC=B-C)、費用便益比 (B/C) を、割引率 8%、施設の寿命 50 年として算定した。また市場価格から経済価格への変換には一律 85% を乗じた。

この計算結果によれば、代替案 2 は代替案 1 に比べて工事費は安くなっており、経済指標の値も高いものになっている。すなわちこの経済評価だけ見た場合、代替案 2 は代替案 1 よりも有利となる。しかしこれは代替案 1 と代替案 2 の便益を同額としたことの結果であるが、実際には便益算定に反映されなかった便益の差が両者にはある。質的には代替案 2 の方が劣っている。例えば、代替案 2 は土石流の流下を容認することになるため、発生時に人が導流工に入っていた場合、被災する恐れがある。また轟音を立てながら流下することになるため、恐怖感を近隣住民にあたえることになる。

このようなことから、代替案の選択にあたっては単に経済評価だけでなく、保全対象に配慮する。すなわち『100 戸以上の住居がある場合、および 100 戸以下でも B/C が 1 以上の場合は、砂防えん堤の土石流捕捉効果に基づき基準点下流への計画流出土砂量を 0 m³ と設定している代替案 1 を採用する。それ以外は土石流の流下を許容する代替案 2 を最適案とする。』

最適案内容を表 6.1.8 に、概要を表 R6.1.9 に整理する。また、図 6.1.1 に代表流域の施設配置計画図を示す。

表 R 6.1.9 代表流域の土石流対策最適案

支川流域	基準点	流域面積 (km ²)	えん堤 基数	流路工延長 (m)	導流工延長 (m)	工事費 (千円)	費用便益 B/C	
豆腐沟	1	12.7	-	-	4,500	13,150	1.37	
	2	1.9	-	-	1,100	2,160	3.01	
乌龙河	1	4.5	2	1,300	-	3,250	1.03	
	2	1.8	3	2,000	-	4,480	1.11	
	3	3.9	4	2,000	-	5,770	1.01	
	4	2.1	3	1,300	-	3,580	1.06	
	5	0.5	-	-	1,100	1,180	1.20	
	6	0.7	2	1,500	-	2,000	1.57	
东川市街地	深沟	1	24.2	3	3,900	-	11,080	3.32
		2	2.8	4	3,700	-	8,370	1.44
		3	0.9	3	1,600	-	4,790	3.48
	石羊沟	1	7.3	4	3,700	-	9,610	2.33
		2	1.8	3	3,700	-	7,220	2.97
桃家小河	1	72.6	-	-	4,000	11,750	1.01	
計		137.7	31	24,700	10,700	88,390	1.90	

6.2 水系砂防の施設対策の検討

6.2.1 水系砂防計画検討手順と適応可能な施設案

1) 水系砂防計画検討手順

水系砂防では小江流域全体を対象とし、本川、支川の河床上昇や下流の金沙江、長江への土砂流出の抑制を図る方策について検討する。具体的には、第4章での実績土砂収支バランスの検討結果に基づき、土砂の生産源に注目して、必要な対策を検討する。

小江流域の場合、年平均生産土砂量 42,000,000 tf(表 R 4.3.9 参照)と非常に膨大な量であり、これを土砂災害の生じない量まで施設対策によってコントロールするというのは、費用的にまた技術的にもほとんど不可能に近い状態になっている(特に地滑り性大規模崩壊に対する対策は技術的・経済的に非常に難しい)。

このため、種々の代替案の組み合わせを検討し、土砂災害が生じない量までコントロールするために最適な施設配置案を考えるプロセスも、現実には適用できない状況になっている。そこでここでは、こういった小江流域の水系砂防計画上の問題を鑑み、以下の観点から計画策定の検討を行う：

- まず、現実的に技術的対応可能な対策をとった場合、水系砂防の観点からどの程度の効果があるかを検討する。
- さらに、それが経済的に見合うものであるかを確認する。(経済的に見合わない場合、状況によって経済的に妥当と思われる規模まで対策を縮小する。)

2) 現実に適用可能な施設案の検討

水系砂防対策としては一般に、山地斜面や渓床渓岸の侵食などの土砂生産に抑制対策を施す土砂生産抑制対策と、有害な土砂を砂防施設に貯留することによって流下を抑制する流出土砂抑制対策がある。しかし小江流域では、その圧倒的な生産土砂量によって、貯留施設を作っても直ぐに埋まってしまうことが容易に推定されることから流出土砂抑制対策は得策ではない。したがってここでは、土砂生産抑制対策によって、生産土砂量の削減に努めることを基本とする。

さらに生産土砂抑制対策には、地すべり、崩壊、表面侵食、ガリー侵食の土砂を原初的生産源である山地斜面に対する生産土砂発生抑制と二次的な生産源である溪流河床河岸での侵食抑制対策がある。しかし小江流域の土砂生産・流出状況からみると、年平均生産土砂量が 42,000,000 tf に対し、溪流河床河岸での二次的な侵食量は約年間 2,000,000 tf と見積もられ、生産土砂量に較べて 5%程度に過ぎない。このことは、溪流河床河岸での侵食抑制対策を施しても、抜本的な生産土砂抑制には至らないことを示している。

このことから、ここでは以下に述べるように、代表流域の水系砂防対策について主にこの生産土砂発生抑制対策(造林(造林+山腹緑化工)及び傾斜農地の棚畑(田)化)を重点に対策を検討することとし、溪流河床河岸での侵食抑制対策は特に考慮しない(別途土石流対策で提案される砂防えん堤についても、計画上効果量を見込まない)。

表 R 6.2.1 適用が考えられる施設

目的	構造物対策	生物的対策	適用
生産土砂発生抑制対策	傾斜農地の棚畑（田）化	造林等（造林+山腹工）	○
溪流河床河岸での侵食抑制対策	砂防えん堤、（床固工）	—	

6.2.2 代表流域生産土砂抑制対策計画

以下に代表流域での生産土砂抑制対策計画（造林及び山腹工の計画及び農地の棚畑（田）化）を示す：

1) 造林及び山腹工の計画

a) 造林及び山腹工の計画策定手順

各代表流域における造林及び山腹工は以下の手順で計画策定を行う：

- (1) 小江全流域の荒山草地、傾斜農地、崩壊地、ガリー侵食地に対する造林可能地域の確認
- (2) 代表流域の土地利用状況の確認および造林対象地域の設定
- (3) 代表流域造林対象区域の標高分布と傾斜分布の確認および面積の算定
- (4) 各標高ごとの造林樹種の選定
- (5) 造林樹種単価および山腹工の単価の設定
- (6) 造林及び山腹工の費用の算定

b) 造林及び山腹工の計画策定内容

上記手順に関して、策定された造林及び山腹工の計画内容は以下に示す通りである。

i) 荒山草地に対する造林可能地域の確認

造林計画を立てる上で、造林可能地域を確認する必要がある。この造林可能地域を確認するのに利用可能な資料としては以下のものが挙げられる。

- 東川区、尋甸県、会泽県の土地資源局、もしくは林業局が公表している土地利用の状況、林業用地及び一部森林分布図。
- 今回衛星写真から読み取った地被状況図、傾斜分布図、標高分布図、崩壊地推移図
- その他現地聞き込みによる情報等

これらの資料に基づいて造林可能地域を設定する場合、それぞれ、土地資源局、林業局などのデータは図面がないため場所が分からない、データの作成年が異なるなどの問題が、さらに衛星画像の地被判読では判読の困難な地域があり精度上の問題を含んでいる。

上記のことから、本調査では3区県の林業局が公表している無林地面積を荒山草地に対する造林可能地域面積の数値として用いることとする。ただ

し衛星写真判読から作成した地被状況図、傾斜分布図、標高分布図などから得られる各細項目（標高別、傾斜別、代表流域別など）の荒山草地面積については、判読面積に応じて比例配分とする。

表 R 6.2.2 荒山草地に対する造林面積の設定 (km²)

項目	細目	东川区	寻甸県	会泽県	合計
林業用地面積* (行政区)	林地	620	494	118	1,232
	①無林地	384	48	100	532
	合計	1,004	542	218	1,764
林業用地面積 (小江流域)	②小江面積割合	1463/1857 =0.78	1002/1549 =0.65	1.0	—
	③無林地 (① x ②)	300	31	100	431
荒山草地	④地被分類図読取值	501	118	261	880
	⑤不適地面積値**	132	8	30	170
	⑥修正値 (④-⑤)	369	110	231	710
***割合 (③/⑥)		0.81	0.28	0.43	-

* 区県林業局提供の数値

** 標高 3000m以上もしくは傾斜 45 度以上の荒山草地面積

*** この割合を衛星画像読み取りの標高別、傾斜別の荒山草地面積（地被状況図、標高分布図、傾斜分布図から算定）に乗じて、造林面積を算定する。

ii) 傾斜耕地に対する造林対象地域の設定

傾斜農地のうち 25 度を越える農地については、水土保持・土砂流出上対策が必要ということで、従来から退耕還林の対象地域として国家プロジェクトが進められている。この退耕還林プロジェクトは今後も続けられる予定ではあるが、具体的な面積、実施計画が明確になっていないためここでは本プロジェクトで造林計画を進めるものとし、実施段階で退耕還林プロジェクトが既に進んでいた場合はその面積を除外して考えるものとする。

ただし、一方でこの 25 度を越える傾斜農地をすべて造林するのは、農民の生活の場を奪うことにつながりかねないため、ある程度の割合いで農地を残す必要がある。この割合については、それぞれの土地利用状況、生活環境等から一概に決められないが、ここでは 75%について造林することとし、残り 25%は農地として残すこととする。また農地の減少分は基本的に補償費及び造林による収益で生計を立てることを前提とする。

iii) 崩壊地に対する造林対象地域の設定

小江流域には大きな土砂生産源の一つとして崩壊地の存在が指摘されている。この崩壊地の土砂生産を抑制するために造林可能な地域については、山腹工等の補強工事を行ったうえで造林を行う。この造林可能地域としては、傾斜 45 度以内、標高 3000m以下の崩壊地を対象とする。但し、この崩壊地を造林のためのアクセスの問題、崩壊地土壌の適正など種々問題から 100%造林することは不可能であり、ここでは表 R 6.2.2 に示した荒山草地と林業用地面積との割合から、崩壊地面積の 50%を造林対象とした。

iv) ガリー侵食地に対する造林対策区域の設定

小江流域全体のガリー侵食地を含む 0 次谷は、前述したように総延長 6,000km に及んでおり、大きな土砂生産源の一つとなっている。このガリー侵食地に山腹工を行う。この対象面積は、衛星画像判読、現地調査などを参考にガリーの平均幅を決め、これに総延長の 50% を乗じて求めた。

v) 代表流域の土地利用状況確認及び造林・山腹工計画対象区域の選定

前述の i)～iv) までの手順に沿って、各代表流域の造林対象面積を求めた。表 6.2.1 に各地被状況に対する造林対象面積を示す。

vi) 標高ごとの造林樹種の選定

標高ごとの造林樹種の選定は、小江流域全体で判断して各標高で一般に造林に用いられている代表的な樹木を、生態林を中心に選定する。標高ごとの造林樹種は表 R 6.2.3 に示すとおりである。

表 R 6.2.3 各標高ごとの造林樹種

標高	樹種
3000m 以上	造林せず（封山育林等で草地として保全する）
2400m-3000m	高山松単一林および崑山松と旱冬瓜の混在林
1500m-2400m	崑山松と旱冬瓜の混在林、云南松と麻クヌギの混在林、新銀合歡と余甘子の混在林、坂柳と苦刺の混在林、聖誕樹と坂柳混在林、花椒林、胡桃林、板栗林
1500m 以下	坂柳単一林、聖誕樹と坂柳の混在林、坂柳と苦刺の混在林、新銀合歡と余甘子の混在林、滇楊単一林

各生態保護林の中で各樹種の組み合わせ（単一林、混在林間の割合）は均等割合とする。また、混在林の各樹種の割合は次の様に設定する。

表 R 6.2.4 混在林毎の造林樹種割合

混在樹種名		混在割合
崑山松	旱冬瓜	7 : 3
云南松	麻クヌギ	7 : 3
新銀合歡	余甘子	7 : 3
坂柳	苦刺	7 : 3
聖誕樹	坂柳	7 : 3

vii) 山腹工法の選定

崩壊地に対する山腹工は中国ではあまり実施例がないが、「四川省安寧河流域造林計画調査（2002 年 7 月）」において工法検討が行われており、現在進行中のモデル施工では良い結果が得られているようである。安寧河流域は地形・地質・気候条件が小江流域と似通っていることから、小江流域においても適用可能な工法と考えられる。そこで安寧河流域での工法を参考に、小江流域山腹工法として、図 R 6.2.1 に示すような編柵工、竹筋工、むしろ伏工の組合せを考える。

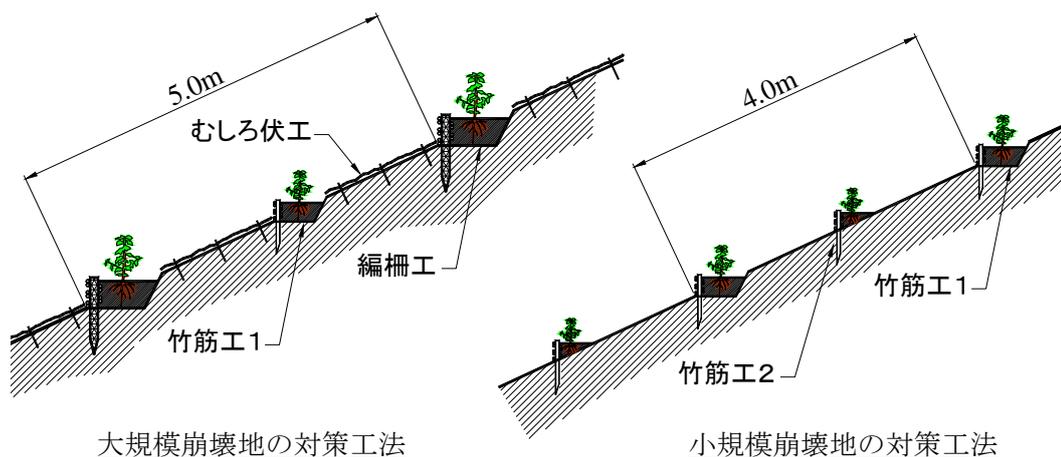


図 R 6.2.1 崩壊地斜面に対する山腹工法模式図

viii) 造林樹種単価および山腹工の単価の算定

現在小江流域の造林で用いられている費用資料を整理し単位面積あたりの造林単価を設定する。また、山腹工の費用については、前述の「四川省安寧河流域造林計画調査」で適用された平均単価を用いる。造林単価は表 6.2.2 及び表 6.2.3 に示すとおりである。

ix) 造林及び山腹工の工事費

前述までの数量に基づき、造林及び山腹工の工事費を算定した。表 6.2.4 に代表流域における造林及び山腹工の工事費を示す。

2) 農地の棚畑(田)化

傾斜農地の棚畑（田）化は、以下の手順で検討を行う。

- (1) 棚畑（田）化対象面積の設定
- (2) 事業費の算定

a) 棚畑(田)化対象面積の設定

棚畑化の対象となる面積は、「四川省安寧河流域造林計画調査（2002年7月）」を参考に傾斜角度 15 度～25 度の耕地に対し、以下のことを配慮し 50%の面積を対象とする。

- 当流域では既に全国生態環境建設計画が進められており、一部棚畑化が行われている。
- 耕地の所在によって、機材の搬入が難しく、棚畑化の実施が困難な地域が点在する。

代表流域に対して、衛星画像から得られた地被分類及び傾斜分類を基に算定した棚畑（田）化の対象となる面積は表 6.2.5 に示す通りである。

b) 事業費用の算定

事業費用は、下の図(図 R 6.2.1)に示すように、傾斜角度 15-25 度の斜面を想定し 4m² 当たり直接工事費を算定、最終的に 1m² 当たりの工事単価を設定し(2.3 元/m²)これに上述の面積を乗じて事業費を算定した。(表 6.2.5 参照)

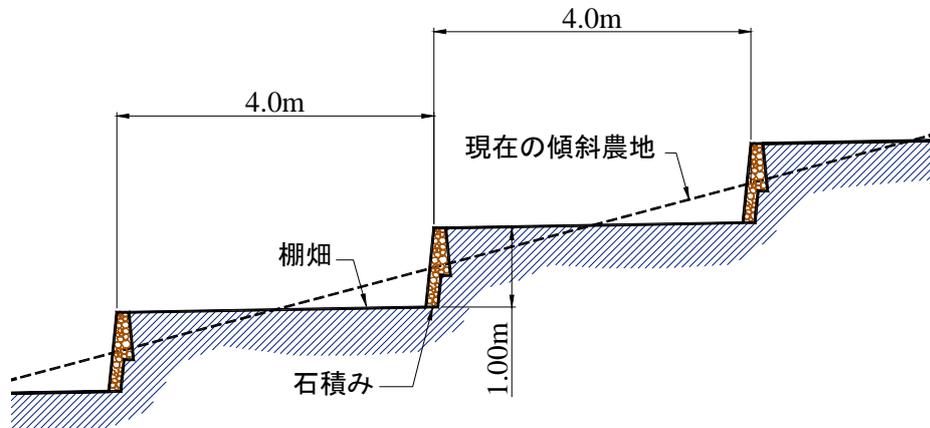


図 R 6.2.2 傾斜農地の棚畑化

3) 水系砂防による生産土砂抑制

a) 各対策の表面侵食抑制効果

水系砂防として提案した新規造林、退耕還林、山腹工、棚畑化等の対策は、雨滴の衝撃緩和、表流水流速軽減、土壌浸透能増加などの表面侵食エネルギー軽減効果により表面侵食土砂量を抑制することが可能である。

4 章で述べた各種条件下での表面侵食深に基づき、各対策による表面侵食抑制量を表 R6.2.5 に整理する。

表 R 6.2.5 各対策による表面侵食抑制効果量

対策	対策前 表面侵食深 (mm/年)	対策後 表面侵食深 (mm/年)	表面侵食抑制量
荒山草地造林	2.75 (傾斜別平均)	0.02 (林地高密度)	2,700 m ³ /年/km ²
耕地造林 (退耕還林)	8.0 (25~45° 耕地)	0.02 (林地高密度)	8,000 m ³ /年/km ²
山腹工 (崩壊地)	10.0 (崩壊地)	0.02 (林地高密度)	10,000 m ³ /年/km ²
山腹工 (0 次谷)	20.0 (0 次谷)	0.02 (林地高密度)	400 m ³ /年/km
傾斜農地棚畑化	4.0 (15~25° 耕地)	0.02 (耕地水平)	4,000 m ³ /年/km ²

b) 造林の新規崩壊抑制効果

樹木の崩壊防止機能については、崩壊が地形・地質・土壌・森林などの素因と降雨・地震などの誘因が複雑に絡み合っ発生するものであることから、森林の影響のみを取り出してその効果を具体的に分析することは非常に難しい。しかしながら、土中に広がる樹根は、土層せん断強度増加、土壌緊縛作用、堅固な基岩層との連結など斜面の力学的強さを増加させることが実験的に確かめら

れており、森林が斜面崩壊防止、特に樹根の進入範囲である表層崩壊防止に効果があることは無視することはできない。

表 R6.2.6 は、4.2.4 節で述べた 1979 年 12 月から 2004 年 3 月の 2 時期の間に発生した新規崩壊地を地被別に分類し、崩壊地一ヶ所当り平均面積及び平均深さを計算したものである。この結果をみると荒山草地における崩壊発生率は、林地、耕地に比べて多いことが判る。また林地と耕地においては崩壊発生率がほとんど同じであることから、耕地造林（退耕還林）による新規崩壊発生抑制効果はないと言える。

表 R 6.2.6 地被別の新規崩壊発生率

種別	地被面積 (m ²)	地被内新規崩壊地面積 (24 年分) (m ²)	年間 新規崩壊 発生率	新規崩壊地 一ヶ所当り 平均面積 (m ²)	新規崩壊地 平均深さ (m)
林地	873,400,000	1,554,000	0.007%/年	1,600	6.8
荒山草地	883,500,000	5,207,000	0.025%/年	2,300	8.2
耕地	1,223,400,000	2,187,000	0.007%/年	1,800	7.2

表 R6.2.6 を用いて、荒山草地造林による新規崩壊発生抑制量を求める。結果を表 R6.2.7 に示す。

表 R 6.2.7 対策による新規崩壊抑制量

対策	対策前 単位面積当り 年間新規崩壊発生量 (m ³ /km ² /年)	対策後 単位面積当り 年間新規崩壊発生量 (m ³ /km ² /年)	年間新規崩壊 抑制量 (m ³ /km ² /年)
荒山草地造林	2,100	500	1,600

c) 崩壊地山腹工の拡大崩壊抑制効果

拡大崩壊は、現況の崩壊地（継続崩壊地）において、表流水掃流力による土粒子の剥離に加えて、不安定な崩壊地側壁及び頭部が重力性崩壊を起こし横断的に拡大する一方上流側に向かって伸張する現象である。表 R6.2.8 は、小江流域の拡大及び継続崩壊地を地被別に分類し継続崩壊地に対する拡大崩壊発生率、崩壊地一ヶ所当り平均面積及び平均深さを計算したものである。

表 R 6.2.8 継続崩壊地に対する拡大崩壊発生率

種別	地被内拡大崩壊地面積 (24 年分) (m ²)	地被内継続崩壊地面積 (m ²)	年間 拡大崩壊 発生率	拡大崩壊地 一ヶ所当り 平均面積 (m ²)	拡大崩壊地 平均深さ (m)
林地	673,000	10,806,000	0.26%/年	2,700	13.4
荒山草地	3,900,000	37,267,000	0.44%/年	3,700	16.2
耕地	793,000	10,206,000	0.32%/年	1,900	11.1
合計	5,366,000	58,279,000	0.38%/年	3,100	14.5

表 R6.2.8 によれば、林地、耕地、荒山草地の順に拡大崩壊発生率が約 3 割増となっていく事がわかる。ここでは、拡大崩壊発生率 0.38%/年（合計値）を用い、現況崩壊地に山腹工対策を施すことにより拡大崩壊が抑制できるものと考えその抑制量を求める。結果を表 R6.2.9 に示す。

表 R 6.2.9 山腹工(崩壊地)による拡大崩壊抑制量

対策	対策前崩壊地 単位面積当り年間 拡大崩壊発生量 (m ³ /km ² /年)	対策後崩壊地 単位面積当り年間 拡大崩壊発生量 (m ³ /km ² /年)	年間拡大崩壊 抑制量 (m ³ /km ² /年)
山腹工(崩壊地)	55,000	0	55,000

d) 代表流域における水系砂防対策の生産土砂抑制量

前述までの検討結果に基づき、代表流域における水系砂防対策の年間生産土砂抑制量を表 R6.2.10 に整理する。総抑制量 1,267,800 tf/年は、現況の代表流域の生産土砂量 3,285,000 tf/年の約 39%である。

表 R 6.2.10 水系砂防対策による年間生産土砂抑制量

対策	対策規模	表面侵食 抑制量 (tf/年)	新規崩壊 抑制量 (tf/年)	拡大崩壊 抑制量 (tf/年)	計 (tf/年)
荒山草地造林	46,614,000 m ²	216,200	149,200	-	365,400
耕地造林(退耕還林)	15,202,000 m ²	182,100	-	-	182,100
山腹工(崩壊地)	3,129,000 m ²	62,400	-	344,200	406,600
山腹工(0次谷)	280,000 m	190,200	-	-	190,200
傾斜農地棚畑化	20,665,000 m ²	123,500	-	-	123,500
合計	-	774,400	149,200	344,200	1,267,800

4) 水系砂防の工事費集計

前項までに検討した代表流域の水系砂防工事費集計を表 R6.2.11 に示す。なお、ここで示す工事費には物価上昇予備費は含んでいない。(物価上昇予備費については、7.4.2 節参照)

表 R 6.2.11 代表流域の水系砂防工事費集計

単位：元

対策	豆腐沟	乌龙河	东川 市街地	桃家小河	計
荒山草地造林	3,663,000	17,344,000	6,836,000	11,186,000	39,029,000
耕地造林(退耕還林)	420,000	4,961,000	1,839,000	5,423,000	12,643,000
山腹工(崩壊地)	3,638,000	16,436,000	2,274,000	8,445,000	30,793,000
山腹工(0次谷)	2,127,000	10,427,000	2,881,000	3,773,000	19,208,000
傾斜農地棚畑化	1,237,000	28,138,000	6,153,000	12,001,000	47,529,000
合計	11,085,000	77,306,000	19,983,000	40,828,000	149,202,000

5) 水系砂防の経済性評価

a) 水系砂防の便益計算

水系砂防の便益計算は以下の項目について行う。

- 前項に述べた水系砂防対策による生産土砂抑制効果
- 造林による温暖化ガス吸収効果及び保水効果
- 棚畑（田）化による農地改良効果

これら各効果を定量的に計測するのは非常に難しい話であるが、既往の報告書、参考文献及び聞き込み等で以下の値が示されている。

i) 生産土砂抑制効果

堆積土砂の排除費用として計上する。「四川省安寧河流域造林計画調査（2002年7月）」での堆積土砂排除費用単価（9元/m³）を用いる。

ただしここではこの樹木の成長期間を平均的に8年間として、それまでの期間については、ゼロから直線的に便益が増加するものとして計算を行う。

ii) 温暖化ガス吸収効果

現在中国では水土保持のための造林を目的として造成された人工林の炭酸ガスの吸収による地球温暖化防止効果の国家的便益として年間成木林1ha当たりの経済的效果を743元として計上している（「現代林業研究方法：中国林業出版社」）。一方日本の林野庁では49,000円/ha（約4,000元/ha）を見込んでいる。これらの数値の違いは、日本と中国の物価の差を考えた場合それほど異常とは思えないことから、この中国での値、743元を適用する。ちなみに「クリーン開発メカニズム（CDM）」でのCO₂の取引価格は約80ドル（約650元/ha）となる。

なお、この効果についても、i)生産土砂抑制効果と同様、8年後に100%の効果が発揮されるものとして計算する。

iii) 保水効果

造林による保水効果としては、近隣流域で水文条件が似通っている四川省西昌市の推定値（年間1ha当たり1,040m³：四川省安寧河流域造林計画調査報告書）を採用する。この保水効果に対して、農業用水に8割（料金：0.025元/m³）、生活用水に2割（料金：1.5元/m³）とした場合の荷重平均値（0.32元/m³）を乗じて便益を計算する。この保水効果も植樹後8年で100%発揮されるものとする。

iv) 棚畑（田）化による農地改良効果

農地改良効果は傾斜農地の棚畑（田）化による農作物の産量増加及び栽培内容の改良による増収効果である。この農地改良の価値を具体的に計測するのはするの非常に難しいが、一つの考え方として、農地のリース価格差を適用することが考えられる。小江流域では、土石流対策により開発された農地を農民にリースして、リース料を徴収する方法を採用している。農地の年間リース料金の相場は、平地200～400元/畝、斜面農地50～100元

/畝であり、斜面農地と平地の価格差は 100～350 元/畝であり、この価格差はを農地改良の便益として用いる。最終的にこの差から生産にかかるコストを考慮し、年間 100 元/畝を農地改良便益の原単位とする。

v) 退耕還林による農地減少損失（マイナス便益）

一方、急傾斜農地を退耕還林政策によって造林するため、この農地減少損失をマイナス便益として見込んでおく必要がある。この損失額としては山間部農地の平均生産価値をリース料金で評価するものとし、300 元/畝（4,500 元/ha）を適用する。但し、現地聞き込みによれば、こういった急傾斜農地の場合、土地の滋養が容易に失われるため毎年耕作するのは難しく、数年おき（2 年～5 年）の輪作を行っているのが一般である。ここではこの耕作頻度を 3 年として事業実施後から毎年 100 元/畝（1,500 元/ha）を損失として計上する。

以上の水系砂防便益をまとめると表 R6.2.12 のようになる：

表 R 6.2.12 水系砂防便益計測項目及び原単位

項目	原単位
土砂抑制効果	9 元/m ³
温暖化ガス吸収効果	49.5 元/畝/年
保水効果	22.2 元/畝/年
農地改良効果（棚畑）	100 元/畝/年
退耕還林による損失	-100 元/畝/年

これらの便益単価を用いて、各代表流域ごとに便益計算を行った。結果は表 R 6.2.13 に示す通りである。

b) 費用便益比較

前述の代表流域についての水系砂防の事業費及び便益を用いて、費用便益比較を行った結果を表 R 6.2.13 示す。この表に示す通り、いずれの流域においても割引率 8%を適用した場合の B/C は 1 を越えており、十分経済的に成り立っている。

表 R 6.2.13 代表流域水系砂防の費用便益検討結果

事業	費用		便益		内部 収益率 (%)	純経済 価値 NPV (B-C) (千元)	便益・費用 比率 B/C
	単純合計 (千元)	現在価値 (千元)	合計 (千元)	現在価値 (千元)			
1. 豆腐沟	9,856	7,347	52,316	8,595	9.19	1,248	1.17
2. 乌龙河	68,733	51,240	323,879	54,679	8.49	3,439	1.07
3. 东川市街地	17,767	13,245	93,601	15,432	9.16	2,186	1.17
4. 桃家小河	36,300	27,062	172,404	27,955	8.23	893	1.03
代表流域全体	132,655	98,895	642,201	106,661	8.57	7,767	1.08

注) 現在価値の基準年は 2005 年、割引率は 8%

水系砂防での対策は主に①荒山草地の造林、②耕地造林（退耕還林）、③崩壊地での山腹工、④ガリー侵食対策（基本計画では山腹工を適用）、⑤傾斜農地の棚畑化からなる。これを対策ごとに経済評価をしてみると下表に示すように、①、②の単位面積当りの内部収益率 IRR は 9～10%前後（単位面積当たりの費用・便益による IRR）で、一方③～⑤の単位 IRR はほぼ 4～5%の値となっている。

表 R 6.2.14 各対策の経済効率及び面積持分

対策	各対策の 経済効率 (IRR (%))	代表流域の合計		
		面積	面積割合	持分
①荒山草地造林	10.5	46.0	0.55	5.7
②耕地造林	9.0	15.0	0.18	1.6
③山腹工（崩壊地）	4.2	3.0	0.04	0.1
④山腹工（0次谷）	3.7	0.3	0.00	0.0
⑤傾斜農地棚畑化	4.8	20.0	0.24	1.1
計		84.3	1.00	8.6

この値を見る限りでは、経済的に見合う対策としては造林に関わる対策で、ガリー侵食対策、棚畑化については経済的には見合わない結果となっている。しかしガリー侵食対策、棚畑化については便益を定量的に数値化できない部分があり、この部分も含めれば、ある程度投資に見合う対策として考えられる。すなわち、

- ガリー侵食対策の場合、ガリー侵食が崩壊や地すべりを引き起こす原因にもなっているといわれており、ガリー侵食この対策を進めることで間接的な崩壊地対策や地すべり対策としての効果も上げられる。
- 棚畑化については、土砂の生産抑制効果の他に、作業の効率化（作業が楽になる）、栽培作物の変化、保水効果等種々の効果が考えられるが、これらは定量的な評価が難しいものの十分効果的な対策である。
- ガリー侵食対策や棚畑化はその便益を定量化できる部分だけについて考えた場合経済性が低い。しかし流域の大きな土砂生産源の一つであるガリーや傾斜農地に何ら対策を施さなければ、基本計画に大きな抜けができてしまう。したがってガリー侵食対策、棚畑化は造林と合わせて、当然適用すべき対策である。

6) 水系砂防実施上の留意点

水系砂防対策を実施する上で特に次の事業については、十分留意して実施する必要がある。

a) 傾斜（25度以上）農地に対する造林（退耕還林）

傾斜農地に対する造林は、いわゆる退耕還林プロジェクトとして中国政府で事業の推進がおこなわれているが、基本的に次の問題がある。

- 退耕還林プロジェクトは農民の生活基盤である農地を奪う結果となる。
- 小江流域は少数民族が居住しており、場所によっては、その少数民族の社会基盤を壊す危険がある。

- 農地の代償として移転が必要となる場合、その移転地及び生活基盤の確保が必要となる。

したがって、その実施には住民（農民）の意向を汲むため、十分な調査と住民との話し合いによって、住民参加・住民合意のもとで計画を実施する必要がある。

b) 傾斜農地の棚畑(田)化

基本的に傾斜農地の造林に比べ、住民の生活への影響は小さく、それほど実施上の問題は少ないと考えられる。ただ、実施に際して、以下の問題については十分配慮する必要がある：

- 傾斜農地を棚畑（田）化する場合、多少なりとも土地面積は減少することが考えられる。また各個人の使用している農地境界が変更されるため、これらについては、十分各個人の了解を得る必要がある。
- 棚畑(田)化する場合に元の農地の表土を動かすことになるため、その表土の土壌構成が出来るだけ変わらないように注意する必要がある。
- また工事实施に際しては、ある程度の期間栽培が出来なくなることもあり、実施時期について、影響の少ない時期を選ぶ必要がある。

第7章 小江流域基本計画の作成

7.1 土石流対策及び水系砂防対策の代表小流域から小江流域全体への展開

前章で代表流域について検討した施設対策を、残る 105 小流域に拡大・展開することによって小江流域全体の施設対策基本計画を作成する。

7.1.1 土石流対策

代表流域で行った検討方針に基づき、代表流域以外の土石流対策の検討を行った。すなわち代替案として、代替案 1:砂防えん堤+流路工と代替案 2:導流工+流入部床固め工を上げ、概略設計した上で事業費を計算した。また便益についても代表流域同様に被害軽減と農地開発便益を計上し、純経済価値 NPV、費用便益比 B/C を経済指標として経済分析を行った。そして代表流域と同様な、人家を保全対象として重視し、かつ経済効果にも配慮した判断基準により、最適案をそれぞれの土石流危険溪流について選定した。

表 7.1.1 に代替案の経済評価結果を、また表 7.1.2 に最適案の諸元をまとめた。また検討の詳細については「付属報告書 G 砂防施設設計・積算」を参照されたい。

土石流氾濫域に人家が存在し、緊急性の高い溪流、純経済価値(NPV)が大きく費用対効果の高い溪流から優先的に事業を進めていくこととし、表 7.1.3 に示す 3 つのグループに分けている。各グループの土石流対策最適案概要は表 R7.1.1 のとおりである。

表 R 7.1.1 代表流域以外の小江流域土石流対策最適案

グループ	主な小流域名	流域面積 (km ²)	溪流数	えん堤基数	流路工延長 (m)	導流工延長 (m)	工事費 (千円)
1	盐水沟、田坝干沟、黑水河、阿旺小河、大桥河、老干沟、沙湾大沟、安乐沟、花沟等	455.6	49	69	23,600	22,500	161,210
2	大白泥沟、牛坪子、小白泥沟、幸福村沟、达朵沟、老村沟、小石洞沟、达德河、许家小河、老干沟、腊利河、大平村沟等	383.8	35	0	0	42,400	121,130
3	泥浆沟、小河管沟、蒋家沟、黄水管、尖山沟等	412.1	8	0	0	26,750	123,710
計	-	1,251.5	92	69	23,600	91,650	406,050

7.1.2 水系砂防対策

代表流域での水系砂防対策の手順に従い、小江全流域の水系砂防対策について述べる。

1) 造林及び山腹緑化工の計画策定

a) 造林及び山腹緑化工の対象面積

代表流域と同様に、残る 105 小流域についても地被状況に応じて表 R7.1.2 のように造林及び山腹工の対策を実施する。小江流域全体での対象面積は表 7.1.4 のとおりである。

表 R 7.1.2 地被状況別の造林・山腹工対象面積

地被分類	対策	面積算定
荒山草地	造林	各区・県の林業局提示による面積を対象
耕地	造林	耕地のうち 25～45 度の面積の 75%を対象
崩壊地	山腹工	標高 3,000 m 以下、傾斜 45 度以下の崩壊地の 50%を対象
ガリー侵食地	山腹工	0 次谷（ガリー含む）延長（推定平均幅 7m）の 50%を対象

b) 造林及び山腹工の費用

造林に対する植樹樹種は、前章で述べた標高ごとの樹種を適用し、植樹及び山腹工の単価についても前章の代表流域で述べた単価を適用する。その結果、造林及び山腹工（緑化工含む）の費用は表 7.1.4 に示す通りである。

2) 農地の棚畑（田）化

地被状況図、傾斜区分図、標高分布図から、全流域に点在する傾斜耕地 15～25 度の面積を抽出してその面積の 50%を対象に棚畑（田）化を図る。表 7.1.5 に対象面積及び代表流域で用いた単価を使って算定した工事費を示す。

3) 水系砂防による生産土砂抑制効果

水系砂防対策による小江全体の生産土砂抑制効果は、代表流域で示したように表面侵食に対する抑制、新規崩壊に対する抑制、拡大崩壊に対する抑制の主に 3 つの効果が期待される。小江全流域に対する年間生産土砂抑制量算定結果、また堆積土砂及び流出土砂抑制量を表 R7.1.3 及び表 R7.1.4 に示す。

表 R 7.1.3 水系砂防対策による小江全流域年間生産土砂抑制量

対策	対策規模	表面侵食抑制量 (tf/年)	新規崩壊抑制量 (tf/年)	拡大崩壊抑制量 (tf/年)	計 (tf/年)
荒山草地造林	429,586,000 m ²	1,994,000	1,374,000	-	3,368,000
耕地造林（退耕還林）	103,567,000 m ²	1,239,000	-	-	1,239,000
山腹工（崩壊地）	30,949,000 m ²	617,000	-	3,406,000	4,023,000
山腹工（0 次谷）	3,079,000 m	2,092,000	-	-	2,092,000
傾斜農地棚畑化	181,691,000 m ²	1,084,000	-	-	1,084,000
合計	-	7,026,000	1,374,000	3,406,000	11,806,000

表 R 7.1.4 水系砂防対策による堆積土砂及び流出土砂抑制量

対策	生産土砂量 (tf/年)			河床堆積土砂量 (粗粒) (tf/年)	金沙江への流出土砂量 (tf/年)
	細粒 0.01mm 未満分	粗粒 0.01mm 以上分	計 (全粒度)		
現況（対策前）	10,660,000	31,340,000	42,000,000	23,400,000	18,600,000
水系砂防対策効果	-3,954,000	-7,852,000	-11,806,000	-	-
水系砂防対策後	6,706,000	23,488,000	30,194,000	15,548,000	14,646,000
対策前に対する割合	63%	75%	72%	66%	79%

生産土砂量は現況の72%に、河床堆積土砂量は66%に、金沙江への流出土砂量は79%に減らすことが可能となる。

4) 水系砂防による経済的効果

小江全流域に対する水系砂防対策の総工事費用は13.7億円である。またその経済効果の算定結果は表R7.1.5に示すように、経済的内部収益率EIRRで8.6%と比較的高い数字が得られており、十分経済的に投資可能な数字となっている。

表 R 7.1.5 小江全流域水系砂防の費用便益検討結果

事業	経済費用		経済便益		内部 収益率 EIRR (%)	純経済 価値 NPV (B-C) (千元)	便益・費用 比率 B/C
	単純合計 (千元)	現在価値 (千元)	合計 (千元)	現在価値 (千元)			
小江全流域	1,210,508	575,271	5,105,427	620,361	8.59	45,090	1.08

注) 現在価値の基準年は2005年、割引率は8%

5) 水系砂防事業実施上の留意点

代表流域での検討でも述べたように、傾斜農地での造林(退耕還林)および傾斜農地の棚畑(田)化については、地元住民の意向に配慮することが重要である。

7.2 小江本川の治水計画

7.2.1 将来も続く河床上昇と計画的転流の必要性

1) 河川敷の農地利用

小江本川(小江、大白河、块河)の約110kmの河川区間において、23km²(34,000畝)もの河川敷が主に水田として利用されている。これらの農地を洪水から守るために、石積み堤防が水務局、土地資源局、郷鎮政府あるいは農民自身によって建設されているが、荒廃した流域から流出した土砂による堆積のため流下能力は小さく、洪水、土砂被害を度々受けている。

2) 将来も続く河床上昇と堤防嵩上げの限界

小江流域のような土砂生産の活発な流域においては、治水計画に入る前に、まずは将来の河川流域・河床がどうなるかを把握しておくことが第一である。河床変動計算の将来予測によると、水系砂防対策を施しても河床上昇を抑えることは難しく、今後も平均20~30cm/年、河床が上がり続けるという結果となった。

今後も河川敷の農地を洪水などから守るためには、これからも河床の上昇に合わせてその堤防を嵩上げしていかなければならない。実際、現地においても、3、4年に1回の割合で堤防を嵩上げしているようである。しかし、河床上昇に伴って嵩上げを実施していくと、図R.7.2.1に示すように河床が周辺の農地よりも高くなる天井川の状態となる。そして、いつかは土圧または水圧の作用により石積み堤防が倒壊してしまう。つまり永遠に嵩上げを実施することは物理的にも無理である。実際

に現地においてはすでに天井川になっている区間や倒壊が発生している箇所が見られる。

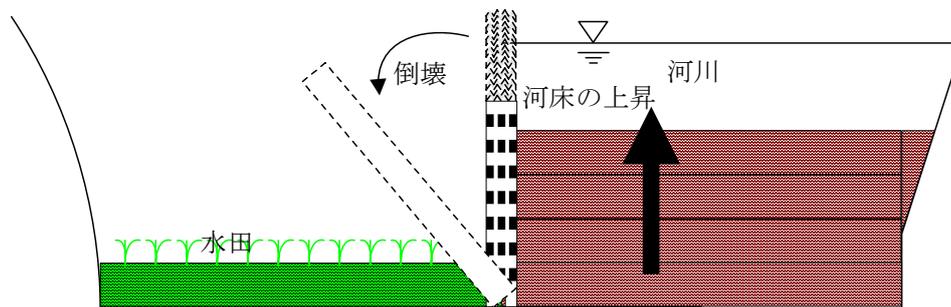


図 R 7.2.1 天井川および堤防倒壊概念図

3) 転流の必要性

石積み堤が倒壊すると、地盤の低い農地の方に氾濫水だけでなく大量の土砂が流入し、農作物が埋まるだけでなく、貴重な農地が使えなくなってしまう事態が生じる。現場ではこのようにして倒壊した石積み堤や土砂に埋もれ棄てられた農地が点在している。

そこで、そのような事態が生じる前に計画的に転流を実施して、農地を継続的に確保できるようにする方策が考えられる。転流とは、図 7.2.1 に示すように、現在の流路を低くなった農地の方に転換し、もともとの流路を農地として利用する方法である。つまり、自然の力によりこのような転流を余儀なくされてきたというのが小江流域河川敷内の農業の歴史ではないかと想像され、それをより計画的に効率的に進めようとしたのがこの計画的転流である。

この計画的転流では、転流後の新規開発農地が3～4年使えないこと、住民にとっては農地の転換になること、河川の流路が変わることにより管轄郷鎮が変わってしまうこと等、とくに社会的に難しい面がある。しかし洪水・土砂災害を最小限に抑え、限られた土地(農地)をより有効的に使用する一方法として、以下に提案する。

7.2.2 治水計画基本方針

計画的転流を考慮した河道改修計画を検討する。流域内にダムや遊水地の適地がないこと、土砂の流出が著しいことから、ダムや遊水地などの洪水調節施設の検討は行わない。

1) 河道計画方針

計画流量を流下させるには、河道掘削や引堤による改修、堤防嵩上げや無堤部には築堤が必要となる。引堤や大規模な築堤を行うことは貴重な農地を減らすことになり、また、河床の掘削は、その量が膨大でコスト高になること、付近に掘削土砂を捨てる適地が存在しないことから、この地域の改修方式として望ましくない。そのため、ここでは、堤防嵩上げと練り石積みの築堤により河積を確保することとし、さらに河床上昇に対応した堤防の嵩上げ、転流を行うこととした。

2) 転流について

現地調査によると、河床が周辺の農地より2m程度高いところで倒壊している事例が見られた。そこで、2～3mが倒壊の限界と考え、河床が上昇し、かつ農地が存在

する区間の平均河床上昇高は0.24~0.28m/年であるため、平均的に10年に1度の間隔で転流を実施することを仮定する。

3) 計画高水流量

計画高水流量は、流出計算結果より図 R7.2.2 のように設定した。

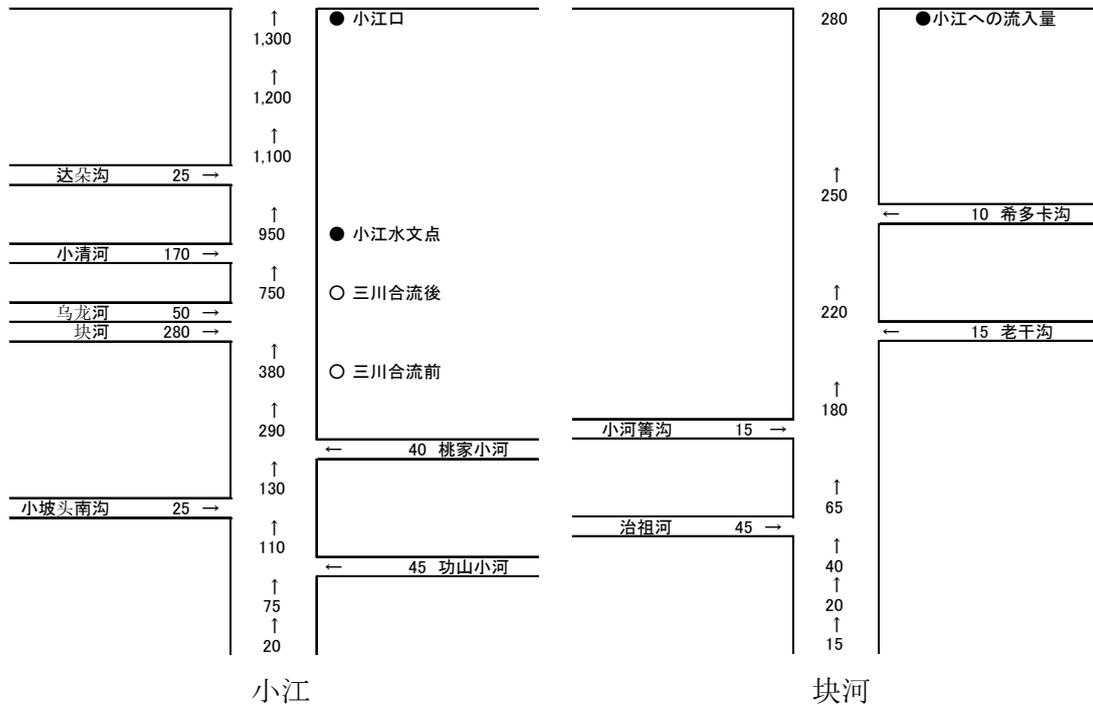


図 R 7.2.2 流量配分図(単位:m³/s)

7.2.3 想定被害額の算定

現状の把握と事業実施による被害防止便益算定に資することを目的として、計画作りに入る前に、現状のまま何も対策が施されなかった場合について被害状況を検討する。

1) 想定氾濫区域

2, 5, 10, 20 年について不等流計算により現況の河川水位を算出した。この計算水位をもとに、現況の想定氾濫区域 (図 7.2.2) を、さらに河床変動計算結果 (4.1.2 節参照) に基づいて、2020 年の想定氾濫区域を求め、浸水農地面積も合わせて表 R 7.2.1 にまとめた。

表 R 7.2.1 想定氾濫面積および浸水農地

km ²	現況				2020 年			
	確率年				確率年			
	2 年	5 年	10 年	20 年	2 年	5 年	10 年	20 年
想定氾濫区域	35.4	38.9	44.1	44.6	49.5	52.6	57.5	57.7
うち農地面積	13.1	14.9	17.4	17.7	19.1	20.6	23.1	23.2

2) 想定被害額の算定

想定氾濫区域内で被害を受けるのは、現地調査の結果から農地のみであるため、その直接被害額を算定することとした。ただし、今後も河床上昇が続くため、何も対策を施さない場合には、河床上昇による農地への浸水深の増加にともなう被害額の増加、無堤区間農地への土砂の流入や石積み堤防の倒壊による農地被害が進行していく。そこで、想定被害額としては、農地への浸水被害に加え、土砂流入による農地の埋没被害を考慮する。

$$\text{想定被害額} = \text{浸水による被害額} + \text{土砂流入による被害額}$$

a) 浸水による被害額

算定に先立って、洪水時の作物と被害率を調査した。洪水期の作物についてはほとんど水稻と考えてよいことから水稻を対象とした。また、その被害率については、一部地域で「6, 7月の洪水で100%、8月洪水で50%の収穫減」との情報を得られたのみで、小江全域としての根拠に乏しく、日本の「治水経済調査マニュアル(案)(平成12年5月建設省河川局)」に基づいて表R7.2.2に示す通りとした。

表 R 7.2.2 被害率

浸水深	0.5m 未満	0.5~0.99m	1.0m 以上
被害率	21%	24%	37%

浸水日数：1日 作物種類：水稻 とした

以下の手順に従い浸水による被害額を算定した。算定結果を表R7.2.3に示す。

- 小江および块河の浸水面積の大きい農地を抽出(15箇所)
- 15箇所の水稻収穫量および単価をヒアリングにより調査
- 測量横断面と地形図から平均地盤高を算定し、農地の平均浸水深を算出
- 収穫高に水深に対応する被害率を乗じて15箇所の農地の被害額を算定
- 小江全域の浸水面積に引き伸ばして想定被害額を算定

また、今後も河床上昇が続くため、何も対策を施さない場合には、現在から将来に向けて徐々に浸水被害額が増加していくことになる。そこで、データの得られている現況の2004年と河床変動計算結果に基づいた2020年の浸水被害額を算定し、その間の被害額に関しては差分によって求めることとした。

表 R 7.2.3 浸水による被害額

被害額 (千元)	確率年			
	2年	5年	10年	20年
現況	10,694	14,114	15,767	16,052
2020年	17,017	19,375	20,990	21,082

ただし、ここで算定した被害額は、「対象農地が土砂によって埋没しない」と想定した場合の被害額であり、実際には埋没被害が発生すると想定しているため、その面積率に応じて減じられる。詳細はc)節に示す。

b) 土砂流入による被害額

河床の上昇に伴い無堤区間の農地へは徐々に土砂が流入し、有堤区間では河床が周辺の農地よりも高くなる天井川が進行していき、石積み堤防の倒壊が発生する。7.2.2、2)節で検討したように、石積み堤防の限界は平均的に10年と想定される。そこで、現況から2020年までの16年で、河床が上昇する区間の農地が土砂によって埋没していくと仮定して、その面積に収穫量・裏作・農業生産に関わるコストを総合的に勘案して決定した平均収入を乗じて被害額とした。このとき農地の平均収入高は、a)で求めた被害額を参考に2,450千元/km²(1,633元/畝)としている。

対象となる農地は、小江については小江口から尖山沟合流点付近までの区間および蔣家沟合流点付近～吊戛河合流点付近までの区間であり、块河については小江合流点～马朝地までの区間および花沟合流点付近～小湾沟合流点上流までの区間の合計18.3km²である。

被害額は、2004年のゼロから2020年の44,835千元まで徐々に増加することとし、その後は一定値とした。

c) 想定被害額

a)では浸水のみを考慮した被害額、b)では農地が埋没して使えなくなる被害額を算定した。想定被害額はa)とb)の組合せによって算定される。つまり、a)の被害額については浸水深の増大により徐々に増加するがb)の埋没面積が増えるに従って減少することになる。式で示すと以下の通りである。

埋没面積率を α とすると、

$$\text{想定被害額} = (1 - \alpha) \times \text{a)の被害額} + \alpha \times \text{b)の被害額}$$

算定した被害額を図R.7.2.3に示し、その詳細を表7.2.1に示す。

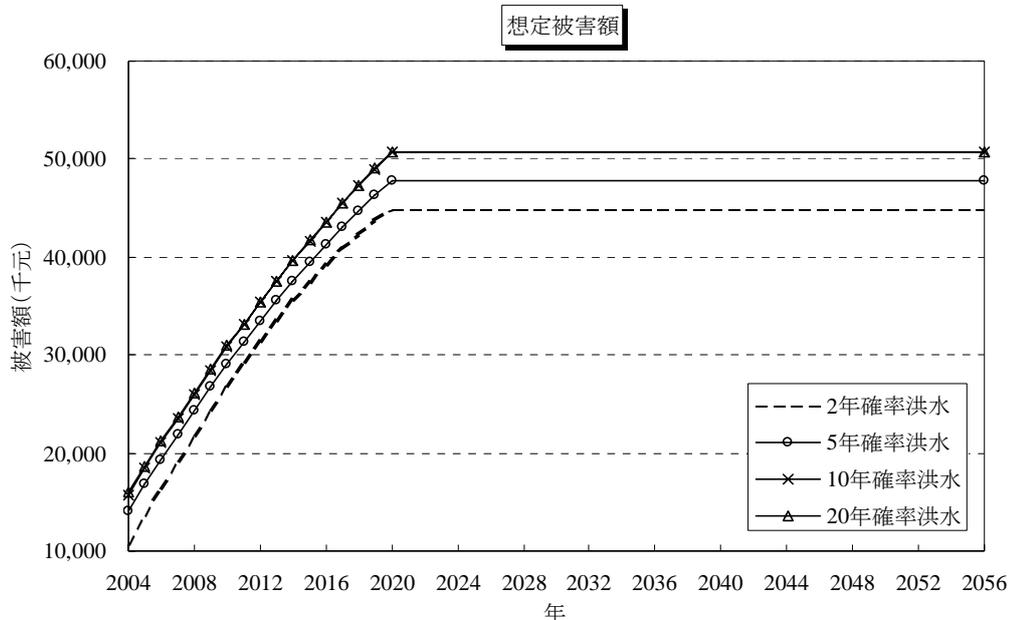


図 R 7.2.3 想定被害額

7.2.4 計画案

洪水の防御対象は農地のみであること、中国の農村部での洪水防止基準が10～20年であることを勘案し、計画規模としては5,10,20年について検討した。

計画の内容は以下の通りである。

- 流下能力不足箇所について練り石積みによる嵩上げもしくは築堤
- 毎年の河床上昇に対応した嵩上げ
- 比高差2～3mの天井川になった場合には転流する

1) 転流堤

転流は、基本的には谷底の半分が農地、半分が河道という図7.2.1のAタイプを想定しているが、農地に比して河道が広い区間についてはBタイプとし、その区間(表7.2.2の転流用新規堤防参照)については新たに転流用の築堤を行うこととした。

2) 事業費

保護対象とする農地は、4章で作成した地被状況図に7.2.3の1)で求めた想定氾濫区域を重ね合わせて抽出した。小江および块河沿いの20,000m²(約30畝)以上の農地(ほとんどが100畝を超える大規模農地)を事業によって守ることとし、これらの農地を囲むように堤防を配置した。表7.2.2にその詳細を示す。築堤もしくは嵩上げ延長および事業費は表R7.2.4の通りである。

表 R 7.2.4 事業費

計画規模	延長 (km)		事業費 (千元)	
	築堤・嵩上	転流用築堤	築堤・嵩上	転流用築堤
5年	76.8	23.0	57,555	22,772
10年	91.4	23.0	66,092	24,360
20年	92.1	23.0	67,611	24,754

ここでは、石積み堤は幅1.5mの長方形、転流用築堤の根入れ長は2.0mと仮定して数量を算定している。

3) 年平均被害軽減期待額

年平均被害軽減期待額は7.2.3で求めた想定被害額が年々変化していくため、同様に年々変化していくことになるが、ここでは表R7.2.5に示すように現況の2004年と2020年、その中間の2012年時点での期待額を算定し、その間の年に関してはその内挿によって求めた。

表 R 7.2.5 年平均被害軽減期待額(千元)

流量規模	2004年時点	2012年時点	2020年時点
5年	6,140	8,572	15,780
10年	7,634	10,443	19,133
20年	8,430	11,428	20,882

また、表 7.2.3 に示すように事業実施における被害額を算定している。これは、転流によりその農地がしばらく使えなくなる被害を求めたものである。転流後に農地整備を実施して農地が使えるようになるまでに 3~4 年かかるというヒアリングの結果を参考に、3.5 年分の農地の平均収入高をその被害額とした。

4) 最適案の選定

以上求めた事業費および年平均被害軽減期待額より、割引率を 8% として、費用便益比 (B/C) および年超過便益 (B-C) を求めた。ここでは、維持管理費は初期事業費の 4% として見積もっているが、その内訳は、2) で述べた毎年の嵩上げ費に加え、転流後の農地整備費、補修費である。

表 R 7.2.6 費用対効果

計画規模	5 年	10 年	20 年
B/C	1.50	1.61	1.73
B-C (千元)	35,756	49,701	60,010

この中で B/C、B-C とも最も大きくなった 20 年規模での整備を最適として選択する。その築堤および嵩上げ堤位置図を図 7.2.3 に示す。

7.3 非施設対策

表 R 5.3.1 および表 R5.3.2 に示したように非施設対策には 1) 関連法規に基づく水土保持、森林保護、河道管理の強化、2) ハザードマップによる危険区域の周知、移転、避難計画への利用、3) 予警報システムの現代化、群測群防の強化などが考えられる。しかし施設対策を含めてこれら非施設対策を実際に行っていくとなると、現状の水務局などの関連組織では組織体制、財務および人的資源上に大きな制約があり、実現は困難と思われる。そこでまず、施設対策・非施設対策を合わせた基本計画の実施組織として小江工程管理局（仮称）を設立し、それが中心となって非施設対策を進めていくことを提案する。この組織は土砂災害を緩和して自然環境を修復し、副産物利用を含めた小江流域の開発を目標とする。

一方、3.3.1 で現状の災害警戒体制の問題点として、観測システムの不足、群測群防の限界が上げられた。そこで、解決案の 1 つとして、日本での土砂災害の予防に威力を発揮している局地レーダ雨量計や土石流予警報システムの導入を検討する。

さらに、貧困対策および地域開発の一環として、この基本計画の実施に伴い発生する副産物の利用についても検討する。そして土砂災害の被害者であり、この基本計画の最大の裨益者である住民のプロジェクトへの参加をどのように図るかについても検討する。

7.3.1 小江工程管理局（仮称）の設立

小江流域は 3,058km² と広く、昆明市（东川区と寻甸県）と曲靖市（会泽県）にまたがるため、省レベルの広域的な管理が望ましい。また、この地域は土石流問題、環境修復問題、地域開発・貧困対策等の課題が多く、これらの問題を総合的に取り組む専属的な組織が必要である。

しかし、現状では云南省の中で小江流域の管理を担当する専門部署はない。また东川区には主に技術的な問題に取り組む东川泥石流防治研究所があるものの、計画から管理ま

で、小江流域全般の管理を担当する組織はない。このように小江流域の土砂災害対策、環境修復を推進するために、新しい事業実施組織の確立は重要な課題となっている。

小江流域の広域性、多自治体に跨る特性から、云南省が事業実施の主体になって、事業の実施体制が省政府直轄（水利庁）の組織とすることが望ましい。また、流域内の自治体との円滑な調整を図るために、小江開発の組織は、区県と同レベルもしくはそれ以上のレベルの機関とすべきであり、組織の長は処長・県長もしくは副局長の格とすべきである。

また新しい組織は土砂災害対策だけではなく、流域に関わる問題を総合的に取り組む必要がある。組織の業務内容は、事業の計画、開発資金の調達、プロジェクトの運営、工事の実施及び扇状地の開発、完成後の運営・維持管理、水土保持管理や群測群防に関する人材育成、訓練の実施、研究・開発、関係機関との調整・連携など、多岐にわたる。新しい組織の形態として、中国で多くのダム事業で採用された開発総公司（例えば、三峡開発総公司）や工程管理局（例えば、魯布革工程管理局）のような組織（政府の事業を代行する、言わば官製の会社（日本の公団に似た組織））が考えられる、そのなかで対象事業の財務的採算性の確保は困難であることから、事業の管理、代行を主な目的とする「工程管理局」型の体制組織とする。組織の概要は以下のとおりである。

表 R 7.3.1 基本計画実施組織の概要

名称	小江工程管理局（仮称）
管轄	云南省（水利庁）
行政格	処長・県長級もしくは副局長級
目的	土砂災害の軽減、自然環境の修復、地域開発（貧困対策）
役割	<ul style="list-style-type: none"> 土石流対策、環境修復、地域整備（貧困対策）の一体化推進、山・水・林・田・路の総合開発・一体化整備の実行 事業計画から資金調達、工事の実施、完成後の管理まで事業の全過程の参与 関係機関、関係自治体間の円滑な調整
業務内容	<ul style="list-style-type: none"> 開発資金・運用維持管理資金の調達管理、資金の返済 プロジェクトの計画・設計・工事管理 プロジェクト完成後の施設の管理、予警報システムの運用・管理 扇状地の開発 関係機関への技術指導・人材育成（水土保持管理、森林管理、群測群防） 扇状地の開発、副産物利用の企画、支援 水土流失モニタリング、ハザードマップの作成・更新

7.3.2 局地レーダ雨量計を利用した予警報システム

1) 予警報システムの改善・現代化の必要性

小江流域には無数の土石流危険溪流があり、また地すべり地の上に数多くの住民が暮らしており、これまで多大な土砂災害を被ってきた。土砂災害は局地的かつ短時間の豪雨によってゲリラ的に発生することが多く、このことが現象の把握や予測を困難にしている一因となっている。

一方、小江流域において現在予警報システムと呼べるものは群測群防を除けば、3区県気象局による気象予報ぐらいしかないが、未だ満足できる精度にはない。また流域内には本調査で設置した雨量計を合わせて10数カ所程度の雨量観測所もあるが、それらは個別に観測しているだけでネットワークとしての繋がりはないなど、システムとしての体をなしていない状況にある。群測群防は住民の防災意識の向上や比較的ゆっくりした地すべり現象には有効ではあるが、突発的な土石流対策

への対応が難しいなどの問題を抱えている。したがって、これらの問題点を克服するため、ハイテク技術の利用は当然検討されるべきである。

この基本計画では投資の多くを施設対策の充実に向けることになるが、無数の災害危険地域の全てをカバーできるわけでもなくまた整備にも長い年月を要することになる。さらに、施設整備を完了しても想定した規模以上の災害も当然起こりうり、それに対する備えも必要である。したがって施設対策を補完する予警報システムの重要性は明白であるが、上記のように現状はシステムとしての体をなしておらず、改善・現代化は不可欠かつ急務となっている。

2) 局地レーダ雨量計

システムの改善・現代化にあたって、第一に考慮すべきは、土砂災害の局地性、突発性である。その災害の素因もしくは誘因である降雨をできるだけ正確に把握し、または予測することが、予警報システムの成功の可否を握っている。

一方、小江流域の豪雨は局所的なものが多く、例えば、4.1.2 降雨解析でのべたように 5km も離れていない東川区気象局新村測候所と東川泥石流防治研究所試験農場の雨量でも降り方が異なっている。ところが一般の雨量計では、地域的に異なった降り方をする雨を流域全体に対して細部に渡り把握することは難しいどころか不可能である。

そこで、このような問題の解決方法として、日本で近年土石流などの土砂災害の監視用に整備が進められている局地レーダ雨量計の導入が考えられる。局地（小型）レーダ雨量計は既存の気象レーダなど大型レーダと基本的な原理は同様で、回転するアンテナから指向性を持ったパルス状の電波を放射し、雨滴にあたり散乱して返ってくる電波を再び同じアンテナで受信し、降雨の強度と分布を測定するものである。しかし局地レーダ雨量計は、表 R7.3.2 で示すように、大型レーダよりも細密な観測が可能であることに大きな特徴がある。また自前のものとなるため、気象レーダのように既に加工作された情報提供を受ける場合とは異なり、必要に応じて小流域または土石流危険渓流毎の面積雨量の算定、危険度判定、降雨予測など任意の加工処理が可能である。

表 R 7.3.2 局地レーダ雨量計と大型レーダの比較

項目	局地（小型）レーダ雨量計	大型レーダ	
		レーダ雨量計	気象レーダ
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ● 狭域を高分解能で観測 ● 設備が簡易、設置が容易 	<ul style="list-style-type: none"> ● 広範囲観測 ● 大規模な設備が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ● 広範囲観測 ● 大規模な設備が必要
主な用途	<ul style="list-style-type: none"> ● 土砂災害監視 ● 小河川流域管理 ● 自治体レベルの水防情報 ● 地域毎の多様な用途 	<ul style="list-style-type: none"> ● 河川管理 ● ダム管理 ● 道路管理 	<ul style="list-style-type: none"> ● 気象予報
分解能	半径 15km 以内 250m 半径 30km 以内 500m 半径 60km 以内 1,000m	約 3km X 3km	約 5kmX 5km
データ配信周期	5 分毎（1 分毎も可）	15 分	1 時間
雨データの内容	雨量値 (0~250mm/hr)	雨量段階値 (10 段階)	雨量段階値 (8 段階)
データの加工	<ul style="list-style-type: none"> ● 流域平均面積雨量や地点雨量の算出 ● 降雨予測 ● 雨量の危険度判定 ● その他任意な加工が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 提供される情報を受信 ● 加工不可 	<ul style="list-style-type: none"> ● 提供される情報を受信 ● 加工不可

図 7.3.1 は東川区乌龙郷内で見つけたレーダサイト候補地（標高 2075m）からのカバーエリアを示したものである。東川市街地流域（深沟、石羊沟流域）はほぼ全域半径 15km 以内の分解能 250m 地域に入っており、また流域南端の寻甸県のごく一部の地域を除けば、小江流域のほぼ全域が半径 60km 以内の分解能 1,000m の地域に入っている。

3) 東川市街地土石流予警報システム

東川区の政治・経済の中心である東川市街地は深沟、石羊沟などの土石流氾濫によって形成された扇状地上にあり、人口約 5 万人が住んでいる。過去に何度か土石流氾濫が発生し、特に 1964 年の深沟、石羊沟の土石流では計 15 名が死亡するなど大被害をもたらした。

その後、東川区は砂防えん堤や流路工を整備し、土石流被害は減ってきているようである。また 6.1 節で述べたように、基本計画では深沟、石羊沟流域においてさらに計 17 基の砂防えん堤と流路工の改修を計画しており、これらが整備されれば同地区の土石流に対する安全度は将来的に大いに改善されることになる。

しかし土石流量の推定が難しいこと、また人口・資産が土石流氾濫域に集中することから、施設対策による対応に加えて、計画を上回る外力に対して非施設対策も考える必要がある。そこで、東川区市街地を対象に、土石流センサーや警報施設などから成る土石流予警報システムの導入を図る。

4) 局地レーダ雨量計を利用した予警報システム

局地レーダ雨量計を中心したハイテク技術を既存の群測群防や水防体制という人力システムに融和させた小江流域土砂災害予警報システム案の概要を以下のように検討した。

予警報システムは、情報収集、情報処理、情報伝達の 3 つのサブシステムからなる。図 R7.3.2 にデータ・情報の流れを示し、また図 7.3.2 に観測網を示す。

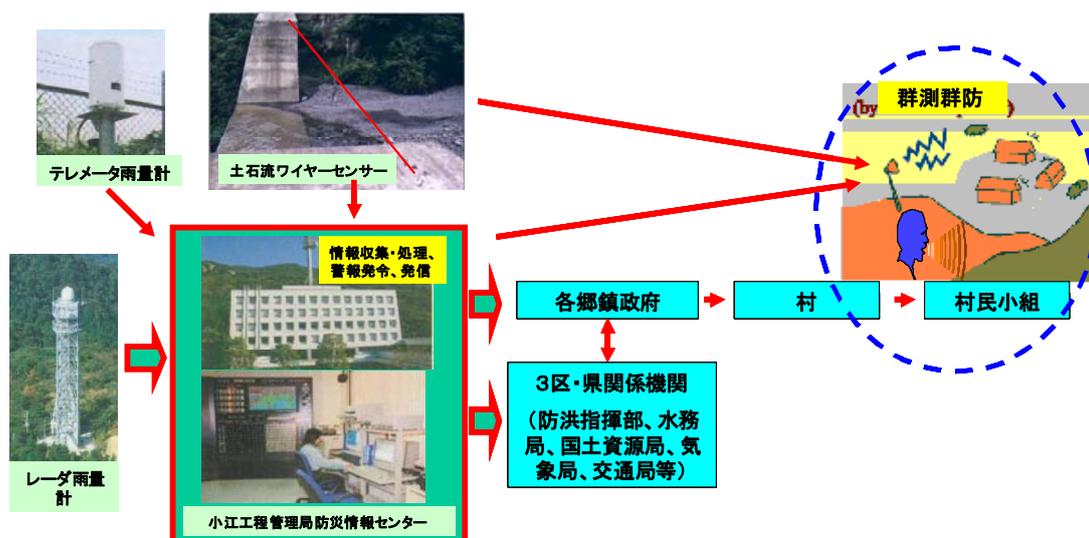


図 R 7.3.2 小江流域土砂災害予警報システムでのデータ・情報の流れ

a) 情報収集サブシステム

まず情報収集サブシステムでは、局地レーダ雨量計によって小江流域全体の面積的な降雨を収集する。従来型の雨量テレメータも 8 箇所設置し（この内、3 箇所は土石流予警報システムにも活用できるように東川市街地流域に設置する。）、局地レーダ雨量計情報と合わせることによって、レーダ雨量の精度向上を図る。さらに資産の集中する東川市街地流域（深沟、石羊沟流域）には土石流センサーを 8 箇所設置し、土石流発生の場合に備える。以上の情報は GSM、VHF もしくは多重無線によって新組織である小江工程管理局の防災情報センターに送られる。

b) 情報処理サブシステム

防災情報センターは主に収集された情報を加工処理し、面積雨量の算定、降雨予測、危険度判定などを行い、その情報をわかり易く図化して関連機関へ伝達する。

c) 情報伝達サブシステム

情報伝達サブシステムでは、基本的に従来の水防体制および群測群防体制を活用する。すなわち、高速インターネット通信または電話・ファックスを利用して防災情報センターから関連機関へ情報提供する。災害危険区域の村民小組レベルまでへの連絡には、基本的に行政階層に基づいた図 R. 3. 3. 1 に示したシステムに準じて、電話などによって連絡することになる。しかし緊急を要する場合は防災センターから直接村民小組レベルへの伝達をも可とする。

土石流が発生した場合、大惨事が想定される東川市街地流域（深沟、石羊沟流域）では、サイレン施設を備えた警報局を 9 箇所程度設け、直接防災情報センターから警戒を呼びかける。

5) 予警報システムの段階的整備

一方、雨量テレメータや土石流センサーについては中国国内でいくつか実績があるものの、局地レーダ雨量計は中国において全く新しい技術である（気象レーダについては云南省でも 6 箇所で運用されている）。したがって、整備にあたっては先に雨量テレメータ、土石流センサー、警報局等の従来型のシステムを先ず整備し、数年後ある程度システム全体の運用に慣れた後に、局地レーダ雨量計の導入を図ることとする。

7. 3. 3 副産物利用案

基本計画の実施により派出する利用可能な副産物としてまず第一に農地が上げられる。土石流対策により約 16,000 畝（1,070ha）の新規農地開発が見込まれ、優先流域でも豆腐沟、乌龙河、桃家小河から合計 2,180 畝（145ha）の開発が可能となる。

一方、堆積土砂の掘削から発生する砂利、造林により発生する樹木・葉、扇状地等農地開発から生産する農産品なども副産物として上げられる。これらの副産物を有効に利用することにより地域開発および貧困対策の一助とすることが本基本計画の課題の 1 つとなっている。

しかしこれらの副産物利用を実際に成功させ、軌道にのせるためには開発農地の管理や砂利や農産品の場合は市場調査やパイロット的な試行錯誤などが必要である。その役目を担うのが基本計画実施機関である小江工程管理局（仮称）である。

7.3.4 住民参加の必要性

造林、封山育林、傾斜農地の棚畑化などの事業が行われることになる山腹斜面は多くの住民の生活場となっている。また計画的転流を考慮した本川の治水対策、群測群防、ハザードマップ作り、住民移転、副産物利用については住民自身が主人公であるべき活動・事業である。したがって彼らを疎外したような計画作り、事業の推進では、成功はとてもおぼつかない。したがって、計画段階から住民参加を担保するように事業実施・運営管理を行っていく必要がある。

7.4 事業実施計画

7.4.1 実施工程

5.1.2 節に記したとおり、計画目標年として2010年までを緊急計画、2020年までを長期計画と位置付ける。概略基本計画実施工程を図R7.4.1に示す。

プロジェクト	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20
緊急計画															
小江工程管理局（仮称）設立プロジェクト		■	■												
優先小流域に関わるプロジェクト		■	■	■	■										
雨量テレメータを利用した予警報システムの構築		■	■												
長期計画															
優先小流域以外の小流域関連プロジェクト					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
小江本川改修プロジェクト				■	■	■	■	■							
局地レーダ雨量計を利用した予警報システムの構築						■	■								

図 R 7.4.1 基本計画実施工程案

1) 小江工程管理局（仮称）設立プロジェクト

基本計画の実施・運用を司る新組織の設立である。人員の確保および必要な施設・設備の整備が必要になる。設立直後の大きな任務は基本計画の実施のための資金調達であり、そのプロジェクトを実施し、完成後は維持管理・運用を行う。

2) 優先小流域に関わるプロジェクト

できるだけ早く確実に事業実施効果を得るためには、小江流域で従来から行われているように、小流域毎に重点的に整備をしていく方法が望ましい。そこで中国側の意向に沿って、豆腐沟、乌龙河、东川（深沟、石羊沟）、桃家小河の4優先小流域について、土石流対策・水系土砂管理を合わせた施設対策、非施設対策から成る総合対策を他の小流域に先駆けて一括して行うこととする。

3) 雨量テレメータを利用した予警報システムの構築

小江流域土砂災害予警報システムの内、局地レーダ雨量計を除いた部分である。雨量テレメータを主体とし、土石流センサーを加えた情報収集システム、集まった情報を処理して情報の可視化、分析、予測を行う情報処理システム、処理した情報を伝達する情報伝達システムよりなる。この観測システムは、従来の水防、群測群防活動の改善に大いに寄与するものであり早期の実施が望ましい。

4) 優先小流域以外の小流域関連プロジェクト

優先小流域に引き続き、それ以外の小流域に関連する総合対策プロジェクトを実施する。実施順序については、直接被害が甚大な土石流対策溪流を優先することとし、家屋の有無、経済評価結果などを考慮し3グループに分け順次実施する（水系砂防対策も同時並行で実施）。引き続き、土石流対策溪流を持たない流域について水系砂防対策を実施する（次頁、表 R 7. 4. 1 に示すグループ 4）。

5) 小江本川治水（改修）プロジェクト

20年確率の治水安全度が確保されるように農地を守る河川堤防を整備する。

6) 局地レーダ雨量計を利用した予警報システムの構築

3)節に示した雨量テレメータを利用した予警報システムに局地レーダ雨量計を加えて、小江流域土砂災害予警報システムを完成する。これにより小江流域全体および各小流域毎の降雨状況の的確な把握、予測が可能となる。

7. 4. 2 概算事業費

事業費は、下記の項目より構成される。

- (1) 直接・間接工事費..... 材料費、機械費、労務費及びその管理費等
- (2) 設計・施工管理費..... 施設の設計、図面作成、工事技術管理費等
- (3) 事務管理費..... 行政側管理費
- (4) 工事予備費..... 追加工事のための予備費
- (5) 税金..... 上記(1)～(4)にかかる税金
- (6) 物価上昇予備費..... 上記(1)～(5)の物価上昇に対する予備費
- (7) 補償費..... 土地収用補償、作物収穫補償費等

ここでは、上記(1)～(5)の合計を工事費、上記(1)～(6)の合計を事業費（工事費+物価上昇予備費）として取り扱う。補償費については、別枠で取り扱う。

事業費積算にあたっては2005年1月時点の物価及び外貨交換レートを適用する。外貨交換レートは、1US\$=8.2865 中国人民元=102.44 日本円である。また、物価上昇予備費は、年率2%の物価上昇率として算出している。

表 R7. 4. 1 に緊急計画、長期計画の概算事業費集計を、表 7. 4. 1 にプロジェクト別の土石流対策・水系土砂管理工事費詳細を示す。

基本計画全体の事業費は約 24 億元である。これを小江流域の単位面積当りに直すと約 80 万元/km²となり、云南省水利庁の想定である 60 万元/km²を若干上回る額となった。この額の財務的妥当性については「7.5.2 償還能力の検討」において述べる。

表 R 7.4.1 概算事業費集計

プロジェクト		工事費 (元)	物価上昇 予備費 (元)	計 (事業費) (元)
緊急計画	豆腐沟土砂災害対策及び自然環境修復	26,395,000	1,842,000	28,237,000
	乌龙河土砂災害対策及び自然環境修復	97,566,000	6,811,000	104,377,000
	东川土砂災害対策及び自然環境修復	61,053,000	4,261,000	65,314,000
	桃家小河土砂災害対策及び自然環境修復	52,578,000	3,670,000	56,248,000
	雨量テレメータを利用した予警報システム	10,000,000	529,000	10,529,000
	小計	247,592,000	17,113,000	264,705,000
長期計画	小江土砂災害対策及び自然環境修復 (グループ 1)	381,130,000	47,452,000	428,582,000
	小江土砂災害対策及び自然環境修復 (グループ 2)	363,746,000	64,179,000	427,925,000
	小江土砂災害対策及び自然環境修復 (グループ 3)	367,998,000	87,803,000	455,801,000
	小江土砂災害対策及び自然環境修復 (グループ 4) (水系砂防対策のみの小流域)	518,614,000	161,966,000	680,580,000
	小江治水 (本川改修)	108,664,000	13,757,000	122,421,000
	局地レーダー雨量計を利用した予警報システム	50,000,000	6,871,000	56,871,000
	小計	1,790,152,000	382,028,000	2,172,180,000
計	2,037,744,000	399,141,000	2,436,885,000	

また、表 R7.4.2 に事業費年度配分集計を、表 7.4.2 に事業費年度配分詳細を示す。

表 R 7.4.2 事業費年度配分集計

項目	事業費年度配分 (1,000 元)							
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
緊急計画	0	45,362	98,817	94,299	26,227	0	0	0
長期計画	0	0	0	23,523	158,649	241,482	242,319	195,941
計	0	45,362	98,817	117,822	184,876	241,482	242,319	195,941

項目	事業費年度配分 (1,000 元)							
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	計
緊急計画	0	0	0	0	0	0	0	264,705
長期計画	173,885	179,435	183,023	187,304	191,680	195,514	199,425	2,172,180
計	173,885	179,435	183,023	187,304	191,680	195,514	199,425	2,436,885

補償費としては、耕地に対する造林 (退耕還林) を実施する際に、耕作停止補償として農民に支払う費用が必要となる。退耕還林対象面積 103.6 km² (155,500 畝) に対して事業実施後 8 年間に渡り補償費を支払うものとする必要費用は表 R7.4.3 の通りとなる。

表 R 7.4.3 退耕還林のための補償費年度配分集計

項目	補償費年度配分 (1,000 元)											
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
緊急計画	0	0	0	0	570	1,140	1,140	1,140	1,140	1,140	1,140	1,150
長期計画	0	0	0	0	0	381	905	1,453	1,978	2,503	3,032	3,561
計	0	0	0	0	570	1,521	2,045	2,593	3,118	3,643	4,172	4,711

項目	補償費年度配分 (1,000 元)											計
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	
緊急計画	570	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,130
長期計画	4,235	4,648	4,926	5,180	4,655	4,130	3,601	3,072	2,406	1,604	802	53,072
計	4,805	4,648	4,926	5,180	4,655	4,130	3,601	3,072	2,406	1,604	802	62,202

7.4.3 事業実施体制案

基本計画の実施については新しい組織、小江工程管理局（仮称）があたる。この工程管理局と既存組織との関係については以下のとおりである。

云南省水利庁、国土資源庁、林業庁、農業庁、気象局などの省級上級機関は、資金、人材、政策等の支援を行う。この中でも云南省水利庁は工程管理局の監督官庁として、管理責任を負う。

流域内3区県は直接受益者であり、多面から工程管理局を支援する必要がある。3区県の関係機関（水務局、林業局、国土資源局、農業局、気象局等）から出向等の形で工程管理局に人材を派遣し、技術的な支援を行うとともに、区県との円滑な調整を図る。

东川泥石流防治研究所は、長年小江流域の土砂災害問題に取り組んできており、多くのノウハウを蓄積している。これらのノウハウ及び経験を十分に生かすためにも、新しい組織に同研究所を取り入れて、組織の一部として生かすものとする。また小江流域の土砂災害対策や自然環境修復、さらに地域開発、副産物利用などの多方面において技術開発が必要であり、成都山地災害研究所や云南省地理研究所などの研究機関との連携を図る。

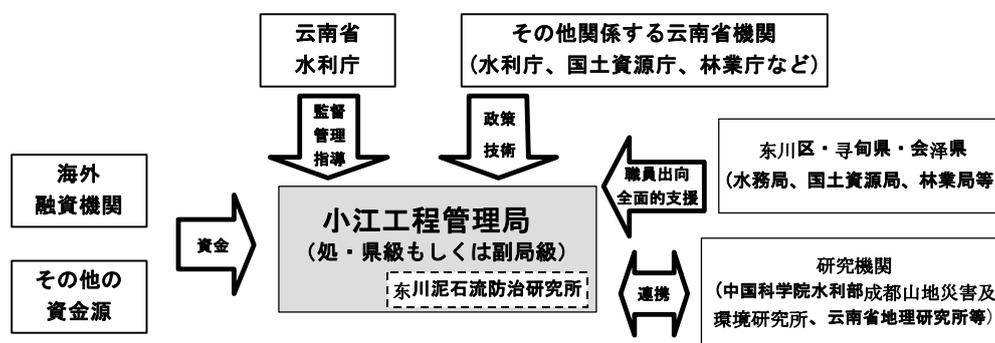


図 R 7.4.2 基本計画の実施体制

7.5 事業評価

基本計画の経済性に関しては10.34%の社会的内部収益率が得られることが判明し、経済的妥当性が示された。また、云南省または中央政府の支援が得られるならば、基本計画の実施は財政的に可能である。基本計画では山腹工、透過型砂防えん堤、局地レーダ雨量計などの、小江流域で新しい技術を提案しているが、類似技術・経験は近隣流域もしくは中国国内に存在しており、必要な技術移転を受けることができれば技術的に問題はないと判断される。また社会環境・自然環境面でいくつかの小さな影響が危惧されるが、計画段階から住民との協議、住民参加を確保することにより、影響の回避・軽減は十分に可能である。

以上から、基本計画は経済性、財政負担能力（償還能力）、技術面、さらに環境・社会配慮の観点から妥当であると判断される。

また基本計画の実施することによって、棚畑化による収穫高の増加や土石流による農地開発、造林による副産物の利用、災害の減少や自然環境の修復による生活環境の改善などが見込めることから、本基本計画は小江流域の貧困問題の解消にも大きく貢献するものと考えられる。

7.5.1 経済評価

費用便益が比較的金銭価値として算定が比較的容易である施設対策（土石流対策、水系砂防、本川治水対策）に関して、表R 7.4.1に示した実施工程に則して2007年から2056年までの50年間の経済費用および経済便益を現在価値に換算し、それらを比較することにより、投資効果を検討する。

1) 基本計画および緊急プロジェクトの便益

経済評価に先立ち、次表に基本計画および緊急プロジェクトの経済便益の内訳を示す。

表 R 7.5.1 基本計画と緊急プロジェクトの経済便益

対策	期待される効果		基本計画		緊急プロジェクト	
			経済便益 (千元/年)	(%)	経済便益 (千元/年)	(%)
土石流対策	被害額 軽減効果	家屋・家財公共施設被害	21,710	10.7	6,338	24.1
		農作物被害	3,499	1.7	609	2.3
		人命損失被害	4,068	2.0	1,388	5.3
		間接被害	3,154	1.6	1,366	5.2
		小計	32,432	16.0	9,701	36.9
	農地開発効果	15,473	7.6	2,094	8.0	
	合計	47,905	23.6	11,795	44.9	
水系砂防	生産土砂抑制効果	59,869	29.3	6,486	24.6	
	温暖化ガス吸収効果	43,463	21.4	4,965	18.9	
	保水効果	19,493	9.6	2,227	8.5	
	農地改良効果	27,240	13.4	3,098	11.8	
	退耕還林による農地減少のマイナス効果	-15,527	-7.6	-2,279	-8.7	
	合計	134,538	66.1	14,497	55.1	
本川治水	農作物被害軽減効果	20,882	10.3	-	-	
	総計	203,325	100.0	26,292	100.0	

注) 水系砂防の便益は、造林した樹木が充分成長した後の効果である。また本川治水の便益は2020年時点の便益である

この他にも、緊急プロジェクトによって、金銭価値としては表現しにくいものの、以下のような効果なども期待できる。

- 安心感向上効果
- 土地利用の高度化効果
- 生物多様性の保護効果
- 景観向上効果

さらに 24 億元もの大金が小江流域に投入されることは、小江流域住民一人当たり 510 元の投資となる。これは東川区農業人口一人当たりの農業生産高 548 元/年（2002 年データ、出典「昆明統計年鑑 2003」）にも匹敵する額であり、基本計画事業を実施することは地域の経済に大きな活力を与えることは間違いない。工事の労働力として住民が雇用され、直接的に地域住民の収入増に繋がることも期待できる。

2) 基本計画の経済評価

基本計画の経済評価検討結果を表 R7.5.2 にまとめる。基本計画全体の内部収益率は 9.68%、予警報システムの費用を加えても 9.24%であり、中国における治水関連公共事業の機会費用 8%（「漢江中下流区間洪水予警報計画調査、JICA、1992.7」より引用）や中国の環境保全事業で予想される水準である 5%内外（「中国四川省安寧河流域造林計画調査、JICA、2002.7」より引用）を上回っており、基本計画は経済的に妥当であると判断される。

また表 R7.5.3 に事業費、維持管理費、便益が変動した場合の経済指標の感度分析結果を示す。いずれの場合でも、内部収益率は 8%以上であり、上記の要因の変化による事業の収益への影響は限定的である。

表 R 7.5.2 基本計画の経済評価検討結果

事業	費用		便益		内部収益率 IRR (%)	純経済価値 NPV (B-C)	便益・費用 比率 B/C
	単純合計 (千元)	現在価値 (千元)	合計 (千元)	現在価値 (千元)			
土石流対策	506,912	290,895	2,159,484	373,366	10.79%	82,471	1.28
水系砂防	1,210,508	575,271	5,105,427	620,361	8.59%	45,090	1.08
本川治水対策	251,233	82,590	903,704	142,601	15.80%	60,010	1.73
基本計画全体 (予警報システム含まず)	1,968,653	948,756	8,168,615	1,136,328	9.68%	187,571	1.20
基本計画全体 (予警報システムの費用 含む)	2,087,993	992,962	8,168,615	1,136,328	9.24%	143,365	1.14

注) 現在価値の基準年は 2005 年、割引率は 8%。

表 R 7.5.3 基本計画の感度分析結果

検討ケース	変動幅	内部収益率 IRR (%)	純経済価値 NPV (B-C)	便益・費用 比率 B/C
標準ケース： 基本計画全体 (予警報システムの費用含まず)	0%	9.68	187,571	1.20
事業費上昇	10%	8.78	94,672	1.09
維持管理費上昇	10%	9.66	185,595	1.20
便益減少	-10%	8.67	73,939	1.08

3) 緊急計画プロジェクトの経済評価

緊急計画プロジェクトの優先 4 流域毎およびその合計について経済評価検討結果を表 R7.5.4 にまとめる。優先 4 流域合計の内部収益率は 11.14%、予警報システムの費用を加えても 10.57%であり、中国における治水関連公共事業の機会費用 8%や中国の環境保全事業で予想される水準である 5%内外を上回っており、優先 4 流域の事業は経済的に妥当であると判断される。

また表 R7.5.5 に感度分析結果を示すが、いずれの場合でも、内部収益率は 8%以上であり、上記の要因の変化による事業の収益への影響は限定的である。

表 R 7.5.4 緊急計画プロジェクトの経済評価検討結果

事業	費用		便益		内部収益率 (%)	純経済価値 NPV (B-C)	便益・費用比率 B/C
	単純合計 (千元)	現在価値 (千元)	合計 (千元)	現在価値 (千元)			
1. 豆腐沟	23,468	17,495	135,116	25,320	11.60	7,825	1.45
2. 乌龙河	86,746	64,669	400,055	70,066	8.64	5,397	1.08
3. 东川市街地	54,282	40,467	460,657	89,575	18.13	49,108	2.21
4. 桃家小河	46,747	34,850	212,532	36,061	8.26	1,211	1.03
優先流域全体 (予警報システム含まず)	211,243	157,481	1,208,361	221,022	11.14	63,541	1.40
優先流域全体 (予警報システム含む)	231,983	166,912	1,208,361	221,022	10.57%	54,110	1.32

注) 現在価値の基準年は 2005 年、割引率は 8%。

表 R 7.5.5 緊急計画プロジェクトの感度分析結果

検討ケース	変動幅	内部収益率 IRR (%)	純経済価値 NPV (B-C)	便益・費用比率 B/C
標準ケース： 4 流域合計 (予警報システムの費用含まず)	0%	11.14	63,541	1.40
事業費上昇	10%	10.19	47,960	1.28
維持管理費上昇	10%	11.13	63,374	1.40
便益減少	-10%	10.08	41,439	1.26

7.5.2 償還能力の検討

7.4.2 節で示したように、基本計画の実施には約 24 億元の費用が必要とされる。一方で云南省水利庁は小江流域の土砂災害対策及び自然環境修復に関わるの基本計画の実施ための資金として、海外融資機関からのローンを期待している。

従来の方式に従えば、海外融資機関に対し云南省が償還の保証をし、その保証の下、流域内の自治体が借款し、償還することになる。従って、小江流域の場合、円借款の償還者は流域内の东川区、会泽県、寻甸県になる。ただし、小江工程管理局ができた場合は、管理局が実際の申請、管理、償還を代行することになる。また償還資金は各区県の財政収入によるものだけではなく、云南省、中央政府から事業資金の申請による償還も可能である。

仮に 24 億元を償還期間 30 年、据え置き期間 10 年、金利 0.65%で借りた場合、元利支払い合計額は約 28 億元で 2030 年頃に最大で 1.4 億元/年程度の償還が必要となってくる。その場合の償還金の負担能力について、3 区県の財政状況だけではなく、雲南省の財政状況、各種の事業資金、水土保持基金の申請の可能性、規模等を検討する必要がある。

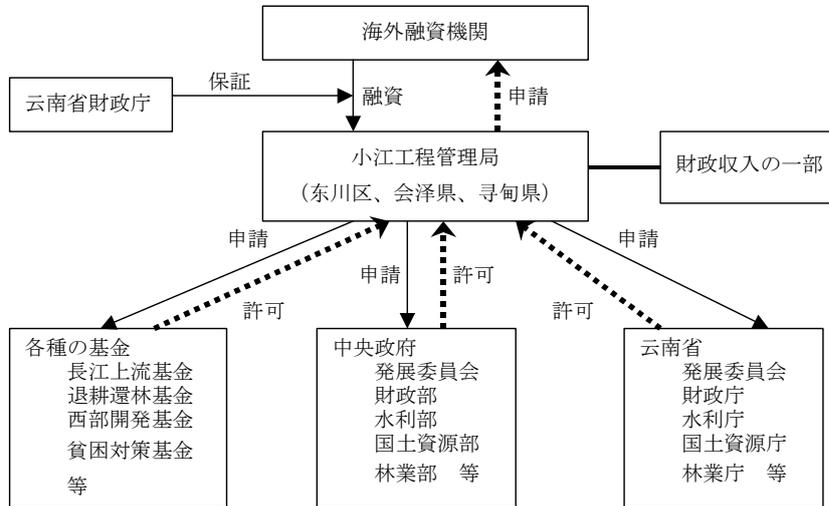


図 R 7.5.1 基本計画実施のための資金調達の仕組み

1) 財政状況

流域内の 3 区県の財政状況を見ると、年間国内総生産は 50 億元、年間財政収入は 3.6 億元、年間財政支出は 10.9 億元である。また、各区県の財政収入・支出の伸び率を見ると、1990 年から 2002 年までの 12 年間、流域内区県の財政収入は 3.8 倍、財政支出は 6.3 倍に拡大している。将来も大きく増加すると考えられるが、それでも流域内の 3 区県の財政のみからの 1.4 億元/年の返済は厳しいものがあり、雲南省及び中央政府による財政負担は必須だと言える。

一方雲南省の財政状況を見ると、2002 年時点で年間国内総生産は 2,232 億元、年間財政収入は 207 億元、年間財政支出は 527 億元であり、財政支出で考えれば、12 年間で 6 倍増している。1.4 億元は 2002 年時点においても年間財政支出 527 億元の 0.27%であり、今後の経済成長を考えれば、最大 1.4 億元/年程度の償還を負担する財力は十分あるといえる。

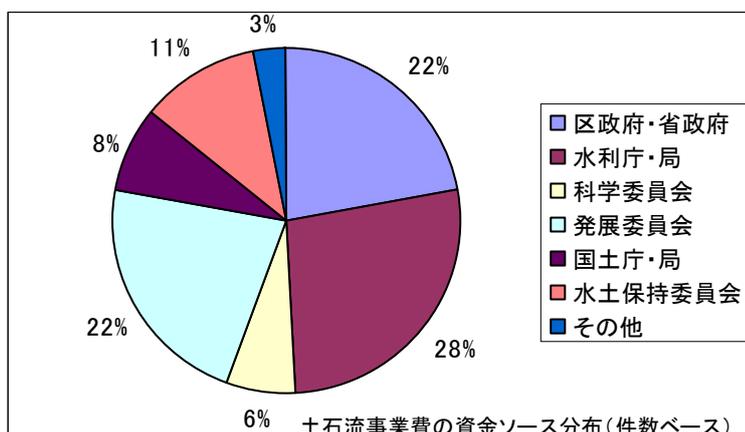
表 R 7.5.6 3 区県および雲南省の財政状況

行政	人口 (千人)	国内総生産 (百万元)	財政収入 (百万元)		財政支出 (百万元)	
			1990 年	2002 年	1990 年	2002 年
雲南省	43,331	223,232	7,742	20,676	9,076	52,689
東川区	302	746	17	40	44	251
尋甸県	501	1,088	22	72	47	248
会澤県	897	3,172	54	247	80	588
3 区県合計	1,700	5,006	93	359	171	1,086

出典：雲南統計年鑑 2003、雲南省統計局編、中国統計出版社

2) 中央政府資金

これまでの小江流域水土保持事業費は、区・県政府による投資だけではなく、国家発展改革委員会、国土庁（現国土資源部）等の中央政府からの事業費もあった。今後の土砂災害対策及び環境修復事業においては、これまでと同様、関係中央政府部門からの資金申請も可能と考えられる。



出典：東川泥石流防治研究所二十五周年記念、東川泥石流防治研究所、2002年（研究プロジェクトの資金ソースの集計結果）

図 R 7.5.2 資金ソース別の土石流事業件数の割合

3) 開発基金

水土流失の問題等を解決するために、中国ではいろいろな基金を設けており、これらの基金の申請による事業費の一部の負担は可能である。主な基金の内容及び申請条件は以下のとおりである。

表 R 7.5.7 主な開発基金

基金名	主管	金額	小江流域の申請可能性
長江上流水土保持基金	長江上流水土保持委員会	30 千元/km ²	長江流域にあるため申請は可能
退耕還林基金	国家林業局	150kg 食糧/畝・年×(5~8)年 20 元/畝・年×(5~8)年 種苗：50 元/畝	農地から林地に返還する場合申請できる

4) 開発基金

以上の検討により、流域内の区・県の財政のみによる償還は困難であるが、流域内の将来の経済成長・財政収入増加、雲南省及び中央政府による支援があれば、返済は十分に可能だと考えられる。

7.5.3 技術評価

基本計画で提案した技術が現地で受容されるかどうかは基本計画の妥当性検討の重要項目である。本調査では基本的に現地(小江流域)に現存する技術をできるだけ踏襲し、必要なところを改良する方針で基本計画作りを進めてきた。しかし、効果をより高めるために、以下のような小江流域には現存しない技術をも提案している。

- 山腹工
- 厳しい条件下での造林
- 透過型砂防えん堤
- 局地レーダ雨量計

以下に説明するように、これらの技術の類似技術・経験は小江流域になくとも中国国内にも現在しており、必要な技術移転を受けることができれば十分現地に根付くことができるものであり、決して技術的には問題はないと判断される。

1) 山腹工

山腹工は崩壊地やガリーでの浸食・崩壊を防止するものである。小江流域では従来の造林は無林地の造林化に重点が置かれ、より費用のかかる崩壊地やガリーの対策は後回しにされてきた経緯がある。しかし本調査では、崩壊地やガリーの拡大を抑えることも重要であると考え、山腹工の実施を提案したところである。この山腹工は編柵工、竹筋工、むしろ伏工、土工および植林が中心であり、工事自体は現地にある伝統的技術で十分対応可能である。また近隣の四川省安寧河流域で実施中の JICA プロジェクトである「四川省造林プロジェクト」において、山腹工の試験施工が実施中であり、このプロジェクトと交流することによっても技術移転が可能である。この試験施工で実施上の問題として挙げられた、山腹工に使用する適当な木材がなかったため竹を利用していることで、その他については特に問題として指摘されていない。（この地方で、山腹工が使われていなかったのは、技術的問題よりも経済的な問題から、従来崩壊地に山腹工のような対策を施してまで造林する必要性の認識が乏しかったことが考えられる。）

2) 厳しい条件下での造林技術

標高が 1500m 以下の地域での造林樹種は、現地での実績をもとに坂柳、苦刺を選定しており基本的にはここでの造林に対して大きな技術的問題はない。ただ、いわゆる乾熱河谷とよばれる厳しい自然条件の下ではこれらの樹種が十分育成しない場合も考えられる。こうした状況に対して、十分モニタリングをするとともに、育成が困難な場合については、リュウゼツランなど更に乾熱河谷に対して耐久性の強い樹種を選定することで対応はある程度可能と考える。

3) 透過型えん堤

土石流時、洪水時の土砂捕捉効果の観点から、本検討では日本の新しい技術である透過型砂防えん堤（コンクリートスリット型）を中心とした構造物対策を提案している。透過型砂防えん堤も構造物形態はコンクリート構造物であり、従来の不透過型砂防えん堤と何ら変わりはないが、6.1.2 節でも述べたように設計時にスリット幅の決定などに注意を要する。

この透過型砂防えん堤が土石流を捕捉するためには土石流による透過部の閉塞が維持されなければならない。スリット幅が広すぎた場合、土砂がえん堤を通過してしまう危険性がある。一方、スリット幅を小さくしすぎた場合、えん堤により流水がせき上げを起し、土石流先頭部に含まれる石礫が透過部に達しないため透過部が閉塞せず、巨礫を含まない後続流がえん堤を通過するなど土石流の捕捉効果が十分に発揮できないことも考えられる。

今後、フィージビリティ調や実施設計の際には、日本の最新技術情報を参考にするとともに、砂防えん堤計画地点上下流各 200m 区間の巨礫調査及び水理模型実験

を行い、スリット幅とえん堤によるせき上げ、スリット幅と開口部の閉塞の関係について十分な検討を行い設計を進める必要がある。

4) 局地レーダ雨量計

そもそも局地レーダ雨量計は日本で発達した技術であり、中国において全く新しい技術となる。しかしレーダ自体は従来の気象レーダと変わるものではなく、維持管理については全く同様である。幸いにして昆明市気象局は気象レーダを運転しており、彼らの経験から学べる点が多々ある。また、中国は非常に高い IT 技術を有していることから、維持管理費が適切に確保できるならば、局地レーダ雨量計を利用した予警報システムの持続性は充分確保されると考えられる。

基本計画ではさらにこの新しい技術に対しての不確実性を克服するために、予警報システムの構築にあたって段階的な整備を提案している。すなわち、緊急計画ではテレメータを中心とする従来型の予警報システムを構築する。そこでの運用・維持管理実績を踏まえ、次の段階である局地レーダ雨量計へ進むことを提案している。

7.5.4 初期環境評価

上記の小江流域の土砂災害対策および自然環境修復に関わる基本計画について初期影響評価を実施した。その結果をスコーピングリスト（表 7.4.5）にまとめる。元々この基本計画は住民の生命・財産を守り、自然環境を修復しようとするものであり、自然・社会環境への影響は小さいものと推測される。しかし住民移転、経済活動、交通・生活施設などの社会環境や景観の自然環境へ小さい影響の可能性も無いわけではない。しかし計画段階からの十分な住民との協議、住民参加を確保することにより、そのような影響の回避・軽減は可能と思われる。

以下にまずマスタープランで行った社会環境影響の評価の概要を述べ、その後、表 7.4.5 に示したスコーピングチェックリストに基づき社会環境面、自然環境面及び公害の発生にわけ本マスタープランの社会環境影響の評価を行った結果を述べる。

1) 概要

a) 対策毎の影響及び回避・軽減手段

施設対策の中で、土石流対策の砂防えん堤の工事は、住居地区や田畑のような資産から離れた箇所で行うことが主となるため、人間生活への影響（工事被害、水質への影響、交通への影響、大気への影響、など）は殆ど無いものと思われる。流路工や導流工の設置は、原則的には既設河川水路を改修することになるが、市街地や農地を通過する場合、水路の拡幅により沿川の家屋、農地、各種施設へ影響する可能性がある。用地買収、移転補償を最小化するように、少なくとも家屋移転がないように設計をすることを考える。また国家保護級動植物の生息地及び繁殖地、自然保護区、景観保護区、灌漑施設などが小江流域には存在している。現在までの情報ではそれらへの影響は無いものと考えられるが今後の調査が待たれる。

一方、水系砂防的対策、本川治水計画（計画的転流）やハザードマップ作成、関連法規に基づく水土保持管理の強化では、住民に対する影響が心配される。例えば、25 度以上の急傾斜地については退耕還林、15 度から 25 度の緩傾斜農地は棚畑（田）化という代替案を設定しているため、農民および郷鎮政府等との十分な協議が必要であろう。とくに退耕還林は将来的に農民の生計手段であ

る農地を奪うことにもなりかねない。また生活のための薪採取や放牧は継続されており、地域によっては農民間の衝突が生じているし、せっかくこれから造林、植林する効果も薄れかねない。そのため、本基本計画では副産物利用などの貧困対策支援策も、非施設対策に含めている。また本川治水対策の計画的転流は、住民にとっては農地の転換になることなので、利害関係を含む社会的影響を十分に調査する必要がある。

b) 事業実施上の影響及び回避・軽減手段

i) 事業実施、運営管理、事業後の自立発展性

施設対策・非施設対策を合わせた基本計画の実施組織として、水利庁の管轄下に小江工程管理局（仮称）を設立し、それが中心となって非施設対策を進めていくことを提案する。この組織は土砂災害を緩和して自然環境を修復し、副産物利用を含めた小江流域の開発を目標とする。

工程管理局の運営については楽観視できない。課題は2つある。2020年までの事業実施中の運営管理、および、2020年に事業が終了した後の組織の柔軟な維持発展である。後者については、事業実施中から自立発展性が担保できるような仕組みとトレーニングを含むべきであろう。

ii) 住民参加の必要性

施設対策、非施設対策を問わず、住民参加、関係者の参加による計画作りが欠かせない。例えば、造林、封山育林、傾斜農地の棚畑（棚田）化などの事業が行われることになる山腹斜面は多くの住民の生活場となっている。また群測群防、ハザードマップ作り、住民移転、副産物利用を含む貧困対策については住民自身が主人公であるべき活動・事業である。したがって彼ら自身による実施可能な計画作りのプロセスを確保していくことが本計画作りでは欠かせない。また新組織である小江工程管理局は大規模組織であり、ともすれば住民を疎外することにもなりかねない。したがって、住民参加を担保する仕組みを新組織に、または他の手だてを確保する必要がある。更にはプロジェクトサイクルの全ての段階における住民参加は、本計画においても大変に重要な柱となる。

2) スコーピングチェックリストに基づく検討

上述のように、基本計画についての初期影響評価の結果を表 7.4.5 にスコーピングチェックリストとしてまとめた。以下に社会環境、自然環境、公害に分けて、スコーピングチェックリストを説明する。

a) 社会環境

「住民移転」の発生は、マスタープラン策定段階では、構造物対策の規模、位置、ハザードマップにもとづく危険区域の範囲、周知方法、及び退耕還林の事業地域などが未確定であり、その影響の程度は不明であり、今後、調査することが必要である。特に危険区域の周知により非自発的移転家屋が新たに発生する可能性もあり、F/S 段階の事業形成では住民移転の発生を回避できるよう、住民参加手法を取り入れて計画を策定することが重要である。また退耕還林は、その事業地域と住民の生活の場（居住区、農地及び農地・市場へのアクセス路など）を十分に考慮しなければ農民の生活基盤が失われる恐れがある。そのた

め退耕還林を実施する場合には、計画策定の初期段階から住民参加手法を取り入れて、事業設計を行うことが必要である。

「経済活動」への影響は、現段階では事業コンポーネントの内容が未確定な部分も多く、影響の程度は不明であり、今後、調査をおこなうことが必要である。特に、本川治水対策（計画的転流）や傾斜農地の利用を巡っては、農家の土地境界が明確でないケースが多いと推定され、受益者間で、明確なルールに基づき便益を如何に公平に分配するかが重要である。公共部門（事業者側）と個別農家（受益者）の間で事業情報の開示と計画策定への住民の参加と協議が重要である。

「交通・生活施設」への影響は、砂防ダムの建設により住民が従来使ってきた道分断する可能性が懸念される。砂防ダムの建設は緊急事業として組み入れられるため、この影響が現れる可能性は高く、アクセス路を利用する特定の住民へ負の社会影響が現れると危惧される。但し、大型ダムの導入は無いので、極端な不便不利益が住民に生じることは無いことから、表 7.4.5 ではBと評価した。今後、計画策定段階及び実施設計段階で継続して住民と十分な協議を行い、必要に応じて道を付け替えるなどの対策が必要である。

「その他影響」は、いずれも最小限の影響あるいは殆どないと判断した。象地域には遺跡・埋蔵文化財などがあるという情報はないため遺跡・文化財への影響はないと判断した。主に人家から離れた地域での工事であるため保健衛生面の影響は限定的と判断した。施設工事による産業廃棄物の量によっては影響が出るが、計画規模の工事では大量の産業廃棄物が出ないと推定され、この影響も限定的と判断した。本事業は災害を軽減するためのプロジェクトであり、影響はないと判断した。本地域には、少数民族地域であるが、少数民族が不利になるような政策が取られておらず、むしろ貧困対策等では少数民族が優先されている事業であり、負の影響はないと判断した。

b) 自然環境影響

「景観」に対する影響は、農村地域に、砂防ダム、流路工などの構造物が建設され、また造林面積が大幅に増加することによって地域の景観が変化すると判断した。そのため流路工の完成後は両側を緑化するなどの対策が必要と考えられ、砂防ダム、造林については、住民との十分な協議を通じて行うことが必要である。但し、この影響の評価と対策の策定は、経済発展段階の著しく異なる先進国の価値観のみに基づいて行うことのないよう、住民の災害対策に対するニーズを充分考慮の上で現実的な対応を取ることが必要である。

「動植物」への影響は、現在、希少動植物や国家保護種の生息地の具体的データが不明であり、影響の程度を評価することはできない。今後、FS 調査において具体的に調査を行うことが必要である。

「保護区」への影響は、工事区と保護区の位置的關係が現段階では不明であり、影響の程度・範囲を評価することはできない。FS 調査において工事区と保護区について調査し、必要に応じて対策を講ずることが必要と判断された。

これ以外の自然環境に対する影響は、いずれも最小限程度の影響かまたは殆ど影響がないと判断された。すなわち砂防ダム建設による地すべり、がけ崩れの誘発は考えにくい「地形・地質」への影響はないと判断した。また本事業は、土壌侵食を食い止めるのが目的であり、大量な土壌流失を伴う工事は無いと判断され、土壌侵食への影響も限定的と判断した。山の掘削工事は無いことか

ら、地下水への影響もないと判断した。土砂量を抑制するプロジェクトであり、微小な浮遊砂の抑制にもつながると期待され、湖沼・河川流況への影響は正あるいは限定的な影響と判断した。内陸地域であり、海岸・海域への影響はないと判断した。また気象への影響はないと判断した。

c) 公害の発生

工事中の大気・水質・土壌汚染などの影響は、いずれも限定的と判断した。すなわち、本事業は大気汚染を伴う工事は無いため、大気質を悪化することはないと判断した。施設工事によるセメントの濁水やシュートの泥水は少量にとどまり、沈殿地を設けて中和処理をするような規模の工事にはならないと判断した。事業地域は、人家の無い箇所での工事が殆どであり、また、工事については、大規模な掘削を行わないため騒音・振動への影響はないと判断した。同じく土壌汚染、地盤沈下および悪臭の影響も事業コンポーネントの検討から、影響は限定的あるいはないと判断された。

第8章 緊急プロジェクトの選定

8.1 緊急プロジェクト案

第2年次のフィージビリティ調査（F/S）の対象となる緊急プロジェクトとして、図R7.4.1の基本計画実施工程案において2010年までに完成すべきプロジェクトを表R8.1.1のように選定する。

表 R 8.1.1 2010年まで完成予定の緊急プロジェクト案

番号	プロジェクト名 (仮称)	対象地域	プロジェクトの想定される内容	備考
1	小江工程管理局 (仮称)の 設立	小江流域全体 (3,058km ²)	<ul style="list-style-type: none"> 基本計画実施、運用組織の設立 施設、設備の設置 	
2-1	豆腐沟土砂災害 対策及び 自然環境修復 プロジェクト	豆腐沟流域 (16.0km ²)	<ul style="list-style-type: none"> 土石流対策（導流工 5,600m） 水系砂防対策（造林 464ha、山腹工 59ha、傾斜農地の棚畑化 54ha） 非施設対策（ハザードマップ作成、群測群防の強化） 	優先 小流域
2-2	乌龙河土砂災害 対策及び 自然環境修復 プロジェクト	乌龙河流域 (134.6km ²)	<ul style="list-style-type: none"> 土石流対策（砂防えん堤 14基、流路工 8,100m、導流工 1,100m） 水系砂防対策（造林 2056ha、山腹工 273ha、傾斜農地の棚畑化 1,223ha） 非施設対策（ハザードマップ作成、群測群防の強化） 	優先 小流域
2-3	东川土砂災害対 策及び 自然環境修復 プロジェクト	深沟、石羊沟流域 (56.6 km ²)	<ul style="list-style-type: none"> 土石流対策（砂防えん堤 17基、流路工 16,600m） 水系砂防対策（造林 825ha、山腹工 53ha、傾斜農地の棚畑化 268ha） 非施設対策（ハザードマップ作成、群測群防の強化） 	優先 小流域
2-4	桃家小河土砂災 害対策及び 自然環境修復プ ロジェクト	桃家小河流域 (72.6km ²)	<ul style="list-style-type: none"> 土石流対策（導流工 4,000m） 水系砂防対策（造林 1,317ha、山腹工 125ha、傾斜農地の棚畑化 522ha） 非施設対策（ハザードマップ作成、群測群防の強化） 	優先 小流域
3	テレメータ 雨量計を利用し た予警報 システム プロジェクト	小江流域全体 (3,058km ²)	<ul style="list-style-type: none"> 雨量テレメータの設置（8箇所） 防災情報センターの設置（1基） 土石流センサーの設置（东川市街地流域） 警報局の設置（东川市街地） 	

なお優先小流域緊急プロジェクトの水系砂防対策の中で検討された傾斜農地（25度以上）のでの造林（退耕還林）については以下の理由から、F/S調査の対象には含めない。

- この傾斜農地での造林はその農地を生活の糧としている農民の生活基盤を喪失、しているはその地域社会の破壊に繋がりにかぬないため、その実施については現地農民の生活習慣に関する基礎情報の整理から、生活補償、代替地の確保等の検討の元に、住民の参加による合意形成を図りながら慎重に進めていく必要である。
- 上記プロセスには、年単位での相当な時間を要すると考えられるのに対し、本調査で予定されているF/S調査期間は数ヶ月であり、この短期間の中に退耕還林の妥当性の結論を出すのは、非常に困難である。
- また事業費で見れば、この退耕還林は緊急プロジェクトの全事業費のわずか5%に過ぎず、まず退耕還林を除いた95%の部分の妥当性を確認することが、事業を早期に始めるために重要と考えられる。