

ブラジル国
サンタ・カタリーナ州

ブラジル国
イタジャイ川流域防災対策事業準備調査
(その2)

最終報告書

第1巻 要約

2011 年 11 月
独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

日本工営株式会社

環境
CR(3)
11-175

ブラジル国
サンタ・カタリーナ州

ブラジル国
イタジャイ川流域防災対策事業準備調査
(その2)

最終報告書

第1巻 要約

2011年11月
独立行政法人
国際協力機構（JICA）

日本工営株式会社

最終報告書

報告書構成

第 1 編

要約

第 2 編

主報告書

パート I : マスタープラン調査

パート II : フィジビリティ調査

EXCHANGE RATE

The exchange rate used in this Study is:	
Master Plan (2010/10)	Brazilian Real (R\$1.0)=US Dollar (US\$0.58) = Japanese Yen(Y47.87)
Feasibility Study(2011/06)	Brazilian Real (R\$1.0)=US Dollar (US\$0.63) = Japanese Yen(Y50.71)



ブラジル国イタジャイ川流域における洪水管理マスタープラン

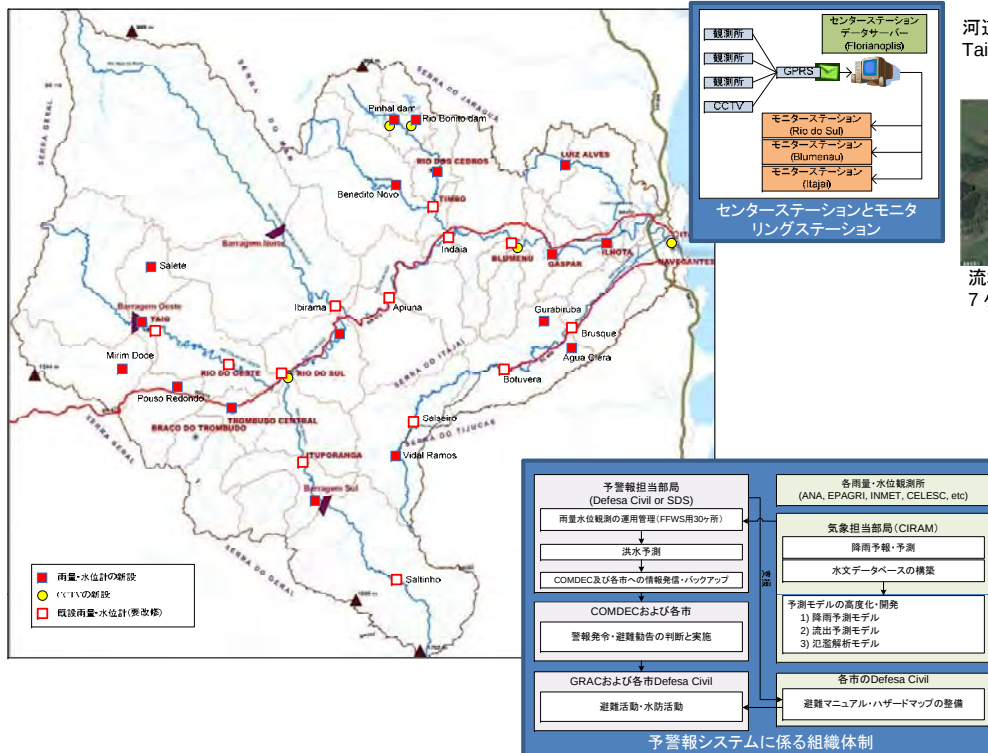
■イタジャイ側流域における洪水災害の被害特性

イタジャイ川では氾濫原に都市が発達しているため、家屋が河川に近接して建てられている。このため、河川の疎通能力が低くなり、浸水が頻繁に発生している。

また、市街地は山間部の斜面にも発達しており、郊外では山の斜面が牧草地として利用されている。このため、洪水のピークが増大し、フラッシュフラッドや土砂災害の原因にもなっている。



■非構造物対策: 既存の予警報システムの強化



■50年確率の安全度に対する洪水緩和対策

区分	対策コンポーネント	位置	数量	事業費 (Rs 10 ³)	F/Sへの優先事業
洪水緩和対策 (治水安全度50年)	水田の雨水貯留	流域全体	22,000ha	33,000	○
	既設治水ダムの高上げ	Taio, Ituporanga	2ダム	33,000	○
	流域貯留 (小規模ダム)	Rio do Sul上流域	7ヶ所	211,000	
	ミリム川水門	Itajai (イタジャイミリム川)	2ヶ所	94,000	○
	洪水放水路	Itajai, Navegantes (イタジャイ川)	10.9 km	593,000	
	新規治水ダム	Brusque	1 dam	95,000	
	河川改修 (河道拡幅+築堤)	Taio	3.7 km	114,000	
	河川改修 (築堤)	Rio do Sul	8.2 km	268,000	
	河川改修 (築堤)	Timbo	1.0 km	22,000	
	APPの設置に伴う河道の複断面化	Blumenau (イタジャイ川)	15.8 km	267,000	
	河川改修 (複断面化・拡幅)	Blumenau (Garcia, Velha川)	7.0 km	196,000	
	輪中堤	Ilhota	8.0 km	70,000	
	既設発電ダムの運用変更	Rio dos Cedros	2ダム	-	○
	既設予警報システムの強化	流域全体	-	4,000	○
土砂災害緩和対策	土砂災害緩和構造物対策 (リスクレベル: 大)	流域全体	13ヶ所	-	○
	土砂災害緩和構造物対策 (リスクレベル: 中)	流域全体	54ヶ所	-	
	土砂災害・フラッシュフラッド早期警戒システム	流域全体	-	-	○

■構造物対策:



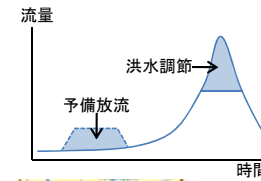
Oesteダムの高上げ
(高上げ高2.0 m)



河道拡幅、築堤
Taio L=3.7 km



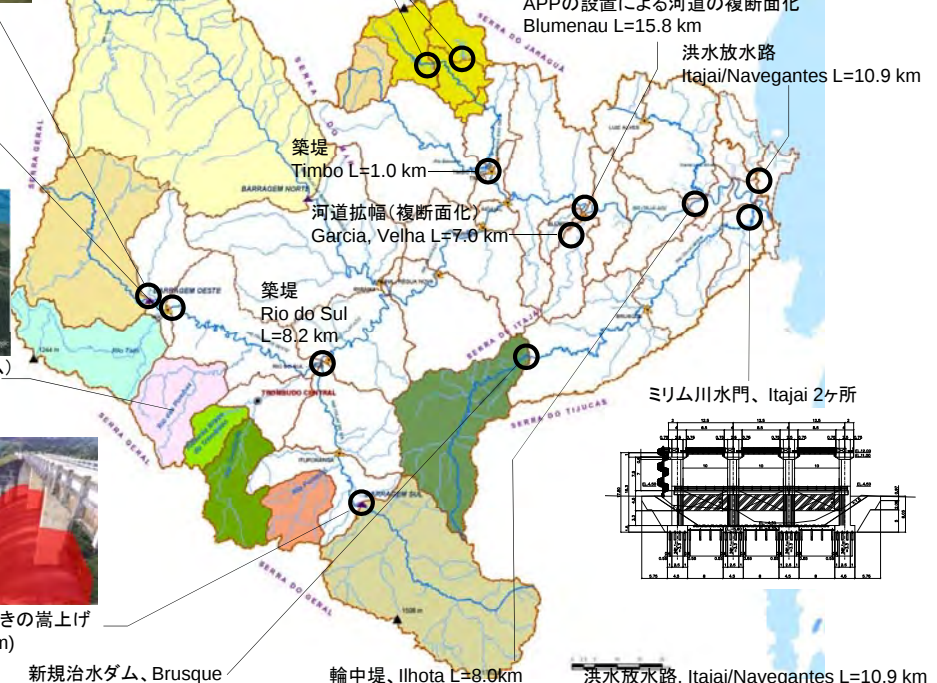
Sulダム洪水吐きの高上げ
(高上げ高2.0 m)



既設発電ダムの運用変更

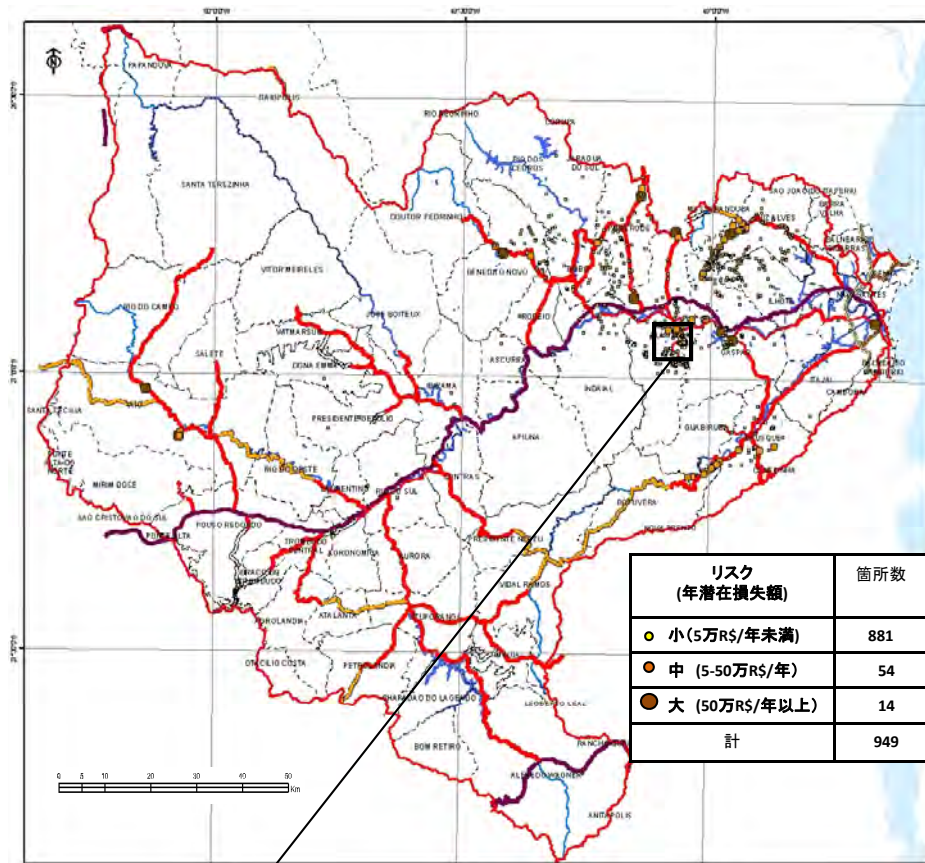


APPの設置による河道の複断面化
Blumenau L=15.8 km



イタジャイ流域における土砂災害管理マスタープラン

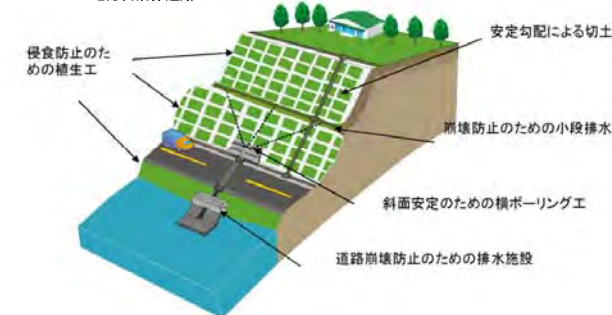
■土砂災害・土砂生産のリスク評価とリスク・マッピング



■構造物対策

道路土砂災害の構造物対策は、2008年11月豪雨 Blumenau市相当(60年確率)に対し片側道路幅員の交通確保を目標とする。

主要インフラにおける高い災害リスク地点32箇所の州道路と35箇所の地方自治体道路

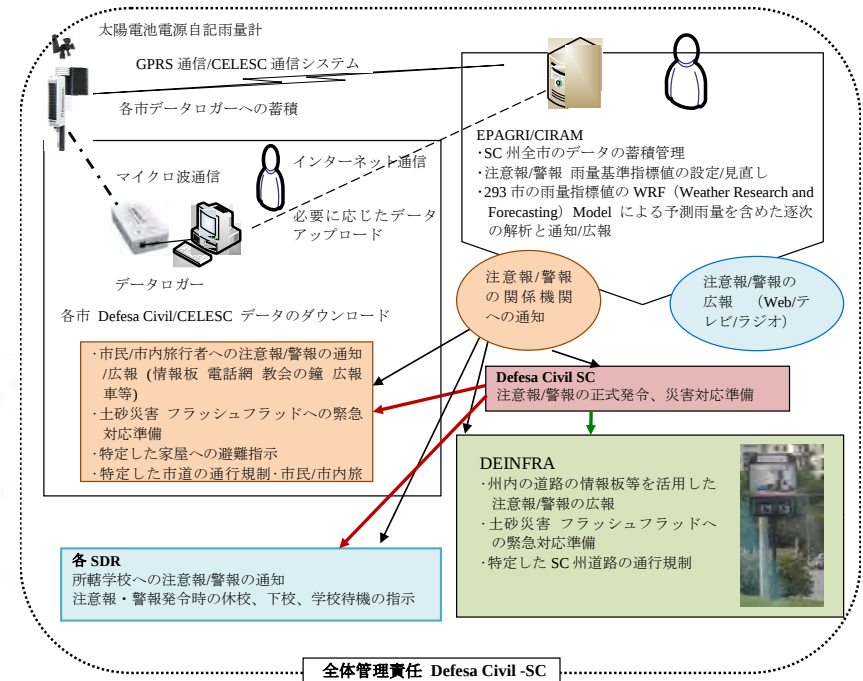


■土砂災害・土砂生産・フラッシュフラッド緩和マスタープランの構成

主目的	対 策	概算事業費 単位: 上段 R\$×10 ⁹
人身損失の 回避	(1) 非構造物対策(土砂災害・フラッシュフラッド予警報システムの導入) a) 雨量モニタリング、データ蓄積、警報情報伝達システム構築。 b) 避難の確実化のための関係者・住民への防災教育および訓練。	4,000
経済損失の 緩和	(2) 土砂災害構造物対策 年潜在損失額を指標に危険箇所の優先対策順位を決め順次対策を進める。	優先箇所 13箇所 19,000 準優先箇所54箇所 35,000 計 54,000
	(3) 土砂生産軽減対策 崩壊裸地の植林、河畔林による河岸浸食防止を推進する。土砂災害危険箇所の構造物対策において、緑化を基本とし土砂生産軽減効果の向上を図る。	—
	(4) フラッシュフラッド軽減対策 降雨の地表流出成分が増すことによりフラッシュフラッド・洪水を助長しないことを目的とした流出調整施設の設置を推進する。	—
	(5) 構造物対策事業に対する技術強化および民間自助努力への支援 a) 構造物対策事業に対する技術強化 b) 民間自助努力への支援 年潜在損失額が低く、優先順位が高くない民間保全対象物の構造物対策に対し、簡易な軽減策等の防災教育を行うと共に、公的/民間基金による補助を推進する。	—

■非構造物対策

土砂災害予警報システム



土砂災害リスクマップの例

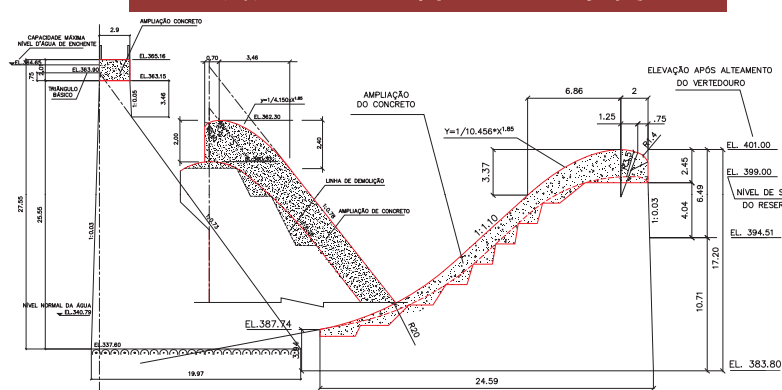
洪水災害緩和対策に係る優先事業のフィージビリティ調査

■優先事業の選定

50年確率の治水安全度達成のためには、膨大な予算と多大な時間を要する。したがって、当面は優先事業から段階整備を行い、治水安全度を徐々に高めていくとともに、非構造物対策により氾濫被害を緩和していくことが重要である。段階整備に当たっての第1期治水事業の整備目標としては、州政府の事業実施のための予算配分の規模等を考慮し、10年確率程度の治水レベルを目標とすることが妥当と考えられる。フィージビリティスタディに向けた洪水緩和対策の優先事業として以下を選定した。

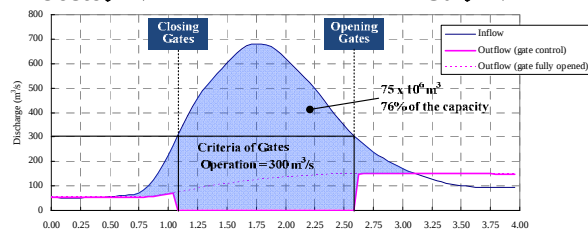
- 水田の雨水貯留
- 既設治水ダムの上上げと運用変更(2ダム)
- 既設発電ダムの治水への利用(2ダム)
- 既設洪水予警報システム(FFWS)の強化
- イタジャイミリム川への水門設置と河道改修(Itajai市内)

既設治水ダムの嵩上げと運用変更

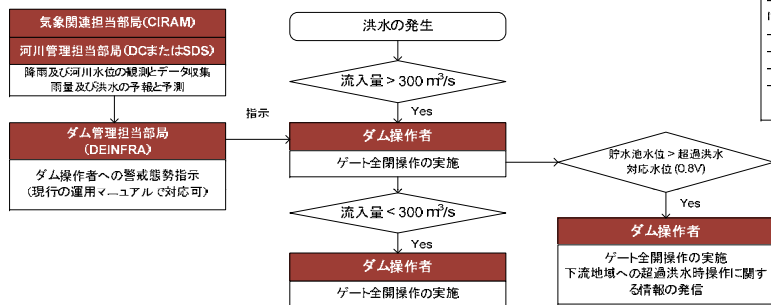


Oesteダム

Sulダム

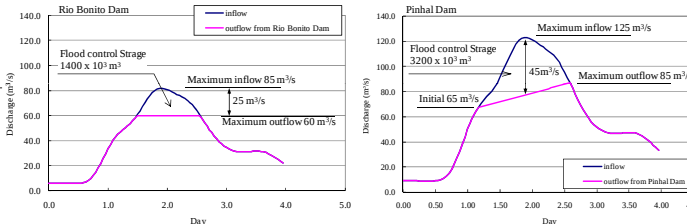
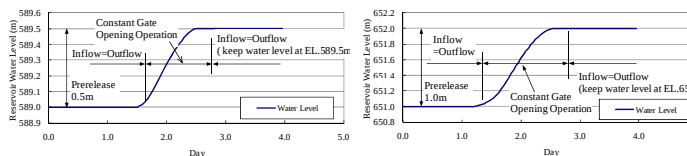


Oesteダムの洪水調節方法

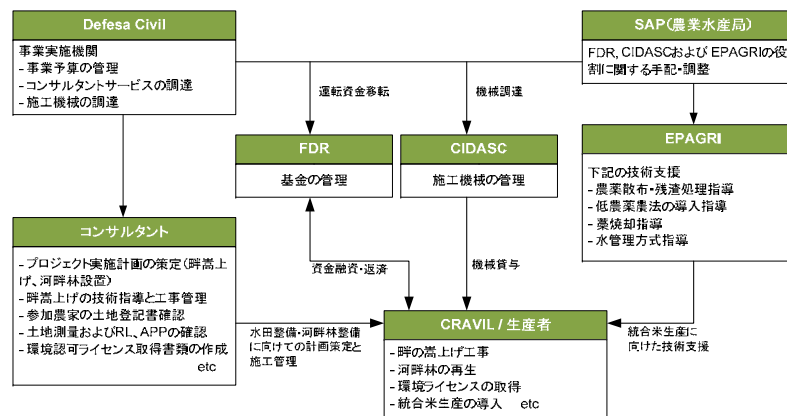


Oesteダムゲート操作方法と実施体制

既設発電ダムの治水への利用

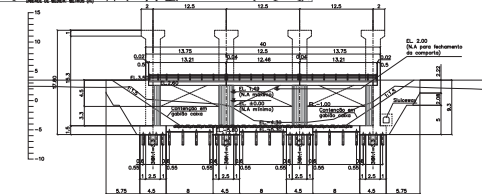
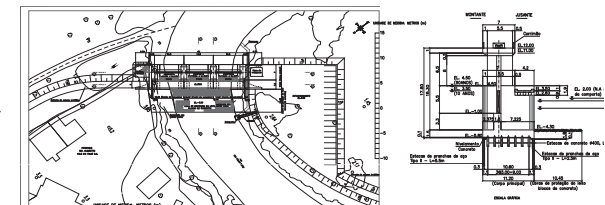


水田の雨水貯留

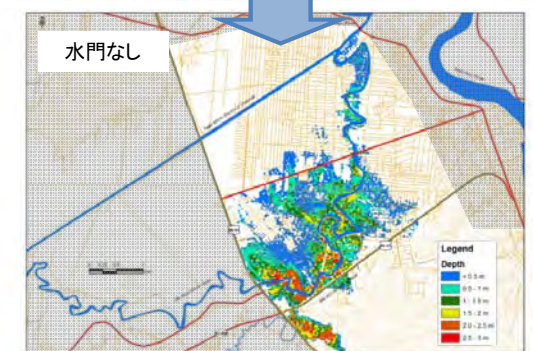
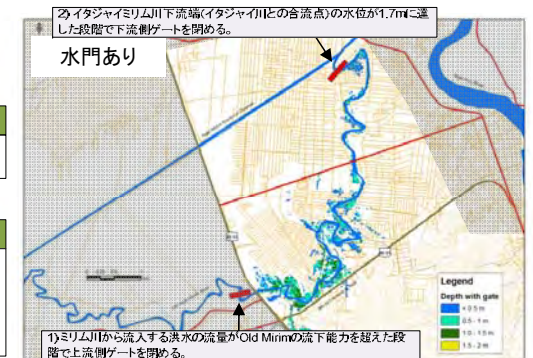
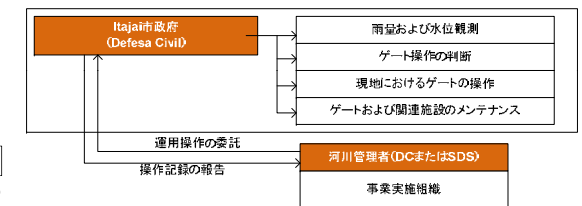


水田の雨水貯留に向けた実施体制

イタジャイミリム川への水門設置と河川改修



ミリム川上流水門

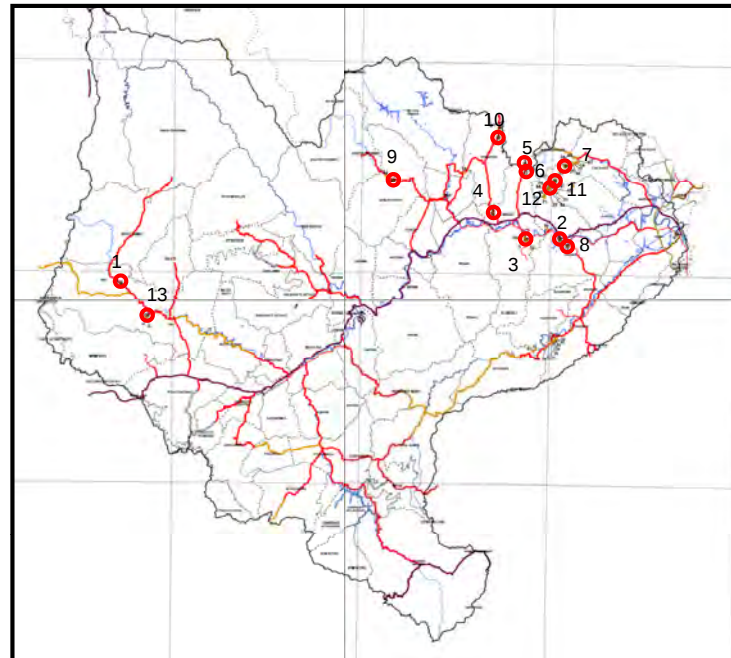


イタジャイ流域における土砂災害低減のためのフィジビリティ調査

■構造物対策

優先13箇所に対する対策工

順位	地区名	主な対策工
1	SC 302 Taio-Passo Manso-5	横ボーリング工 ふとん葺擁壁工
2	SC470 Gaspar River Bank	切土、掘削 ふとん葺擁壁工 苗木植栽
3	Blumenau -Av Pres Casrelo Branco	鋼矢板工 コンクリート連結ブロック工 ジオテキスタイル
4	SC418 Blumenau - Pomerode	明暗渠工 ポチプロピレン繊維による切土補強土工法
5	SC474 Blumenau-Massaranduba 2	ポチプロピレン繊維による切土補強土工法
6	Gaspar - Luiz Alves, Gaspar 9	横ボーリング工 ふとん葺擁壁工
7	Gaspar - Luiz Alves, Luiz Alves 6	ポチプロピレン繊維による切土補強土工法
8	SC470 Gaspar Bypass	ポチプロピレン繊維による切土補強土工法
9	SC477 Benedito Novo - Dutor Pedrinho 1	EPS軽量盛土工 擁土 舗装
10	SC418 Pomerode - Jaraguá do Sul 1	ふとん葺擁壁工 盛土 舗装
11	Gaspar - Luiz Alves, Luiz Alves 4	ポチプロピレン繊維による切土補強土工法
12	SC474 Blumenau-Massaranduba 1	ポチプロピレン繊維による切土補強土工法
13	SC 302 Taio-Passo Manso 4	ポチプロピレン繊維による切土補強土工法



優先13箇所の位置図

■人身損失回避を尊重した優先13箇所の安全目標の設定

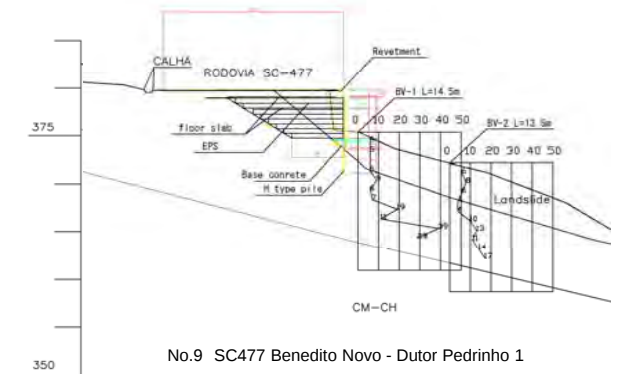
13の優先箇所（年潜在損失額が5万R\$以上）の構造対策を計画した。構造物対策の安全目標は、ブルメナウ市における2008年11月の豪雨に相当する60年確率豪雨に対し公共インフラ、建物や土地の全機能を確保することである。13箇所の優先箇所は土砂災害が発生する可能性が高く、土砂移動速度も速く人身損失が生じる可能性が高い。このため人身損失回避を尊重して安全目標を高く設定した。

■経済的な対策工法の適用

ーポリプロピレン繊維切土補強土工法による土砂対策工
(ポリプロピレン繊維、セメント、砂および植生の混合材)



ーEPS軽量盛土を活用した地すべり対策工



No.9 SC477 Benedito Novo - Dutor Pedrinho 1



連続繊維補強土工法の施工例



日本の山岳道路における
EPS軽量盛土を用いた盛土の事例



施工2年後の様子(日本の事例)



施工2年後の様子(上部斜面が連
続繊維補強土工法を施工)

(日本の事例)

■非構造物対策:

土砂災害・フラッシュフラッド警報システム

No.	機器	数量
1	雨量計測機器 53箇所	1式
2	VHFデータ転送施設	1式
3	予警報システムのデータ通信・蓄積・ 警報発信の計算機システム開発	1式

ブラジル国
サンタカタリーナ州

イタジャイ川流域防災対策事業準備調査（その2）

最終報告書

第1編 要約

目次

	頁
第1部 マスタープラン調査	
1. 序論.....	1
1.1 調査の背景.....	1
1.2 調査の目的.....	1
1.3 調査全体スケジュール.....	1
1.4 調査実施体制.....	1
2. 調査対象地域の現況.....	2
2.1 関連行政機関.....	2
2.2 社会・経済状況.....	2
2.3 地形・地質.....	2
2.4 気象・水文.....	3
2.5 土地利用.....	3
2.6 イタジャイ川流域委員会.....	3
3. イタジャイ川の洪水氾濫特性.....	4
3.1 河道特性.....	4
3.2 既存の河川施設.....	4
3.3 イタジャイ川の洪水氾濫特性.....	5
3.4 2008年11月洪水.....	6
3.5 イタジャイ川の確率洪水流量.....	8
3.6 イタジャイ川の流下能力の推定と評価.....	9
4. 洪水予警報の現状と課題.....	11
4.1 洪水予警報活動の現状.....	11
4.2 洪水予警報活動の課題.....	11
5. 洪水災害緩和に係るニーズとマスタープラン策定の基本方針.....	12
5.1 都市別の洪水災害問題と治水対策ニーズ.....	12
5.2 本調査で適用される基本原則.....	14
5.3 洪水災害緩和対策マスタープラン策定の基本方針.....	14

5.4	洪水予警報システム強化の基本方針	15
6.	土砂災害に係るニーズとマスタープラン策定の基本方針	15
6.1	土砂災害の実態と復旧事業	15
6.2	土砂災害のリスク評価とリスク・マッピング	15
6.3	土砂災害緩和に係るニーズ	16
6.4	土砂災害緩和策導入での基本原則	16
6.5	土砂災害管理マスタープラン策定の基本方針	16
7.	環境社会配慮・戦略的環境アセスメント（SEA）	17
7.1	戦略的環境アセスメントの概要	17
7.2	環境保全ユニット	18
8.	洪水災害緩和マスタープランの策定	18
8.1	治水安全度	18
8.2	洪水防御対象地区	18
8.3	治水代替案の選定	18
8.4	各治水安全度に対するマスタープラン	20
8.5	既設洪水予警報システムの強化計画	22
9.	土砂災害管理マスタープランの策定	22
9.1	マスタープランの構成	22
9.2	非構造物対策（土砂災害・フラッシュフラッド予警報システム）	23
9.3	土砂災害構造物対策	24
9.4	土砂生産緩和対策	24
9.5	フラッシュフラッド軽減対策	25
9.6	構造物対策事業に対する技術強化および民間自助努力への支援	25
10.	マスタープランの初期環境影響調査（IEE）	25
11.	マスタープラン総事業費、経済評価、及び事業実施計画	25
12.	マスタープランに対する提言	27
12.1	洪水災害緩和対策マスタープランに対する提言	27
12.2	土砂災害・土砂生産緩和対策マスタープランに対する提言	28
 第2部 フィージビリティ調査		
13.	優先事業の選定	30
13.1	優先事業の選定	30
14.	水田の雨水貯留に関するフィージビリティ調査	30
14.1	計画の概要	30
14.2	事業の実施体制	31
15.	治水ダムの嵩上げとゲート運用の変更に係るフィージビリティ調査	32
15.1	現地調査及び地質状況	32

15.2	ダム嵩上げの基本設計.....	32
15.3	既設コンジットゲートの現地調査.....	33
15.4	ダム運用の変更.....	33
15.5	Sul ダム、Oeste ダムにおける放流管能力増強.....	34
16.	発電ダムの貯水池運用の変更に関するフィージビリティ調査.....	34
16.1	ダム運用変更の背景.....	34
16.2	予備放流の検討.....	34
16.3	運用体制に関する提案.....	35
17.	Itajai 市イタジャイミリム川の水門設置に関するフィージビリティ調査.....	36
17.1	イタジャイミリム川の洪水特性.....	36
17.2	水門の機能と操作および効果.....	36
17.3	水門の基本設計.....	39
18.	既存の洪水予警報システムの強化に関するフィージビリティ調査.....	40
18.1	既存の水文気象観測施設の強化.....	40
18.2	既存の洪水予測方法の妥当性.....	40
18.3	洪水予警報システム強化のための組織体制に関する提案.....	42
19.	土砂災害構造物対策のフィージビリティ調査.....	43
19.1	基本方針.....	43
19.2	土砂災害の分類と構造対策工の選定.....	43
20.	土砂災害・フラッシュフラッド予警報システムのフィージビリティ調査.....	44
20.1	雨量観測とデータの伝達手段と保存方法.....	44
20.2	注意報および警報の発令に供する雨量指標基準.....	44
20.3	情報管理、雨量指標の計算、注意報と警報の発令.....	45
20.4	避難指示と防災教育.....	45
20.5	リスク回避のための道路交通規制.....	45
21.	環境社会配慮.....	45
21.1	初期環境評価（IEE）のレビュー.....	45
21.2	重要な環境社会面への影響に対する緩和策.....	45
22.	事業費、事業実施機関と実施体制、事業実施スケジュール、及び事業評価.....	46
22.1	事業費.....	46
22.2	事業実施機関と実施体制.....	46
22.3	事業実施スケジュール.....	47
22.4	事業評価.....	47

表 目 次

	頁
表-1 氾濫域内の土地利用区分（2000 年）	3
表-2 主要洪水の確率規模の評価.....	6
表-3 2008 年 11 月洪水・土砂災害の被災記録.....	7
表-4 SC 州政府関連機関の緊急対策費用.....	7
表-5 SC 州政府関連機関の復旧事業費用.....	7
表-6 河道の流下能力の評価（イタジャイ川本流）	9
表-7 河道の流下能力の評価（支流）	10
表-8 イタジャイ川流域の河川水位警報基準.....	11
表-9 洪水予警報のための既設観測施設の状況.....	12
表-10 イタジャイ川流域の都市別の洪水被害特性.....	12
表-11 土砂災害/土砂生産インベントリー項目	16
表-12 各治水安全度における計画事業.....	20
表-13 各治水安全度における計画事業の概要.....	21
表-14 洪水予警報システムのための新設観測施設の提案.....	22
表-15 土砂災害管理マスタープランの構成.....	22
表-16 土砂災害対策/土砂生産・フラッシュフラッド軽減に対し必要な技術整備 と実行計画.....	25
表-17 マスタープラン総事業費.....	25
表-18 経済評価結果.....	26
表-19 Rio Bonito ダムと Pinhal ダムにおける予備放流方法の提案.....	34
表-20 Old Mirim 沿いの浸水面積	37
表-21 水門の主要諸元.....	39
表-22 山側斜面崩壊に対する構造物対策工.....	43
表-23 谷側の崩壊への対策工の選定.....	44
表-24 各地すべりブロックの安定解析結果と対策工一覧表.....	44
表-25 第 1 期事業の総事業費.....	46

図 目 次

	頁
図-1 本調査の全体スケジュール.....	1
図-2 SC 州の行政機関組織図.....	2
図-3 国家水資源管理システムの構成機関.....	4
図-4 イタジャイ川流域の主要ダム位置図.....	5
図-5 各基準点における確率洪水流量.....	8
図-6 イタジャイ川本川の確率洪水流量毎の不等流計算結果.....	9
図-7 洪水予警報活動に関する現在の SC 州の体制	11

図-8	SC 州およびイタジャイ川流域の土砂災害数経年変化（1980-2003 年）	15
図-9	土砂災害/土砂生産危険箇所分布図と土砂災害/土砂災害リスク・マップの 例	17
図-10	イタジャイ川流域に適用可能な治水対策代替案	19
図-11	Blumenau 市イタジャイ川の複断面化のイメージ図	19
図-12	イタジャイ川流域で水不足が想定されるマイクロ流域	20
図-13	50 年確率洪水防御計画の位置図	21
図-14	土砂災害・フラッシュフラッド予警報の概要	23
図-15	土砂災害・土砂災害軽減対策の例	24
図-16	50 年治水安全度に対する事業実施計画	26
図-17	土砂災害の構造物対策に対する事業実施計画	27
図-18	治水事業の段階的整備のイメージ	30
図-19	水田貯留のイメージ	31
図-20	Oeste ダム嵩上げの標準断面	32
図-21	Oeste ダム嵩上げ後の減勢工形状	32
図-22	Sul ダム越流部の嵩上げ形状	33
図-23	Oeste ダムの洪水調節方法	33
図-24	Sul ダムの洪水調節方法	34
図-25	予備放流実施に係る組織体制の提案	35
図-26	Old Mirim における水門の配置図	36
図-27	Itajai 市の水位および雨量計の位置	37
図-28	水門ありなしによる Old Mirim 沿いの浸水範囲の推定	38
図-29	水門の操作に関する組織体制の提案	39
図-30	水門の一般図	40
図-31	FFWS 観測システムと CCTV の配置場所	41
図-32	予警報システムに関する組織体制の提案	43
図-33	事業実施機関と事業実施体制	47
図-34	事業実施スケジュール	48

Abbreviation

Abbreviations	Portuguese	Japanese
ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos	ブラジル水資源連合
ALESC	Assembléia Legislativa do Estado de Santa Catarina	SC 州議会
AMAVI	Associação dos Municípios do Alto Vale do Itajaí	イタジャイ上流域市連合
AMFRI	Associação dos Municípios da Região da Foz do Rio Itajaí	イタジャイ河口域市連合
AMMVI	Associação dos Municípios do Médio Vale do Itajaí	イタジャイ中流域市連合
ANA	Agência Nacional de Águas	国家水機構
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica	国家電力機構
APA	Área de Proteção Ambiental	環境保護地区
ARCOVALI	Associação de Rádios Comunitárias de Santa Catarina	イタジャイ流域コミュニティーラジオ連合
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento	SC 州上下水道公社
CDRURAL	Conselho Estadual de Desenvolvimento Rural	地方開発審議会
CDU	Conselho de Desenvolvimento Urbano	都市開発審議会
CEDEC	Conselho Estadual de Defesa Civil	SC 州シビルデフェンス審議会
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.	SC 州電力公社
CEMEAR	Centro de Motivação Ecológica e Alternativas Rurais	エコロジー・代替農村振興センター
CEOPS	Centro de Operações do Sistema de Alerta da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu	警報システム管理センター
CEPED	Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres	連邦大学 SC 校災害研究調査センター
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos	州水資源審議会
CIDASC	Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina	SC 農業開発公社
CIRAM	Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina	SC 州環境資源・水文気象情報センター
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos	国家水資源審議会
COHAB	Companhia de Habitação	住宅局
COMDEC	Comissões Municipais de Defesa Civil	市の市民保護委員会
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente	国家環境審議会
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente	州環境審議会
COREDEC	Coordenadorias Regionais de Defesa Civil	地域シビルデフェンス調整機構
CRAVIL	Cooperativa Regional Agropecuária Vale do Itajaí	イタジャイ流域農牧業地域農協
CTTMAR	Centro de Ciências e Tecnológicas da Terra e do Mar	土地・海科学技術センター
Defesa Civil	Defesa Civil	市民保護局
DEINFRA	Departamento Estadual de Infraestrutura	州インフラ整備部
DEOH	Departamento de Edificações e Obras Hidráulicas de Santa Catarina	SC 水利施設部
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica	国家水電気エネルギー庁
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes	国家交通社会基盤庁
EAS	Estudo Ambiental Simplificado	簡易環境調査
EIA	Estudo de Impacto Ambiental	環境影響調査
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina	SC 州農牧畜試験普及公社
FAPESC	Fundo de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de Santa Catarina	SC 州科学技術研究支援基金
FATMA	Fundação do Meio Ambiente	州環境財団

Abbreviations	Portuguese	Japanese
FECAM	Federação Catarinense de Municípios	SC 市連合
FUNAI	Fundação Nacional do Índio	国家先住民財団
FURB	Fundação Universidade Regional de Blumenau	BLUMENAU 地方大学
GTC	Grupo Técnico-Científico	技術科学グループ
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	ブラジル地理情報院
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais	国家試験研究調査院
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	連邦宇宙研究所
JICA	Agência de Cooperação Internacional do Japão	独立行政法人国際協力機構
MMA	Ministério do Meio Ambiente	環境省
MPE	Ministério Público Estadual	州自治省
PCHs	Pequenas centrais hidrelétricas	小水力発電所
PEEA	Política Estadual de Educação Ambiental	州環境教育政策
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente	国家環境政策
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos	国家水資源政策
RAP	Relatorio Ambiental Previo	事前環境レポート
REABRI	Rede de Educação Ambiental da Bacia do Rio Itajaí	イタジャイ流域環境教育ネット
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental	環境影響報告書
SDR	Secretaria de Desenvolvimento Regional	州地域開発局
SDS	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável	州持続的開発局
SDU	Secretaria de Desenvolvimento Urbano	都市開発局
SEAIN-COFIEX	Secretaria de Assuntos Internacionais/ Comissão de Financiamentos Externos	企画予算管理局
SEMASA	Serviço Municipal de Água, Saneamento Básico e Infra-estrutura de Itajaí	市イタジャイ流域上下水インフラサービス
SIEDC	Sistema Estadual de Defesa Civil	州シビルデフェンスシステム
SIRHESC	Sistema de Informações de Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina	SC 州水資源情報システム
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente	国家環境システム
SMA	Secretaria de Meio Ambiente	環境局
SPG	Secretaria de Estado do Planejamento	州地理院
STN/MF	Secretária do Tesouro Nacional/ Ministério da Fazenda	財務省
UCs	Unidades de Conservação	保全ユニット
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina	SC 州立大学
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina	連邦大学 SC 校
UNIFEBE	Centro Universitário de Brusque	BRUSQUE 大学
UNIVALI	Universidade do Vale do Itajaí	イタジャイ溪谷大学

第1部 マスタープラン調査

1. 序論

1.1 調査の背景

イタジャイ川流域（流域面積 15,221 km²）は、ブラジル国南部のサンタ・カタリーナ州の中心に位置し、歴史的に水害が頻発している。1983年及び1984年に2年連続で発生した洪水被害後、ブラジル国政府に対する日本政府の技術協力として下記の調査が実施された。

- ・ 「イタジャイ河流域治水計画調査」（1986-88年）
- ・ 「イタジャイ河最下流域治水計画調査」（1988-90年）

1996年、州政府は円借款案件として、イタジャイ河流域洪水制御事業を日本政府に要請したが、ブラジル国政府の政府保証が得られなかったため借款契約の締結には至らなかった。

2008年11月から12月にかけて同州を襲った集中豪雨は、イタジャイ川流域に大災害を引き起こした。この災害を受け州政府は災害防止への取組みを強化するために、我が国に対する技術的・資金的支援要請する意向を表明し、イタジャイ川流域防災対策事業準備調査の実施が、2009年11月5日に州政府と日本政府で合意された。

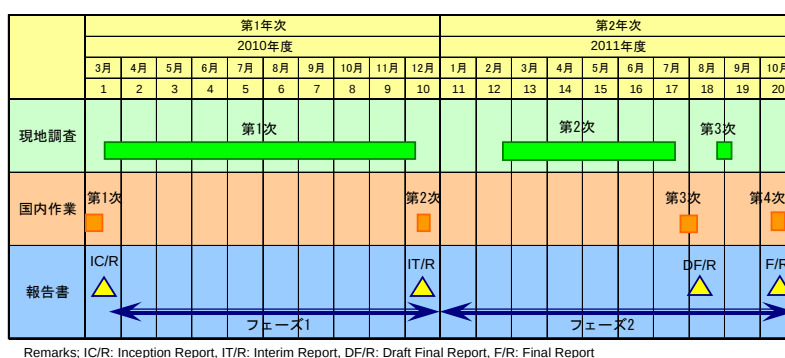
1.2 調査の目的

本調査は、下記を目的として実施した。

- イタジャイ川流域の洪水・土砂災害対策のマスタープランを作成する。
- マスタープランで提案される事業のうち円借款供与の可能性が想定される優先事業のフィージビリティスタディを行う。

1.3 調査全体スケジュール

本調査は、2つのフェーズに分けられて実施された。フェーズ1は2010年3月から12月まで、フェーズ2は2011年3月から10月である。フェーズ1では、調査地の基礎調査とマスタープランの策定が実施された。フェーズ2では、マスタープランで選択された優先プロジェクトのフィージビリティスタディが実施された。



出典：JICA 調査団

図-1 本調査の全体スケジュール

1.4 調査実施体制

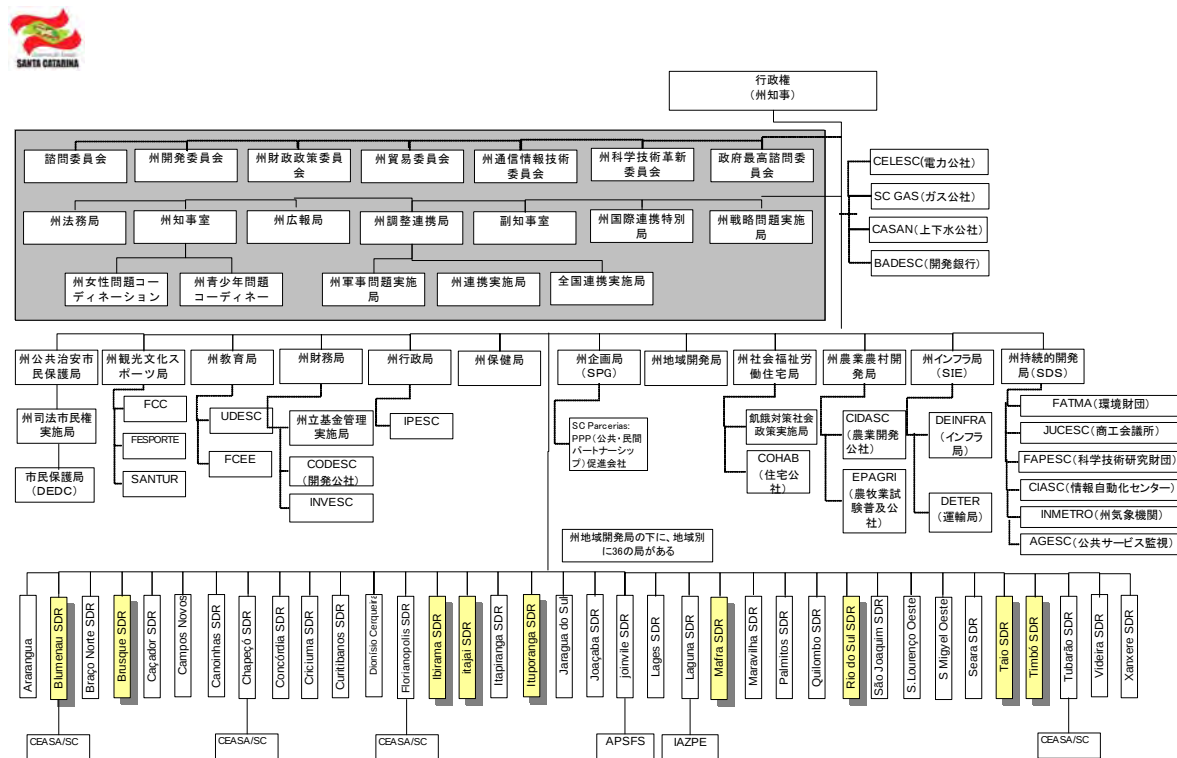
州政府側の実施機関は州科学技術研究支援基金（FAPESC）で、共同でマスタープランの作成を行った。円滑な調査実施のため、FAPESCによりカウンターパート会議が設置され、会議のメンバーは、主要な関連機関から選任された。関係機関が多いことから、チーフ・カウンターパートとして SDS、Defesa Civil、DEINFRA から各1名が指名された。

2011 年 1 月から新知事が就任し新体制がスタートしたが、Defesa Civil が新たに局に昇格した。これに関連して、フェーズ 2 では実施機関が FAPESC から Defesa Civil に変更となったが、FAPESC はカウンターパート機関として参加した。

2. 調査対象地域の現況

2.1 関連行政機関

下図に、2010 年時点での州の行政機関を示す。行政機構は州政府を中心として、21 局および 36 地方開発局および 29 の外郭団体から構成されている。



出典：SC 州政府

図-2 SC 州の行政機関組織図

2.2 社会・経済状況

2009 年時点におけるイタジャイ川流域の人口は 123.2 万人であり、州全人口の 20%を占める。人口は 1970 年以降、流域全体で年率 2.0%の割合で増加しており、特にインフラの整備された Itajaí 市、Blumenau 市及び Brusque 市で増加している。一方、イタジャイ川流域上流部の人口は、停滞もしくは減少傾向にあり、中都市への人口移動が顕著になっている。

当該流域の産業構成はサービス部門が主要な生産活動となっており、地域生産額の約 50.2%を占めている。特に下流域の Itajaí 市は、港湾を主体とするサービス業による生産活動が主となっている。工業部門は、Brusque 市、Timbó 市、Blumenau 市および Ibirama 市の各市で重要な産業となっている。サービス部門は、近年、全地域とも年間 20%以上の伸びを示している。

2.3 地形・地質

イタジャイ川は大西洋と沿岸低地部を除き標高 200～1750 m 程度の山地に囲まれている。流域の標高区分として、100 m 以下が約 11%、500～1000 m は約 53%、標高 1000 m 以上は 1%に満たない。イタジャイ川流域の地質は南アメリカの安定大陸を構成する始生代～原

生代の岩盤を基盤とし、その上位に古生代、中世代の堆積岩類が分布し、最上位に中世代に流出した玄武岩が分布している。大西洋岸の低地や河川両岸の低地分布する沖積層を除けば、地層は全体として概ね北東部が古く、南西部が新しい。流域上流部には中生代、古生代の岩石が、中・下流部には古生代の堆積岩類、始生代～原生代の変成岩類が広く分布している。

2.4 気象・水文

イタジャイ川流域の年間雨量の平均値は 1,560 mm であり、最低値は 1968 年の 986 mm、最高値は 1983 年の 2,632 mm である。また、未曾有の被害を及ぼした洪水があった 2008 年は、洪水時の降雨が Indaial 付近より下流側に集中したため、流域平均雨量としては 1,899 mm と過去の雨量規模の範囲内に収まっている。イタジャイ川流域は 4 月～8 月の雨量が比較的小なく、9 月以降から徐々に増加し、1～2 月に最も多い。ただし、1983 年 7 月、1984 年 8 月洪水など少雨期であっても洪水は発生している。

1980-2004 年間の年平均流量は Ituporanga で 40 m³/s、Rio do Sul で 131 m³/s、Indaial で 269 m³/s である。Blumenau の年平均流量は 1982-2004 年間で 340 m³/s となっている。雨季と乾季の区別は明瞭ではないが、9 月から 2 月までの月平均流量は、年平均流量よりも高くなっている。

2.5 土地利用

流域全体では森林は 64.6%を占めており、次いで農用地/放牧地が 36.7%となっている。都市部は 2.5%である。下表に、イタジャイ川沿いの洪水氾濫域の土地利用状況を示す。主な都市部は洪水の氾濫域に位置しており、流域住民の大半が居住している。

表-1 氾濫域内の土地利用区分（2000 年）

土地利用区分	面積 (km ²)	割合(%)
農用地/放牧地	505.2	58.0%
水田	86.6	9.9%
都市部	214.2	24.6%
水域	64.4	7.4%
合計	870.4	100.0%

出典：JICA 調査団整理（IBGE データを基に JICA 調査団整理）

2.6 イタジャイ川流域委員会

連邦政府は、法律 No. 9,433, 08/01/1997 で、水資源管理を実践するための国家水資源政策と国家水資源管理システムを規定している。水資源管理は流域単位で実践することを基本とし、流域の法的整備を通して基準を定め、参加型の諸機関を設立するよう規定している。水に関する行政は、水資源審議会を中心とした政策決定機関により流域に関する規制等が設定されることになる。実行機関はその法制度に基づき実行する機関であり、連邦政府レベルでは ANA（国家水機構庁）がその役割を担っている。州レベルでは、流域ごとに水機構が設置され、流域に関する整備を行うことになっている。図-3 に、同法に基づく国家水資源管理システムの構成を示す。

イタジャイ川流域委員会は州令 2109/97 にて設置された機関で、水利用者 20 組織、住民代表 20 組織および公的機関代表 10 機関の 50 機関のメンバーから構成されている。

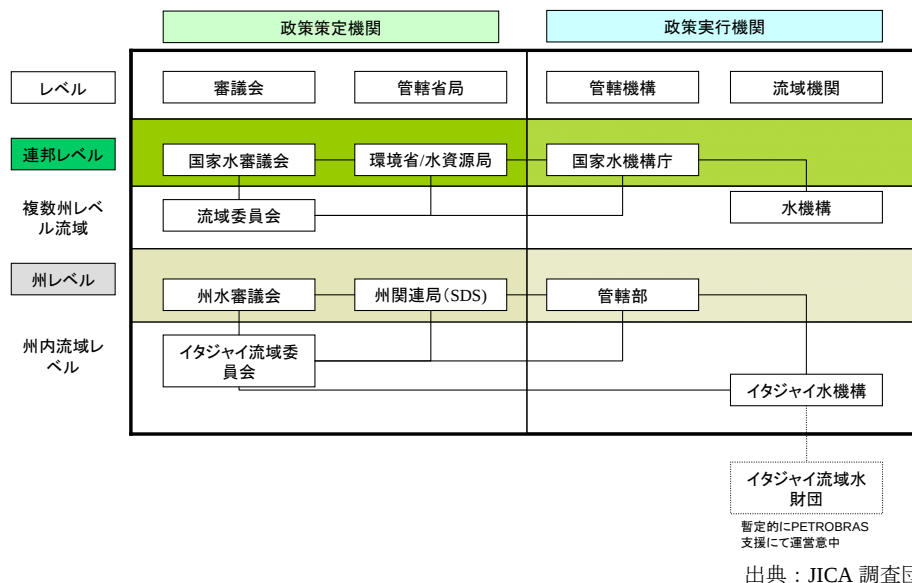


図-3 国家水資源管理システムの構成機関

3. イタジャイ川の洪水氾濫特性

3.1 河道特性

イタジャイ川は Blumenau 市までの下流区間が 1/15,000～20,000 とかなり緩い河床勾配であり、Blumenau 市の河床標高は平均海水面より低い。これより上流の Lontas 市下流（170 km 付近）までの中流区間は 1/100～1,500 と急勾配になるが、Lontas 市から Rio do Sul 市にかけての上流は再び 1/3,000 と緩くなる。

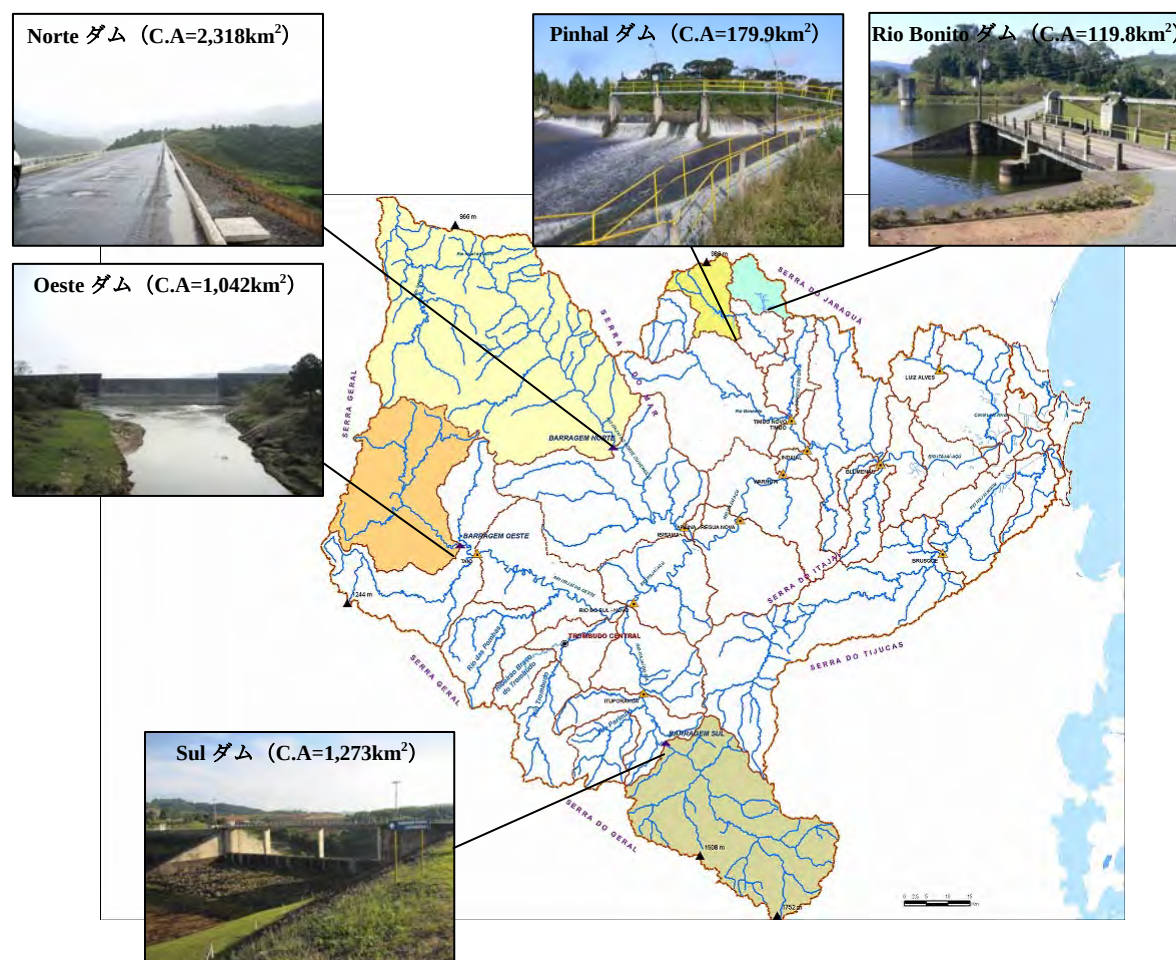
川幅は、下流区間で 200～300 m、Blumenau 市付近で 150～200 m、Rio do Sul 市で 100～150 m と上流に行くに従い狭くなる。イタジャイ川の現況河道は、堤防や目立った河川改修は行われておらず、Itajai 市の港湾部のコンクリートの岸壁やイタジャイミリム川の捷水路、部分的なショートカット河道を除くと、ほぼ全区間が自然のままの河道である。

3.2 既存の河川施設

代表的な治水施設として、上流の支川に建設された 3 基の洪水調節ダムがある。3 ダムの流域面積は合計で 4,633 km² であり、イタジャイ川流域全体の 31% を占める。Rio Bonito ダムおよび Pinhal ダムは、イタジャイ川の主要支川である Benedito 川の支川 Rio dos Cedros 市の上流に位置する発電用のフィルダム（CELESC 所有）である。いずれのダムも発電専用であり、基本的には洪水調節等の機能は有していないため、取水放流設備としては発電取水設備と洪水吐のみである。図-4 に位置図を示す。

上記以外の治水施設としては、Blumenau 市街地の右岸側（水衝部）に整備されている護岸工（コンクリートブロック張り）やその他の小規模な護岸工（簡易なかご工、捨て石工）があるのみであり、堤防、河道拡幅など、現河道の疎通能力を向上させる治水対策は見られない。

また、イタジャイミリム川では、洪水を速やかに流下させるために河道を直線化（代表的なものは Itajai 市のイタジャイミリム川放水路：Canal）しているが、下流の Itajai 市での洪水流量の増大を招いているとの指摘もあり、抜本的な洪水対策とはなっていない。



出典：JICA 調査団

図-4 イタジャイ川流域の主要ダム位置図

3.3 イタジャイ川の洪水氾濫特性

イタジャイ川流域における近年の洪水と市別の被害状況から、地域別の洪水対策の必要性は以下の通りである。

- i) 近年の洪水のうち比較的被害が顕著であったのは、1983 年 7 月、1984 年 8 月、1992 年 5 月、2001 年 10 月、2008 年 11 月の 5 洪水である。
- ii) 市別に見ると、洪水被害が最も顕著であるのは Blumenau 市であり、Itajaí 市、Gaspar 市、Rio do Sul 市も比較的被害が大きい。これらの 4 市は人口や産業の規模も大きく、治水対策の優先度が高い都市と言える。
- iii) また、その他の市のうち、Timbo 市、Taio 市は洪水被害に対する苦情が多く、上記の 4 市とともに対策を考慮すべき市と考えられる。なお、Timbo 市は Rio dos Cedros の上流にある発電ダム（Barragem Rio Bonito、Barragem Pinhal）の影響、Taio 市は Oeste ダムの越流の影響についても確認が必要である。
- iv) Navegantes 市、Ilhota 市も比較的被害があるが、これらの都市は Itajaí 市、Blumenau 市、Gaspar 市などの重要都市の対策により、結果的に安全度が増加する。
- v) 一方、Brusque 市、Ituporanga 市は 1983 年、1984 年、2008 年などの 50 年確率以上の大洪水時は被害が発生するが、他の都市に比べると現況河道の安全率が高く、対策の優先順位としては低い。

vi) また Blumenau 市上流から Itajai do Norte 川合流部までの区間は流下能力が大きく、この区間にある Indaial 市などの都市は、洪水被害規模は小さいため対策の優先順位は低い。

主要洪水の規模を各洪水が発生する確率で評価した。評価結果を下表に示す。大きな被害が発生した 1983 年、1984 年洪水はそれぞれ 76 年、66 年確率程度であり、続いて 1992 年洪水の 33 年確率が規模の大きい洪水である。2008 年洪水では流域下流で未曾有の豪雨が発生したが、流域全体の平均にすると降雨量は小さく 5 年確率程度となる。

表-2 主要洪水の確率規模の評価

洪水発生日	4 日雨量 (全流域平均)	確率規模 (年)	被害状況
1961 年 10 月 31 日	139 mm	6	—
1963 年 09 月 26 日	149 mm	8	—
1972 年 08 月 25 日	166 mm	13	—
1980 年 12 月 19 日	147 mm	7	—
1983 年 07 月 06 日	223 mm	76	Itajai 市～Blumenau 市間で大きな被害 Lontras 市から Rio do Sul 市で大きな被害 Timbo,Taio,Rio do Oeste,Ituporanga 各市で中～大被害
1984 年 8 月 05 日	218 mm	66	Itajai, Gaspar, Blumenau の各市で大きな被害、Brusque で大きな被害、Taio, Ituporanga の各市で中程度の被害
1992 年 05 月 28 日	196 mm	33	Itajai 市～Blumenau 市間で大きな被害、Rio do Sul 市で比較的小さな被害、Timbo 市で中程度の被害
1997 年 01 月 31 日	134 mm	5	Gaspar 市で比較的大きな被害 Blumenau 市で小さな被害
1999 年 07 月 02 日	150 mm	8	Rio do Sul 市で小さな被害
2001 年 09 月 29 日	147 mm	7	Itajai, Gaspar, Blumenau, Indaial, Lontras 各市で小さな被害、Rio do Sul で中規模の被害 Timbo,Taio の各市で小規模な被害
2005 年 05 月 18 日	144 mm	7	特に被害なし
2008 年 11 月 21 日	135 mm	5	下流域で未曾有の豪雨があり大きな被害があった。ただし、地域的な豪雨のため流域平均では確率規模が小さく計算される。
2010 年 04 月 23 日	130 mm	4	公的な資料なし、聞き取りでは Rio do Sul,Timbo,Taio の各市で小規模な被害あり

出典：JICA 調査団

3.4 2008 年 11 月洪水

2008 年 11 月洪水は 11 月 18 日頃から 11 月 27 日頃まで続いた。最も降雨が多かったのは 11 月 21 日から 24 日の 4 日間であり、各観測所の 4 日間の平均総雨量は 121 mm である。ただし、この洪水は流域の下流に集中しており、イタジャイ川流域で 236 mm、Benedito 流域で 214 mm、イタジャイミリム流域で 160 mm である。

Blumenau における最高水位は 11.5 m（水位計のスケール読み値と思われる）で 24 日の深夜 0 時頃に記録されている。調査団が ANA の日データの水位と流量記録を基に作成した水位・流量関係式（H-Q Curve）で流量に換算すると次のようになる。

Blumenau	H=11.5 m	Q=4,200 m ³ /s
Timbo	H=08.0 m	Q=0,710 m ³ /s
Indaial	H=06.0 m	Q=3,100 m ³ /s

表-3 に、洪水・土砂災害の被災記録を示す。Ilhota 市および Blumenau 市で甚大な被害を及ぼしている。下流域の Blumenau、Brusque、Gaspar、Ilhota、Itajai および Luis Alves 市では、ほぼ全住民が被災者となっている。

表-3 2008 年 11 月洪水・土砂災害の被災記録

市	人口	被災者割合	避難者数	被災者数	家屋喪失者	怪我人	死亡者	被害家屋	被害道路延長(km)
Benedito Novo	9,841	31%	102	712	210		2	191	576
Blumenau	292,972	35%		25,000	5,209	2,383	24	18,000	
Brusque	94,962	100%		8,000	1,200	66	1	1,220	120
Gaspar	52,428	100%		7,100	4,300	280	16	8,700	600
Ilhota	11,552	100%	3,500	3,500	1,300	67	26	406	
Itajai	163,218	100%	100,000	18,208	1,929	1,800	5	28,400	
Luis Alves	8,986	100%		3,232	239	41	10	220	40
Pomerode	25,261	1%		182	48		1	50	100
Rio dos Cedros	9,685	88%		595	96			283	300
Rodeios	10,773	5%		27	42		4	35	144
Timbo	33,326	2%						264	
合計	713,004		103,602	66,556	14,573	4,637	89	57,769	1,880

出典；AVADAMs enviados pelos municípios à Defesa Civil de Santa Catarina, nos dias 24 e 25 de novembro de 2008.

州政府関連機関の緊急対策費用と復旧事業費用を下表に示す。

表-4 SC 州政府関連機関の緊急対策費用

機関	予算 (R\$ 百万)	復旧事業内容
DEINFRA	254.8	道路復旧
市役所	25.8	市道復旧
	19.0	河川塵除去
	29.0	橋梁復旧
	64.0	公的施設の復旧
COHAB/SC	8.6	家屋崩壊者用家屋の建設
SST（住宅・社会労働局）	6.5	救済事業
州厚生局(SES)	70.0	衛生対策および疾病対策
Civil Defense	34.8	緊急避難対策
地方開発局 (SDR)	48.2	災害対策工事
Civil Defense Fund	1.5	緊急対応策
州公共安全局(SSP)	3.0	緊急避難
州管理局(SEA)	11.3	学校復旧
上下水公社 CASAN	2.0	上水復旧工事
電力公社 CELESC	29.0	電力網復旧
州資金	49.0	被災者緊急対策費
合計	656.5	

出典；Reconstrução Áreas afetadas Catástrofe Novembro/2008, SC 州

表-5 SC 州政府関連機関の復旧事業費用

機関	予算 (R\$ 百万)	復旧事業内容
イタジャイ港	350.0	イタジャイ港復旧
DEINFRA	1.0	ダム上下流での情報モニタリングシステムの整備
EPAGRI/CIRAM	10.0	土壌図、リスクマップ作成、気象分析、洪水リスク地区、気象警報システムの改善、GIS の改善等
Civil Defense	1.0	訓練
GTC	10.0	イタジャイ流域災害リスク軽減計画の策定
DEINFRA	112.0	迂回道
	1.0	アスファルト道路改修
		砂利道改修
電力公社 CELESC	1.5	サブステーション保護工
	3.8	配電網
SDS	20.3	地図情報、FURB 気象水文モニタリングシステムの構築、EPAGRI 気象モニタリングシステムの構築
農業局(SAR)	526.0	債務支払延期、特別融資ラインの設置等
財務局(SEF)	1,029.2	R\$ 845 百万の経営被害、R\$ 71.2 百万の商品損失、

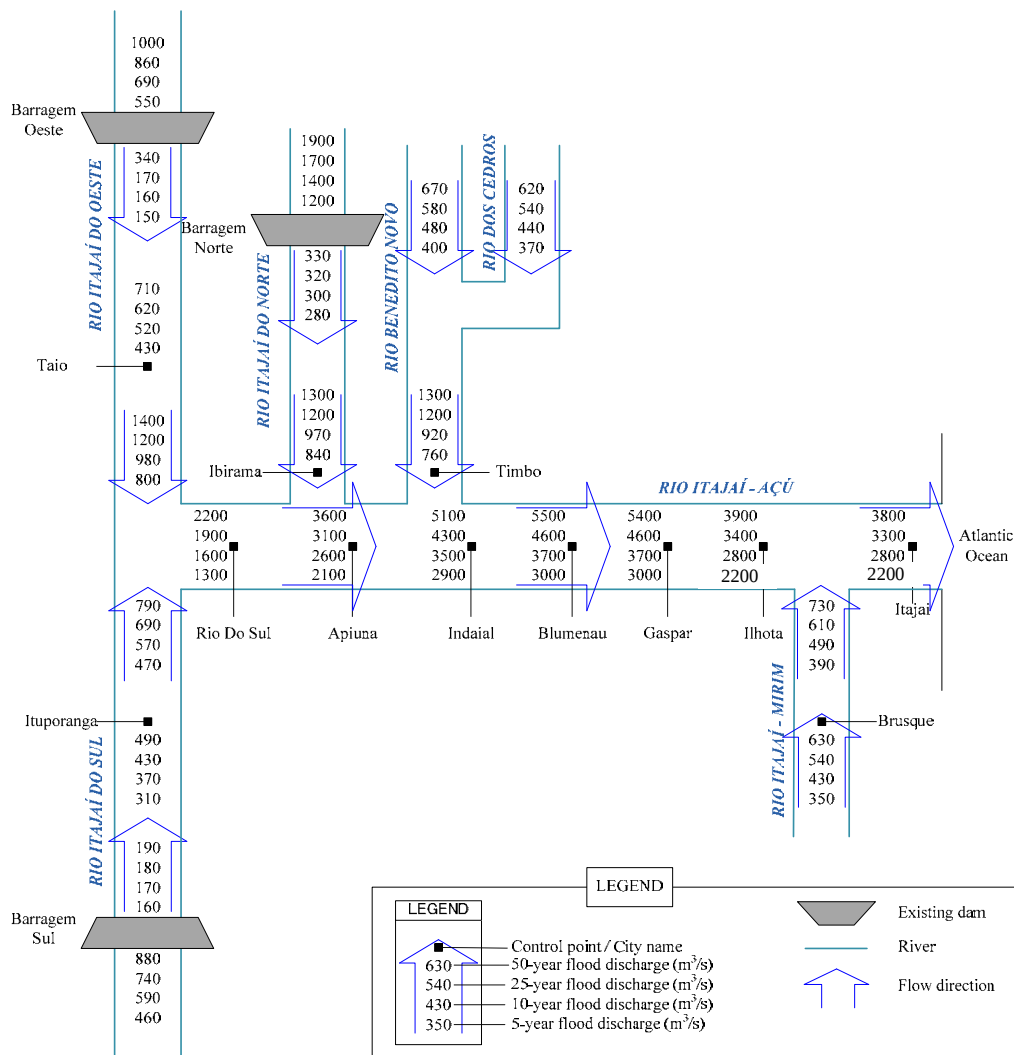
		R\$ 113 百万のインフラ被害等の対策 - 流通税の免除（2009 年 2 月まで） - 流通税の支払い延期 - 商品損失部分での流通税控除等
合計	2,065.8	

出典；Reconstrução Áreas afetadas Catástrofe Novembro/2008, SC 州

3.5 イタジャイ川の確率洪水流量

洪水流出解析により算定された各基準点における確率洪水流量を図-5 に示す。既存の 3 つの治水ダムの放流施設のゲートは全開としている。

Itajai 市上流の BR-101 号線から Ilhota 市あるいは Gapar 市付近に広がる氾濫原では、Itajai 市内に比べて河道の流下能力が低く、氾濫した洪水は BR-101 号線や SC-470 号線の道路盛土の影響で長時間湛水する。このような氾濫原効果の保全を前提とすれば、Itajai 市における計画洪水流量を小さくすることができ、対策に要する費用を縮減することができる。したがって、本マスタープランでは、Ilhota 市より下流の計画流量を、上記の氾濫原の遊水効果を見込んだ流量とした。

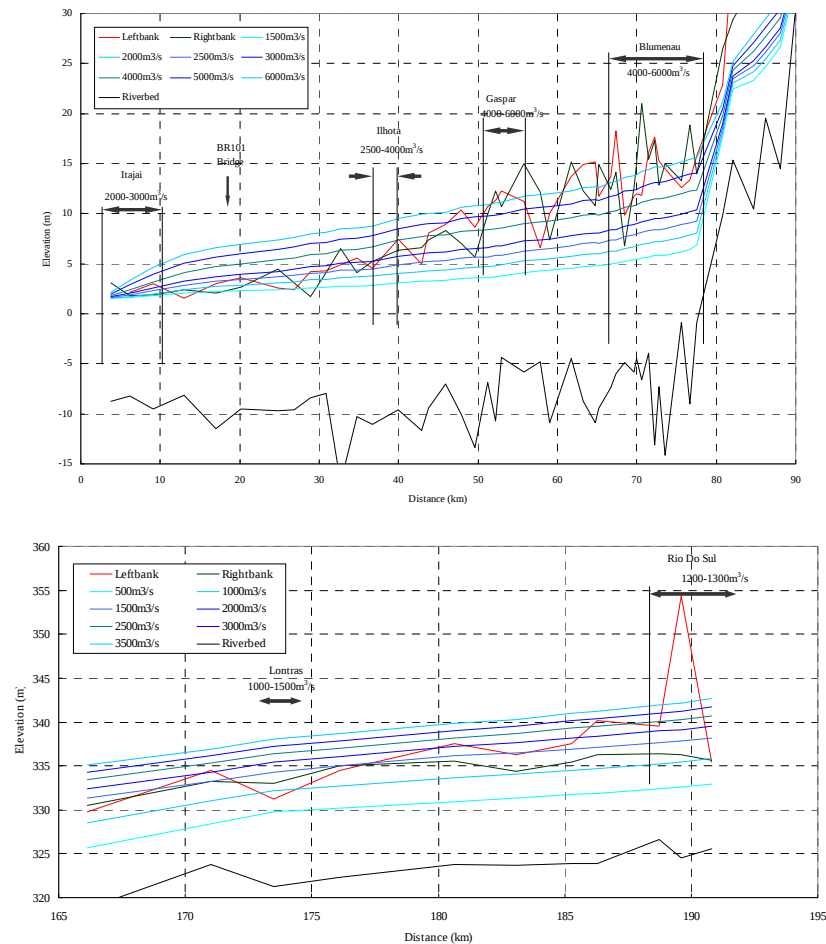


単位：m³/sec、出典：JICA 調査団

図-5 各基準点における確率洪水流量

3.6 イタジャイ川の流下能力の推定と評価

2010 年 6 月～8 月にかけて現地測量（河道の横断測量 143 断面）を実施し、イタジャイ川の縦横断形状を把握した。河道の流下能力を評価するために、河道断面を用いて不等流計算を行い流量別の河川水位を算定した。不等流計算結果を下図に示す。



出典：JICA 調査団

図-6 イタジャイ川本川の確率洪水流量毎の不等流計算結果

上記の不等流計算結果から、イタジャイ川流域の主要地点の流下能力を河道の越水流量で算定した。算定した流下能力を確率洪水流量（図-5 を参照）と比較して、主要地点の流下能力を評価した。下表に評価結果を示す。

表-6 河道の流下能力の評価（イタジャイ川本流）

河川	市	流下能力(m³/s)	対策の必要性
Itajaí Acu	Itajai Navegantes	2,000～3,000	流下能力：5 年確率流量程度（特に Itajai 市川が低い） 過去の被害実績と深刻度：Itajai 市の低標高地区は頻繁に浸水し、洪水対策のニーズが高い。 大洪水時の被害ポテンシャル：人口が非常に多く、経済面でも州の中心的な都市であり、被害ポテンシャルは高い。 対策の必要性：対策の優先度が高い。
	Ilhota	2,500～4,000	流下能力：10 年～25 年確率流量程度 過去の被害実績と深刻度：大洪水時に被害が発生する。 大洪水時の被害ポテンシャル：人口が少なく被害ポテンシャルは低い。 対策の必要性：対策は必要だが、優先度は低い。
	Gaspar	5,100～6,000	流下能力：25 年～50 年確率流量以上（市中心部は高い） 過去の被害実績と深刻度：大洪水時に被害が発生する。

河川	市	流下能力(m³/s)	対策の必要性
			大洪水時の被害ポテンシャル：人口が多く、被害ポテンシャルは高い。 対策の必要性：対策は必要だが、優先度は中程度。
	Blumenau	4,200～6,000	流下能力：25年～50年確率流量程度 過去の被害実績と深刻度：大洪水時に被害が発生する。 大洪水時の被害ポテンシャル：人口が非常に多く、経済的・社会的な中心都市のため、被害ポテンシャルは高い。 対策の必要性：対策は必要だが、優先度は中程度。 (ただし市街地を流下する小支川 Garcia 川、Velha 川の流下能力は5～10年確率流量程度であり、対策の優先度が高い。)
	Indaial	5,700	流下能力：50年確率流量以上 過去の被害実績と深刻度：洪水被害は少ない。 大洪水時の被害ポテンシャル：人口は多い。 対策の必要性：対策不要
	Lontras	1,000～1,500	流下能力は5～10年確率程度 過去の被害実績と深刻度：市街地の洪水被害は少ない。 大洪水時の被害ポテンシャル：人口は少ない。 対策の必要性：対策不要
	Rio do Sul	1220	流下能力：5年確率流量程度 過去の被害実績と深刻度：低標高地区は小規模な洪水で頻繁に浸水しており、対策ニーズが高い。 大洪水時の被害ポテンシャル：人口が多く、上流域の経済的な中心都市のため、被害ポテンシャルが高い。 対策の必要性：対策の優先度が高い。

出典：JICA 調査団

表-7 河道の流下能力の評価（支流）

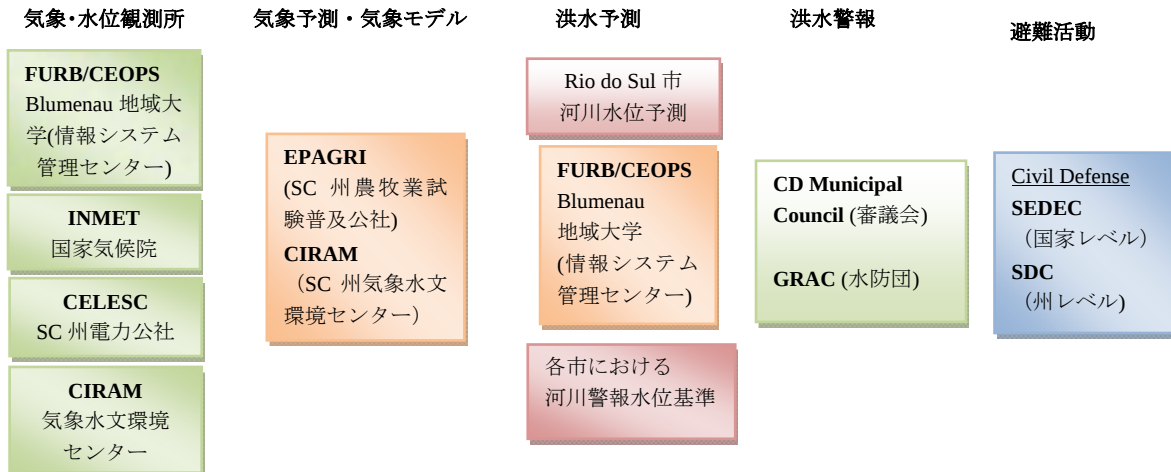
河川	市	流下能力(m³/s)	対策の必要性
Itajai Mirm	Itajai	300 (最下流) 500～600 (Canal) 200～300 (Old)	流下能力：最下流 5年確率以下、Canal 25～50年確率、Old Mirim 5年確率以下 過去の被害実績と深刻度：頻繁に浸水し、洪水対策のニーズが高い。 大洪水時の被害ポテンシャル：人口が多く、経済面でも州の中心的な都市であり、被害ポテンシャルは高い。 対策の必要性：対策の優先度が高い。
	Brusque	550～700	流下能力：25～50年確率以上である。 過去の被害実績と深刻度：浸水は発生するが、多くの場合は兩岸の道路のみ。 大洪水時の被害ポテンシャル：人口が非常に多く、大洪水時には被害ポテンシャルは高い。 対策の必要性：対策は必要だが、優先度は低い。
Benedito	Timbo	860	流下能力：5～10年確率流量程度 過去の被害実績と深刻度：頻繁に浸水しているとの情報あり。 大洪水時の被害ポテンシャル：人口、被害ポテンシャルは中程度 対策の必要性：対策は必要だが、優先度は中程度。
Itajai do Norite	Ibirama	2,000 以上	流下能力：50年確率流量以上 過去の被害実績と深刻度：洪水被害実績はない。 大洪水時の被害ポテンシャル：人口、被害ポテンシャルは中程度 対策の必要性：対策不要
Itajai do Oeste	Rio do Sul	760	流下能力：5年確率流量以下 過去の被害実績と深刻度：低標高地区は小規模な洪水で頻繁に浸水しており、対策ニーズが高い。 大洪水時の被害ポテンシャル：人口が多く、上流域の経済的な中心都市のため、被害ポテンシャルが高い。 対策の必要性：対策の優先度が高い。
	Taio	440	流下能力：5年～10年確率流量程度 過去の被害実績と深刻度：頻繁に浸水している。 大洪水時の被害ポテンシャル：人口、被害ポテンシャルは中程度 対策の必要性：対策は必要だが、優先度は中程度。
Itajai do Sul	Rio do Sul	300～500	流下能力：5年確率流量以下 過去の被害実績と深刻度：低標高地区は小規模な洪水で頻繁に浸水しており、対策ニーズが高い。 大洪水時の被害ポテンシャル：人口が多く、上流域の経済的な中心都市のため、被害ポテンシャルが高い。 対策の必要性：対策の優先度が高い。
	Ituporanga	450	流下能力：30～40年確率流量程度 過去の被害実績と深刻度：洪水の記録は少ない。 大洪水時の被害ポテンシャル：人口は中程度だが、市街地は丘の上にあり被害ポテンシャルは小さい 対策の必要性：対策不要

出典：JICA 調査団

4. 洪水予警報の現状と課題

4.1 洪水予警報活動の現状

現在、イタジャイ川流域における洪水予警報活動は一元的に管理しておらず、各関係組織が担う活動の連携が取れていないのが現状である。予警報システムに関する現状の SC 州の体制を図-7 に概念的に示す。



出典：JICA 調査団

図-7 洪水予警報活動に関する現在の SC 州の体制

Itajai 市を含む 16 の都市では、表-8 に示すように、過去の洪水経験から河川水位による警報基準を設定しており、河川水位上昇時には事前に各市の Defesa Civil が観測して各市の災害審議会に報告している。

表-8 イタジャイ川流域の河川水位警報基準

イタジャイ流域 市	標高 El. m	集水面積 km ²	通常 レベル	待機 レベル	警報 レベル	緊急 レベル(m)
Taio	360	1,575	4.0m	6.0m	6.5m	7.5m 以上
Rio do Oeste	-	-	4.0m	6.0m	9.0m	9.0m 以上
Trombudo	350	248	3.0m	4.0m	7.5m	7.5m 以上
Ituporanga	370	1,670	2.0m	3.0m	4.0m	4.0m 以上
Vidal Ramos	-	-	3.0m	4.0m	6.0m	5.0m 以上
Rio do Sul	350	5,100	4.0m	5.0m	6.5m	6.5m 以上
Ibirama	151	3,314	2.0m	3.0m	4.5m	4.5m 以上
Apiuna	93	9,241	3.0m	6.0m	8.5m	8.5m 以上
Benedito Novo	90	692	1.5m	2.5m	3.5m	3.5m 以上
Rio dos Cedros	80	510	1.5m	2.5m	3.5m	3.5m 以上
Timbo	73	1,342	2.0m	4.0m	6.0m	6.0m 以上
Indaial	60	11,151	3.0m	4.0m	5.5m	5.5m 以上
Blumenau	12	11,803	4.0m	6.0m	8.5m	8.5m 以上
Gaspar	11	12,141	4.0m	6.0m	8.5m	8.5m 以上
Ilhota	-	12,357	6.0m	8.0m	10.5m	10.5m 以上
Itajai	-	15,221				

出典：FURB/CEOPS

4.2 洪水予警報活動の課題

SDS から委託を受けた FURB/CEOPS は、イタジャイ川流域に対する洪水予警報を目的として、1985 年にイタジャイ川流域に 14 か所の観測所を設置した。しかし、下表-9 に示す問題

を抱えており十分に運用されているとは言えない状況である。

表-9 洪水予警報のための既設観測施設の状況

既設の観測所			観測施設の状況
1	Taio	雨量・水位計	通信システムの改修が必要
2	Rio Oeste	雨量・水位計	観測機器の不良、GSM の故障、維持管理担当者の不在
3	Saltinho	雨量・水位計	観測機器の不良、GSM の故障、維持管理担当者の不在
4	Ituporahga	雨量・水位計	通信システムの改修が必要
5	Rio do Sul	雨量・水位計	
6	Barra do Prata	雨量・水位計	観測機器の不良、維持管理担当者の不在によりリアルタイムでの計測は行われていない。
7	Ibirama	雨量・水位計	Norte ダムの放流量を考慮、通信システムの改修が必要
8	Apiuna	雨量・水位計	水位自動記録・テレメトリーの破損により周辺住民が情報を提供、しかし管理費未払いのため情報提供中断
9	Timbo	雨量・水位計	
10	Indaial	雨量・水位計	観測機器の不良、GSM の故障、維持管理担当者の不在
11	Blumenau	雨量・水位計	—
12	Salseiro	雨量・水位計	GSM 通信システムの故障
13	Botuvera	雨量・水位計	GSM 通信システムの故障
14	Brusque	雨量・水位計	河床堆砂による水位計の故障

出典：JICA 調査団

5. 洪水災害緩和に係るニーズとマスタープラン策定の基本方針

5.1 都市別の洪水災害問題と治水対策ニーズ

下表にヒアリング結果や現地調査を通して、各都市の洪水被害の特性をまとめた。

表-10 イタジャイ川流域の都市別の洪水被害特性

河川名	都市名	人口	ヒアリング及び現地踏査結果	情報元
イタジャイ川	Itajai	172,081	・ 1980 年以降 7 回の洪水被害あり ・ 人口が多いため被災人口が多い	報告書
			・ 市内はイタジャイ本川よりイタジャイミリム川の氾濫が深刻 ・ 潮位と洪水による本川水位上昇がイタジャイミリム川の排水を阻害 ・ 都市排水施設が脆弱、ポンプ場もなし ・ イタジャイミリム川の橋梁が流下能力を阻害 ・ 警報システムはあるが、Blumenau 市ほど充実していない ・ 旧イタジャイミリム川沿いに保護区域（緑地帯）の計画あり	市計画局、 工事局 UNIVALI（イ タジャイ溪谷大 学） 現地調査
			・ 土砂流入が多く、毎年膨大な浚渫が必要 ・ 流域内の生産土砂対策が必要	Itajai 港 現地調査
	Navegantes	57,324	・ 洪水の頻度は少ない（1980 年以降 3 回） ・ 地盤標高が高いため洪水被害は少ない ・ 洪水時の港湾部の土砂堆積の方が問題	報告書 市財務局、 計画局、現地 調査
	Ilhota	12,149	・ 洪水の頻度は少ない（報告書では 1980 年以降 2 回だが、市職員からの情報では 5 回） ・ SC-470 号線沿いの低地は、背水不良で洪水時に浸水しやすい ・ イタジャイ川本川に架橋計画あり	報告書 市計画局 現地調査
	Gaspar	55,489	・ 1980 年以降 7 回の洪水被害あり、被災人口が多い ・ 市内は川が狭く、橋梁の河道阻害率が大きい	報告書 現地調査
	Blumenau	299,416	・ 1980 年以降 14 回の洪水被害が発生、被災人口多い ・ 1983 年と 1984 年洪水は、緩やかな本川水位上昇で浸水 ・ 2008 年洪水では本川の氾濫は無いが、支川の急激な水位上昇（フラッシュフラッド）で被災（Garcia、Velha、Fortaleza 川）	報告書 現地調査
			・ 山間部の宅地開発がフラッシュフラッド、土砂災害の大きな原因、川沿いの違法住宅が問題 ・ 支川（Fortaleza、Garcia、Velha、Itoupava）で護岸、橋梁、都市排水、水門とポンプ施設の計画あり ・ 今後は市の北側（Itoupava 川沿い）に開発が進む ・ Itoupava 川では現在洪水の問題はない	市工務局、 計画局 現地調査

河川名	都市名	人口	ヒアリング及び現地踏査結果	情報元
			- 警報は CIRAM、FURB の情報に基づきラジオ、インターネットで実施、FURB では 6 時間後の水位を予測 - 河川沿いの違法住居が洪水被害を助長 - 河岸が砂地盤で、植生が無いと、斜面崩壊や家屋倒壊したすい - 条例に従い河川沿いに 30 m の保護地区を確保し緑化することを考えている。植生管理が治水対策上も重要 - Fortaleza 川河口部の水門施設が問題 - 本川左岸に市が計画している護岸計画は、治水対策上の効果が無く、貴重な森林が失われる	イタジャイ川流域委員会、FURB 現地調査
	Indaial	50,917	- 洪水の頻度は少ない（1980 年以降小規模な被害が 3 回） - イタジャイ川の流下能力が大きい	報告書、現地調査
	Ascurra	10,996	洪水被害はなし	報告書、現地調査
	Apiuna	6,945	洪水被害はなし	報告書、現地調査
	Lontras	9,660	洪水の頻度は少ない（1980 年以降小規模な被害が 3 回）	報告書、現地調査
	Rio do Sul	59,962	被災人口は少ないが、浸水被害は多い（1980 年以降 8 回）	報告書、現地調査
			- 小規模な浸水被害は非常に多い（年 2 ～ 3 回） - 違法住宅など土地利用の問題が大きい - 上流 2 ダム（Oeste、Sul ダム）の操作に問題あり - ダムからの情報（水位、流量等）が不十分（ダム側でも流量は把握していない） - 市街地の河道の拡張は困難 - 非常時のマニュアルを整備中	市計画局、Defensa Civil 現地調査
イタジャイミリム	Brusque	102,280	- 水田、かんがい施設を利用した雨水貯留計画を検討中 - 小規模ダムにより支川の水を水田に引き込み貯水する	CRAVIL 現地調査
			- 洪水の頻度は少ない（1980 年以降が洪水被害 3 回） - 近年河道整備が進み洪水の問題は少ない。 - 洪水時は河道沿いの道路は冠水するが市内には及ばない（市内の冠水は 1984 年のみ） - 河川の蛇行部では水衝部の侵食で宅地に影響する可能性あり	報告書 市計画局、 現地調査
Benedito	Timbo	35,303	1980 年以降 6 回の洪水被害があるが、被災人口は少ない - 降雨時は Rio dos Cedros 上流の 2 つの発電ダムの急激な放流で頻繁に冠水 - 今年 6 月に Rio dos Cedros 市と合同で、1,200 名の住民署名で洪水対策として貯水池の運用水位を下げる嘆願書を州知事に提出した - Benedito 川からの洪水に加えて、Rio dos Cedros 川からの洪水も加わる	DEINFRA FURB/CEOPS 市議会議員 現地調査
	Benedito Novo	10,335	洪水被害はほとんどなし	報告書
	Rio dos Cedros	10,170	- Timbo 市と同様に上流の 2 つの発電ダムの急激な放流で頻繁に冠水。Timbo 市と合同で、今年 6 月に 1,200 名の住民署名で洪水対策として貯水池の運用水位を下げる嘆願書を州知事に提出した - Rio dos Cedros 川の水深が 6m を超えると市内家屋の浸水が始まる。市内の氾濫区域マップの作成は終了した	FURB/CEOPS 市長、市議会議員 現地調査
Itajai do Norte	Ibirama	17,469	洪水被害はなし	報告書、現地調査
Itajai do Oeste	Laurentino	5,757	洪水被害はほとんどなし	報告書
	Rio do Oeste	7,033	洪水被害はほとんどなし	報告書 現地調査
	Taio	17,522	1980 年以降 6 回の洪水被害あり、被災人口は少ない - 上流 Oeste ダムの越流により冠水しやすい 2010 年 4 月洪水で市役所付近が 1.5m 程度冠水。Oeste ダムのゲートを早く閉めすぎとの意見あり - 河道の疎通能力は 1,000 m³/s 程度あるが、Oeste ダムのゲート全開の放流可能量は 160 m³/s 程度である	報告書 DEINFRA 現地調査
	Trombudo	6,520	洪水の頻度は少ない（1980 年以降小規模な被害が 3 回）	報告書、 現地調査
Itajai do Sul	Ituporanga	21,496	洪水の頻度は少ない（1980 年以降小規模な被害が 2 回）	報告書 現地調査

出典：JICA 調査団

5.2 本調査で適用される基本原則

2009年11月5日に締結された本調査に係る協議議事録（M/M）では、本調査で計画する自然災害対策に係る基本原則が以下のとおり設定されている。

- i) 生物多様性の喪失や住民移転などの環境や社会への負の影響を極力避ける。
- ii) 事業対象地域の下流域への流速・洪水流量の増加などの悪影響を及ぼすことを避ける。
- iii) 各支流の保水機能を高め、本川への洪水流出の遅れを促進する。
- iv) 河川流域内の施設やスペースの多目的利用を促進する。

5.3 洪水災害緩和対策マスタープラン策定の基本方針

関連行政機関や大学及びイタジャイ流域委員会の意見交換、並びに基本原則を基に、治水代替案を含めた治水対策マスタープラン策定の基本方針を設定した。

- i) 現時点では計画規模である治水安全度の設定は難しいと考えられるので、洪水防御対象地区を選定し5年、10年、25年、50年の治水対策を提案して、イタジャイ川流域委員会や州行政機関（州知事や局長レベル）と議論して、治水安全度を選択する。
- ii) なお、洪水防御地区の選定や各治水安全度に対する代替案の組み合わせや治水効果の評価等は、イタジャイ川流域委員会（委員会内に設置された防災部会）と一緒に議論する。
- iii) 我が国の総合治水の観点を踏まえてマスタープランを策定する。洪水の流出を遅らせる流域対策を検討する。流域での氾濫を許容し、洪水被害の最小化を目標とした『洪水を散らす治水対策』を検討する。
- iv) イタジャイ川水資源管理マスタープランでも提案されている水田への雨水の一時貯留や小規模貯水池は、洪水流出を遅らせることが可能であり検討する。CRAVIL（イタジャイ流域農牧業地域農協）によれば、対象となる水田の総面積は22,000 haでRio do Sul上流からイタジャイ市付近までを想定している。
- v) 3つの治水ダムが建設されているが、その内、Oeste ダムと Sul ダムの嵩上げによる治水容量の増強により洪水流出を遅らせることが可能と考えられる（特に、ダム下流に位置するRio do Sul と Taio 両市の治水対策には有望である）。
- vi) Gaspar 市より下流のイタジャイ川沿いの自然遊水地は、牧草地や田畑として利用されている。この自然遊水地はイタジャイ下流域への洪水流量の低減効果があるので機能を維持させるため現状維持とする。
- vii) 洪水防御対象地区としては、Rio do Sul, Blumenau, Itajai の各市で優先度が高い。上流域の流域対策により極力洪水の流出を遅らせることに加え、各地区の洪水氾濫特性や都市計画（土地利用計画）を十分配慮した上で、可能な対策代替案を検討する。
- viii) 本流からの洪水に加えて、Itajai 市の洪水氾濫は、イタジャイミリム川への背水（潮位の影響も加わる）、市内の雨水排水能力不足、イタジャイミリム川からの洪水流入が原因であり、その影響の度合いを評価した上で対応策を検討する。
- ix) フラッシュフラッド対策は、河道内の違法宅地も多く、都市計画（土地利用規制やゾーニング）との調整が必要となる。
- x) 治水安全度が50年と高くなれば、遊水地等による流域対策だけでは限界がある。高水敷設置による河道の拡幅が必要となる。高水敷の活用に関しては、水資源管理マ

スタープランの河畔林再生プログラムを組み込むことが必要となる。また、ガスパル下流の氾濫域や Itajai 市の氾濫時間の短縮や湛水深を下げるために、洪水放水路が必要となる可能性が高い。

- xi) マスタープランの計画目標年次は選定される治水安全度にもよるが、イタジャイ川流域水資源管理マスタープランの長期計画目標年次が 2030 年となっているので、整合性を図るために治水マスタープランの計画目標年次は、遅くとも 2030 年までに達成することとする。

5.4 洪水予警報システム強化の基本方針

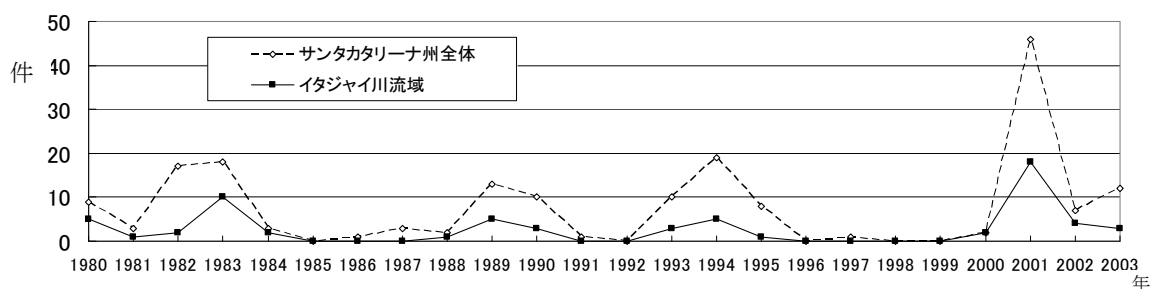
既設の洪水予警報システムの課題を考慮して、以下の基本方針で既設の洪水予警報システムの強化計画を策定した。

- i) 観測所増設による水文観測ネットワークの強化。
- ii) 観測機器とデータ伝送方式の更新による観測データ及びデータ転送精度の向上。

6. 土砂災害に係るニーズとマスタープラン策定の基本方針

6.1 土砂災害の実態と復旧事業

下図に SC 州 Defesa Civil のデータを基にイタジャイ川流域の土砂災害発生件数を示す。データが既存する 1980 年～2003 年の 23 年間での被害が顕著な土砂災害数は、SC 州全体で 185 件に対しイタジャイ川流域は 35% の 65 件である。



出典：Defesa Civil-SC のデータを基に JICA 調査団作成

図-8 SC 州およびイタジャイ川流域の土砂災害数経年変化（1980-2003 年）

イタジャイ川流域の面積は、SC 州の 16% であり、1 千 km^2 当たりの年土砂災害発生件数は、SC 州全体で 0.08 件/千 $\text{km}^2 \cdot \text{年}$ に対しイタジャイ川流域はその 2.2 倍の 0.19 件/千 $\text{km}^2 \cdot \text{年}$ と相対的に高いレベルにある。

2008 年 11 月豪雨による死者数は 89 名、避難者数 103,602 である。この被害の洪水・土砂災害の原因別の数値は公式情報として示されていない。SC 州 Defesa Civil によれば死者数の 97% は土砂災害によるとされている。この豪雨に対する SC 州の緊急活動費用として、緊急避難、被災インフラ復旧事業等で約 R\$520 百万が充てられた。連邦の事業として連邦道路 BR470 号線の完全復旧工事総額は R\$ 17 百万である。

6.2 土砂災害のリスク評価とリスク・マッピング

危険箇所の特定は、既往土砂災害位置データ、本調査による現地確認および 1978 年～1979 年撮影の 2 万 5 千分の 1 空中写真の判読に基づいた。合計 949 箇所の土砂災害危険箇所を選定した。

重要危険箇所の選定基準は、災害発生の可能性が高く、60 年確率豪雨（2008 年 11 月豪雨

Blumenau 市相当）で R\$ 100 万以上の潜在損失額が見込まれる箇所とした。R\$ 100 万以上の潜在損失額の目安は、10 戸以上の民家が全壊、日交通量 200 台以上の道路が全幅員閉塞する被災規模である。68 箇所の重要危険箇所を選定した。その内訳は、SC 州道路 32 箇所、市道 35 箇所、イタジャイ港 1 箇所である。

リスク:年潜在損失額（R\$/年）を 68 箇所の重要危険箇所に対し評価した。土砂災害は、同じ箇所において降雨等の誘因の規模（降雨指標の確率年）によって災害の発生規模（被害額）が変化する。主たる被災対象が道路である場合は、全幅員道路閉塞災害と片側幅員道路閉塞災害の 2 点の災害発生規模についてその年超過確率と潜在損失額を算定し、年潜在損失額を算定した。全幅員道路閉塞災害と片側幅員道路閉塞災害の年超過確率（確率年の逆数）は、2008 年 11 月豪雨時の類似斜面の災害規模と、最も距離が近い雨量観測点の土壌雨量指数（本邦での統計解析により土砂災害の発生との関連性が高いとされている。）の確率年を参考に評価した。

土砂災害/土砂生産リスク・マップはイタジャイ川流域を格子状に区分し 3 万 1 地形図 A3 サイズに編集した計 239 枚である。各危険箇所の輪郭を示すと共に、運動形態（斜面崩壊、地すべり、土石流）、損害の発生可能性（低い、高い）、リスク（小:年潜在損失額 R\$ 5 万/年 以下、中:年潜在被害額 5-50 万/年、大 50 万/年 以上）を色分けして図-9 に示す。

土砂災害インベントリーとして、各危険箇所に対し下表に示す項目のデータを格納した。

表-11 土砂災害/土砂生産インベントリー項目

土砂災害地域 No. (地図コード+通し番号)
中心点の緯度/経度
SDR および市
土砂災害運動形態区分
危険範囲の面積 (崩壊、地すべり滑落崖、地すべり移動体、流動の別)
地質、土壌、植生、
標高区分、地形傾斜区分

出典：JICA 調査団

6.3 土砂災害緩和に係るニーズ

当該地域では、度重なる洪水、更に人口増加に伴い宅地を求め、傾斜域での居住が拡大しており、それが原因となり土砂災害が増えていると認識される。被災地は、無理な宅地造成（急な切土、溪流氾濫源内の居住、排水不備地区での居住）などの人的要因が重なり、被害が拡大している。この様な理由から、各市の Defesa Civil は、土砂災害管理方法についての技術支援や訓練を要望している。また、州 Defesa Civil 等からも同様な意見が挙げられている。一方、DEINFRA は構造物対策として、州道および市道の道路土砂災害の予防保全事業の必要性を挙げている。

6.4 土砂災害緩和策導入での基本原則

土砂災害管理マスタープランは、下記の基本 3 原則に基づき作成した。

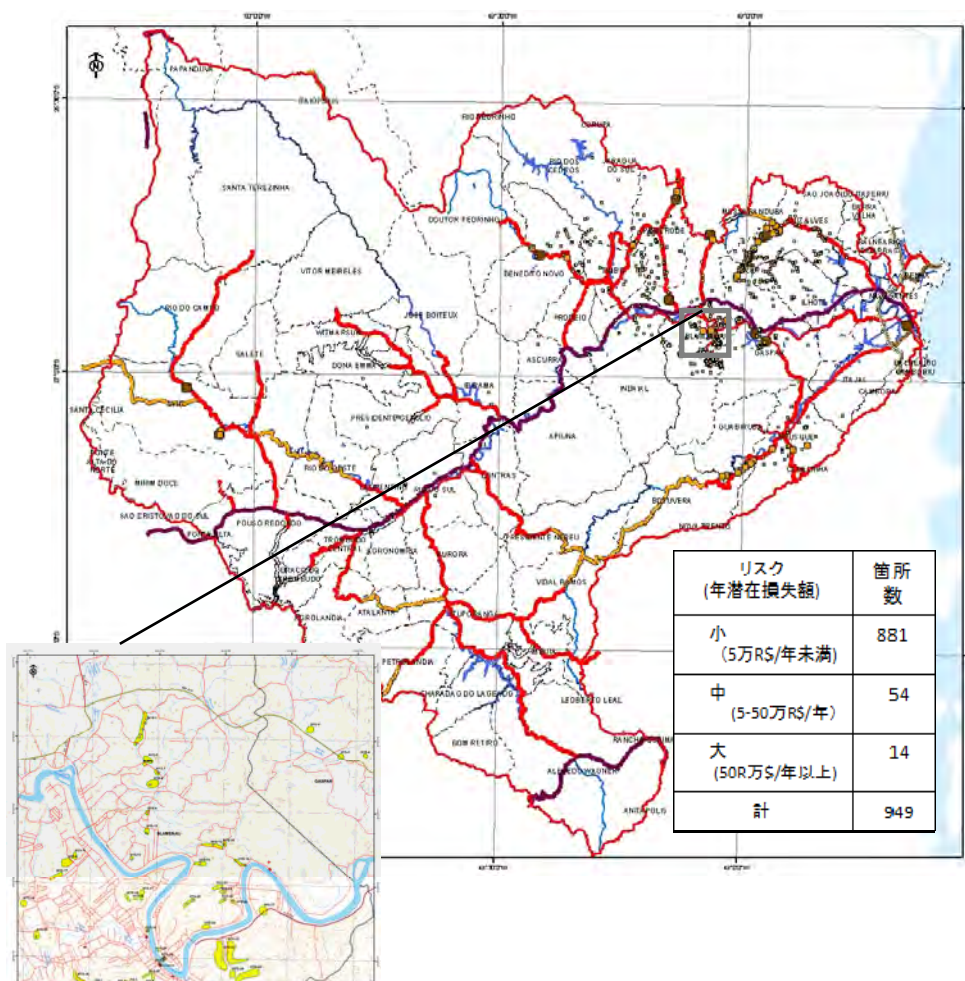
- i) 構造物と非構造物対策の導入
- ii) ジェンダー・災害弱者への配慮
- iii) 環境に配慮した総合的視点からの土砂災害対策

6.5 土砂災害管理マスタープラン策定の基本方針

以下を基本方針とした。

- i) 非構造物対策として SC 州全体に対する土砂災害・フラッシュフラッド予警報システムの設置を行う。

- ii) 構造物対策は、土砂災害危険箇所の年潜在損失額が大きな箇所から優先的に実施する。
- iii) 非構造物対策、構造物対策を実施していく過程で、SC 州は、関係機関の技術強化、関係機関および住民への防災教育を実施する。



出典：JICA 調査団

図-9 土砂災害/土砂生産危険箇所分布図と土砂災害/土砂生産リスク・マップの例

7. 環境社会配慮・戦略的環境アセスメント（SEA）

7.1 戦略的環境アセスメントの概要

JICA 環境社会配慮ガイドライン（2010 年版）は、相手国に対し、適切な環境社会配慮の実施を促し、JICA が行う環境社会配慮支援・確認の適切な実施を確保し、その上でプロジェクトの透明性、影響の予測可能性、アカウンタビリティを確保することを目的としている。2010 年の改訂では、「影響の回避または最小化」を基本原則として、より幅広い影響を配慮の対象とするため、プロジェクトの早期段階からモニタリング段階まで環境社会配慮を実施することとなった。そのため、マスタープラン調査における戦略的環境アセスメントを適用することがガイドラインに盛り込まれた。洪水災害緩和マスタープランおよび土砂災害・土砂生産緩和マスタープランの策定にあたり、「個別案件よりも上位段階（政策、計画、プログラム）の意思決定において環境影響評価を実施する」という SEA の基本的な考え方に基づいて初期環境調査（IEE）を実施した。

7.2 環境保全ユニット

国立公園等の保護区は、環境保全ユニット（Unidades de Conservação : UC）と呼ばれている。その他に主要な保護区に関する法令として、森林法、動物保護法がある。環境保全ユニットは大きく統合保全区域(Unidades de Proteção Integral : 5 種)と持続的利用保全区域(Unidade de Uso Sustentável : 7 種)がある。

森林法は、無秩序な森林開発から森林及び原生植生を保護することを目的に 1965 年に制定された連邦法である。森林法は上位法として位置づけられ、改定には多くの手続きが必要となるため、現在までの間に項目が追加されても大きな改定はされていない。森林法では、「永久保護地域(Área Preservação Permanente: APP)」及び「法定保護地域(Reserva Legal: RL)」が規定されている。

8. 洪水災害緩和とマスタープランの策定

8.1 治水安全度

治水安全度として、5 年確率、10 年確率、25 年確率、及び 50 年確率洪水の防御を目標とする洪水災害緩和対策のマスタープランを策定した。

8.2 洪水防御対象地区

洪水による氾濫や浸水は、イタジャイ川及びその支川沿いの地域で発生している。洪水氾濫域の全域に対して洪水防御事業を実施することは、経済的及び財務的観点から見て現実的でないと考えられる。イタジャイ流域委員会も同意見である。築堤による洪水防御事業を実施する場合、下流部への洪水流出量は急増し全体事業費はコスト高となる。これを避けるために、河川沿いの牧草地、水田や畑地等の被害ポテンシャルの低い地区は意図的に築堤を行わず、むしろ積極的に残すことが考えられて然るべきである。この観点からすれば、洪水防御対象地区としてはイタジャイ川沿いの主要都市が対象となる。

各都市の洪水発生頻度や洪水被害額の大きさ、各市政府との洪水問題のヒアリングや現地調査結果等から、Rio do Sul, Blumenau, Gaspar, Ilhota, Timbo, Taio, Itajai, Brusque の 8 市を優先度の高い洪水防御対象地区として選定した。また、フラッシュフラッドとしては、近年山麓部や斜面の宅地開発による流域開発、また河川沿いの宅地化も著しい Blumenau 市の主要支川である都市河川を選定した。

8.3 治水代替案の選定

河道形状、洪水氾濫状況及び地形条件の観点から、イタジャイ川流域に適用可能と思われる治水対策の代替案を図-10 に示すように設定した。

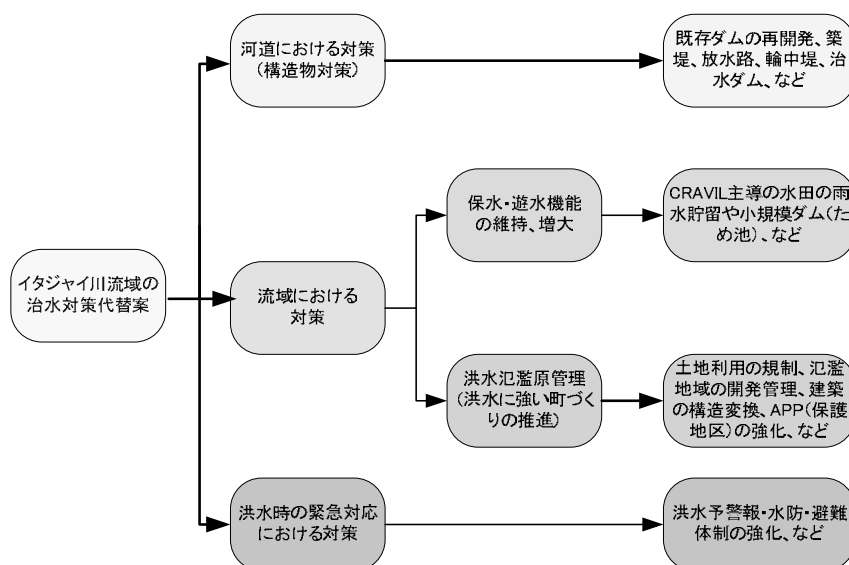
Oeste と Sul の両ダムに対して、洪水調節能力の増強をはかるため、以下の改良を検討した。

- i) Oeste ダム：ダム堤体と洪水吐の嵩上げ
- ii) Sul ダム：洪水吐の嵩上げ

ロックフィルダムの Sul ダムは、ダム本体の嵩上げは技術的に難しいと思われるので、洪水吐の嵩上げを検討した。これら両ダムの改良により、Rio do Sul 市も含め下流の主要都市では治水効果（洪水ピークのカット）が期待できる。

現河道の流下能力を増すために河道の拡幅や河床掘削を行うことは、治水事業では最も一般的である。1988 年の治水基本計画（JICA 策定の治水マスタープラン）でも、イタジャイ川 Blumenau - Gaspar 区間の河道の拡幅や河床掘削が提案されている。しかしながら、イタジャイ川本流では河道の拡幅や河床掘削は代替案には極力採用しない方針とする。但し、流下能力の増大は治水安全度が高くなれば必要となるので、都市の河岸沿いの森林は残し

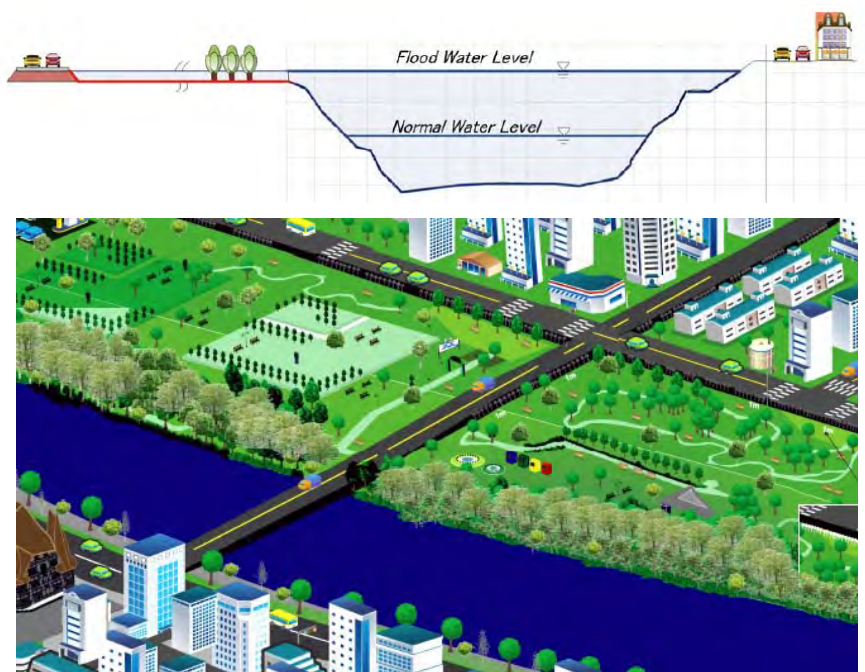
て複合断面化は治水代替案に含めた。



出典：JICA 調査団

図-10 イタジャイ川流域に適用可能な治水対策代替案

複断面化に際しては、河岸の森林は洪水敷として残し（公園化等オープンスペースとして利用）、既存道路を堤防として活用するか（嵩上げも含む）、道路として活用できる築堤を代替案に含める。現河道は複断面の低水路部分を構成することになる。下図に複断面化のイメージ図を示す。



出典：JICA 調査団

図-11 Blumenau 市イタジャイ川の複断面化のイメージ図

1988 年の治水基本計画では、イタジャイ川河口部の流下能力が小さく河道拡幅や築堤が困難であることから、連邦道路 101 号線の橋梁の下流付近から Navegantes 市の海岸への放水

小規模なダムを小河川に計画する。貯水した水は灌漑に利用するために、図-12 に示すように、灌漑用水不足の顕著な Rio do Sul 上流域（Itajai do Oeste と Sul 川流域）を優先する。

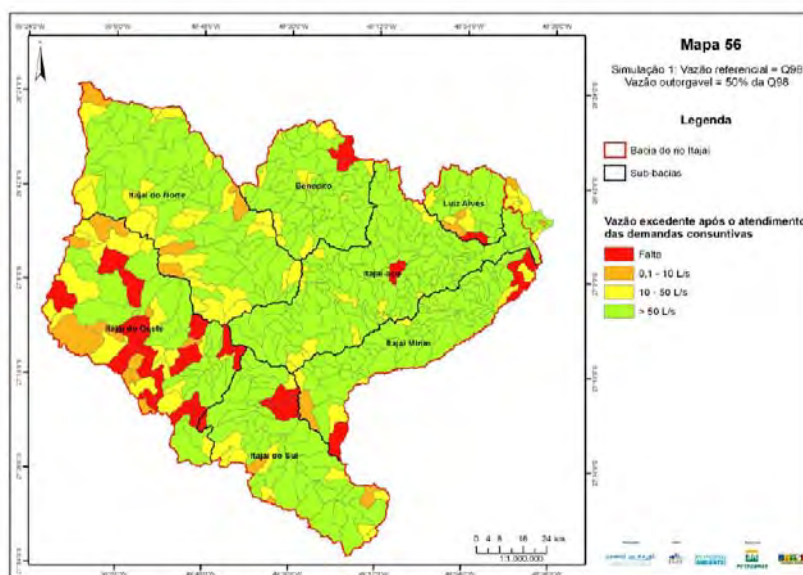


図-12 イタジャイ川流域で水不足が想定されるマイクロ流域

表 12 と 13 に、各治水安全度に対するマスタープランの計画事業と概要を示す。また、50 年確率洪水防御計画の位置図を図-13 に示す。

対策	事業	5 年	10 年	25 年	50 年
流域対策	水田の雨水貯留	○	○	○	○
	小規模ダム	○	○	○	○
	治水ダムの嵩上げ（Oeste ダム）			○	○
	治水ダムの嵩上げ（Sul ダム）				○
	新規の治水ダム（ミリム川）				○
	治水ダムのゲート運用の変更（2 ダム）	○	○	○	○
	利水ダムの貯水池運用の変更（2 ダム）		○	○	○
河道対策	Rio do Sul 市、イタジャイ川			○	○
	Taio 市、イタジャイ川			○	○
	Timbo 市、ベネデット川			○	○
	Blumenau 市、イタジャイ川				○
	Ilhota 市、輪中堤			○	○
	Blumenau 市、Garcia 川、Velha 川	○	○	○	○
	Itajai 市、イタジャイ川		○	○	
	Itajai 市、放水路				○

出典：JICA 調査団

対策	事業	5 年	10 年	25 年	50 年
流域対策	水田の雨水貯留	22,000ha	22,000ha	22,000ha	22,000 ha
	小規模ダム	2 nos	5 nos	7 nos	7 nos
	治水ダムの嵩上げ (Oeste ダム)			2m	2 m
	治水ダムの嵩上げ (Sul ダム)				2 m
	新規の治水ダム (ミリム川)				1 no
	治水ダムのゲート運用の変更	2 ダム	2 ダム	2 ダム	2 ダム
	利水ダムの貯水池運用の変更		2 ダム	2 ダム	2 ダム
河道対策	Rio do Sul 市、イタジャイ川			下流 10.3 km 掘削	8.1 km 築堤
	Taio 市、イタジャイ川			3.7 km 掘削	3.7 km 築堤
	Timbo 市、ベネデット川			1 km 掘削	1 km 築堤
	Blumenau 市、イタジャイ川				15.8 km 築堤
	Ilhota 市、輪中堤			8 km	8 km
	Blumenau 市、Garcia 川、Velha 川	7.0 km 掘削/ 築堤	7.0 km 掘削/ 築堤	7.0 km 掘削/ 築堤	7.0 km 掘削/ 築堤
	Itajai 市、イタジャイ川		12.8 km 片堤	12.8 km 片堤	
	Itajai 市、放水路				10.9 km
	Itajai 市、ミリム川、水門と河道改修	2 nos、 0.95 km 築堤	2 nos、 0.95 km 築堤	2 nos、 0.95 km 築堤	2 nos、 0.95 km 築堤

The map illustrates the Itaipu Binacional flood control system, showing the following components and locations:

- [Timbo] Dyke:** L=1 km
- Using Dams of Celes (Barragem Rio Bonito e Barragem Pinhal)**
- [Blumenau Tributary] Widening:** L=7 km
- [Blumenau] Composite Section Dyke:** L=15.8 km
- [Itajai] Floodway:** L=10.9 km, Gate: 20m * 9m * n=8
- [Itajai Mirim] Mirim Gate (U.S. D.S.) Dyke:** L=0.95 km
- [Ilhota] Ring Dyke:** L=8.0 km
- [Itajai Mirim] Concrete Gravity DAM:** height=34.2m
- Water Storage in Ricefield**
- [Taio] Widening Dyke:** L=3.7 km
- Small Flood Control Pond:** n=7
- [Rio Do Sul] Dyke:** L=8.2 km
- Heightening of Spillway and Modifying operation of Sul Dam:** heightning=2.0m
- Heightening and Modifying operation of Oeste Dam:** heightning=2.0m

図-13 50年確率洪水防御計画の位置図

平成 23 年 11 月

片堤防が提案されたが、50 年洪水に対しては放水路が提案されている。逆に、治水効果の発現面からみれば、放水路は計画対象となる 50 年洪水以下の洪水、つまり、5 年、10 年、25 年の各洪水に対しても相当な治水効果があり、10 年や 25 年洪水に対して提案されたイタジャイ川沿いの片堤防の計画は不要となる。

8.5 既設洪水予警報システムの強化計画

既設洪水予警報システムの水文・気象観測ネットワークは、14 か所の雨量・水位計から構成される。しかしながら、この 14 ヶ所の雨量・水位計は、維持管理が行われていないため自動観測による観測結果はほとんど得られていない。これらの観測所については観測機器の更新と、信頼できる通信システムの導入が必要であり、SDS との協議により、SDS が自己資金で改修との情報を得ている。既設 14 ヶ所の観測施設の多くは、今後の FFWS の整備にとって非常に重要な場所にあり、必ず改修が実施されることが望まれる。また、洪水予測の精度を上げるために、下表に示すように新たに 16 ヶ所の観測所を増設する。

表-14 洪水予警報システムのための新設観測施設の提案

新設の観測所			目的
1	Ituporanga (Perimbo River)	雨量・水位計	Ituporanga、Rio do Sul への警報
2	Salete (Grande River)	雨量・水位計	Salete、Taio への警報
3	Mirim Doce (Taio river)	雨量・水位計	Mirim Doce、Taio への警報
4	Pouso Redondo (das Pombas River)	雨量・水位計	Pouso Redondo、Rio do Sul への警報
5	Trombudo (Trombudo River)	雨量・水位計	Trombudo、Agronomica、Rio do Sul への警報
6	Rio do Sul (Itajai River)	CCTV	Rio do Sul 市の要望（市役所での河道状況の確認）
7	Rio dos Cedros (Dos Cedros River)	雨量・水位計	Rio dos Cedros への警報
8	Vidal Ramos (Itajai Mirim River)	雨量・水位計	Vidal Ramos への警報
9	Palmeiras Power Station (dos Cedros River)	雨量・水位計	CELESC ダム放流量の監視、Rio dos Cedros、Timbo への警報
10	Blumenau (Itajai River)	CCTV	Blumenau 市の要望（市役所での河道状況の確認）
11	Luis Alves (Luis Alves River)	雨量・水位計	Luis Alves 市への警報、Luis Alves 川の水文データの収集
12	Gaspar (Itajai River)	雨量・水位計	Gaspar への警報、下流域の洪水水位データ収集
13	Ilhota (Itajai River)	雨量・水位計	Ilhota への警報、下流域の洪水水位データ収集
14	Itajai (Itajai River)	CCTV	Itajai 市の要望（市役所での河道状況の確認）
15	Guabiruba (in a tributary of Itajai Mirim River)	雨量・水位計	Brusque 市支川部への警報
16	Agua Clara (in a tributary of Itajai Mirim River)	雨量・水位計	Brusque 市支川部への警報
合計 13 か所（雨量・水位計）及び 3 か所（CCTV）			

出典：JICA 調査団

9. 土砂災害管理マスタープランの策定

9.1 マスタープランの構成

表-15 にイタジャイ川流域の土砂災害管理マスタープランの構成を示す。

表-15 土砂災害管理マスタープランの構成

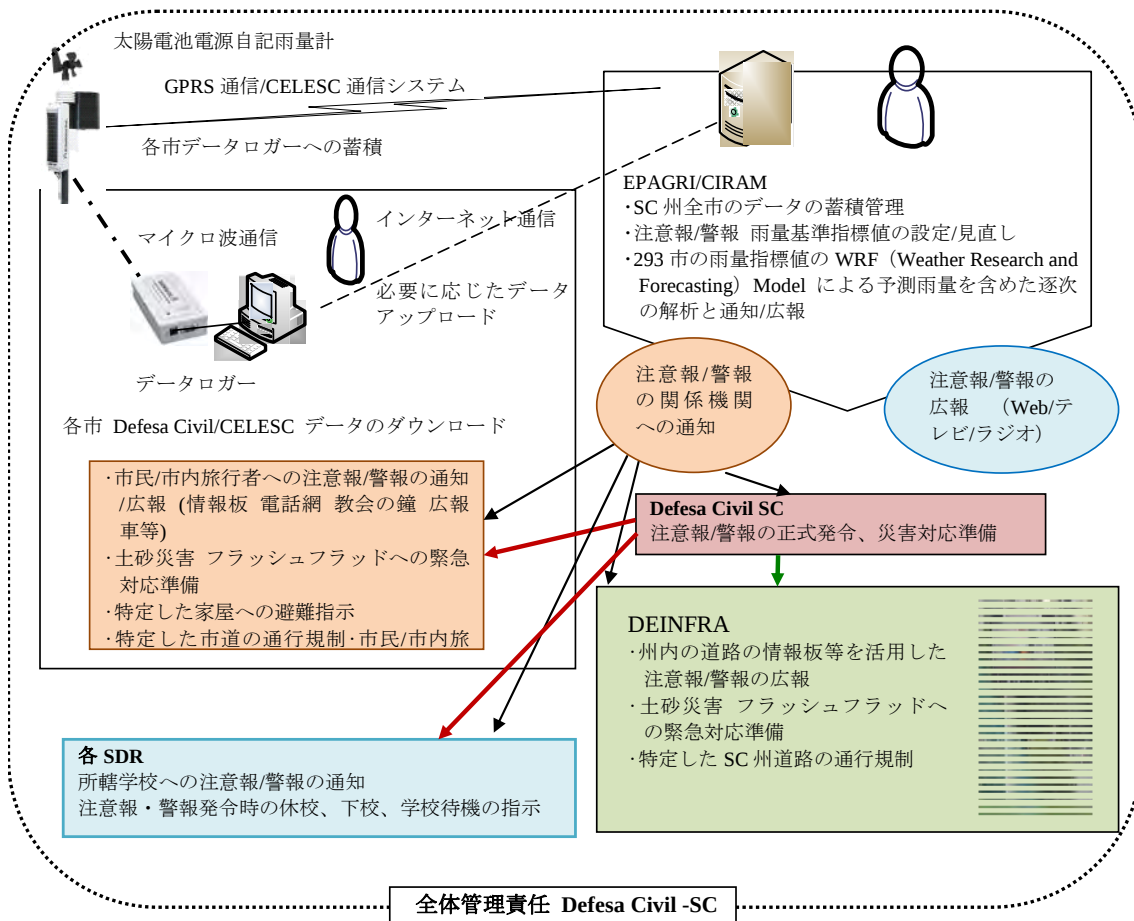
目的	各種対策	本マスタープランでの扱い
人身損失の回避	(1) 非構造物対策（土砂災害・フラッシュフラッド予警報システムの導入） a) 雨量モニタリング、データ蓄積、警報情報伝達システム構築。 b) 避難の確実化のための関係者・住民への防災教育および訓練	基幹対策事業として、事業費の積算を含む計画を作成する。
経済損失の緩和	(2) 土砂災害構造物対策 年潜在損失額を指標に危険箇所の優先対策順位を決め順次対策を進める。 (3) 土砂生産軽減対策 崩壊裸地の植林、河畔林による河岸浸食防止を推進する。土砂災害危険箇所の構造物対策において、緑化を基本とし土砂生産軽減効果の向上を図る。	
		水資源あるいは森林保全計画の中で扱われている課題であり、本マスタープランでは具体的な計画は行わない。

(4) フラッシュフラッド軽減対策 降雨の地表流出成分が増すことによりフラッシュフラッド・洪水を助長しないことを目的とした流出調整施設の設置を推進する。	都市計画のなかで取り扱われる課題であり、本マスタープランでは具体的な計画は行わない。
(5) 構造物対策事業に対する技術強化および民間自助努力への支援 a) 構造物対策事業に対する技術強化 b) 民間自助努力への支援 年潜在損失額が低く、優先順位が高くない民間保全対象物の構造物対策に対し、簡易な軽減策等の防災教育を行うと伴に、公的/民間基金による補助を推進する。	本マスタープランでは政策としての必要性を述べる。

出典：JICA 調査団

9.2 非構造物対策（土砂災害・フラッシュフラッド予警報システム）

土砂災害・フラッシュフラッド予警報システムの全体的な管理と予警報の正式な発令は州の Defesa Civil が行う。住民への避難および市道の通行規制の指示は市政府が行う。SC 州道路の通行規制の指示は DEINFRA が行う。SDR 管理下の学生への注意報/警報発令時の休校、下校あるいは学校待機の指示は SDR が行う。下図-14 に、提案された土砂災害・フラッシュフラッド予警報システムの概要を示す。



出典：JICA 調査団

図-14 土砂災害・フラッシュフラッド予警報の概要

まず、雨量指標による予警報（注意喚起）を設置し、これを端緒に土砂災害に対する認知を高めて行く。次に精度の良いハザードマップ（S=1:10,000）を整備し、警報発令時の避難対象家屋および通行規制を行う道路の指定を進める。

警報（Alarme）基準値は 10 年確率豪雨に相当する雨量指標値に設定する。これは、本邦に

において、土砂災害死者数の93%が、土壌雨量指数が過去10年の最大値を更新した状態で発生していることによる（1991年から2000年の10年間の統計、但し、土木工事現場と落石による被災を除く）。なお、注意報（Atenção）は、警報状態への準備と年1回程度の予警報システムの市民への認知と関係者の訓練の目的を兼ね、1.1年確率豪雨に相当する雨量指標値に設定する。注意報、警報の雨量指標基準値は雨量および災害データの蓄積しつつ、毎年比較的雨が少ない季節である6月に州 Defesa Civil はEPAGRI/CIRAM の協力を得て見直しを行う。

9.3 土砂災害構造物対策

土災害危険箇所について年潜在損失額が高い危険箇所から優先に構造物対策を実施する。

土砂災害/土砂生産リスクアセスメントにおいて重要危険箇所と選定され R\$ 5 万/年以上の年潜在損失額と評価された68箇所のうちイタジャイ港（既往の継続的な浚渫が適切な対策と考えられる）を除く67箇所を構造物対策優先箇所として選定した。州道路33箇所、市道34箇所である。構造物対策の目標は60年確率降雨に対し、道路幅員片側の通行確保とする。

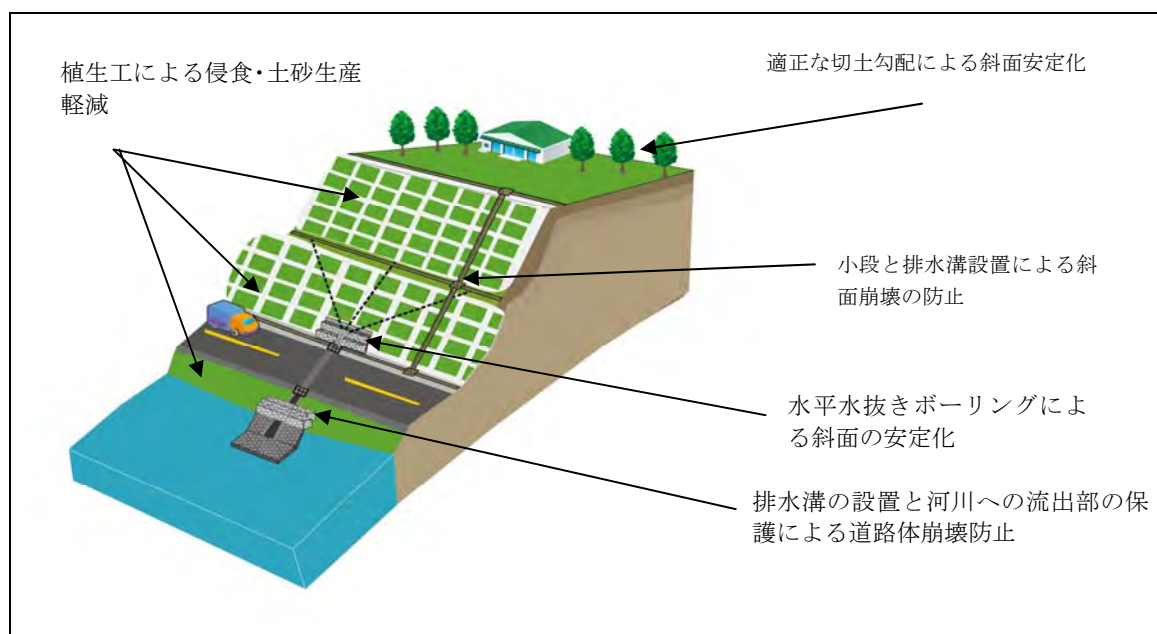


図-15 土砂災害・土砂災害軽減対策の例

9.4 土砂生産緩和対策

土砂生産軽減対策は、水資源/森林保全、木本類による炭素固定を主目的とした崩壊・裸地箇所の緑化事業として推進する。土砂災害の構造物対策箇所においては緑化を基本とした土砂生産軽減対策を行う。水資源保全、森林保全が主目的である。

イタジャイ川流域内で河床上昇により経済損失が発生しているのはイタジャイ港が唯一である。河川側から供給される土砂による年潜在損失額は R\$ 9 百万/年であり、堆砂 1 m^3 当たりの損失額は R\$ 19 / m^3 と推定される。

流域全体の土砂生産対策、特に崩壊裸地の植林、河畔林による河岸浸食防止を推進する。土砂生産緩和対策の観点からの優先箇所は、河床からの大規模な砂採取事業が行われていない Luiz Alves 支川で、2008 年 11 月豪雨による崩壊跡の裸地や溪流沿いの土砂堆積が多く残っている Morro do Bau 地域一帯である。

イタジャイ港への流入土砂量、浚渫量は計測されていない。これらを計測し、堆積機構を明らかにすることにより、土砂生産緩和対策以外の海からの流入土砂堆積対策も含めた堆砂対策を行う。

9.5 フラッシュフラッド軽減対策

フラッシュフラッド軽減対策は、降雨の地表流出成分が増すことによりフラッシュフラッド・洪水を助長しないことを目的とした流出調整施設の設置を推進する。フラッシュフラッドの課題は、山地の市街化に伴い、緑地が失われ、斜面の保水性が低くなったことにより深刻さを増している。また、本来溪流内で、平常時には流水がなくても豪雨時には流水が認められる土地が宅地化している場合も多く認められる。これらの課題は、都市計画のなかで取り扱っていく必要がある。

9.6 構造物対策事業に対する技術強化および民間自助努力への支援

災害および土砂生産軽減に対し必要な技術整備と実行計画を下表に示す。

表-16 土砂災害対策/土砂生産・フラッシュフラッド軽減に対し必要な技術整備と実行計画

技術項目	目的・効果	現況	計画
造成に伴う降雨流出調整施設の設置	造成により降雨の地表流出成分が増すことによるフラッシュフラッド・洪水の助長を防止。	技術基準の整備が無い。	技術基準の整備と造成にあたっての法的拘束を行う。
斜面保護工 斜面安定工	造成斜面安定・土砂生産防止。	技術基準の整備あり、設計審査の手法はある。斜面の不安定化・土砂生産を引き起こしている事例あり。排水溝の未整備が認められる。	事業者（州および市）で行われる設計審査を強化する。 州政府による設計・施工管理技術者の訓練を行う。
残土処理	土砂生産防止。	FATMA による法的指導や管理がされている。	現況の法的指導や管理を継続する。

出典：JICA 調査団

また、民間保全対象物の構造物対策に対し、簡易な軽減策等の防災教育を行うと伴に、公的/民間基金による補助を推進する。

10. マスタープランの初期環境影響調査（IEE）

予想される環境面、社会面に対する影響を明確にするため、環境及び社会影響のスコーピングを行い、IEE を実施した。尚、スコーピングに当たっては、JICA 環境社会配慮ガイドライン、及びブラジルの一般的な環境影響評価調査で使用する社会及び自然環境影響の 33 要素を選択し、それぞれにおいて簡略な定性的評価を行った。

11. マスタープラン総事業費、経済評価、及び事業実施計画

総事業費は、下表の通りである。

表-17 マスタープラン総事業費

(Unit: 10 ³ R\$)				
治水レベル	5 年	10 年	25 年	50 年
洪水災害緩和対策	202,000	541,000	1,025,000	1,996,000
土砂災害対策	54,000			
洪水予警報システム	4,000			
土砂災害・フラッシュフラッド予警報システム	4,000			
合計	264,000	603,000	1,087,000	2,058,000

出典：JICA 調査団

事業費積算は、2010 年 10 月時点の価格水準、換算レート R\$1.0 = JPY 47.87 = US\$ 0.58 で算定した。各工種の建設単価は、DEINFRA 単価を基本に推定した。

マスタープランの事業評価は、河川災害対策、土砂災害緩和対策および予警報を一括として総事業費で評価した。事業便益は被害軽減額をベースに算定し、各確率年における被害は、洪水発生の記録を基に各生起確率を算定し、各確率年別平均被害額を累計し、年平均被害軽減期待額を算定した。災害額算定の基準は、比較的被害情報の明確な 2001 年 10 月洪水および 2008 年 11 月洪水を採用した。経済評価結果を下表に示す。

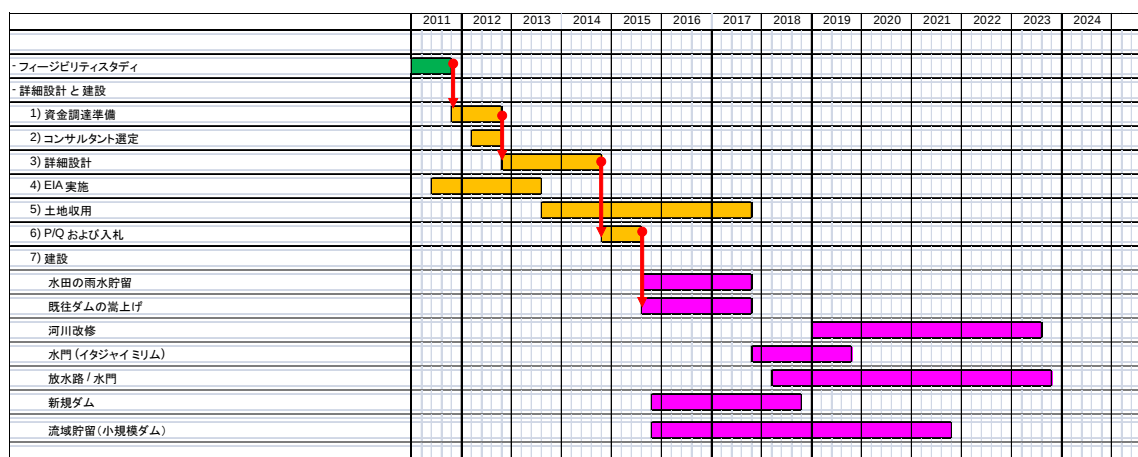
表-18 経済評価結果

評価方法		5 年確率	10 年確率	25 年確率	50 年確率
EIRR		38.2%	26.1%	19.9%	12.7%
割引率 (6%)	B/C	5.05	3.26	2.64	1.75
	ENPV(R\$10 ⁶)	825.4	1,053.3	1,317.4	1,090.8
割引率 (10%)	B/C	3.69	2.38	1.89	1.24
	ENPV(R\$10 ⁶)	425.8	500.1	550.0	257.9
割引率 (12%)	B/C	3.21	2.07	1.63	1.06
	ENPV(R\$10 ⁶)	319.6	354.6	353.1	54.8

出典：JICA 調査団

尚、割引率はブラジル国の長期利子率（TJLP）をベースとして算定した。割引率 6%はブラジル国経済が現状のまま安定した場合、割引率 10%は過去 9 年間の内の最高金利で経済が進んだ場合、割引率 12%は一般的な場合の数値である。経済費用・便益による計算結果では、非常に高い内部収益率、費用便益効果を示している。この結果は、事業実施の妥当性を示している。

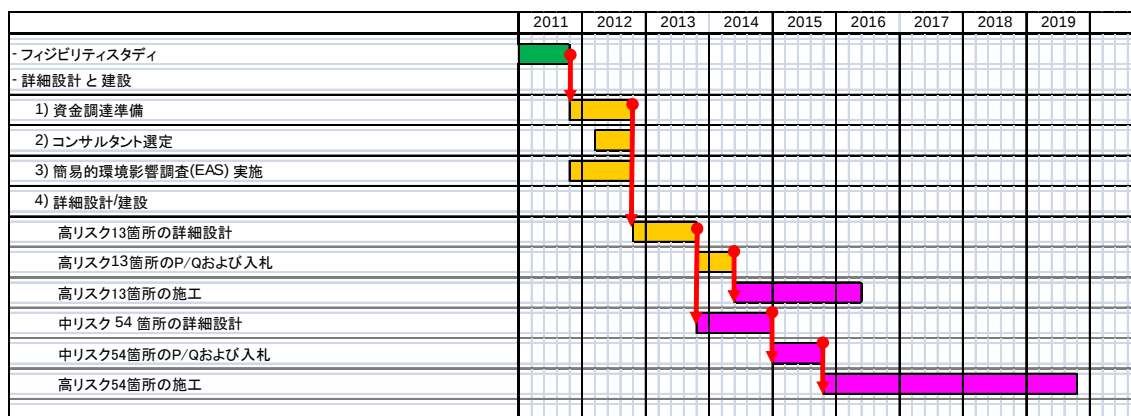
50 年治水安全度に対する治水対策事業の実施計画を下図-16 に示す。



出典：JICA 調査団

図-16 50 年治水安全度に対する事業実施計画

土砂災害対策の構造物対策事業の実施計画を図-17 に示す。



出典：JICA 調査団

図-17 土砂災害の構造物対策に対する事業実施計画

12. マスタートプランに対する提言

12.1 洪水災害緩和対策マスタートプランに対する提言

洪水災害緩和対策マスタートプラン策定の目標となる治水安全度（洪水の防御レベル）は、通常は計画対象となる洪水の発生確率や再現期間で表現される。治水安全度は、河川の大きさに加え、国家や地方の経済活動面から見た流域の重要度や発展性、流域の人口や土地利用、資産状況、等から政策的に決定されるものである。長期的な民生安定という観点から見れば、極力高レベルの治水安全度が本来的には望ましいが、その実現には膨大な事業費と期間を必要とする。

ブラジル国では河川の重要度に応じて治水安全度のあり方が設定されておらず、法律 No.9,433,08/01/1997 で洪水対策を含む水資源管理を流域単位で実践することを基本にしている。本調査では、5年確率、10年確率、25年確率、及び50年確率洪水の防御を目標とする洪水災害緩和対策の各マスタートプランを策定した。以下に、洪水災害緩和対策マスタートプランに対する提言を述べる。

- i) イタジャイ川流域委員会が2010年3月に策定したイタジャイ川流域水資源管理マスタートプランで「洪水と渇水対策の統合」として、小流域（Micro basin）における小規模ダムの開発や水田への雨水貯留プログラムの推進が掲げられている。小規模ダムはため池を建設して乾期の灌漑用水不足に対応するものであるが、小洪水の貯水が行えることから流域内に数多く開発すれば、水田への雨水貯留と同様に洪水流出を遅らせる意味で有望と考えられる。各治水安全度のマスタートプランでも、これらの流域対策はコンポーネントとして提案されており、優先して推進すべきである。
- ii) イタジャイ川流域委員会は、小規模ダムとして極小規模なため池を多数建設することを考えているようである。今回の検討では時間的制約もあり、等高線間隔20mの古い5万分の1地形図をベースにして、丘陵地の小河川にため池候補地を選定した。極小規模なため池を耕作地や牧草地に多数建設することも、提案した小規模ダムの代替案としてなり得る。但し、5年確率洪水に対して、必要となる小規模ダムの容量は約8百万 m^3 であることから、100m四方の深さ1mの極小規模なため池が（容量は1万 m^3 ）約800個程度必要となる。10年や25年確率洪水では、其々約2,800個と4,100個が必要となる。小規模ながらも上流域の小河川に、ある程度の貯水容量を有するダムを複数建設する方がより現実的と言える。
- iii) Oeste ダムと Sul ダムの嵩上げは、25年確率洪水と50年確率洪水の治水安全度から必要になる。各ダムとも目標確率年よりも小さな確率洪水に対しては、ゲート全閉の運用で対応可能であるが、反面、余水吐の越流リスクを高めることになる。従って、越

流リスクを低めるためにも、両ダムの嵩上げが必要になる。

- iv) ダムを適切に運用するためには、各時間のダム流入量を正しく把握する必要がある。一般的には、ダム流入量は貯水量の変化（貯水位の変化）と放流量から算定する。このため、ダム管理者は、ダムの H-V カーブ（貯水位と貯水量の関係）、H-Q カーブ（貯水位、ゲート開度と放流量の関係）を整備しておかなければならない。ダム管理者である DEINFRA や SELESC に問い合わせたが、現在のところ H-V、H-Q とともに保有していないとのことである。また、ダムの竣工図面自体もほとんど残っておらず、大きな問題である。H-V カーブは、現在作成中の 1 万分の 1 地形図の完成後に精度の高いカーブを作成可能である。H-Q カーブは水理計算で新たに整備しておく必要がある。ダムを適切に管理・運用するためにも、これらの基礎情報の整備が望まれる。
- v) マスタープランの策定では、洪水時に氾濫する河川沿いの牧草地や畑地は遊水効果により洪水の流出を遅らせる効果があることから、遊水効果を積極的に活用して、「洪水を散らす洪水災害緩和対策」を立案した。よって、マスタープランの策定に用いた計画の確率洪水流量は、遊水効果を低下させる可能性の高い将来の開発（土地造成、宅地化等）による下流域への洪水流量の増加は考慮していないことに注意を要する。
- vi) 特に、Itajai 市の計画洪水流量は、イタジャイ川が溪谷から平野部に流れ出る Gaspar 市から Itajai 市にかけての広大な氾濫原の流量低減効果を前提として算定されている。遊水効果を低下させる氾濫原の開発行為に対しては、可能な限り規制しなければならないが、開発を行う場合には調整池などの流出抑制策を義務化するか、上流域で更なる貯水施設を建設して下流への流量増を補償することが必要になる。このような市の行政域を越えた流域内の調整は、州政府が担当すべきである。
- vii) 洪水予警報システムの課題として、河川管理者の不在が指摘されている。イタジャイ川流域委員会が水資源管理計画の策定を担うことになっているが、河川管理の責任主体としては無理がある。洪水対策に係る計画や工事实施の政策的判断が要求されることから、河川管理は公的な行政機関が担当すべきと考えられる。持続的開発局（SDS）水資源部は、主に水資源管理（現在は主に利水であるが）や気象水文情報システムなどの分野を担当しており、河川管理も担当すべきである。
- viii) 上記に関連して、適切な河川計画や河川管理のためには、雨量、流量、水位に加え、河道状況を把握しなければならない。流量は水位から計算されるため、H-Q カーブ（河川水位と流量の関係）を作成しておく必要がある。H-Q カーブは水位観測所での河道断面測量や平常時や洪水時の流量観測により作成する。流量観測はそれぞれ 1 年に 1 回ずつ実施し、信頼性の高い H-Q カーブを更新していくことが望ましい。また、河道内の土砂堆積は、河道の通水能力に影響するため、河道断面についても定期的に測量することが望ましい。測量するにあたっては、基準点を定めて河道形状の変化を把握できるようにしなければならない。測量の間隔は 3 年～5 年程度として、毎年順番に実施する。これらの基礎データは、データベースとしていつでも利用可能できる状態にしておく必要がある。雨量や水位の観測については、定期的なメンテナンス、機器の更新をスケジュール化する必要がある。

12.2 土砂災害・土砂生産緩和対策マスタープランに対する提言

- i) 本マスタープランの対象はイタジャイ川流域であるが、土砂災害・フラッシュフラッド予警報の設置は SC 州全体に適用し、システム開発に係る費用を効率化すべきである。いずれの市にもリスクの差はあるが土砂災害・フラッシュフラッドの危険性があり、各市に 1 箇所以上の自記雨量計を設置すべきである。
- ii) 予警報発令に用いる基準値は、単位時間当たりの雨量（30 分間雨量等）をベース

に行う。基準値は2つの雨量指標の組み合わせ（例えば90時間雨量と48時間雨量の組み合わせ）ではなく、一つの数値で示せるものが望ましい。一つの数値とすることで、設定した警報基準値の危険度を確率年で評価する解析が可能になる。警報発令時には、「10年間で最も土砂災害・フラッシュフラッドの危険性が高まっている」等の危険度が実感できる広報をすることが肝要である。

- iii) 本予警報システムは新たに導入するものであり、警報発令時には、洪水予警報と同じ体制で臨むべきである。市が土砂災害・フラッシュフラッド危険地を特定し、警報発令時の避難先と避難ルートを予め決め、市民や関連機関を訓練しておくことにより人身損失の回避効果が向上する。Blumenau市が作成しているように、詳細な土砂災害ハザードマップは有効な基礎資料となる。また、Ilhota市では、区域の災害危険時の連絡・対応に当たる代表者を選任している。これらの市の取り組みを、他市でも展開すべきである。
- iv) 造成事業に関わる災害対策としては、事業者（州および市）で行われる設計審査の強化と、州政府による設計・施工管理技術者の訓練が必要である。
- v) 造成により降雨の地表流出成分が増すため、洪水流出が助長される。助長を防止するためには、降雨流出調整施設の設置に関する技術基準を整備し行政指導を行うべきである。
- vi) 土砂災害の構造物対策は、同時に土砂生産軽減対策を兼ねるものである。裸地化している斜面を緑化し、倒木の危険が無い緩斜面や道路谷側斜面では炭素固定による気候変動対策にも資する木本類を導入すべきである。
- vii) 土砂生産対策として有効な対策は、崩壊裸地の植林、河畔林による河岸浸食防止である。水資源、森林、環境保全を主目的とし、土砂生産緩和にも資する多目的事業として推進することが考えられる。イタジャイ川流域管理マスタープランで提案されている河畔林回復プログラム、水源涵養地区の保全を目標とした市植林活動を推進すべきである。
- viii) イタジャイ川流域内で顕著な河床上昇により経済損失が発生しているのは、イタジャイ港が唯一である。しかし、イタジャイ港への流入土砂量、浚渫量は計測されていない。これらを計測し、海からの流入も含めて湾内の土砂堆積メカニズムを明らかにすることが必要である。UNIVALI等大学に研究・水理実験を依頼するのも一案である。これらの成果により、イタジャイ港の合理的な堆積土砂軽減対策を立案すべきである。

第2部 フィージビリティ調査

13. 優先事業の選定

13.1 優先事業の選定

調査団は、本調査に係る実施細則（S/W）に従って、2010年12月10日にインテリムレポートをサンタ・カタリーナ州政府に提出した。インテリムレポートは、フェーズ1調査で策定されたイタジャイ川流域の洪水・土砂災害対策マスタープランを取りまとめたものである。

州政府はイタジャイ川流域で目標とする治水安全度を50年確率洪水規模とすることを決定した。この治水安全度を達成するためには膨大な予算と多大な時間を要することから、下図-18に示すように、当面は優先度をつけた治水施設の段階的整備を行い、治水安全度を徐々に上げていく方針とした。この方針に基づき、州政府は第1期の治水事業の整備目標として概ね10年確率規模とすることも決定した。

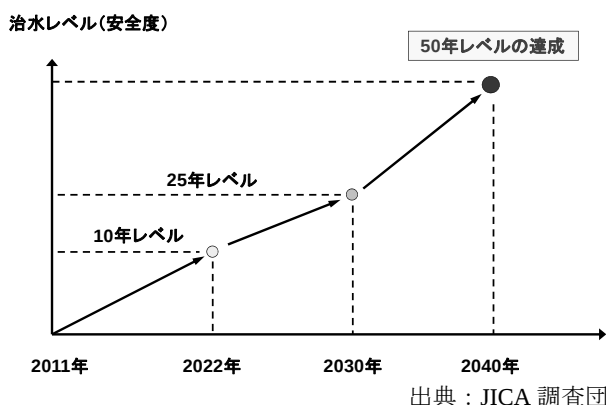


図-18 治水事業の段階的整備のイメージ

これに従い、フェーズ2調査で実施されるフィージビリティ調査の対象案件として、下記に示す第1期治水事業のための優先事業が選定された。

- i) 水田の雨水貯留
- ii) 治水ダムの嵩上げとゲート運用の変更（2ダム）
- iii) 発電ダムの貯水池運用の変更（2ダム）
- iv) 既存洪水予警報システムの強化（FFWS）
- v) Itajai市イタジャイミリム川の水門設置

上記の治水優先事業に加え、土砂災害対策の第1期優先事業として、下記の2事業も選定された。

- i) 道路斜面对策工（13箇所）
- ii) 土砂災害・フラッシュフラッド警報システムの設置

14. 水田の雨水貯留に関するフィージビリティ調査

14.1 計画の概要

本計画は、流域に広がる水田を広く活用し、水田の持つ雨水貯留機能拡充のための水田の畝・畦等の嵩上げをおこなうと共に、環境法に即した営農促進を図ることにより、流域における雨水貯留機能の拡充を図り、同時に環境重視型土地利用の促進および安全な食料品

の供給を目指すこととする。主な対策として以下の事業を展開する。

- | | |
|-------------|--------------------|
| 雨水貯留機能拡充 | - 水田域の畝・畦の嵩上げ |
| 環境重視型土地利用促進 | - 河畔林の再生 |
| | - 環境法に即した土地利用合法化促進 |
| 安全な食料品供給 | - PIA（統合的米生産）促進 |

水田は、流域全域に広がっており、生産農家も 2,000 農家を超えること、一括して事業を実施が困難なこと、入札による事業実施が困難なこと、多岐の業務があること、個人の水田にて事業を行なう事より、以下の方法により事業を実施していくことを提案する。

公的部門	生産者
- 計画策定のためのコンサルタントの調達およびサービスの提供 - 畝嵩上げ事業費用負担（80%）	- 畦・畝嵩上げ工事実施 - 植樹・河畔林柵設置 - 事業費用負担（20%）

水田貯留事業は、現況の畝高（平均 10 cm）を 20 cm~30 cm 嵩上げし、単位面積（ha）あたり 2,000 m³ から 3,000 m³ 程度の貯留効果を期待する。

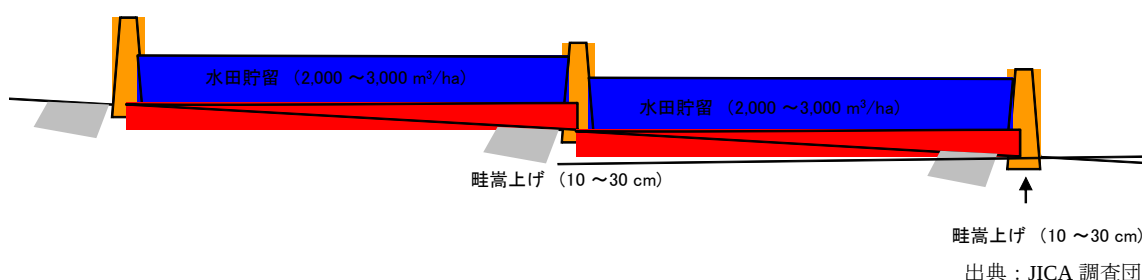


図-19 水田貯留のイメージ

14.2 事業の実施体制

事業実施は、事業費用の節約を根底に置き、生産者自らの工事実施により事業を進めていく。州政府は、事業実施のため、建設機材の貸与、必要資材購入資金の融資および必要サービス（コンサルタントおよびトレーニング）の提供をおこなう。実施機関は、Defesa Civil 局で、その事業実施のため、機械、コンサルタントを調達し CIDASC（サンタカリーナ州農業開発公社）に管理を委譲すると共に、同時に FDR（農村開発基金）を活用した事業実施をおこなっていく。必要な工事は、調達機械を活用して基本的に水田所有者によりおこなわれることを基本とする。Defesa Civil 局は、必要な機械およびコンサルタントを調達し、各工事ユニットに配置する。工事機械ユニットおよびコンサルタントは、最終目標 2,000 農家が水田嵩上げ事業を行えるように必要な調査および設計をおこなう。

15. 治水ダムの嵩上げとゲート運用の変更に関するフィージビリティ調査

15.1 現地調査及び地質状況

ダムの主な構造寸法を確認する目的で、対象の 2 ダムで平面測量を行った。加えて、ダムの基礎を確認する目的でボーリング調査を実施した。調査ボーリングは、Oeste ダムで 3 箇所、また Sul ダムで 1 箇所実施した。Oeste ダム、Sul ダムとも新鮮な基礎岩盤の圧縮強度は約 30 MN/m² と推定され、中堅岩に分類される。亀裂が多い箇所での亀裂間隔は 5 cm 以上である。既存の類似岩石に対するせん断試験によればせん断強度は $\tau = 1.0 + \sigma \tan 38^\circ$ (MN/m²) と推定された。

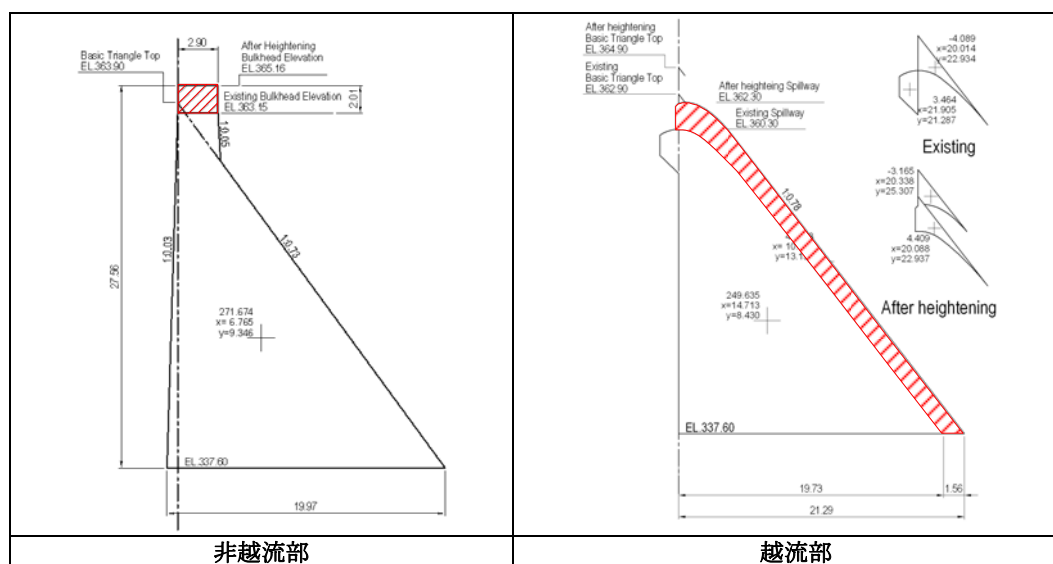
15.2 ダム嵩上げの基本設計

(1) Oeste ダム

ダム堤体の詳細な測量を行ったところ、現ダムの越流部と非越流部の標高差は当時の設計より小さく、所要の非常用洪水吐き放流能力、余裕高を確保するために必要なダムの嵩上げ高は非越流部で 2.01 m、越流部で 2.0 m である。

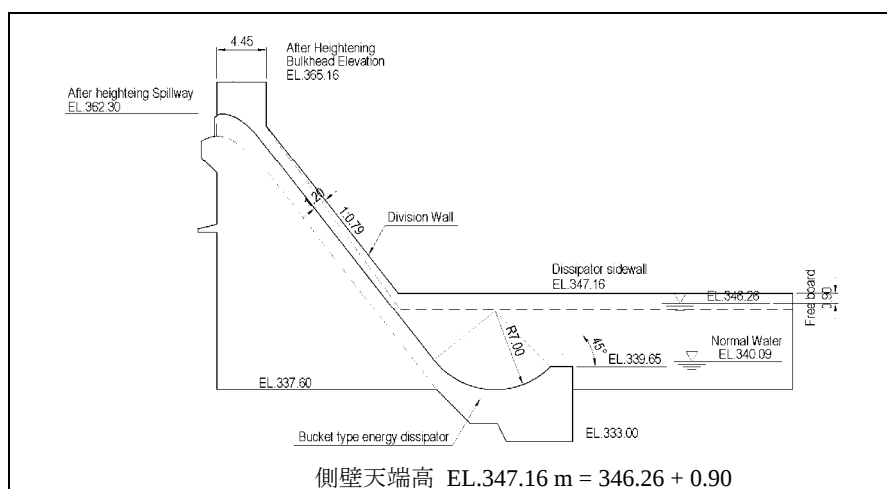
図-20 に嵩上げダムの標準断面を示す。越流部については、現状では安定が満足しないことが判明した。同図に示すように下流断面に勾配 1:0.78、厚さ 1.20 m の腹付けコンクリートを打設し安定性を確保することとした。非越流部に対しては、ダム形状は転倒に対する安全性を満足することを確認した。

現況の Oeste ダムには減勢工は設置されていないが、嵩上げに伴い放流および越流水のエネルギーが増加するため、減勢工の設置を本調査では検討した。減勢工の形式は、図-21 に示すように Oeste ダムの下流水位が十分に高いことから、バケットタイプが妥当と考え設計した。



出典：JICA 調査団

図-20 Oeste ダム嵩上げの標準断面



出典：JICA 調査団

図-21 Oeste ダム嵩上げ後の減勢工形状

(2) Sul ダム

図-22 に示すように、Sul ダム越流部の設計流量は、2,570 m³/s (10,000 年確率洪水流量)であり、当流量が流下する際の越流水深は 7.0 m と算定された。Sul ダムはダム天端標高に対して越流部の流下能力に余裕（現状では 4.0 m = 11.0 m - 7.0 m）があるため、越流部のみを 2.0 m 嵩上げする方針とした。



図-22 Sul ダム越流部の嵩上げ形状

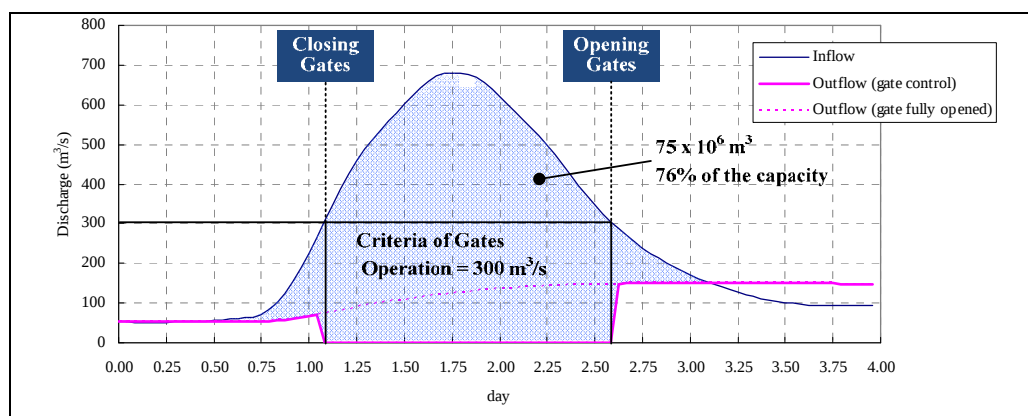
15.3 既設コンジットゲートの現地調査

両ダムは 40 年以上前に建設されたダムであり、長期間の摩耗、劣化によるゲート強度の低下が懸念された。現地調査の結果、両ダム放流ゲートの漏水は多いが、腐食等は無く健全な状態であることを確認した。扉体等の部材厚を計測した結果、腐食は 0.1~0.2 mm 程度と想定され、これによる劣化は僅かであると評価された。

ゲート設計に関するブラジルの基準である ABNT NBR 8883:2008 を適用して、嵩上げ後の既設ゲートおよび放流管の安全性を照査した。この計算の結果、嵩上げにより 2.0 m 水位が上昇しても、ゲートの強度に問題は無いと判断された。

15.4 ダム運用の変更

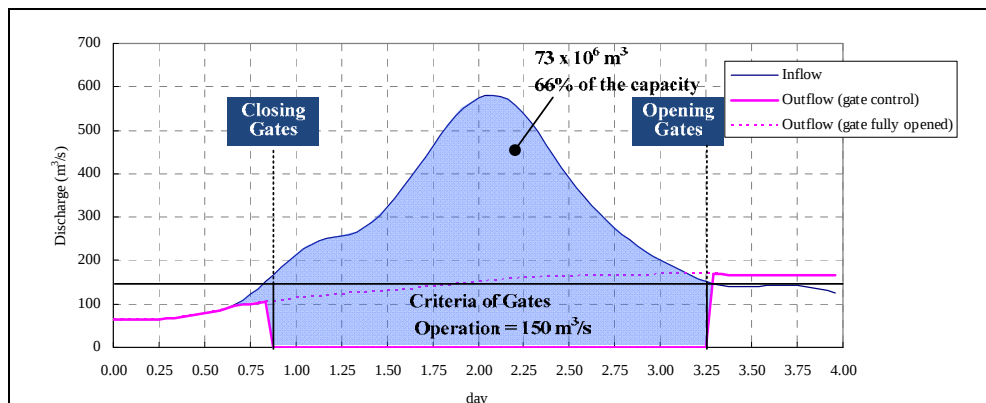
図-23 に Oeste ダムの洪水調節運用を示す。10 年確率洪水に対して、ゲートを全開で操作した場合の、Taio 市における洪水流量は 520 m³/s である。この流量は、Taio 市の現況流下能力である 440 m³/s を上回っており、ダムによる必要なピークカット量は 80 m³/s である。ただし、Rio do Sul 市において効果を最大限発揮するために、全量カットとする。



出典：JICA 調査団

図-23 Oeste ダムの洪水調節方法

図-24 に Sul ダムの洪水調節運用を示す。Sul ダムにおいて全てのゲートを全開にして 10 年確率洪水を迎えた場合の、Rio do Sul 市 (Itajai do Sul 川沿い) の最大流量は 570 m³/s と想定される。この流量は、Rio do Sul 市 (Itajai do Sul 川沿い) の流下能力 440 m³/s より大きく、Sul ダムによりさらに 130 m³/s 調節する必要がある。



出典：JICA 調査団

図-24 Sul ダムの洪水調節方法

15.5 Sul ダム、Oeste ダムにおける放流管能力増強

F/S 調査（2011 年 2 月～7 月）後の 9 月にイタジャイ川流域において非常に大きい洪水が発生した。これを受け同 9 月に実施したドラフトファイナルレポート提出時に、Sul ダム、Oeste ダムの放流能力を増強させるため、Sul ダムでは地山内のトンネル洪水吐き、Oeste ダムでは嵩上げに伴う左岸新設堤体部に放流管を設置することを提案した。

16. 発電ダムの貯水池運用の変更に関するフィージビリティ調査

16.1 ダム運用変更の背景

マスタープランでは、Rio dos Cedros 川にある CELESC 所有の 2 つの既設発電ダム（Rio Bonito ダム、Pinhal ダム）を洪水の発生が予測されたときの予備放流操作によって洪水調節にも使用することを提案した。予備放流操作は洪水の流入前に貯留水を放流することにより貯水池水位を低下させ、それによる空き容量を利用して洪水調節を行ものである。

予備放流による洪水調節操作の対象となる都市は、Rio dos Cedros 川と Benedito 川の合流点に位置する Timbo 市である。Timbo 市の 2 河川合流後の河道における流下能力は約 860 m³/s であるのに対し、10 年確率洪水流量は約 920 m³/s である。したがって、河道の流下能力は 10 年確率洪水流量に対して不足している。一方、10 年確率洪水時への 2 ダムへの合計流入量は 210 m³/s である。Timbo 市における流入量を流下能力以下するためには、2 ダムの予備放流によって確保した洪水調節容量を利用して、2 ダムの合計放流量を 140 m³/s まで調節する必要がある。

16.2 予備放流の検討

調節に必要な予備放流による洪水調節容量を、2 ダムの運用シミュレーションにより検討した。検討の結果を下表-19 にまとめる。予備放流により確保すべき洪水調節容量は、Rio Bonito ダムで 1.4 百万 m³、Pinhal ダムで 3.2 百万 m³ である。

表-19 Rio Bonito ダムと Pinhal ダムにおける予備放流方法の提案

項目	Rio Bonito ダム	Pinhal ダム
運用上の最高水位	EL.589.5 m	EL.652.0 m
予備放流による最高水位からの水位低下量	0.5 m	1.0 m
予備放流後水位	EL.589.0 m	EL.651.0 m
予備放流で確保される洪水調節容量	1.4 x 10 ⁶ m³	3.2 x 10 ⁶ m³
最大流入量（計画洪水）	85 m³/s	125 m³/s
最大放流量	60 m³/s	85 m³/s
流入ピーク時の流量低減効果	25 m³/s	45 m³/s
洪水時のゲート操作	定開度放流	定開度放流
余水吐きゲート開度（定開度操作時）	0.5 m	0.5 m

項目	Rio Bonito ダム	Pinhal ダム
取水設備ゲート開度（定開度操作時）	2.6 m	2.6 m
洪水調節前のゲート操作	取水ゲートの操作により水位を EL.589m に維持する（流入＝放流）	取水ゲートの操作により水位を EL.651m に維持する（流入＝放流）
洪水後のゲート操作	余水吐きゲートの操作により水位を EL.589.5 m に維持する（流入＝放流）	余水吐きゲートの操作により水位を EL.652 m に維持する（流入＝放流）

出典：JICA 調査団

また、超過洪水が発生した場合には、貯水位を運用上の最高水位に達した時点で、余水吐きのゲート操作により放流量を流入量と等しくし、最高水位を維持する。予備放流操作は、下流の流量を増加させるので、ダムゲートの操作者と河川管理者は下流河川沿いの安全に配慮する必要がある。

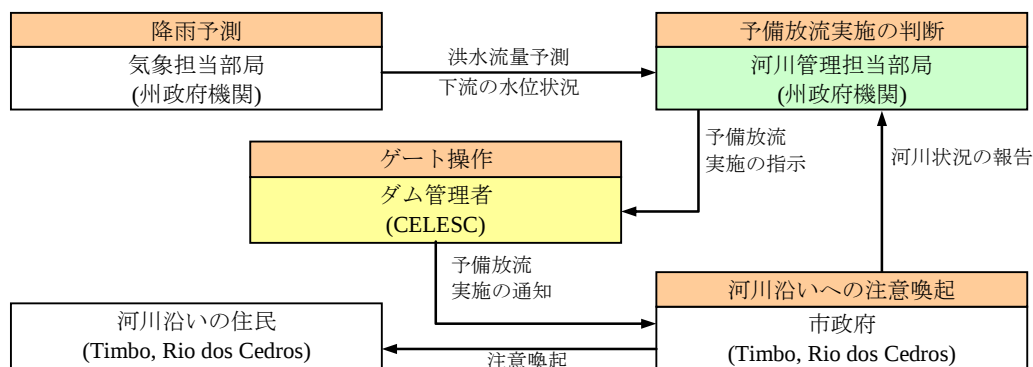
- ・ 予備放流による河道からの溢水を避けるために、Timbo 市と Rio dos Cedros 市において下流河道の水位をモニターすべきである。
- ・ 予備放流を行う際には、サイレンにて下流河道沿いに注意を促すべきである。

降雨予測については CIRAM において INPE が開発した ETA モデル、およびアメリカ合衆国の WRF モデルを使用しており、5 日先までの予測を行うことができる。また、現在 Defesa Civil、EPAGRI、SDS といった州機関は、INPE からの衛星データを利用した新しい降雨予測システムと、洪水予測システムの開発を画策している。これらの新しいシステムにより、予測精度の向上が期待される。

16.3 運用体制に関する提案

図-25 に、2 ダムの予備放流の実施に係る組織体制案を示す。

- ・ 予備放流の判断は河川管理者に相当する部局が責任を持つべきであり、河川管理部局が気象担当部局である CIRAM の予測と Rio dos Cedros 川の水位モニタリング結果に基づき CELESC に予備放流の実施を指示する。
- ・ ダムのゲート操作は CELESC の操作者によって実施される。
- ・ CELESC は予備放流を実施する前に、その旨を下流の市政府（Timbo 市、Rio dos Cedros 市）に通知すべきである。また、市政府は CELESC からの通知に基づき、河川沿いの住民に対し、水位上昇に注意するように伝えるべきである。



出典：JICA 調査団

図-25 予備放流実施に係る組織体制の提案

17. Itajai 市イタジャイミリム川の水門設置に関するフィージビリティ調査

17.1 イタジャイミリム川の洪水特性

Itajai 市 Old Mirim (旧河道) 沿いの地盤は EL.1.0～3.0 m であり、全体的に低い標高である。これに対し、Canal (ショートカット水路) 沿いの地域は EL.3.0～4.0 m であり、比較的高い標高である。このため Canal は流下能力が大きい、Old Mirim 沿いは頻繁に洪水による浸水被害を受けている。水門は Old Mirim 沿いの浸水を緩和することを目的としている。

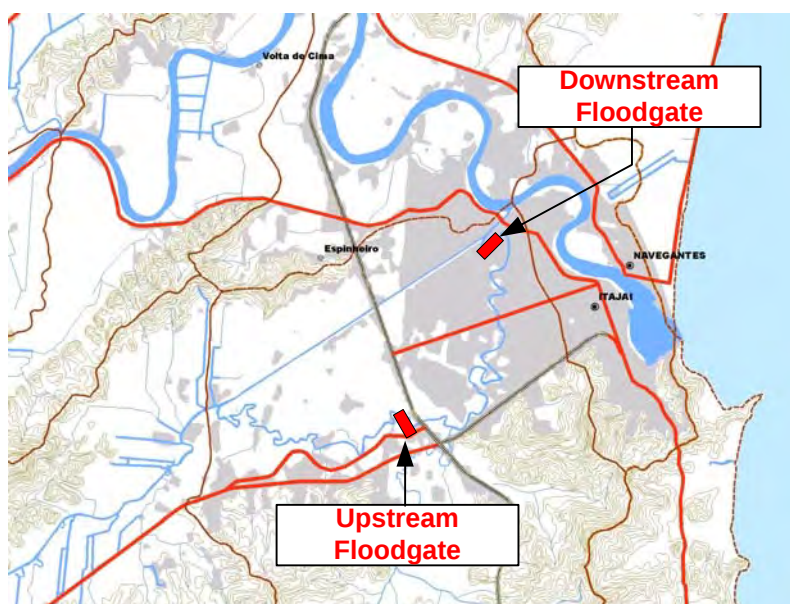
Old Mirim 沿い地域の浸水には主に 3 つの要因がある。1 つ目はイタジャイミリム川から流下する洪水、2 つ目はイタジャイ川の洪水による背水の影響、3 つ目は市内に降った降雨の内水排除の問題である。

17.2 水門の機能と操作および効果

水門は、図-26 に示す Old Mirim 沿いの 2 ヶ所に設置する。上流側水門はイタジャイミリム川からの洪水が市街地に流入するのを防ぐ。また下流側水門はイタジャイ川の背水による浸水を防ぐために設置する。

上流側水門はイタジャイミリム川からの洪水が Old Mirim の流下能力に達した段階で閉じる。したがって、操作のためには BR-101 より下流側の市街地での Old Mirim の水位情報が必要である。

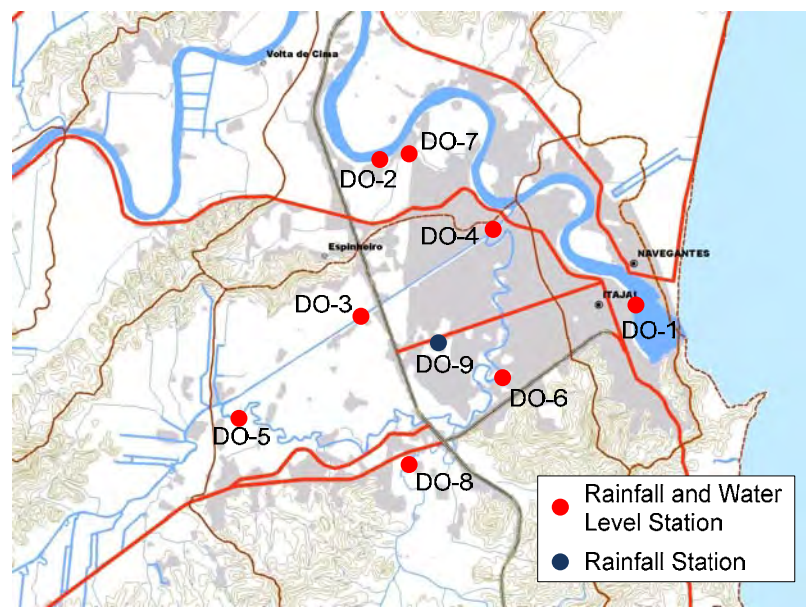
一方、下流側水門は Old Mirim 下流端の背水水位が一定以上の水位に達した段階で閉じるため、その操作には Old Mirim 下流端位置での水位情報が必要である。



出典：JICA 調査団

図-26 Old Mirim における水門の配置図

Itajai 市役所の Defesa Civil では、2011 年 2 月より Itajai 市内の 9 ヶ所の観測所に水位計と雨量計を設置した。水位計の位置は図-28 に示すとおりである。このうち DO-06、DO-04 の水位計が上下流の水門の操作のために使用することができる。



出典：JICA 調査団

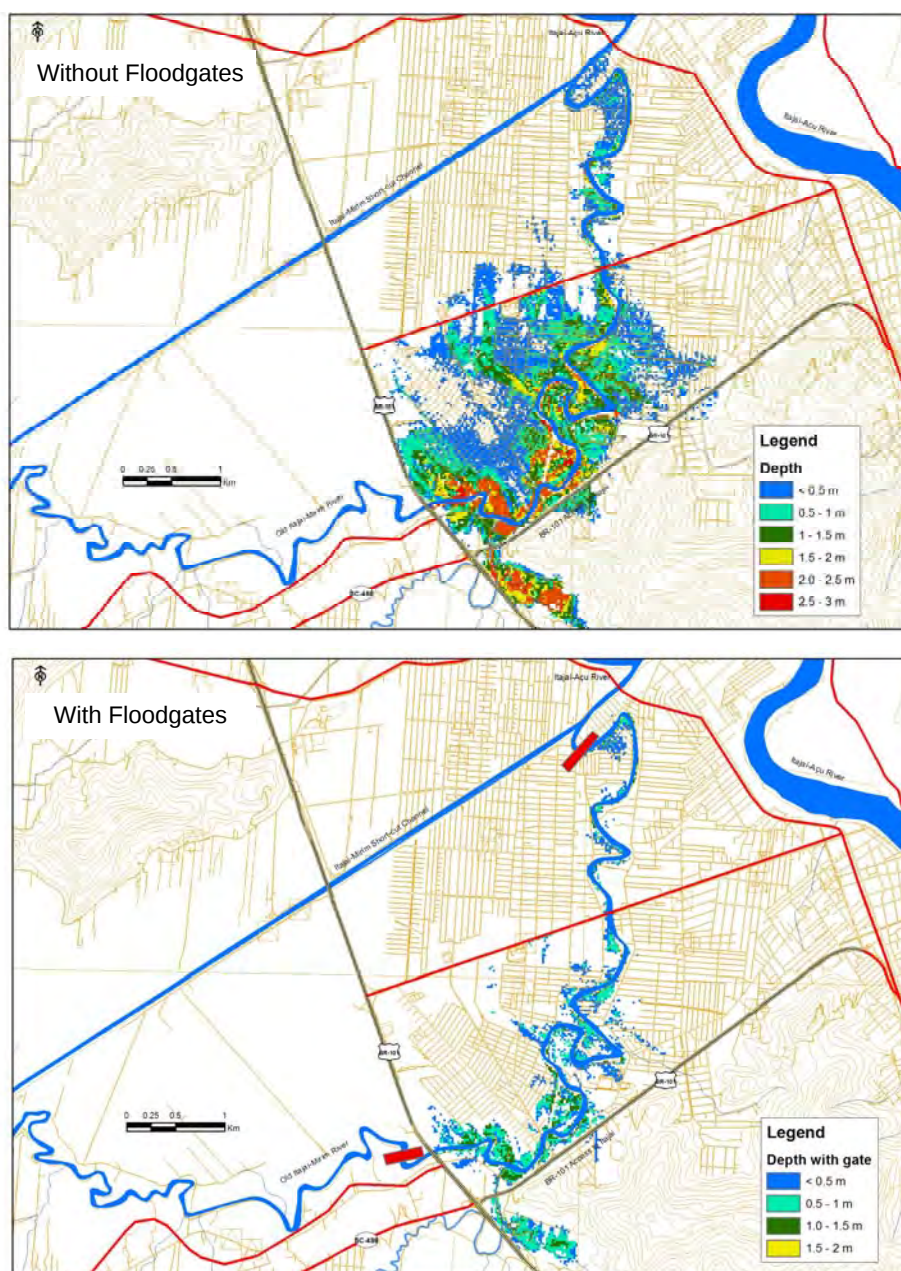
図-27 Itajai 市の水位および雨量計の位置

水門なしの場合、水門ありの場合の Old Mirim 沿いの BR-101 より下流側の市街地域における浸水範囲と浸水深の分布を図-28 に示す。さらに水門の設置で見込まれる浸水面積の低減効果を表-20 に示す。

表-20 Old Mirim 沿いの浸水面積

浸水深 (m)	浸水面積 (m ²) 水門なしの場合	浸水面積 (m ²) 水門ありの場合	水門の浸水面積低 減効果(m ²)
0.00< 0.5	2,216,400	564,400	1,652,000
0.5 – 1.0	1,299,600	527,600	772,000
1.0 – 1.5	848,800	242,000	606,800
1.5 – 2.0	431,600	22,000	409,600
2.0 – 2.5	441,200	0	441,200
2.5 – 3.0	40,000	0	40,000
Total	5,277,600	1,356,000	3,921,600

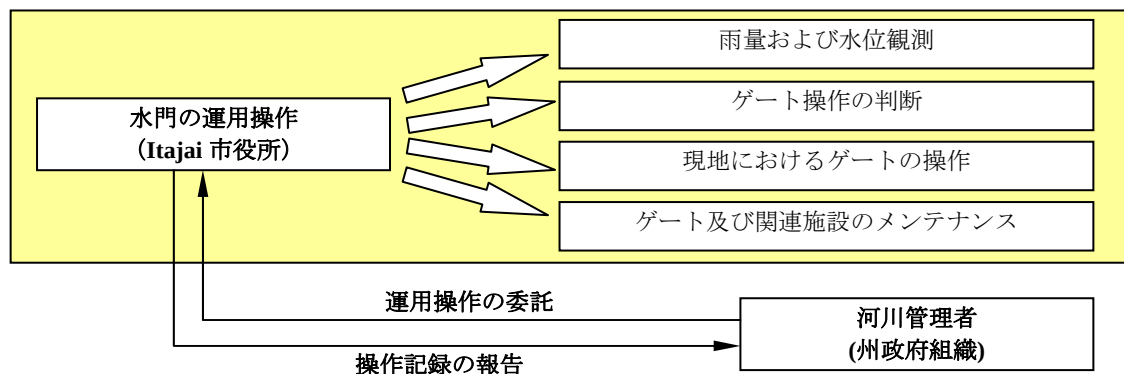
出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図-28 水門ありなしによる Old Mirim 沿いの浸水範囲の推定

水門は、Itajai 市内の水文情報のみで操作可能である。また、水門の操作の影響範囲は Itajai 市内だけに限られる。したがって、水門の操作は Itajai 市の行政組織によって実施されることが望ましい。



出典：JICA 調査団

図-29 水門の操作に関する組織体制の提案

17.3 水門の基本設計

二つの水門候補地は、Old Itajai Mirim 川の沖積平野である。今回実施したボーリング調査によると、2つの候補地の地質は表面から 38 m の深さまで第四紀の沖積堆積物であり、沖積堆積物の基底深度は確認できていないが、支持層までの深さは下流側水門で河床より 12 m、上流側水門で 30 m の位置にある。

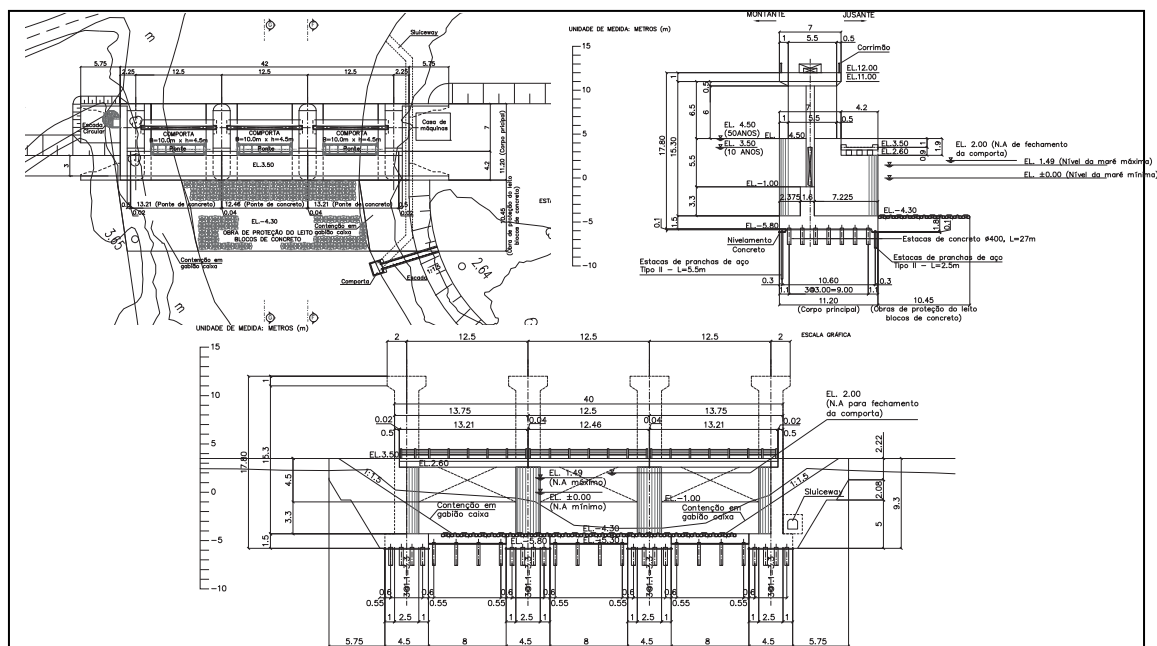
水門の主要諸元を表-21 にまとめる。また、図-30 に水門の一般図を示す。

表-21 水門の主要諸元

	下流側水門	上流側水門
ゲート門数	3	3
ゲート幅	12.5 m	12.5 m
水路床標高	EL.-5.0 m	EL.-4.3 m
ゲート下端標高	EL. -1.0 m	EL. -1.0 m
構造形式	スラブとピアの分離構造	スラブとピアの分離構造
ピア形状	EL. 7.70 m 幅 6.00 m 高さ 14.20 m	EL. 12.00 m 幅 11.20 m 高さ 17.80 m
ゲート操作施設の位置	ピア頂部	ピア頂部
エプロン長	6.0 m	8.0 m
止水矢板	下流側 2.0 m 上流側 None	下流側 2.5 m 上流側 5.5 m
取り付け護岸	下流側 10.0 m 上流側 10.0 m	下流側 10.0 m 上流側 none
管理用階段	設置する	設置する
基礎工	杭基礎 ピア部 :L=11.0 m φ 400 mm スラブ :L=11.0 m φ 300 mm	杭基礎 ピア部 :L=27.0 m φ 400 mm スラブ :L=27.0 m φ 300 mm

出典：JICA 調査団

イタジャイミリム川のイタジャイ川合流点から下流側水門までの約 1.0 km の区間では、右岸側の流下能力が一部不足しており、コンクリートパイル形式の堤防を設置する。コンクリートパイルの場合には、住民移転は不要となる。



出典： JICA 調査団

図-30 水門の一般図

18. 既存の洪水予警報システムの強化に関するフィジビリティ調査

18.1 既存の水文気象観測施設の強化

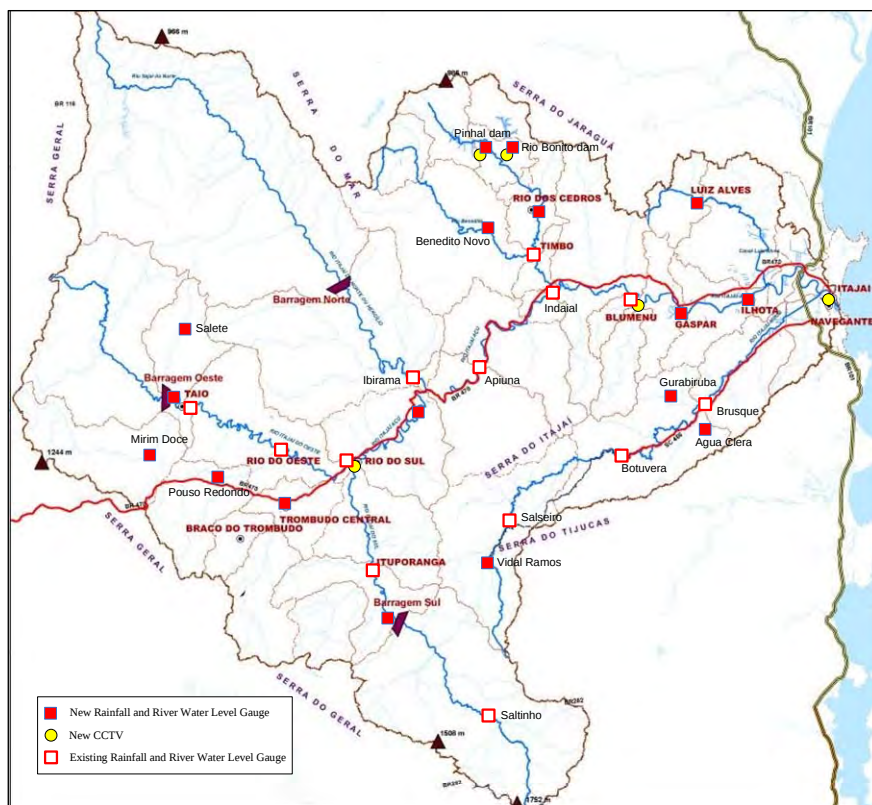
マスタープランでは13箇所の水文気象観測所、3箇所のCCTVを提案したが、関係機関との協議(Defesa Civil, SDS, CEOPS/FURB)及び2011年4月29日に実施したダム運用とFFWSに係わるワークショップを通して、治水ダムであるSulダムとOesteダム、発電ダムであるRio Bonitoダム、Pinhalダムへの水文気象観測所の設置を追加提案した。図-32に観測ネットワークを示す。

18.2 既存の洪水予測方法の妥当性

現行の洪水予測は流域全体を対象に一体的に行われているものではなく、特に洪水予測はBlumenau (FURB)、Rio do Sul (市Defesa Civil)の2ヶ所以外では実施されていない(Rio do Sulは試行レベル)。Blumenau、Rio do Sulにおける現行の洪水予測の妥当性とItajai市の洪水予測の方向性について検討した。その他の都市に関しては、既に設定されている警報レベルを基本とした警報の発令を行うことが第一である。

(1) Blumenau市の洪水予測方法の妥当性評価

Blumenauの予測水位は、Blumenau自身の観測水位と上流のApiuna、Timboの観測水位を用いた水位相関法(ARIMAX Model)により算定している。Blumenauの水位予測に使用している水位相関式は、1990年代にFURB/CEOPSが開発したものである。2010年4月の洪水を対象として、式の妥当性を確認した結果、高い予測精度を保持しており、予測式として妥当であると考えられる。今後、新たな洪水が観測された際には、式の精度を確認し、必要に応じて修正していくことが望まれる。



出典：JICA 調査団

図-31 FFWS 観測システムと CCTV の配置場所

(2) Rio do Sul 市の洪水予測方法の妥当性評価

現行の Rio do Sul の予測は、Rio do Sul 市の Defesa Civil により開発されたものであるが、予測水位は日平均値であり、これを使用して市民に対して警報を発することは、現在のところ行っていない。

- ・ 将来的には、通常の水位相関法により時間単位の水位予測を検討する。
- ・ ただし、上流に2つの治水ダムがあることから、上流河川と Rio do Sul の相関が低い場合には、ダムの操作状況を組み込んだ流出解析による予測モデルの開発も考慮する必要がある。
- ・ この場合、既存の雨量観測所に加えて、ダムゲートの開閉状況と放流量をダム管理者である DEINFRA から水位予測者（市および州 Defesa Civil または SDS）に伝達する仕組みを整備することが望ましい。

(3) Itajaí 市における洪水予測の方向性

Itajaí 市は流域の経済に非常に重要な都市であり、Blumenau、Rio do Sul 同様に洪水予測による警報の実施が望まれる。しかしながら、Itajaí 市は、潮位の影響を大きく受けるとともに、イタジャイミリム川の合流地点にあるため、水理的に複雑な位置にある。

Itajaí 市の Defesa Civil では 2011 年 2 月に市内に新たに 8 ヶ所の水位計を設置し、警報や避難勧告への適用を検討中であるが、上流の Blumenau、Brusque からの市を跨いだ情報伝達も無く、洪水の予測が困難な状況である。

一方、SC 州の Defesa Civil、SDS、EPAGRI が流出解析と氾濫解析による洪水予測モデルの開発を企画中であるが、これも本調査で提案した観測所を含めたデータの蓄積が必要であ

り、精度の高い予測までには時間が要すると考えられる。このような予測モデルの開発は今後も継続的に進める必要があるが、当面は SC 州が中心となり Blumenau、Brusque の上流の水位状況から警報および避難勧告を発令するべきである。

- ・ 過去の Itajai 市の水位情報は無いが、過去の洪水における Blumenau、Brusque の水位データとその時の Itajai 市での冠水の有無を整理し、Itajai 市で冠水が発生する場合の上流での水位の目安を把握する。
- ・ 今後は既存観測所とともに、Itajai 市が設置した水位計と今回調査で提案した Gaspar、Ilhota の水位計のデータも活用し、上流水位と Itajai 市での水位、冠水の有無との関係、洪水の到達時間を分析し、予警報の方法を立案する。

18.3 洪水予警報システム強化のための組織体制に関する提案

FFWS が効果を発揮するためには、予警報に係る施設やシステム自体の構築の他に、その運用体制組織が適切に構築されていること、また、予警報に基づいた避難計画があることが必要である。

- ・ 降雨量と河川水位は、FURB/CEOPS（洪水）、ANA（河川/水資源）、EPAGRI（農業）、CELESC（発電）など目的に応じて複数の期間で観測され、SC 州では気象を担当する部門である CIRAM にこれらの情報が集まっているが、FFWS には活用されていない。
- ・ これとは別に SDS から委託を受けた FURB/CEOPS（大学機関）が、水位相関による洪水予測を行っているが、メンテナンスの問題から十分に運用されているとは言えず、対象も Blumenau に限られており、その他の都市には手が回っていない。
- ・ 一方、避難に関しては、各市で避難マニュアルが整備され（もしくは作成中）、市の COMDEC、GRAC といった組織が警報/避難活動を担当している。山間部の比較的小さな市などで水文情報が不足し、特に夜間において警報が遅れるなどの問題があるが、組織体制自体に大きな問題は無いように思われる。今後、ハザードマップを含む避難マニュアルの整備が進めば、避難活動もより適切になるものと考えられる。

以上のことから、現状の問題のほとんどは観測から予警報までの組織体制に所在すると考えられ、州政府機関が責任を持って取り組まなければならない（下図-33 参照）。

- i) 本調査では流域全体の市において予報もしくは警報が可能となるよう現行の 14 観測所の改良と 16 ヶ所の増設を提案した。この 30 ヶ所の観測施設は洪水予警報システムを担う州機関（SDS あるいは Defesa Civil）が責任を持って管理する必要がある。
- ii) 予警報を担当する州機関は、Blumenau のみではなく、流域全体の都市について予測手法と警報レベルの改善を進めなければならない。
- iii) 一方で、気象を担当している EPAGRI/CIRAM は、様々な機関からの降雨の状況と予測情報を予警報担当機関に伝達する体制を整える必要がある。また、CIRAM は上記 30 ヶ所を含め、様々な機関が所管する観測値をデータベース化するシステムを整備することが望ましい。これらのデータは今後の洪水予測の高度化（流出予測、氾濫モデル、降雨予測）に利用する。
- iv) 予測結果は流域全体の COMDEC に伝達され、各市の警報レベルを考慮して警報発令と避難勧告が判断されなければならない。
- v) GRAC は避難勧告の発令に基づき、避難活動を行う。避難マニュアル、ハザードマップが未整備の市はこれを進める必要があるが、州の防災担当部局である Defesa Civil がこれを支援することが望まれる。

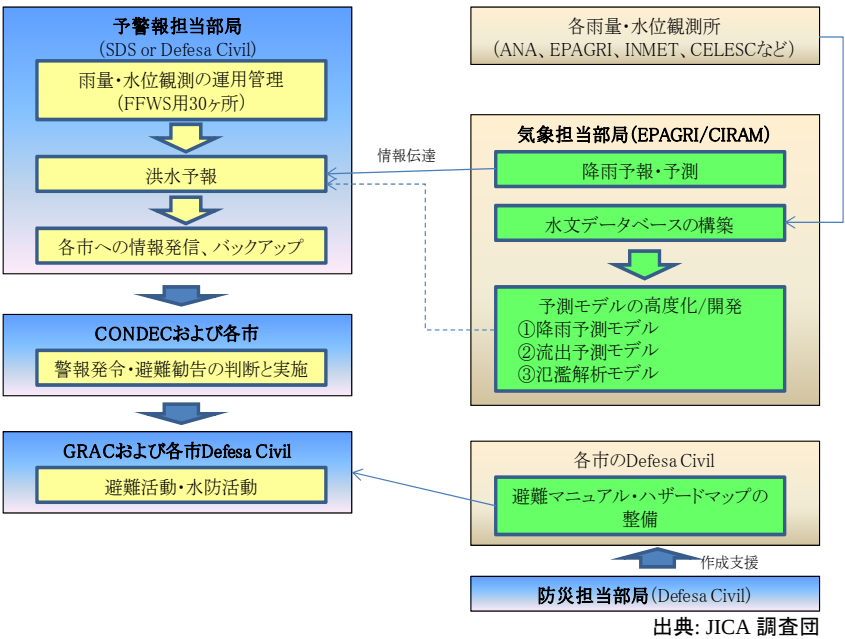


図-32 予警報システムに関する組織体制の提案

19. 土砂災害構造物対策のフィージビリティ調査

19.1 基本方針

13 の優先箇所（年潜在損失額が 50 万 R \$ /年以上）はすべて道路斜面である。構造物対策の安全目標は、60 年確率豪雨に対し、全幅員の通行の確保とした。13 の優先箇所は、道路交通量は比較的大きいことに加えて、斜面特性から崩土の直撃や路体の崩壊により被災により人身損失を生じる可能性が比較的高いことによる。

対策工種は、類似した斜面状況で、2008 年 11 月に Blumenau 市で経験した 60 年確率降雨に対し土砂災害が発生しなかった斜面の既存対策工を参考にして選定した。

19.2 土砂災害の分類と構造対策工の選定

一般的に、土砂災害の運動形態、災害発生源と保全対象の位置によって最適な対策工が異なる。山側斜面崩壊に対する対策工の選定基準は次表による。

表-22 山側斜面崩壊に対する構造物対策工

斜面状態		標準的な対策工種	共通工
安定勾配での切土が不可能		ロックボルト工、アンカー工	排水工 植生工
落石の可能性がある		不安定岩塊除去、根固工、落石防護柵、落石防護網	
深い深度の崩壊に対し、安定勾配での切土が可能	法高 7m 以上	不安定土砂の除去、切土補強土	
	法高 7m 未満	不安定土砂の除去、植生ネット、法尻への布団籠工	

出典：JICA 調査団

切土補強土の工法比較を、1,000 m² 規模について行った。ポリプロピレン繊維/セメント/砂混合材による切土補強土工法が、吹付法砕工、コンクリート法砕工に対しコスト、工期、景観の項目すべてで他工法に優っており最適と判断した。

谷側斜面崩壊への対策工比較の選定基準は次表に示す通りである。

表-23 谷側の崩壊への対策工の選定

斜面状況		標準的な対策工種	共通工
崩壊の高さ(H)が10mを越える H>10	崩壊の高さ(H)と幅(W) $H/W > 0.5$	鋼管杭工、大型ブロック工	植樹 排水
	崩壊の高さ(H)と幅(W) $H/W \leq 0.5$	布団かごによる縦排水を兼ねた浸食溝（ガリー）の埋め戻し。	
崩壊の高さ(H)が10m以下 $H \leq 10$	崩壊の高さ(H)と幅(W) $H/W > 0.5$	盛土可能 盛土不可能	
	崩壊の高さ(H)と幅(W) $H/W \leq 0.5$	盛土 鋼管杭工、大型ブロック工	
		布団かごによる縦排水を兼ねた浸食溝（ガリー）の埋め戻し。	

出典：JICA 調査団

2箇所河岸崩壊（優先順位 No.2 SC 470 Gaspar River Bank と No.3 Blumenau - AV. Pres Casrelo Branco）への対策工の選定は流速と環境保全に考慮して行った。環境と景観保全の観点からいずれも覆土し植生工を施すことが可能な護岸形式を採用した。設計流量から No.2 SC 470 Gaspar River Bank は蛇籠を用いた護岸を採用した。No.3 Blumenau - AV. Pres Casrelo Branco は設計流速と橋梁基礎に近接し、局所的な水衝が生じる条件から連結ブロック護岸を採用した。

4箇所の地すべり地の対策工のうち、3箇所は地下水排水工とふとん籠工で計画安全率 1.15 を確保した。優先順位 No. 9 SC477 Benedito Novo - Doutor Pedrinho 1 は、地下水位が低いと地下水排除工は適さない。基礎地盤が深く、地下水位が低い現地条件から EPS 軽量盛土工法を採用した。

表-24 各地すべりブロックの安定解析結果と対策工一覧表

優先順位	場所	初期安全率	計画安全率	対策工実施後の安全率	対策工
1	SC 302 Taio-Passo Manso-5	1.00	1.15	1.5m の地下水低下で安全率は 1.5m とする。	横ボーリング排水工 ふとん籠擁壁
4	SC418 Blumenau - Pomerode	1.00	1.15	0.5m の地下水位低下で安全率を 1.15 とする。	明暗渠工 ふとん籠擁壁
6	Gaspar - Luiz Alves, Gaspar 9	1.00	1.15	1.0m の地下水位低下で安全率を 1.150 とする。	横ボーリング排水工 ふとん籠擁壁
9	SC477 Benedito Novo - Doutor Pedrinho 1	1.00	1.15	軽量盛土によって安全率を 1.15 とする。	軽量盛土

出典：JICA 調査団

20. 土砂災害・フラッシュフラッド予警報システムのフィージビリティ調査

20.1 雨量観測とデータの伝達手段と保存方法

予警報を目的として自記雨量計は各市に設置する。悪天候においても通信を確保するために CELESC の VHS 通信システムと GPRS 通信の 2 つの方法で通信の代替性を確保する。

市に既存の自記雨量計がある場合は、Defesa-Civil SC は市の Defesa Civil と協議し、新たな自記雨量計の効率的な設置場所を検討する（人口密集地で、土砂災害やフラッシュフラッドの可能性のある場所）。

20.2 注意報および警報の発令に供する雨量指標基準

現況では、土砂災害とフラッシュフラッドの発生場所と正確な発生時間をまとめたデータベースが整理されておらず自記雨量観測所の設置密度が低い。よって、最適な雨量基準値

の検討は現況では不可能であり、雨と災害データベースが整ってから実行されるべきである。

20.3 情報管理、雨量指標の計算、注意報と警報の発令

注意報と警報は SC 州 Defesa Civil 局が正式に発令する。市民への早期の情報提供が重要であることから、SC 州 Defesa Civil 局は EPAGRI/CIRAM に委任し、雨量指標が注意報と警報のレベルに達した場合、日常もしくは緊急の天気予報として Web ページやマスメディアを用いて速やかに広報することとする。また、予警報の電算機システムには、SC 州 Defesa Civil 局、市長、各市の Defesa Civil、EPAGRI/CIRAM の担当職員に対して自動的に電子メールを配信する機能を含める。

20.4 避難指示と防災教育

市の政府機関が避難指示に対する責任を負う。避難指示は、警報発令に伴い予め指定した危険地域/家屋の住民に対して行う。災害現象の進行が確認された場合には、雨量指標値あるいは危険地域/家屋の指定に関わらず避難指示を行う。

市の Defesa Civil は詳細なハザードマップ（S=1:10,000）を準備し、危険地域と家屋、学校や教会等の緊急避難場所および避難ルートを指定する。避難に対する防災教育も行なう。SC 州は、法的に避難指示に対する市行政と市長の責任を明確にする必要がある。避難指示に関わる市行政機関の能力は一般的に充分ではない。SC 州 Defesa Civil 局は大学や、公的／私的技術者、国際技術支援などの人的資源により市行政機関への支援を調整する。この予警報システムは可能な限り早く開始し、市行政機関が避難すべき危険地域と家屋を指定しシステムの実効性を高めて行くことが望まれる。

20.5 リスク回避のための道路交通規制

土砂災害警報が発令された場合、予め指定した災害脆弱区間に対し交通規制を行う。道路区間に於いて災害の進行が認められた時にも通行規制を行う。豪雨時における道路災害の多発区間は、豪雨時の通行規制区間として指定し、予警報システムの実効性を高めて行く。構造物対策が完了した後は、豪雨時の通行規制道路区間の指定を解除する。市行政機関は市道、DEINFRA は州道に対してリスク回避のための交通規制に対し責任を有する。

21. 環境社会配慮

21.1 初期環境評価（IEE）のレビュー

優先事業の環境社会配慮スコーピングにより、環境社会面に対する重要な影響項目はダム嵩上げによる用地取得と住民移転であることが判明した。ダム嵩上げによる環境社会面への影響に対する緩和策を検討した。

21.2 重要な環境社会面への影響に対する緩和策

(1) Sul ダム

既存余水吐きの 2 m 嵩上げであり、ダム堤頂の嵩上げはない。連邦政府は既にダム堤頂までの土地取得を完了しており、嵩上げによる新たな用地取得は発生しない。ダムが建設された際、連邦政府が収用した土地のうち、湛水域 EL. 405.5 m から EL. 410.0 m については、地域住民で組織された Sul ダム流域農業組合（COOPERBASUL）と連邦政府の間で、土地利用権に関する契約書が 1981 年に交わされている。COOPERBASUL は現在でも組合活動を行っており、本契約は連邦政府との契約のままであるが、現在移管された州 Deinfra はその契約を前提に土地利用権を認めている。

現地調査の結果、湛水域に 4 つの家屋と 2 つの家畜小屋が確認された。土地利用契約につ

いては、これまで良好な関係を保ってきている上、本事業は洪水専用ダムということで恒常的な影響が発生するわけではない。ダム嵩上げに伴って、州 Deinfra は COOPERBASUL と新たに土地利用権に関する契約を行い、内容を見直す必要がある。また、土地利用権が設定されている州政府用地内に家屋や家畜小屋が確認されたことから、浸水する確率は非常に小さいが、浸水時の補償に関する契約条項を盛り込む検討が必要となる。

(2) Oeste ダム

ダム堤頂の嵩上げにより、土地収用が 67 ha 発生する。現地調査の結果、土地収用対象域に 3つの家屋と 4つの家畜小屋が確認された。嵩上げに伴う道路の付け替えを家屋よりダム側に行うことで、住民移転を回避することが可能である。

22. 事業費、事業実施機関と実施体制、事業実施スケジュール、及び事業評価

22.1 事業費

第1期事業の総事業費は 202.9 百万レアイスで、その内訳は下表に示すように、借款対象となる事業費が 193.9 百万レアイス、州政府事務管理費 7.8 百万レアイス、および土地収用費 1.2 百万レアイスである。

表-25 第1期事業の総事業費

単位：R\$ 1,000

項目	事業費 (借款対象)	事務管理費	土地収用費	小計
I. 対策事業の直接工事費(直接事業費)				
(1) 流域対策	水田の雨水貯留	18,000	3,600	21,600
	Oeste ダムの嵩上げ	27,200	800	29,110
	Sul ダムの嵩上げ	22,500	700	23,200
(2) 河道対策	ミリム川上流水門	17,800	500	18,310
	ミリム川下流水門	14,000	400	14,400
(3) 土砂災害対策	25,800	800	50	26,650
(4) 洪水予警報システムの強化	4,000	120		4,120
(5) 土砂災害予警報システムの新設	4,000	120		4,120
II. 対策事業の直接費工事費計	133,300	7,040	1,170	141,510
III. コンサルタント費用（詳細設計&施工管理）	25,100	750		25,850
IV. II+III	158,400	7,790	1,170	167,360
V. 物理的予備費（IV の 10%）	15,800			15,800
VI. 価格予備費	19,700		70	19,770
VII. 事業費	193,900	7,790	1,240	202,930

出典：JICA 調査団

事業費の積算は、2011 年 6 月時点の価格水準、換算レート R\$ 1.0 = JPY 50.71= US\$ 0.63 で算定した。また、事業実施計画に基づき、年次支出計画を策定し、物価上昇予備費等を含む総事業費の算定を行った。

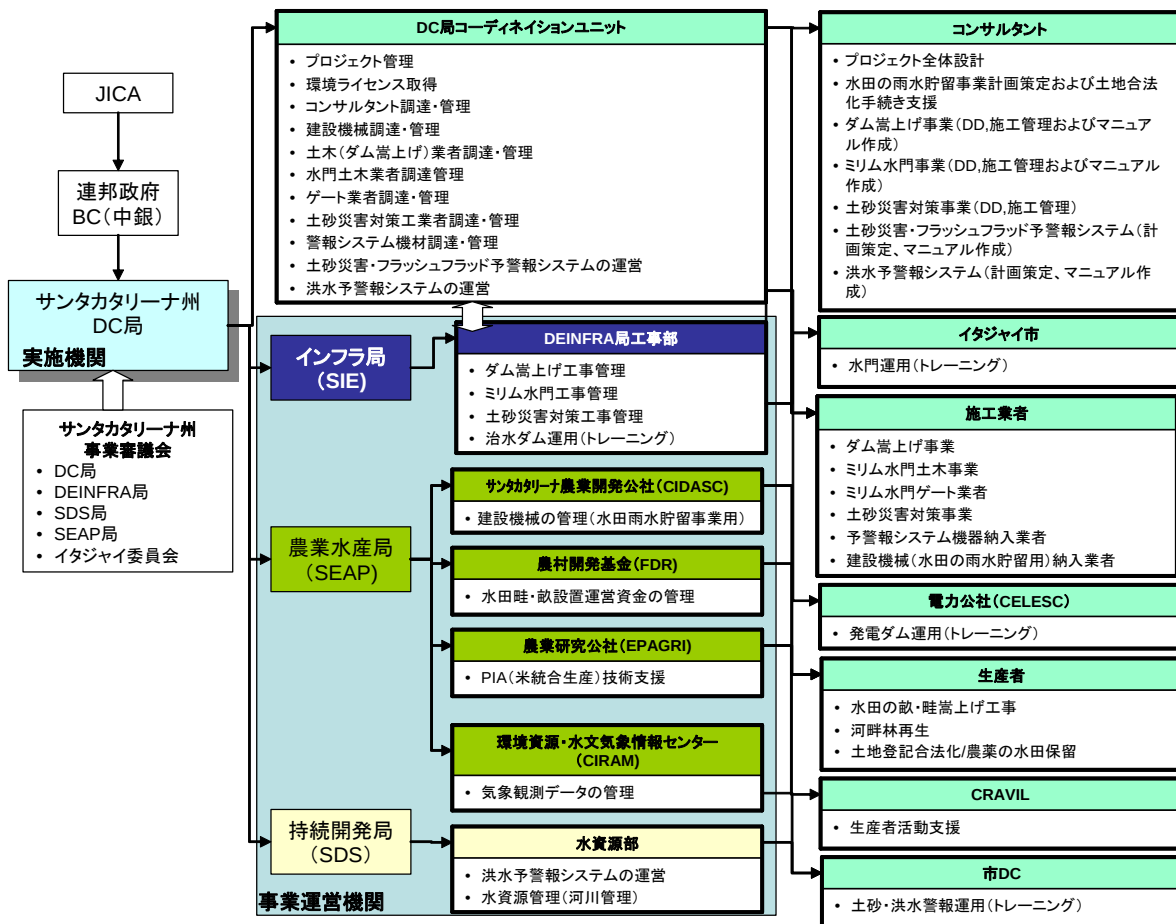
22.2 事業実施機関と実施体制

本事業は、防災事業として一括して実施する。第1期事業は、以下のパッケージから構成される。

- i) 建設機械購入（水田の雨水貯留事業）
- ii) FDR 活用による融資（水田の雨水貯留事業）
- iii) EPAGRI による PIA 導入事業（水田の雨水貯留事業）
- iv) ダム嵩上げ（Oeste ダム&Sul ダム）事業
- v) ミリム川上下流水門の設置事業

- vi) ミリム川上下流水門のゲート機器の調達
- vii) 土砂災害対策事業
- viii) 洪水予警報および土砂災害・フラッシュフラッド予警報システム機器の調達と設置
- ix) コンサルタント調達

事業の実施機関は、サンタカタリーナ州 Defesa Civil 局（SDC 局）とし、SDC 局に事業実施のためのコーディネーションユニット（CU）を設置し、CU が実質的实施主体となる。事業は上記のパッケージ毎に実施を行なっていく。下図-33 に当事業実施の事業実施体制を示す。



出典：JICA 調査団

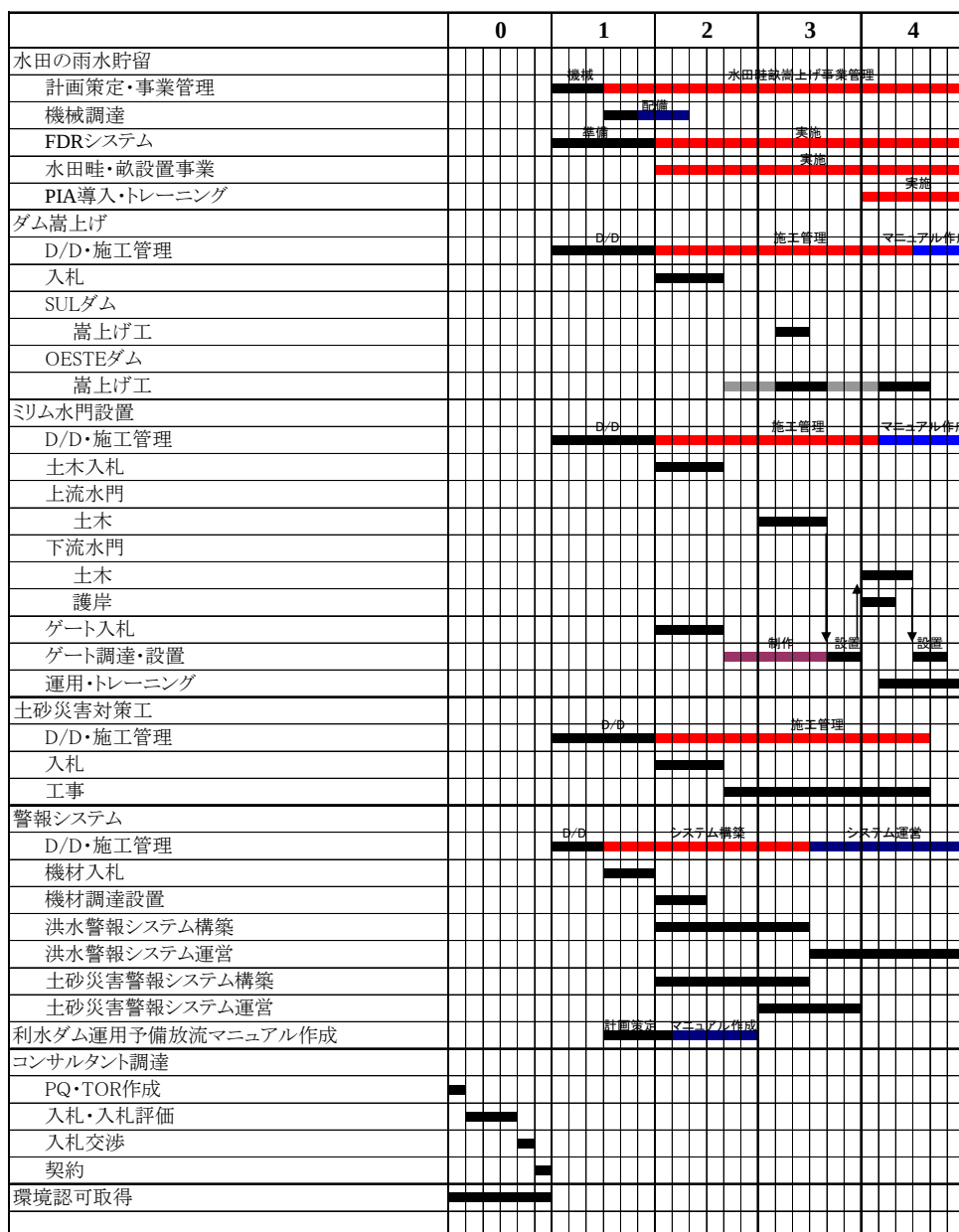
図-33 事業実施機関と事業実施体制

22.3 事業実施スケジュール

事業実施スケジュールを図-34 に示す。

22.4 事業評価

事業評価期間を 50 年として事業評価を行った。本事業の EIRR は 22.9 %であり、高い経済効果を有するものと評価される。



出典：JICA 調査団

図-34 事業実施スケジュール