

フィリピン国
ピナツボ火山西部河川流域洪水及び泥流制御計画調査

最終報告書

要約

平成 15 年 9 月

(2003 年)

JICA LIBRARY



1173455〔5〕

国際協力事業団

日本工営株式会社

株式会社建設技研インターナショナル

社調二

J R

03-106

フィリピン国
ピナツボ火山西部河川流域洪水及び泥流制御計画調査

最終報告書

要約

平成 15 年 9 月

(2003 年)

国際協力事業団

日本工営株式会社

株式会社建設技研インターナショナル

最終報告書の構成

要約

Volume I : Executive Summary

Volume II : Main Report

Volume III-1 : Supporting Report

Appendix I : Socio-economy

Appendix II : Topography and Geology

Appendix III : Meteorology and Hydrology

Appendix IV : Sediment Balance

Appendix V : Inundation and Damage

Appendix VI : Sabo/Flood Control Structural Measures

Appendix VII : Road Network

Appendix VIII : Sabo/Flood Control Non-Structural Measures

Volume III-2 : Supporting Report

Appendix IX : Community Disaster Prevention System

Appendix X : Construction Plan and Cost Estimate

Appendix XI : Environmental Assessment

Appendix XII : Economic Evaluation

Appendix XIII : Institution

Appendix XIV : GIS

Appendix XV : Transfer of Technology

Volume IV : Data Book



1173455(5)

外貨交換率

1.0 米ドル= 50.5 ペソ

1.0 米ドル= 120.1 円

2002 年 7 月現在

序文

日本国政府は、フィリピン共和国政府の要請に基づき、同国のピナツボ火山西部河川流域洪水及び泥流制御計画調査に係る開発調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施致しました。

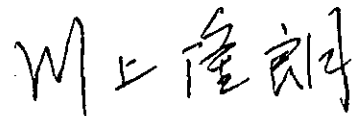
当事業団は、平成14年4月から平成15年8月までの間、4回にわたり日本工営株式会社の日野 慎介氏を団長とし、日本工営株式会社及び株式会社建設技研インターナショナルから構成された調査団を現地に派遣致しました。また、平成14年4月から平成15年8月までの間、独立行政法人 土木研究所の 故 仲野 公章氏を委員長とする作業監理委員会を設置し、本調査に関し、専門的かつ技術的な見地から検討・審議を行いました。

調査団は、フィリピン共和国政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

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

平成15年9月



国際協力事業団
総裁 川上 隆朗

平成 15 年 9 月

国際協力事業団
総裁 川上隆朗殿

伝達状

今般、フィリピン国ピナツボ火山西部河川流域洪水及び泥流制御計画調査を終了致しましたので、ここに最終報告書を提出申し上げます。

本調査では、ピナツボ火山の西部に位置するブカオ川・マロマ川・サントーマス川 3 流域の洪水・泥流制御に係るマスタープランの策定と優先事業のフィージビリティ調査を行いました。マスタープランは 2022 年を目標とし、構造物対策・非構造物対策及びコミュニティ防災計画を含む包括的な治水砂防計画としました。フィージビリティ調査を実施しました優先事業は、ブカオ川及びサントーマス川堤防嵩上げ強化等の構造物対策、警報避難システムからなる非構造物対策、そして森林管理・河川敷農業開発・道路復旧・アエタ族支援事業等のコミュニティ防災事業からなり、本調査ではこれら優先事業の早期実施を提案しております。

本報告書は、要約・主報告書・付属報告書ならびに資料集から構成されており、上記マスタープラン策定とフィージビリティ調査のすべての結果を記述しております。

本報告書が、本調査にて提案された事業実施の推進に役立ち、下流域の洪水・泥流被害軽減と、中上流域に住む住民の生計手段の確保がなされ、延いては西部河川流域の貧困削減と社会経済発展に寄与することを願うものであります。

本報告書を提出するにあたり、全調査期間に亘り多大なご支援とご助言を賜った貴事業団、貴事業団フィリピン事務所、作業監理委員会、外務省、国土交通省、在フィリピン日本大使館、ならびにフィリピン国政府公共事業道路省をはじめとする政府諸機関の関係者各位に対し、心から感謝の意を表すものであります。



日野 慎介

フィリピン国

ピナツボ火山西部河川流域

洪水及び泥流制御計画調査団長



構造物対策

ブカオ川

- 1) 既存堤防嵩上げ(1=6.7km)、ブカオ橋下流側の堤防新設(左岸側1=1.9km、右岸側1=2.4km)
- 2) ブカオ橋掛け替え(橋長: 355m)
- 3) マラオノット鞍部における水文観測
- 4) 床固め工、サンドポケット<見直し検討>

非構造物対策

避難システム

既存避難所の改善及び新規避難所の建設提案(短期10カ所、長期50カ所)、ハザードマップ公開と住民それぞれの避難経路及び避難先の教育

構造物対策

マロマ川<見直し検討>

- 1) 河道拡幅及び直線化による河川改修及び築堤(1=7km)
- 2) マロマ橋掛け替え(橋長: 240m)

コミュニティ防災 <実施前に、追加の地方政府・住民間の話し合い及び調査を提案する>

テクテク再定住地改善事業

3つのNGO再定住地の統合及びコミュニティインフラの整備事業。

構造物対策

サントトーマス川

- 1) 既存堤防嵩上げ(1=13.6km)、既存堤防強化(1=13.6km)、マクルコル橋下流側堤防新設(1=2km)、ガボール川排水改善
- 2) マクルコル橋架け替え(橋長: 430m)
- 3) 床固め工、サンドポケット、流路工<見直し検討>

非構造物対策

警報システム

雨量観測所(7カ所)、水位観測所(6カ所)、中央監視所(イバ, PDDP)、GSMシステムによるリアルタイム観測、インターネットによる情報公開及びラジオ放送・サイレンによる警報発令

コミュニティ防災

ラハール河川敷農業開発

ラハールにより農地を失った農民を対象とした河川敷農業開発事業。

コミュニティ防災

コミュニティ道路復旧事業

ブカオ川・サントトーマス川流域のコミュニティ道路復旧事業。それぞれ延長48km及び60km。

非構造物対策

流域管理

森林管理、ピナツボ山麓アエタ族土地所有管理、流域土砂管理、欽山管理、水質管理

コミュニティ防災

コミュニティ森林管理

上流域住民の生計手段開発を目的とした森林管理事業(既存CBFM事業地域の拡張)。面積25,000ha。

コミュニティ防災

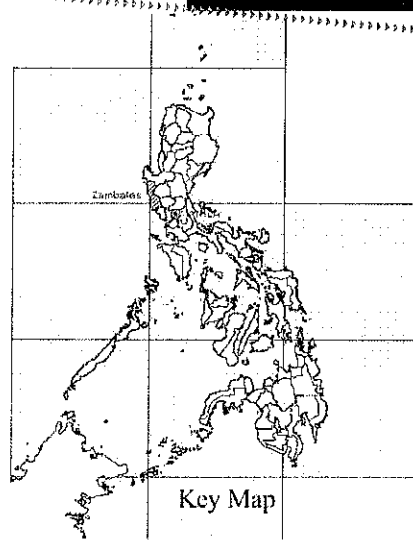
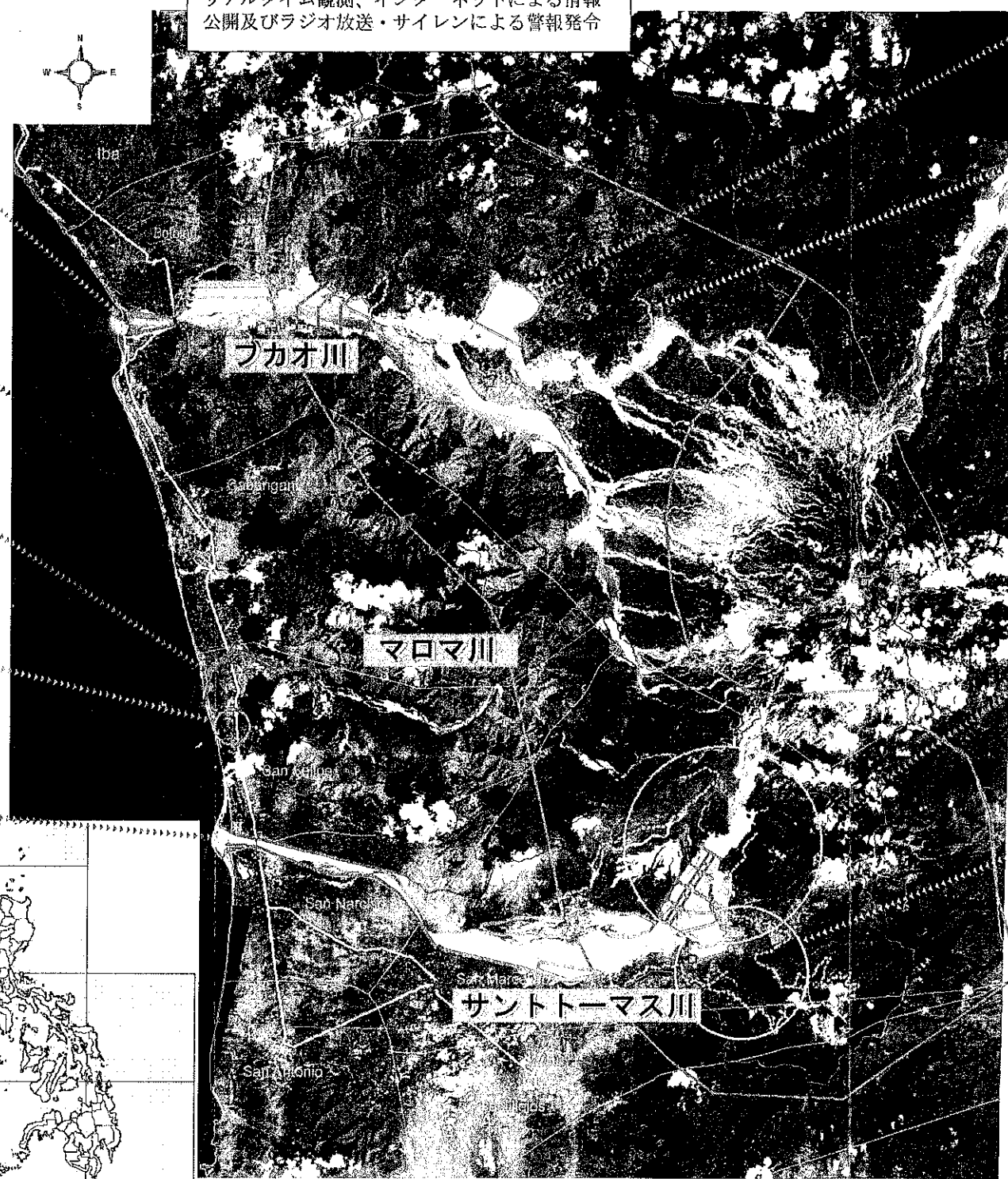
アエタ族支援事業

アエタ族支援ステーション(AETAS)の設立。

コミュニティ防災 <実施前に、追加の水質モニタリング及び調査を提案する>

マパヌエベ湖流域コミュニティ開発

マパヌエベ湖により水没した村落の生計手段開発を目的としたコミュニティ開発事業(灌漑、内水漁業及び観光開発)。



- Monitoring Station
 - ▲ Rain
 - Rain&WaterLevel
 - WaterLevel
 - △ Eucos Bridge
 - ▲ River Structural Measure
 - Community Road
 - Non Structural Measure
 - CBFMProject
 - Lahar Agriculture
 - AETAs
 - Resettlement Plan
 - Community developmen
 - Watershed boundary
 - Municipality boundary
 - Project Area

マスタープラン位置図

構造物対策

ブカオ川

- 1) 既存堤防嵩上げ(1=7.5km)、ブカオ橋下流側の堤防新設(左岸側 1=2.1km、右岸側 1=2.4km)
- 2) ブカオ橋掛け替え(橋長: 321m)
- 3) ピナツボ火山湖水文モニタリング

総事業費: 1,678 百万ペソ
 EIRR: 15.7%
 環境評価: 特に問題なし。
 住民移転: 29世帯/移転計画作成済
 事業評価: 事業実施を勧告
 実施予定: 2007年-2010年(工事)



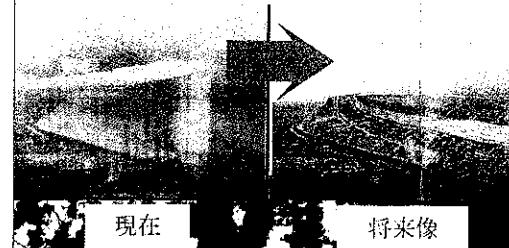
ブカオ橋(洪水時)

コミュニティ防災

ラハール河川敷農業開発

ブカオ川下流及びサントトーマス川中流河川敷における10haずつのパイロット事業の実施。

総事業費: 19 百万ペソ(パイロット事業: 20ha)
 EIRR: 9.8%
 環境評価: 特に問題なし。
 社会評価: 貧困緩和の観点から好ましい事業である。
 事業評価: パイロット事業(20ha)の実施を勧告
 実施予定: 2008年-2010年



現在

将来像

コミュニティ防災

コミュニティ道路復旧事業

ブカオ川中流域の16kmのコミュニティ道路復旧。

総事業費: 189 百万ペソ
 (Route-A1: ブカオ川中流)
 EIRR: 2.1%
 環境評価: 道路が出来ることで上流域の森林管理が促進され、環境の観点から好ましい。
 社会評価: 貧困緩和と上流域村落への社会サービスの充実が期待され、好ましいと判断される。
 事業評価: Route-A1の実施を勧告
 実施予定: 2005年-2007年



バキラン橋

非構造物対策

警報システム

雨量観測所(7カ所)、水位観測所(6カ所)、中央監視所(イバ, PDDP)、GSMシステムによるリアルタイム観測、インターネットによる情報公開及びラジオ放送・サイレンによる警報発令

避難システム

新規避難所の指定(10カ所)、ハザードマップ公開と住民それぞれの避難経路及び避難先の教育

総事業費: 30 百万ペソ(既存システム10年運用)
 82 百万ペソ(GSMシステム建設費用)
 EIRR: 人的被害軽減目的のため算定せず。
 環境評価: 特に問題なし。
 社会評価: 人命救助目的であり社会的効果大
 事業評価: 既存システムの改善を経てGSMシステムの導入を提言。
 実施予定: 2003-08(既存システム)
 2007-12(GSM 導入)

構造物対策

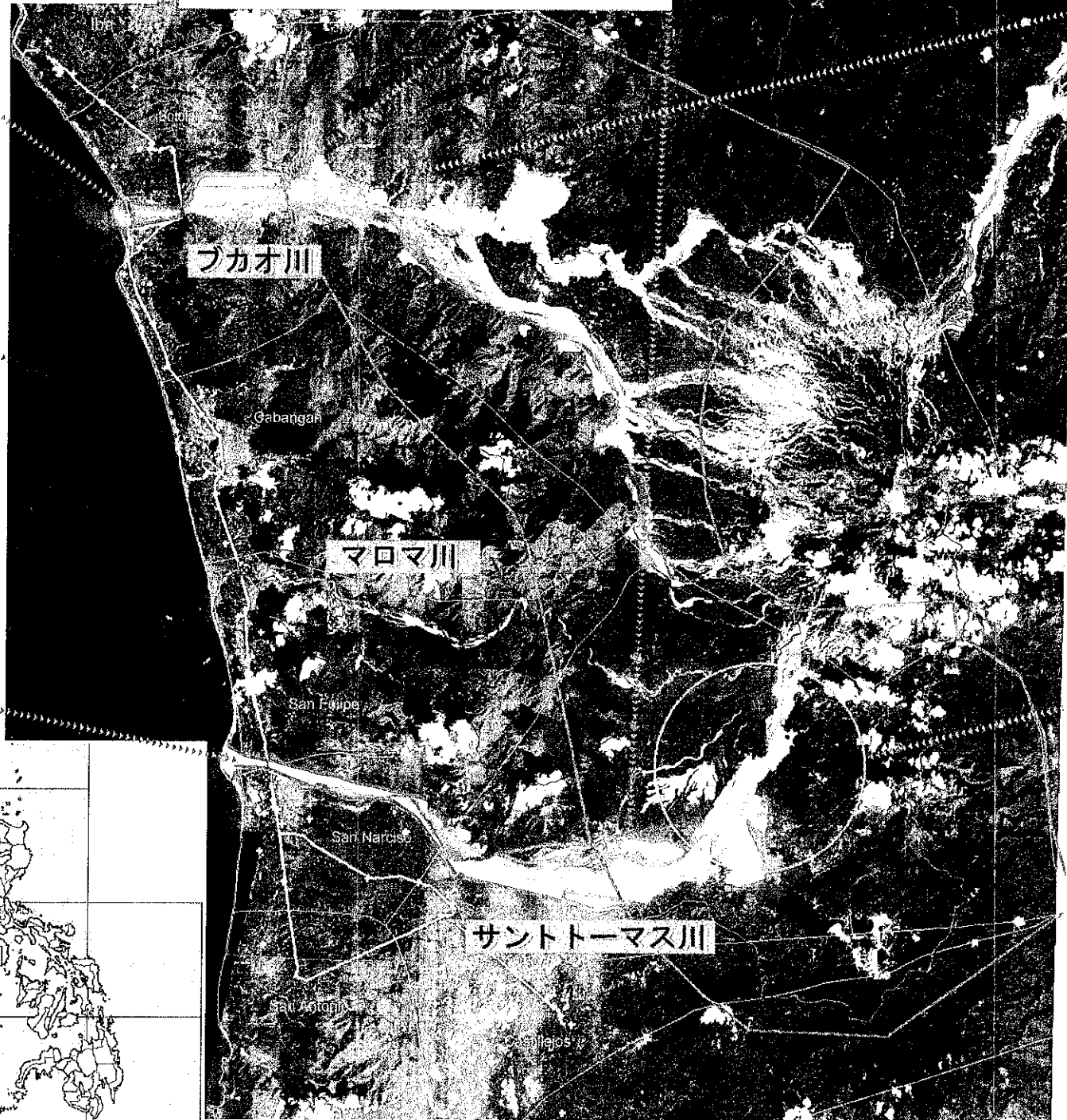
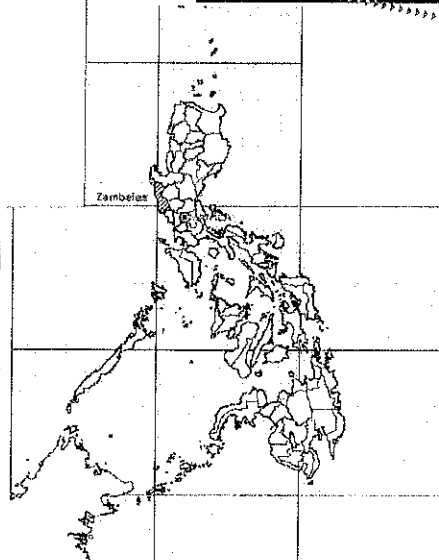
サントトーマス川

既存堤防嵩上げ(1=13.4km)、既存堤防強化(1=13.9km)、マクルコル橋下流側堤防新設(1=2.0km)、ガボール川排水改善(1=1.7km)

総事業費: 1,960 百万ペソ
 EIRR: 26.3%
 環境評価: 特に問題なし。
 住民移転: 77世帯/移転計画作成済
 事業評価: 事業実施を勧告
 実施予定: 2007年-2010年(工事)



サントトーマス川(中流部、下流側を見て)



5 0 5 10 Kilometers

コミュニティ防災

コミュニティ森林管理

2,200haを対象としたパイロット事業の実施。

総事業費: 76 百万ペソ(パイロット事業)
 EIRR: 21.5%
 環境評価: 環境の観点から好ましい事業である。
 社会評価: 貧困緩和の観点から好ましい事業である。
 事業評価: パイロット事業(2,200ha)の実施を勧告
 実施予定: 2007年-2012年



コミュニティ森林管理
 優先開発地域(緑色)

コミュニティ防災

アエタ族支援事業

NGOによるアエタ族支援事業への資金的技術的協力を主としたパイロット事業。1)アエタ山岳農業学校設立、2)ピナツボ火山山麓土地所有権獲得支援、3)アグロフォレストリー及び斜面農業(SALT)の技術支援、4)アエタ支援センター設立のための詳細調査。

総事業費: 15 百万ペソ
 EIRR: 経済評価に馴染まないため算定せず。
 環境評価: 山岳地域の環境保全につながり好ましい。
 社会評価: 貧困緩和及び少数民族保護を目的とした事業であり好ましい。
 事業評価: NGOを主体として事業実施を勧告
 実施予定: 2005年-2009年

- Monitoring Station
- ▲ Rain
 - Rain&WaterLevel
 - WaterLevel
 - Evacuation Center
 - △ Bucao Bridge
 - ◇ Community Road
 - ▽ River Structural Measure
 - Non Structural Measure
 - CBFMPProject
 - ◇ Lahar Agriculture
 - AETAs
 - Watershed boundary
 - Municipality boundary
 - Project Area



アエタ族

提案優先事業位置図

フィリピン国
ピナツボ火山西部河川流域洪水及び泥流制御計画調査

調査概要

1. 河川流況

1.1	ピナツボ火山	位置 山頂標高 火口湖 マラウノット鞍部	ルソン島中部 El.1,449m (噴火前は El.1,745m) 湖面標高 El.920m (2003年1月時点), 湖水面積 2.4km ² 安山岩、河床湖床堆積物、石英安山岩 (デイ サイト)
1.2	ブカオ川	流域面積 流路長 河川勾配	655km ² (噴火前 646km ²) 36.0km 下流側 1/270 (噴火前 1/400)
1.3	マロマ川	流域面積 流路長 河川勾配	152 km ² (噴火前 151km ²) 17.8km 下流側 1/800 (噴火前 1/1,200)
1.4	サントトーマス川	流域面積 流路長 河川勾配 マパヌエベ湖	262 km ² (噴火前 262km ²) 32.8km 下流側 1/300 (噴火前 1/450) 湖水面積 6.8km ² , 貯水量 30 百万 m ³
1.5	社会経済	調査地域内人口 サンバレス州 第3開発地域 失業率 世帯収入	228,148 人 (8 町、2000 年統計) 433,542 人 (2000 年統計) 8,030,945 人 (2000 年統計) 37.9% (サンバレス州、2000 年統計) 10.0% (第3開発地域、2000 年統計) 123,667 ペソ/年 (サンバレス州、2000 年統計) 144,039 ペソ/年 (フィリピン国、2000 年統計) 151,449 ペソ/年 (第3開発地域、2000 年統計)
1.6	水文解析	年間降雨量 20年確率洪水	3,600mm (イバ町、年平均) ブカオ川: 3,800m ³ /s、マロマ川: 810m ³ /s、 サントトーマス川: 1,200m ³ /s
1.7	土砂解析	年間土砂供給量 河道土砂堆積量	ブカオ川: 13 百万 m ³ (2003 年)、2.9 百万 m ³ (2010 年予測)、 サントトーマス川: 7.1 百万 m ³ (2003 年)、1.4 百万 m ³ (2010 年予測) ブカオ川: 843 百万 m ³ (2002 年) サントトーマス川: 818 百万 m ³ (2002 年)
1.8	泥流被害	20年洪水氾濫域 泥流による死者	ブカオ川流域: 11.1km ² マロマ川流域: 5.5km ² サントトーマス川流域: 58.9km ² 215 名 (サンバレス州、1991 年以降累計)
1.9	土地利用		森林地帯: 69%, 農耕可能地域: 31%

2. 既存河川施設及び関連施設

2.1	ブカオ川	河川堤防	土堰堤及び護岸工: 下流右岸側 6km スパーダイク: 300m (右岸側堤防上流端)
-----	------	------	--

	ブカオ橋	橋長：300m (255m ポニートラス橋ほか)
	その他	灌漑施設及び排水カルバート（右岸側）
2.2	マロマ川 河川堤防	土堰堤及び護岸工：左岸側 3.2km
	マロマ橋	橋長 90m (鋼製プレートガーダー)
2.3	サントトーマス川 河川堤防	土堰堤及び一部護岸工：中下流左岸側 19.1km
		土堰堤及び護岸工：下流右岸側 7.6km
	マクルコル橋	橋長：381m
	ダラナワン流路	流路長 170m, 幅 8m (マパヌエベ湖放水路)
	バヤロンダム	ディソン鉦山鉦滓ダム、ダム高 126m
2.4	警報避難システム 警報システム	AFP/PNP 監視小屋（2カ所）、監視員による 泥流観測及び避難勧告、
	避難所	43カ所指定（調査対象地域内 36カ所）
2.5	再定住地 MPC 再定住地	7カ所
	NGO 再定住地	3カ所

3. 復興開発計画の基本構想

3.1	JICA 調査	調査期間	2002年3月～2003年9月
		調査対象地域	ピナツボ火山西部河川流域（ブカオ、マロマ、サントトーマス川流域）
		調査項目	1) 洪水及び泥流制御マスタープラン策定及び優先事業の選定 2) 優先事業のフィージビリティ調査の実施 3) 技術移転
3.2	対象地域のニーズ	復興事業	1) 下流氾濫域における泥流氾濫被害の軽減 2) 国道7号線の泥流からの安全性の確保 3) 上流域及び河川沿い村落での生計手段の開発、コミュニティの復興
		流域開発	1) 農業及び観光開発 2) 最終的な目標として持続的経済成長と貧困削減を目指す
3.3	計画構想	1) マスタープランの目標年：2022年 2) 構造物対策、非構造物対策及びコミュニティ防災計画の3つ観点から包括的な治水砂防計画の立案を行う。 3) 事業実施を通じて貧困削減に貢献する。	

4. 治水砂防マスタープラン

4.1	構造物対策	ブカオ川	1) 既存堤防嵩上げ (l=6.7km)、ブカオ橋下流側の堤防新設(左岸側 l=1.9km、右岸側 l=2.4km) 2) ブカオ橋掛け替え (橋長：355m) 3) マラオノット鞍部における水文観測 4) 床固め工、サンドポケット<見直し検討>
		マロマ川 <見直し検討>	1) 河道拡幅及び直線化による河川改修及び築堤(l=7km) 2) マロマ橋掛け替え (橋長：240m)
		サントトーマス川	1) 既存堤防嵩上げ (l=13.6km)、既存堤防強化 (l=13.6km)、マクルコル橋下流側堤防新設 (l=2km)、ガボール川排水改善

		2) マクルコル橋架け替え (橋長: 430m)
		3) 床固め工、サンドポケット、流路工<見直し検討>
4.2 非構造物対策	警報システム	雨量観測所 (7カ所)、水位観測所 (6カ所)、中央監視所 (イバ,PDDP)、GSM システムによるリアルタイム観測、インターネットによる情報公開及びラジオ放送・サイレンによる警報発令
	避難システム	既存避難所の改善及び新規避難所の建設提案 (短期 10カ所、長期 50カ所)、ハザードマップ公開と住民それぞれの避難経路及び避難先の教育
	流域管理	森林管理、ピナツボ山麓アエタ族土地所有管理、流域土砂管理、鉱山管理、水質管理
4.3 コミュニティ防災	テクテク再定住地改善事業	3つのNGO再定住地の統合及びコミュニティインフラの整備事業。 <追加の話し合い及び調査が必要>
	コミュニティ森林管理	上流域住民の生計手段開発を目的とした森林管理事業 (既存 CBFM 事業地域の拡張)。面積 25,000ha。
	河川敷農業開発	ラハールにより農地を失った農民を対象とした河川敷農業開発事業。
	マバナエベ湖流域コミュニティ開発	マバナエベ湖により水没した村落の生計手段開発を目的としたコミュニティ開発事業 (灌漑、内水漁業及び観光開発)。<追加の水質モニタリング及び調査が必要>
	コミュニティ道路復旧事業	ブカオ川・サントトーマス川流域のコミュニティ道路復旧事業。それぞれ延長 48km 及び 60km。
	アエタ族支援事業	アエタ族支援ステーション(AETAS)の設立。

5. 優先事業 (フィージビリティ調査対象事業)

5.1 構造物対策	ブカオ川	1) 既存堤防嵩上げ (l=7.5km)、ブカオ橋下流側の堤防新設(左岸側 l=2.1km、右岸側 l=2.4km)
		2) ブカオ橋掛け替え (橋長: 321m)
		3) ピナツボ火口湖水文モニタリング
	サントトーマス川	1) 既存堤防嵩上げ (l=13.4km)、既存堤防強化 (l=13.9km)、マクルコル橋下流側堤防新設 (l=2.0km)、ガボール川排水改善 (l=1.7km)
5.2 非構造物対策	泥流警報システム	雨量観測所 (7カ所)、水位観測所 (6カ所)、中央監視所 (イバ,PDDP)、GSM システムによるリアルタイム観測、インターネットによる情報公開及びラジオ放送・サイレンによる警報発令
	避難システム	新規避難所の指定 (10カ所)、ハザードマップ公開と住民それぞれの避難経路及び避難先の教育

5.3 コミュニティ防災	コミュニティ森林管理	2,200ha を対象としたパイロット事業の実施。
	河川敷農業開発	ブカオ川下流及びサントトーマス川中流河川敷における10ha ずつのパイロット事業の実施。
	コミュニティ道路復旧	ブカオ川中流域の16km のコミュニティ道路復旧。
	アエタ族支援事業	NGO によるアエタ族支援事業への資金的技術的協力を主としたパイロット事業。1)アエタ山岳農業学校設立、2)ピナツボ火山山麓土地所有権獲得支援、3)アグロフォレストリー及び斜面農業 (SALT) の技術支援、4) アエタ支援センター設立のための詳細調査。
5.4 実施計画	実施組織	<ol style="list-style-type: none"> 1) 構造物対策の実施組織として、既存 MPE-PMO (DPWH) を実施組織とする。 2) 非構造物、コミュニティ防災事業の実施組織として、サンバレス州により PMO-Zambales を新設する。 3) 個々のプロジェクトモニタリング及び各プロジェクト間の連携強化及び地元住民への情報開示や意見交換を活発にするための Project Coordination Committee (PCC) の新設。
5.5 事業評価	資金源	フィリピン政府及び海外援助資金
	ブカオ川構造物対策	<ol style="list-style-type: none"> 1) 総事業費 1,678 百万ペソ 2) EIRR: 15.7 % 3) 環境評価: 特に問題なし 4) 住民移転: 29 世帯/移転計画作成済 5) 事業評価: 事業実施を勧告 6) 実施予定: 2007 年-2010 年 (工事)
	サントトーマス川構造物対策	<ol style="list-style-type: none"> 1) 総事業費: 1,960 百万ペソ 2) EIRR: 26.3% 3) 環境評価: 特に問題なし 4) 住民移転: 77 世帯/移転計画作成済 5) 事業評価: 事業実施を勧告 6) 実施予定: 2007 年-2010 年 (工事)
	非構造物対策 警報及び避難システム	<ol style="list-style-type: none"> 1) 総事業費: 30 百万ペソ (既存システム 10 年運用) 82 百万ペソ (GSM システム建設費用) 2) EIRR: 人的被害軽減目的のため算定せず。 3) 環境評価: 特に問題なし 4) 社会評価: 人命救助目的であり社会的効果大 5) 事業評価: 既存システムの改善を経て GSM システムの導入を提言。 6) 実施予定: 2003-08(既存システム)

コミュニティ森林管理	1) 総事業費:	2007-12(GSM 導入) 76 百万ペソ (パイロット事業)
	2) EIRR:	21.5%
	3) 環境評価:	環境の観点から好ましい事業である。
	4) 社会評価:	貧困緩和の観点から好ましい事業である。
	5) 事業評価:	パイロット事業 (2,200ha)の実施を勧告
	6) 実施予定:	2007 年-2012 年
ラハール河川敷農業開発	1) 総事業費:	19 百万ペソ (パイロット事業: 20ha)
	2) EIRR:	9.8%
	3) 環境評価:	特に問題なし
	4) 社会評価:	貧困緩和の観点から好ましい事業である。
	5) 事業評価:	パイロット事業(20ha)の実施を勧告
	6) 実施予定:	2008 年-2010 年
コミュニティ道路復旧事業	1) 総事業費:	189 百万ペソ (Route-A1:ブカオ川中流)
	2) EIRR:	2.1%
	3) 環境評価:	道路が出来ることで上流域の森林管理が促進され、環境の観点から好ましい。
	4) 社会評価:	貧困緩和と上流域村落への社会サービスの充実が期待され、好ましいと判断される。
	5) 事業評価:	Route-A1 の実施を勧告
	6) 実施予定:	2005 年-2007 年
アエタ族支援事業	1) 総事業費:	15 百万ペソ
	2) EIRR:	経済評価に馴染まないため算定せず。
	3) 環境評価:	山岳地域の環境保全につながり好ましい。
	4) 社会評価:	貧困緩和及び少数民族保護を目的とした事業であり好ましい。
	5) 事業評価:	NGO を主体として事業実施を勧告
	6) 実施予定:	2005 年-2009 年

フィリピン国
ピナツボ火山西部河川流域洪水及び泥流制御計画調査

最終報告書

要約

目次

最終報告書の構成

マスタープラン位置図

提案優先事業位置図

調査概要

略語

単位

	<u>ページ</u>
1. 調査の概要	S-1
2. ピナツボ火山噴火に伴う自然・社会的影響	S-2
3. マスタープランの基本構想	S-6
4. 水文/生産土砂/河床変動解析	S-8
5. 泥流氾濫解析	S-13
6. 構造物対策マスタープラン	S-18
6.1 ブカオ川流域マスタープラン	S-18
6.2 マロマ川流域マスタープラン	S-22
6.3 サントトーマス川流域マスタープラン	S-23
7. 非構造物対策マスタープラン	S-27
8. コミュニティ防災マスタープラン	S-29
9. マスタープランの経済評価、優先事業の選定及び実施計画	S-31
10. 優先事業の概略計画（フィージビリティ・スタディ）	S-34
10.1 ブカオ川堤防嵩上げ・強化及びブカオ橋架け替え事業	S-34
10.2 サントトーマス川堤防嵩上げ・強化事業	S-37
10.3 洪水/泥流警報・避難システム	S-42
10.4 テクテク再定住地統合及びコミュニティインフラ整備事業	S-44
10.5 コミュニティ森林管理事業	S-45
10.6 ラハール河川敷農業開発事業	S-47
10.7 マパヌエベ湖流域コミュニティ開発事業	S-51
10.8 コミュニティ道路復旧事業	S-53
10.9 アエタ族支援ステーション設立事業	S-55
11. 事業実施計画	S-57

12.	事業評価	S-60
13.	結論と勧告	S-62

付表

		ページ
表 2.1	ピナツボ火山噴火による被害状況 (1991 年)	S-2
表 2.2	フィリピン・第三開発地域・調査対象地域における人口の変化	S-2
表 4.1	対象 3 河川下流端の確率洪水流量	S-9
表 4.2	ピナツボ流域 8 河川の比流量及びクリーガー係数の比較	S-9
表 4.3	2001 年の推定生産土砂量	S-10
表 4.4	2002 年の推定生産土砂量	S-10
表 4.5	泥流、河床変動解析モデルの概要	S-11
表 5.1	2002 年 7 月洪水詳細	S-13
表 5.2	ブカオ川流過能力算定値	S-14
表 5.3	マロマ川流過能力算定値	S-14
表 5.4	サントトーマス川流過能力算定値	S-15
表 5.5	氾濫シミュレーション結果のまとめ	S-15
表 6.1	治水・砂防構造物の役割	S-18
表 6.2	砂防ダム貯砂効率比較検討結果	S-19
表 7.1	マスタープランにおける非構造物対策の役割	S-27
表 8.1	コミュニティ防災マスタープラン概要	S-30
表 9.1	マスタープランの経済評価及び優先事業の選定	S-31
表 9.2	マスタープラン事業実施スケジュール	S-33
表 10.1	ブカオ川堤防設計諸元	S-35
表 10.2	ブカオ橋概略設計諸元	S-35
表 10.3	ブカオ川堤防及び橋梁工事総事業費	S-36
表 10.4	経済評価の条件設定	S-36
表 10.5	経済評価結果のまとめ	S-36
表 10.6	サントトーマス川堤防工事総事業費	S-39
表 10.7	サントトーマス川堤防事業の経済評価結果のまとめ	S-40
表 10.8	サントトーマス川段階開発比較検討	S-40
表 10.9	段階開発経済評価比較結果	S-41
表 10.10	CBFM 優先事業開発コスト	S-45
表 10.11	ラハール河川敷における土壌成分調査結果	S-47
表 10.12	ラハール土壌に適した作物と見込み収入	S-48
表 10.13	ラハール農業開発可能地域における経済評価検討結果	S-49
表 10.14	コミュニティ道路設計基準	S-53
表 11.1	優先事業と実施責任機関	S-57
表 12.1	住民移転対象者の希望する補償内容	S-60
表 12.2	経済評価の結果	S-61
表 13.1	総合事業評価のまとめと事業実施に関する提案	S-62

付図

		ページ
図 1.1	ピナツボ火山流域 8 河川及び火砕流堆積分布図	S-1

図 2.1	第三開発地域全体から見たサンバレス州における被害度	S-2
図 2.2	農家一軒当たりの水田作付け面積の変化	S-3
図 2.3	単位面積当たりの米生産高の変化	S-3
図 2.4	調査対象地域のエリア別世帯収入の変化	S-3
図 2.5	ピナツポ西部流域土地利用状況の変化	S-4
図 2.6	サントトーマス川流域の現況	S-5
図 2.7	ブカオ川流域の現況	S-5
図 3.1	マスタープランの基本構想	S-7
図 4.1	ピナツポ火山流域の等雨量線図	S-8
図 4.2	2002年7月洪水時のピナツポ西部及び東部流域の累加雨量の比較	S-8
図 4.3	ピナツポ流域の比流量曲線	S-9
図 4.4	ブカオ、サントトーマス川における今後の生産土砂量予測	S-10
図 4.5	土砂収支解析により明らかとなった土砂移動のメカニズム	S-11
図 4.6	ブカオ川2次元泥流解析、1次元河床変動解析の結果	S-12
図 4.7	サントトーマス川2次元泥流解析、1次元河床変動解析の結果	S-12
図 5.1	無害流量と流過能力の定義	S-14
図 5.2	流過能力の変化	S-14
図 5.3	対象3河川における氾濫条件の設定	S-15
図 5.4	被害家屋被害曲線	S-16
図 5.5	氾濫・埋没農地被害曲線	S-16
図 5.6	ブカオ川100年確率洪水氾濫図	S-16
図 5.7	マロマ川100年確率洪水氾濫図	S-16
図 5.8	サントトーマス川100年確率洪水氾濫図	S-17
図 6.1	マスタープランを含むブカオ川構造物対策の概要	S-18
図 6.2	ブカオ川流域砂防ダム候補地点位置図	S-19
図 6.3	ブカオ川下流域河床上昇対策の代替案	S-20
図 6.4	2次元泥流解析による河床上昇緩和効果の比較検討結果	S-20
図 6.5	ブカオ橋の1991年以降の主な被災履歴	S-21
図 6.6	マロマ川構造物対策マスタープランの概要	S-22
図 6.7	マスタープランを含むサントトーマス川構造物対策概要	S-23
図 6.8	サントトーマス川中下流域河床上昇対策	S-24
図 6.9	20年確率規模のラハールによる泥流堆積現象比較	S-24
図 6.10	20年間の長期河床変動解析による効果の比較	S-24
図 6.11	2002年7月洪水時のマパヌエベ湖の実測貯留効果	S-25
図 7.1	モニタリング警報システム	S-27
図 7.2	5つの流域管理項目	S-28
図 8.1	コミュニティ防災マスタープラン位置図	S-30
図 10.1	ブカオ川優先事業概要図	S-34
図 10.2	堤防高設定のプロセス	S-34
図 10.3	堤防設計縦断図	S-34
図 10.4	ブカオ川堤防嵩上げ・強化標準断面	S-35
図 10.5	ブカオ橋断面図	S-35
図 10.6	サントトーマス川中流域堤防強化事業の鳥瞰図	S-37
図 10.7	サントトーマス川における設計堤防嵩上げ高	S-37
図 10.8	サントトーマス川下流域における工事概要	S-38
図 10.9	サントトーマス川中流域左岸側既存堤防付近での天井川地形縦断図	S-38
図 10.10	Sta. 17.0km 地点でのガリ浸食の様子	S-39
図 10.11	Sta. 17.5km 地点でのガリ浸食の様子	S-39
図 10.12	サントトーマス川中流域における既存堤防の強化対策	S-39
図 10.13	サントトーマス段階開発案被害家屋曲線	S-40

☒ 10.14	サントトーマス段階開発案被害農地曲線	S-40
☒ 10.15	サントトーマス川中流域左岸堤防優先開発事業の氾濫域	S-41
☒ 10.16	提案警報システム	S-42
☒ 10.17	調査対象地域における携帯電話受信可能地域	S-42
☒ 10.18	サンフェリペ町ハザードマップ（サントトーマス右岸下流）例	S-43
☒ 10.19	コミュニティ森林管理優先地域（緑色の地域）	S-45
☒ 10.20	CBFM 実施による貧困緩和効果の測定	S-46
☒ 10.21	ラハール河川敷における農業開発イメージ	S-47
☒ 10.22	農業開発可能地域位置図	S-48
☒ 10.23	ブカオ川下流域における河川敷農業開発概要図	S-50
☒ 10.24	サントトーマス川中流域における河川敷農業開発概要	S-50
☒ 10.25	マバヌエベ湖流域コミュニティ開発の概要	S-51
☒ 10.26	ディソンダム洪水吐き崩壊過程	S-51
☒ 10.27	コミュニティ道路開発ルート	S-53
☒ 10.28	コミュニティ道路開発による貧困削減効果	S-54
☒ 10.29	調査対象地域内のアエタ族コミュニティと NGO による支援活動	S-56
☒ 11.1	事業実施体制の提案	S-58
☒ 11.2	優先事業実施スケジュール	S-59

略語

AETAS	Aeta Assistance Station	アエタ支援ステーション
AFP	Armed Forces of the Philippines	フィリピン国軍
BOD	Biochemical Oxygen Demand	生物化学的酸素要求量
CBFM	Community-Based Forest Management	住民参加型森林管理
CDPP	Community-Based Disaster Prevention Plan	コミュニティ防災計画
COD	Chemical Oxygen Demand	化学的酸素要求量
DA	Department of Agriculture	農業省
DENR	Department of Environment and Natural Resources	環境天然資源省
DILG	Department of Interior and Local Government	内務地方自治省
DPWH	Department of Public Works and Highways	公共事業道路省
DSWD	Department of Social Welfare and Development	社会福祉開発省
ECC	Environmental Compliance Certificate	環境適合証明
EIA	Environmental Impact Assessment	環境影響評価
EIRR	Economic Internal Rate of Return	経済的内部収益率
EIS	Environmental Impact Statement	環境影響報告書
FMB	Forest Management Bureau, DENR	森林管理局
GIS	Geographical Information System	地理情報システム
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GOJ	Government of Japan	日本政府
GOP	Government of the Philippines	フィリピン政府
GRDP	Gross Regional Domestic Product	地域内総生産
GSM	Global System for Mobile Communications	携帯電話通信網
HH	Household	世帯
ICC	Investment Coordination Committee	投資調整委員会
IEE	Initial Environmental Examination	初期環境評価
JBIC	Japan Bank for International Cooperation	国際協力銀行
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力事業団
K	Potassium	カリウム

LGU	Local Government Unit	地方政府
MPC	Mount Pinatubo Commission	ピナツボ災害復旧委員会
MPE	Mount Pinatubo Emergency, DPWH	ピナツボ緊急対策プロジェクト管理事務所
MPR	Mount Pinatubo Rehabilitation, DPWH	ピナツボ復興プロジェクト管理事務所
N	Nitrogen	窒素
NCIP	National Commission on Indigenous People	国家先住民委員会
NCR	National Capital Region	首都圏行政区
NDCC	National Disaster Coordinating Council	国家災害調整委員会
NEDA	National Economic and Development Authority	国家経済開発庁
NGO	Non-Government Organization	非政府組織
NSCB	National Statistical Coordination Board	国家統計調整委員会
NSO	National Statistics Office	国家統計局
NWRB	National Water Resources Board	国家水資源委員会
OCD	Office of Civil Defense	市民防衛局
P	Phosphorus	リン
PAGASA	Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration	気象天文庁
PCC	Project Coordination Committee	プロジェクト調整委員会
PCM	Project Cycle Management	プロジェクトサイクルマネジメント
PDCC	Provincial Disaster Coordinating Council	州災害調整委員会
PHIVOLCS	Philippine Institute of Volcanology and Seismology	フィリピン火山地震研究所
PMO	Project Management Office	プロジェクト管理事務所
PNP	Philippine National Police	フィリピン国家警察
RC	Resettlement Center	再定住地センター
RDC	Regional Development Council	行政区開発委員会
RDCC	Regional Disaster Coordinating Council	行政区災害調整委員会
SALT	Slope Agriculture Land Technology	斜面農業技術
USACE	United States Army Corps of Engineers	米国防軍工兵隊

單位

Length

mm	=	millimeter
cm	=	centimeter
m	=	meter
km	=	kilometer
LM	=	linear meter

Volume

cm ³	=	cubic centimeter
l	=	liter
kl	=	kiloliter
m ³	=	cubic meter
MCM	=	million cubic meter

Weight

g	=	gram
kg	=	kilogram
ton	=	metric ton
meq	=	milligram equivalent

Time

sec	=	second
min	=	minute
hr	=	hour
d	=	day
y	=	year

Area

m ²	=	square meter
ha	=	hectare
km ²	=	square kilometer

Derived Measures

m/s	=	meter per second
m ³ /s	=	cubic meter per second
kWh	=	kilowatt hour
MWh	=	megawatt hour
GWh	=	gigawatt hour
ppm	=	parts per million
kmph	=	kilometer per hour
lps/m	=	liter per second per meter

Currency

PHP	=	Philippine Peso
¥	=	Japanese Yen
US\$	=	US Dollar

Other Measure

%	=	percent
°	=	degree
°C	=	degree(s) Celsius
10 ³	=	thousand
10 ⁶	=	million
10 ⁹	=	billion
pH	=	potential of hydrogen
mbgs	=	meter below ground surface
M	=	magnitude of earthquake

1. 調査の概要

調査の背景

本調査の対象地域であるピナツボ火山西部河川流域（ブカオ川、マロマ川及びサントトーマス川流域）は、ルソン島の中西部サンバレス州に位置し、流域面積は約 1,300km²である。1991 年 6 月のピナツボ火山噴火によって、同火山周辺の山麓におよそ 67 億 m³の火砕流堆積物が厚く堆積した。ピナツボ火山西側斜面には、このうち約 7割の 47 億 m³が堆積したものと推定されている。

火砕流堆積物は雨季には泥流となって下流域に流下・堆積する。噴火から 12 年を経た現在、火山活動は鎮静化しているが、中下流域における河床上昇が著しく、既存堤防の安全性が確保できていない状況である。さらに山腹の残存火山堆積物や上流域堆積土砂の2次移動により、今後なお河床上昇も懸念される状況となっている。このことは 1991 年の被災後、脆弱性のある地域に対しては投資が行われず、地域住民は雇用先がないため収入源が確保されず、東部地域に比べても経済的に地域格差が拡大する状況に繋がっている。

上記状況から、ピナツボ火山西部河川流域の洪水・泥流による被害の現況分析及び今後想定される被害発生予測を実施し、洪水・泥流を制御するための具体的な構造物による対策を検討し、また、非構造物対策として早期警戒、避難、移転等による被害の軽減対策を検討するなど総合的に対処するため、東部地域で立案した洪水・泥流制御計画と同様なマスタープランを西部地域において策定し、緊急・優先対策についてフィージビリティ調査を実施することが求められている。

このような背景のもとフィリピン政府は我が国に対し本格調査に係る技術援助の正式要請を 1999 年 3 月に行った。これを受けて国際協力事業団は 2001 年 11 月から 12 月にかけて事前調査団を派遣し Implementing Arrangement の締結を経て、2002 年 3 月から 2003 年 9 月までの 18 ヶ月間にわたり、計画調査業務を実施した。

調査の目的

本調査の目的を以下に示す。

- 1) ピナツボ火山西部河川流域の主要 3 河川（ブカオ川、マロマ川、サントトーマス川）において、各河川流域の洪水・泥流制御のためのマスタープランを策定し、優先・緊急事業に係わるフィージビリティ調査を実施する。ただしこれらに内水問題調査検討は含めない。
- 2) 本件調査を通して、比国実施機関のカウンターパートに洪水・泥流制御のための計画策定に必要な技術移転を行なう。

以上の計画の策定及びその過程におけるカウンターパートへの技術移転によって、対象地域を含む流域全体及び比国全体の災害復興及び経済的発展を支援し、地域間の経済格差および貧困の緩和につながり、地域住民の福利厚生向上・改善に寄与することが上位目標となる。

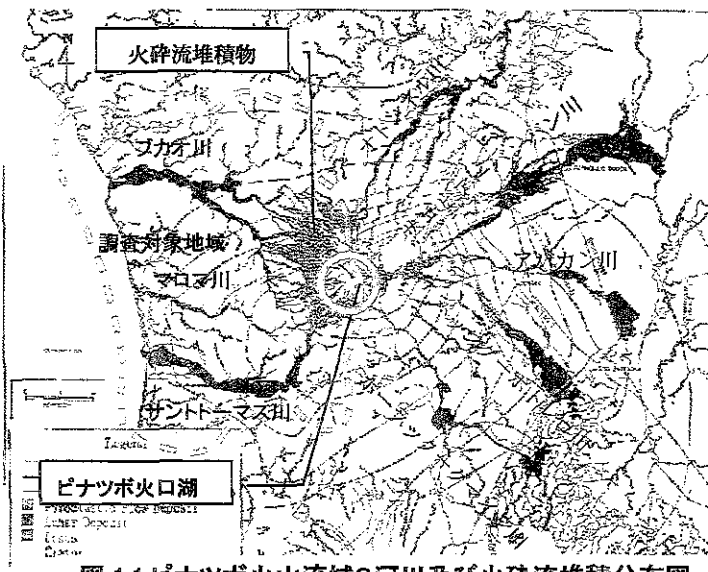


図 1.1 ピナツボ火山流域3河川及び火砕流堆積分布図

2. ピナツボ火山噴火に伴う自然・社会的影響

火山噴火及び泥流による被害

ピナツボ火山が 20 世紀世界最大規模と言われる大噴火を起こした 1991 年における火山噴火及び泥流による被害は、第三開発地域（サンバレス州を含む 6 州で構成）全体で被害総額 106 億ペソ、死者 1,034 名、被災家屋 128,126 戸、避難世帯 33,623 世帯と記録されている。本調査の対象地域であるサンバレス州においては、1991 年の火山噴火とそれ以降のラハールの発生による被害として死者 215 名、負傷者 157 名をこれまでに記録した。19 のバランガイが火砕流、ラハール、さらには堰止湖の形成により埋没・水没し移転を余儀なくされた。

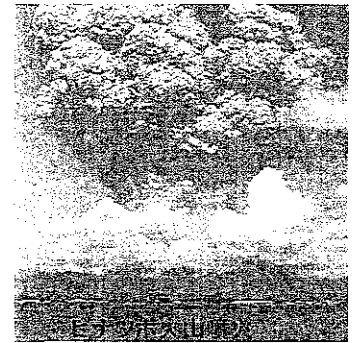


表 2.1 ピナツボ火山噴火による被害状況 (1991 年)

項目	単位	第三開発地域全体	サンバレス州
地域データ			
全体面積	km ²	18,231	3,611
人口 (2000年)	人	8,030,945	433,542
ピナツボ火山噴火に伴う被害状況			
死者	人	1,034	215
行方不明者	人	30	8
負傷者	人	196	157
全壊家屋数	戸	47,789	25,845
半壊家屋数	戸	80,337	25,845
再定住地への移転世帯数	世帯	33,623	4,127
公共施設被害額	百万ペソ	4,403	206

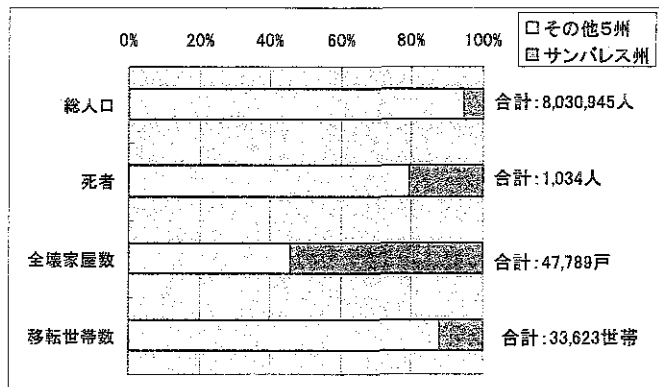
出典: NSO, NSCB, NEDA

最も被害の激しかった 1991 年では、州全体の 1/3 の世帯がなんらかの被害を受け、州全体の 60% の住民が、70 ヶ所の臨時避難センターへ避難をしていた。このような大規模な火山・土砂災害であったが、サンバレス州における人的被害は 215 名と比較的軽微であった。その理由はフィリピン地震火山研究所 (PHIVOLCS) による噴火予知、避難勧告、噴火後のモニタリング及び広報活動によるところが大きい。

社会経済に対する影響

図 2.1 は第三開発地域全体からみたサンバレス州における被害の度合いを示している。サンバレス州の総人口は 2000 年時点で 433,000 人であり、第三開発地域全体の 5.3% に過ぎない。一方、死者数、全壊家屋数、住民移転世帯数の項目においては、それぞれ総被害数量の 20.8%, 54.0%, 12.3% と、人口占有率を大幅に上回っている。即ち、サンバレスにおいては、人的被害の度合いが最も大きいということになる。

火山噴火後の人口増加率についても、サンバレス州及び調査対象地域におけるそれはフィリピン全体及び第三開発地域の人口増加率と大きく異なった変化が見られる。表 2.2 に示すようにフィリピン国及び第三開発地域において 1990 年から 2000 年の間の人口増加率は、その 10 年前のものとはほとんど変化していない。しかしながらサンバレス州全体及び調査対象地域の 1990 年代の人口増加率は、10 年前のそれと比べ、大きく落ち込んでいる。ピナツボ火山噴火 (1991 年 6 月) による被害が甚大な調査対象



出典: NSO, NSCB, NEDA

図 2.1 第三開発地域全体から見たサンバレス州における被害度

表 2.2 フィリピン・第三開発地域・調査対象地域における人口の変化

地域	人口			人口増加率	
	1980	1990	2000	1980-90	90-2000
フィリピン全体	48,098,460	60,703,206	76,503,333	2.35%	2.34%
第三開発地域	4,802,793	6,199,017	8,030,945	2.58%	2.62%
サンバレス州	287,607	369,665	433,542	2.54%	1.61%
調査対象地域	161,005	208,963	228,148	2.64%	0.88%

出典: Census of Population and Housing, NSO

地域においてその傾向はより強いことから、人口増加率の落ち込みはピナツボ災害の影響と言える。

農業生産高についても人口増加率の鈍化と同様の傾向が見られる。調査対象地域である西部流域、及び既に泥流対策工事を実施中の東部流域の被災農民に対するインタビュー調査を実施したが、農家一軒あたりの水田作付け面積及び単位面積当たりの生産高を噴火前後で比較したものを図 2.2 及び図 2.3 に示す。これによると東部、西部を問わず、作付け面積及び単位面積当たりの生産高は被災前に比べて大きく減少しており、農民の収入もそれとともに大幅に減少していることが伺える。作付け面積の減少は泥流氾濫による農地の減少によるものであり、単位面積あたりの生産高減少は灌漑施設の埋没によると考えられる。

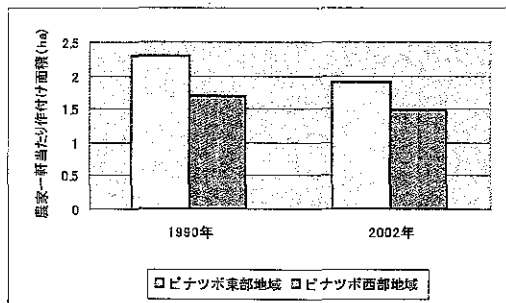


図 2.2 農家一軒当たりの水田作付け面積の変化

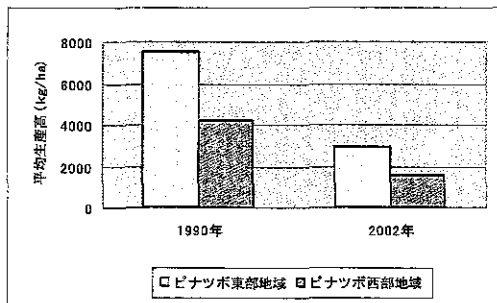


図 2.3 単位面積当たりの米生産高の変化

上記のように災害後 10 年以上が経過した現時点においても、ピナツボ火山地域の農業に復興の兆しがみられておらず、調査地域住民の約 40% を占める農民の生活復興が遅々として進んでいないことが懸念される。農地の復興、灌漑施設の復旧を急ぐ必要がある。

調査対象地域の住民を対象としたインタビューにより世帯平均収入の変化を調査した。

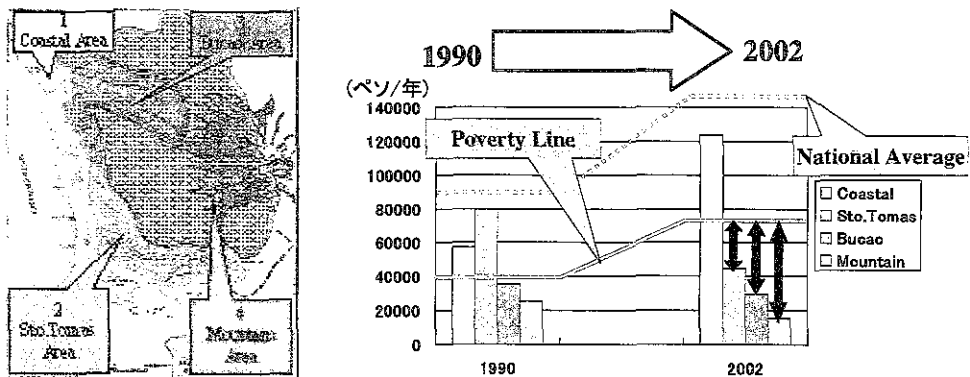


図 2.4 調査対象地域のエリア別世帯収入の変化

図 2.4 に示すように調査対象地域内においても、国道 7 号線沿いの西海岸地域一帯は、マンゴーや野菜を中心とした換金作物の生産やビーチリゾートを中心とした観光関連産業などの発展で、世帯収入は比較的順調な伸びを示している。一方、特に泥流被害の激しかったプカオ川、サントトマス川中下流域やフィリピンの先住民族であるアエタ族が多く居住する上流山岳地域での世帯収入は噴火前の 1990 年に比べて大幅に落ち込んでいる。サントトマス川流域において、被災前はサンバレス州の穀倉地帯として栄えていたが、泥流被害以降、灌漑施設の壊滅的打撃と農地の激減により、大幅に世帯収入も減少した。現在の同地域における平均世帯収入は貧困ラインを下回っている。さらにプカオ川流域や山岳流域においても世帯収入は貧困ラインから剥離し、その格差は拡大の一途をたどっている。特に中上流域における貧困緩和対策の早急な実現が求められている。

河川流域の変化

ピナツボ火山の噴火は、それを取り巻く流域 8 河川の河川流況をドラスティックに変えてしまった。その影響は、特に火砕流材料の 7 割が堆積したピナツボ火山西部河川流域に著しい。

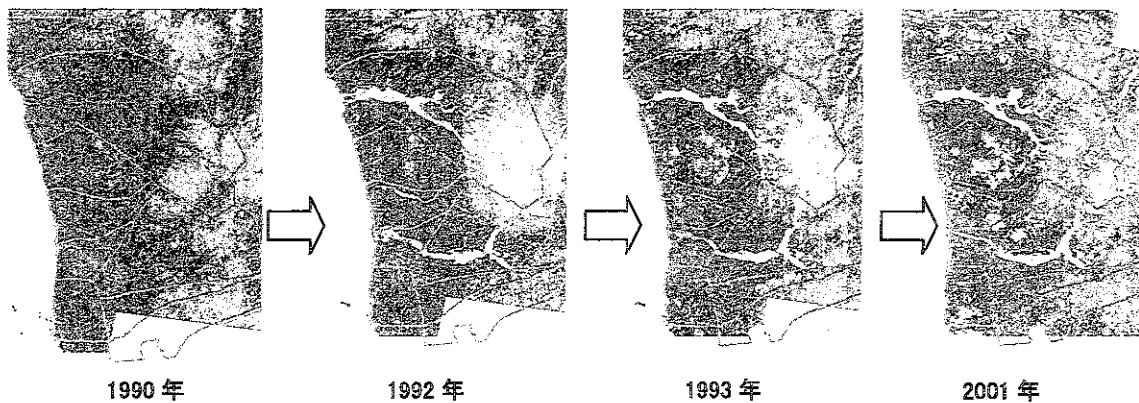
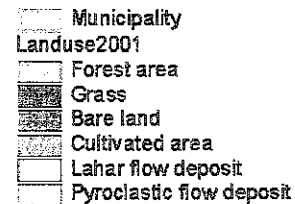


図 2.5 ピナツボ西部流域土地利用状況の変化

図 2.5 はランドサット写真による調査対象地域の土地利用状況の変化を示したものである。噴火直後の 1992 年にはピナツボ火山一面に火砕流堆積物が見られ、森林及び農耕地域が減少し、未利用地が大幅に増大している。しかしながら時間が経過するにつれ、上流域の火砕流堆積物エリアは大幅に減少している（2001 年）。これは噴火後 11 年が経過し、上流域に堆積した火砕流堆積物がラハールとして下流域に流出するとともに、徐々に植生が回復してきた結果である。上流域については自然の回復力により、安定化しつつあると考えられる。



一方、中下流域においては、上流域で生産され、泥流として流下したラハールの堆積が著しい。河道内堆積土砂累加量はブカオ川で 843 百万 m^3 、サントトーマス川で 818 百万 m^3 と推定される。また河道内ラハール氾濫域はブカオ川で 5,534ha、サントトーマス川で 3,797ha と見積もられる。河床上昇も著しく、特にサントトーマス中下流域においては、周辺の農地、居住地よりも最大で 7m も河床の標高が高い天井川を形成している。

通常、自然河川は周辺地域の低平地を流下し、周辺地域の排水機能をもっているが、本調査地域の河川は、もはや流域排水機能は失われてしまっている。そのため、中下流域においては、水系ネットワークが大幅に変化してしまい、数多くの排水不良地域が存在している。特に、ブカオ川、サントトーマス川と各河川が合流する地域においては、支流から本流への流下が不能となり、多くの堰止湖が形成されている。堰止湖はサントトーマス川支流のマレラ川とマパヌエペ川の合流点に形成されたマパヌエペ湖（湖水面積約 6.8 km^2 ）が最大で、合計で 24 の堰止湖が確認されている。

サントトーマス川及びブカオ川流域の現況写真を図 2.6 及び図 2.7 に示す。

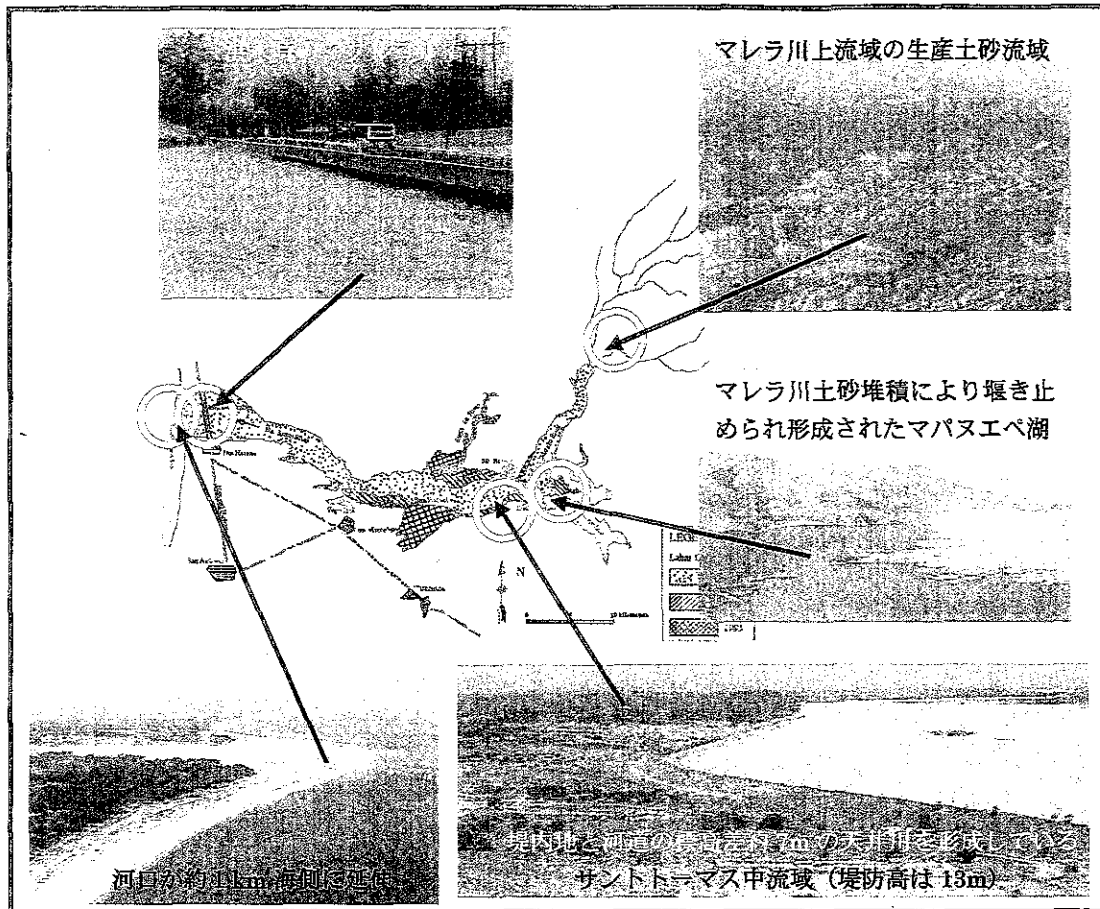


図 2.6 サントトマス河流域の現況

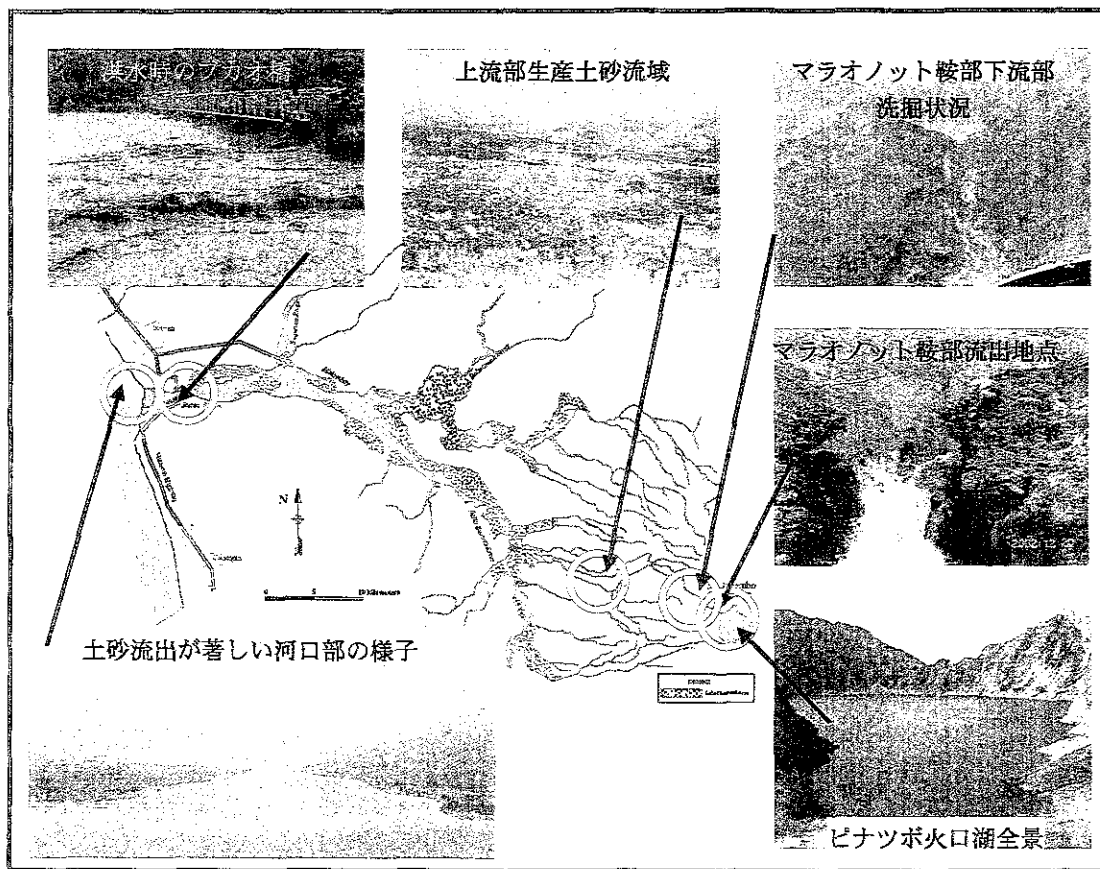


図 2.7 ブカオ河流域の現況

3. マスタープランの基本構想

洪水・泥流制御に係る課題

ピナツボ西部河川流域では、上流域に残存する不安定な火砕流堆積物の多くが既に中下流域に流出し、また植生の回復が著しいことから、生産土砂量は減少傾向にある。しかしながら上流域河道内の堆積土砂が中下流域に移動し堆積する傾向が今後とも継続すると予想される。現在すでに天井川の様相を呈しているブカオ川並びにサントーマス川の中下流河道の河床がさらに上昇を続ければ、下流域の洪水・泥流氾濫の危険度が益々高まる。従って流入土砂制御と洪水・泥流氾濫軽減策の実現は早急の課題である。

また、サンバレス州の西海岸を南北に走る国道 7 号線は州内唯一の主要幹線であり、ブカオ川・マロマ川・サントーマス川に架かる橋梁を含む同国道の確保は経済活動の維持のみならず住民の安全確保の観点からも最重要事項のひとつである。河道内を安全に洪水・泥流が流下できるよう、必要に応じて橋梁架替えも検討課題となる。

下流域の洪水・泥流氾濫の問題と並んで、ピナツボ西部流域で解決しなければならない大きな課題のひとつは、中上流域での先住民アエタ族を含む住民の生計手段の確保である。ピナツボ火山の噴火と引続く火砕流・泥流の影響で、河川敷を含む流域内の多くの農地と生活道路が失われ、灌漑施設も被害を免れなかった。いったんは再定住センターに入った人々も生計手段が確保できず、その多くが恒久的にあるいは季節的に元の村に戻っている現象も見られる。よしんば元の村に戻ったとしても噴火以前の生活水準に遠く及ばない生活を強いられている。

フィリピン国政府は、自国資金であるいは援助国の支援や NGO の支援を得て、下流域の居住地・農地を守るための堤防建設を含む構造物対策を施し、非構造物対策として洪水泥流予警報施設を導入し、さらに再定住センターを整備し生計支援活動も行ってきた。しかしながら、上記課題は未だ解決されていない。従って、これら課題に対処すべく、流域全体を見据えた総合的洪水・泥流制御計画の立案が求められている。

マスタープランの基本構想

本調査におけるマスタープランの基本構想を図 3.1 に示す。

上流域の生産土砂量推定、短期的ならびに長期的土砂移動と河床変動解析の結果などを基にした、流域全体の総合的土砂管理の観点からの洪水・泥流制御マスタープランがまず求められる。ここでは長期的視野に立ち、上下流でバランスのとれた効率的な洪水・泥流制御対策が盛り込まれる。

また前述のごとく、下流域の洪水・泥流氾濫に対処するのみならず、中上流域での生計手段の創出の点からアプローチした計画が必要である。生計手段の創出が生活水準の向上をもたらし、ある水準以上の生活が可能になって初めて人々が防災に目を向けるようになるからである。そして、下流域と中上流域の両方の課題を解決することにより、流域全体で公平な経済発展と格差是正そして貧困削減を目指すことができる。

これら課題に対処する洪水・泥流制御マスタープランには、構造物対策のみならず、非構造物対策およびコミュニティ防災計画が採り入れられる。構造物対策により自然災害に対処する一方、非構造物対策によって脆弱性を小さくする。またコミュニティ防災は、生活水準を向上させることにより最終的にコミュニティの防災力を高めることを目指す。

策定される洪水・泥流制御マスタープランは、フィリピン国あるいは地方政府の経済開発戦略に合致したものでなければならない。NEDA 第3開発地域事務所は、サンバレス州の産業主体を観光と農業開発においている。これら観光と農業開発を促進させるためにも、ピナツボ西部流域を洪水泥流災害に強い地域としなければならない。

なお、洪水・泥流制御マスタープランの目標年を今から 20 年後の 2022 年とした。

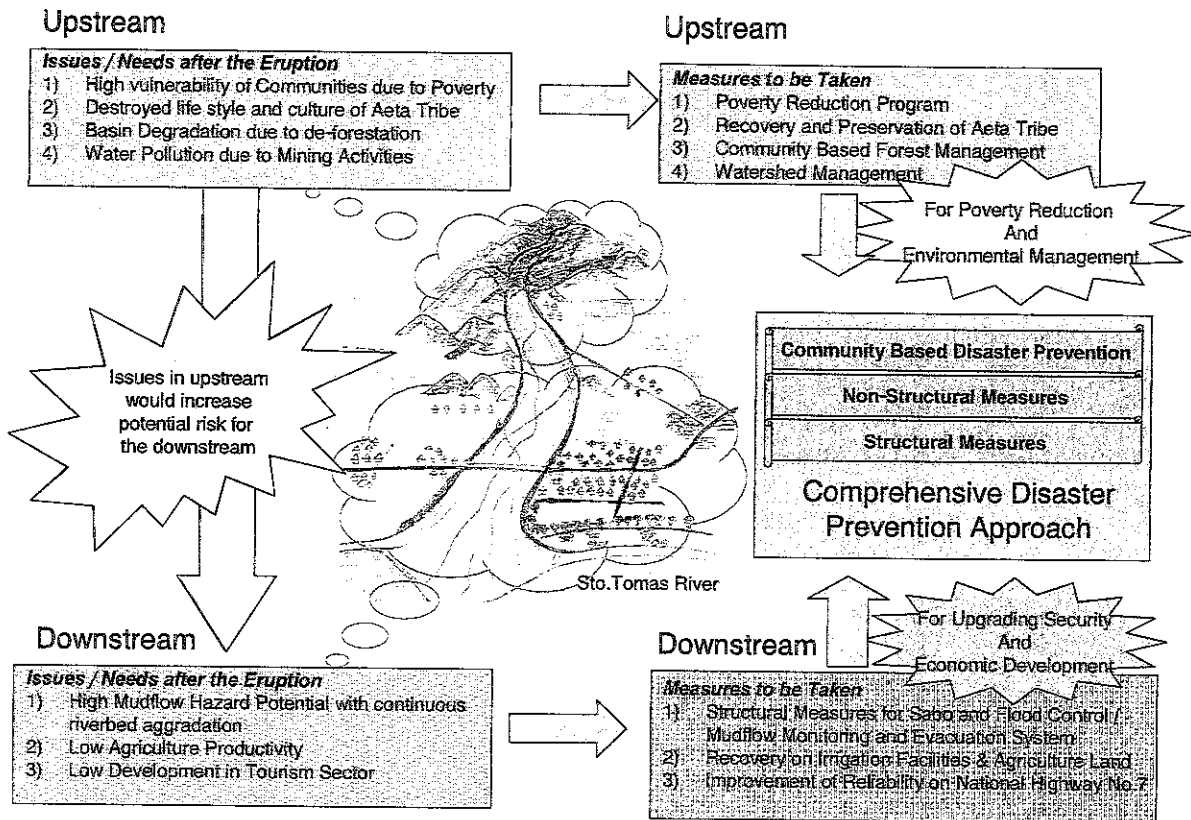


図 3.1 マスタープランの基本構想

4. 水文/生産土砂/河床変動解析

水文解析

調査対象地域は南西モンスーンの影響を強く受ける地域である。即ち 6 月から 10 月にかけて南シナ海からの南西モンスーンがサンパレス州東側に連なるピナツポ山脈に遮られピナツポ火山西部流域に多くの雨をもたらすものである。図 4.1 に示すようにピナツポ火山西部流域における年平均降雨量は 3,600mm 程度で東部流域と (2,500mm 程度) 比べ 40% 程度大きくなっている。また図 4.2 に 2002 年 7 月の台風時に観測した累加雨量図を示すが、これからも西部流域の降雨が東部流域よりも多いことがわかる。

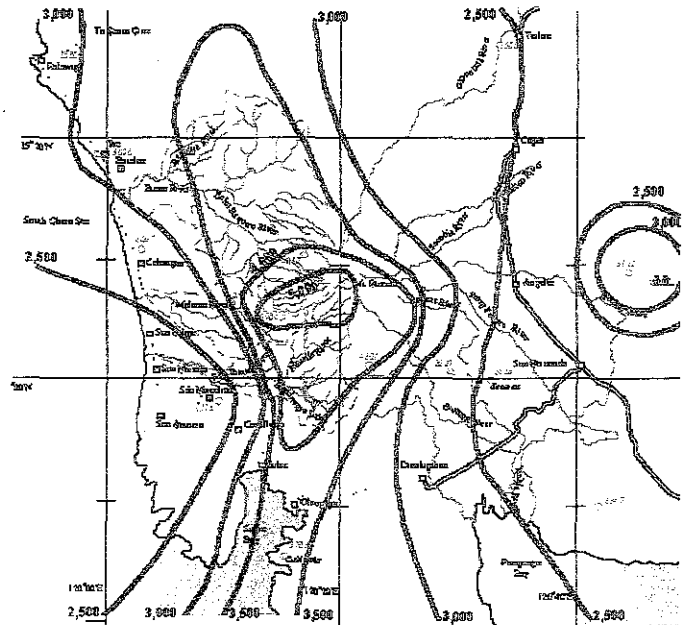
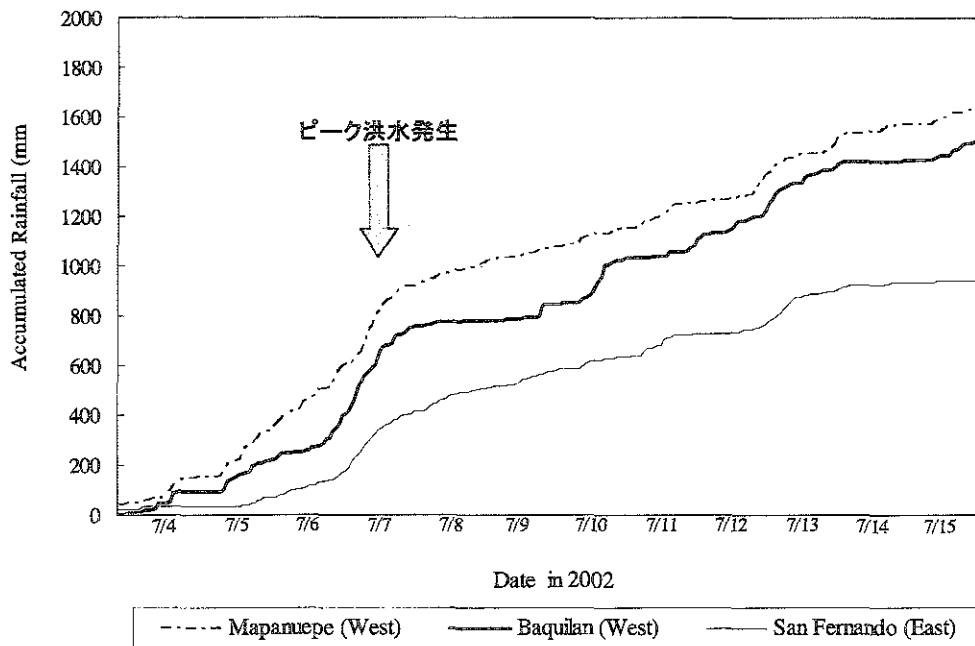


図 4.1 ピナツポ火山流域の等雨量線図



Source: JICA Study Team

図 4.2 2002 年 7 月洪水時のピナツポ西部及び東部流域の累加雨量の比較

高水解析は対象 3 河川の分割流域モデルを作成し、HEC-HMS 水文解析モデルにある単位図法により実施した。計画降雨は以下の理由により 1 日降雨とした。

- ・流域面積が 152km²から 655km²と比較的小さく、流路長が短い急流河川である。
- ・過去 30 年間に発生した洪水の記録より、ピーク洪水は台風によってもたらす 1 日降雨により発生している。また、2002 年及び 2003 年の洪水観測において、ピーク洪水は降雨が長

時間に亘って継続するモンスーン性降雨でなく、台風のピーク降雨（1日降雨）によって発生している。

対象3河川の下流端橋梁地点における確率洪水流量を表4.1に示す。

表4.1 対象3河川下流端の確率洪水流量

地点	流域面積 km ²	再現期間(年)						
		2	5	10	20	30	50	100
ブカオ橋(ブカオ川)	655	1,600	2,500	3,100	3,800	4,300	4,900	5,800
マロマ橋(マロマ川)	152	310	490	640	810	920	1,100	1,300
マクルコル橋(サントーマス川)	262	440	710	940	1,200	1,400	1,600	2,000

(単位: m³/s)

20年及び50年確率洪水の比流量をピナツボ火山流域の8河川で比較したものを表4.2及び図4.3に示す。ブカオ川におけるクリーガー係数が大きいのは、流域平均降雨がサントーマス川と共に、著しく大きいためである。サントーマス川についてはマバナエベ湖による貯留効果を考慮に入れているため比流量が小さくなり、結果的にピナツボ東部河川と同程度のクリーガー係数となっている。マロマ川流域は源流域の標高が400mと低く、ピナツボ山脈の豪雨に影響されにくいため東部流域とほぼ同程度のクリーガー係数となっている。

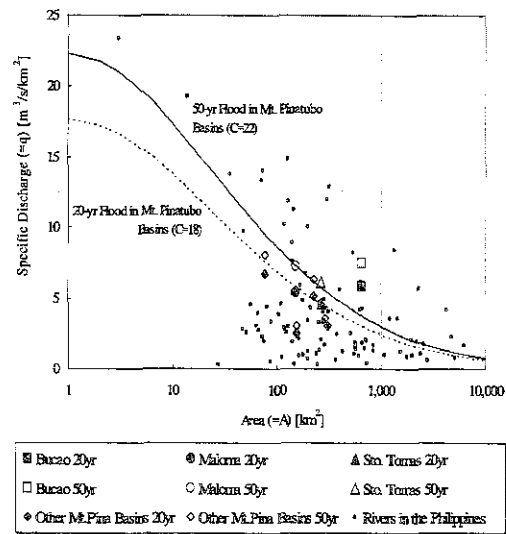


図4.3 ピナツボ流域の比流量曲線

表4.2 ピナツボ流域8河川の比流量及びクリーガー係数の比較

流域	流域面積 (km ²)	比流量		クリーガー式の地域係数(C)	
		20年確率	50年確率	20年確率	50年確率
サコピア・バンバン川	225	5.2	6.3	19	23
アバカン川	77	6.7	8.0	16	19
ポーラック・グマイン川	302	3.0	-	12	-
パッシング・ポトレロ川	154	2.5	3.0	8	9
オドンネル川	283	-	3.5	-	14
ブカオ川	655	5.8	7.5	35	45
マロマ川	152	5.3	7.2	16	22
サントーマス川	262	4.6	6.1	18	24
平均(ピナツボ周辺流域)	264	4.7	6.0	18	22

出典: The Study on Flood and Mudflow Control for Sacobia-Bamban/Abacan River Draining from Mt. Pinatubo, 1996
 Monitoring and Planning of Flood Control Works on the Pasac Delta (including Porac-Gumain River) and Third River Channel, 2002
 Pinatubo Hazard Urgent Mitigation Project Part III monitoring and Planning on Lahar/Mudflow Control Works in Pasig-Potrero River Basin, 1998
 The Detailed Engineering Design of the Urgent Rehabilitation and Improvement Works for Agno River Flood Control Project, 1994

生産土砂解析

ピナツポ火山噴火直後より1997年まで、PHIVOLCSが中下流域河道に堆積した土砂量を測定することにより流域生産土砂量を算定してきた。本調査においては、以下に示す方法により2001年及び2002年の生産土砂量の算定を行い、将来の生産土砂量を予測した。

2001年の生産土砂量： 2002年雨季前に撮影した流域の航空写真の判読を行い、1) 安定斜面、2) 中程度不安定斜面、3) 不安定斜面の3段階の斜面安定度に分類した。それぞれの斜面における生産土砂量の算定方法として、1) 安定斜面においては火砕流堆積域において日本で測定された平均的な値である6mm/yearを平均侵食深として用いた。2) 中程度不安定及び3) 不安定斜面においては、写真判読により算定した崩壊率と現地踏査によって得られた崩壊深により、平均侵食深をそれぞれ算定した。中程度不安定斜面における平均侵食深は246mm/year、不安定斜面（主として河岸斜面）における平均侵食深は2,000mm/yearと算定された。この結果、2001年における対象3河川流域の生産土砂量は以下の通りとなった。

表 4.3 2001年の推定生産土砂量

河川流域	流域面積 (km ²)	斜面安定度分類結果(km ²)			生産土砂量(百万m ³ /年)				平均崩壊深 (mm/年)
		安定	中程度不安定	不安定	安定	中程度不安定	不安定	合計	
ブカオ川	655	599	53.9	1.8	3.6	13.3	3.6	20.5	31.3
マロマ川	152	151	1.2	0	0.9	0.3	0	1.2	7.9
サントトーマス川	262	251	11.1	0.7	1.5	2.7	1.4	5.6	21.4

2002年の生産土砂量： 2002年の生産土砂量については、2002年7月の洪水前後に測定した土砂堆積域における河川横断面の比較により河道への堆積土砂量を算定し、これを生産土砂量として算定した。なお、マロマ川流域については既に流域が安定しており、この方法による生産土砂量の算定が困難であるため算定を行なわなかった。河道断面変化による生産土砂量の算定はPHIVOLCSにおいて1997年まで実施していた方法と同様の手法である。2002年7月に発生した洪水はブカオ川で5年確率、サントトーマス川で10年確率規模と大規模洪水であったため、生産土砂量は2001年に比べ大幅に増大した。さらにブカオ川においてはピナツポ火口湖流出地点であるマラオノット鞍部の崩壊による洪水も発生し、7年ぶりのラハールが観測されたことから生産土砂量がさらに増大した。

表 4.4 2002年の推定生産土砂量

河川流域	流域面積 (km ²)	生産土砂量 (百万m ³)	平均崩壊深 (mm/年)
ブカオ川	655	65.3	99.7
サントトーマス川	262	15.8	60.3

将来の生産土砂量予測： PHIVOLCSによる1997年までの実測生産土砂量及び、本調査により算定した2001年・2002年の生産土砂量よりブカオ川及びサントトーマス川流域の将来の生産土砂量の推定を実施した。流域に残存する不安定な火砕流堆積物の多くが既に中下流域に流出したこと、上流域の植生回復が顕著なことより、生産土砂量は将来に亘って減少傾向を続け、20年後程度には砂防技術や植林などにより生産土砂調整が可能になると考えられる。

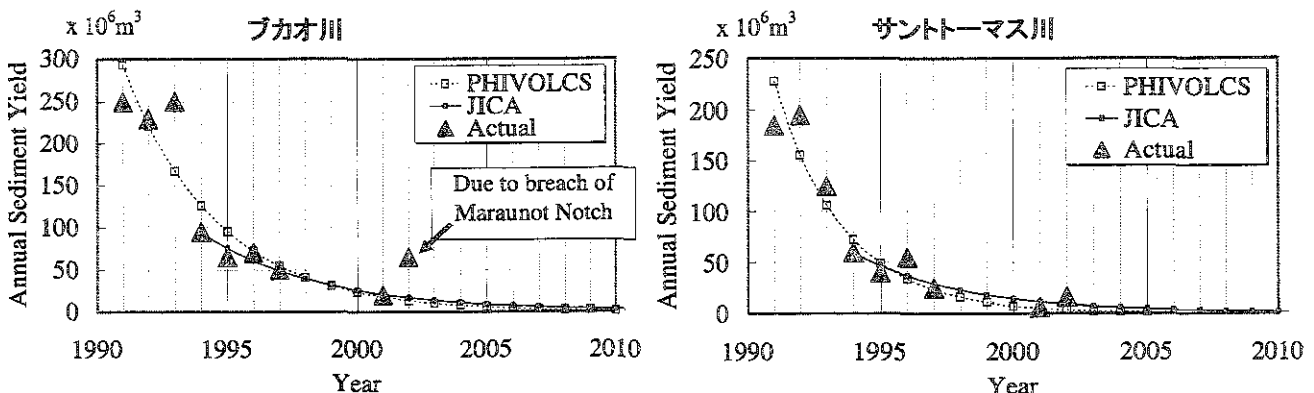


図 4.4 ブカオ、サントトーマス川における今後の生産土砂量予測

河床変動解析

上流土砂生産域は安定化に向かっているものの、河道区間上流部の急勾配区間にはブカオ川で約 7 億 m³、サントトーマス川で約 3 億 m³の土砂が堆積している。この堆積土砂はラハールで粒径が 0.7mm 程度と極端に小さいため、洪水時のみならず低水時においても簡単に洗掘され、下流へ流送されることが懸念された。河道内堆積土砂の移動傾向を把握すべく 1 次元土砂収支計算を年間流量分布、河床勾配及び堆積土砂流径分布をパラメーターとし、ブラウン式を用いて実施した。土砂収支解析の結果、図 4.5 に示すようにブカオ、サントトーマス両河川とも上流域土砂堆積区間では洗掘・流送傾向が、中下流域においては土砂堆積傾向が継続することが明らかとなった。

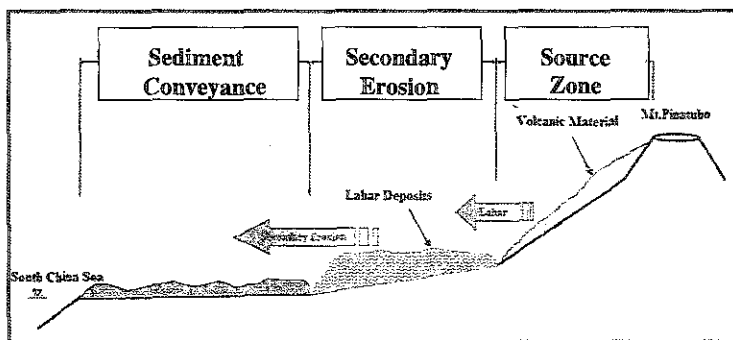


図 4.5 土砂収支解析により明らかとなった土砂移動のメカニズム

本調査対象河川の全体計画策定において、最も大切なことは中下流域における河床上昇を如何に抑制し、保全対象となる泥流氾濫域の安全を確保するかという点にある。河床上昇をどのように抑制し、河床低下をどのように促進させるかが、計画立案の最大のポイントであり、どのようなプロセスでこの目的を達成させるかが重要となる。このプロセスを見出すための解析が河床変動解析である。

本調査では、洪水時の土砂移動の特性を把握するために 2 次元泥流解析と長期的な土砂移動傾向を分析するための 1 次元河床変動解析を実施した。それぞれの解析モデルの特徴は表 4.5 に示す。

表 4.5 泥流、河床変動解析モデルの概要

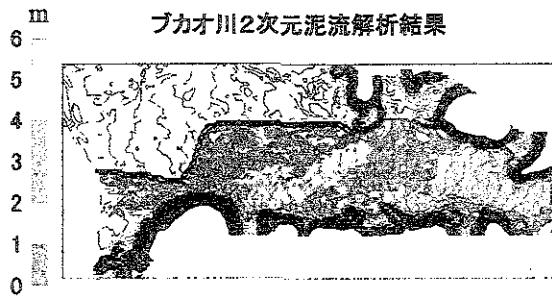
項目	2次元泥流解析	1次元河床変動解析
対象水理現象	ラハール(泥流)	洪水及び低水流量
解析期間	48時間	20年
モデル	2-D mudflow ⁽¹⁾	1-D sediment transport ⁽²⁾
理論式	Brown	Yang (1973)
設定土砂濃度	Max. 40% (ラハール)	Max. 10% (20年確率洪水)
検証データ	2002年ラハール	1991-2002の土砂収支

⁽¹⁾ Public Works Research Institute and the Sabo and Landslide Technical Center of Japan

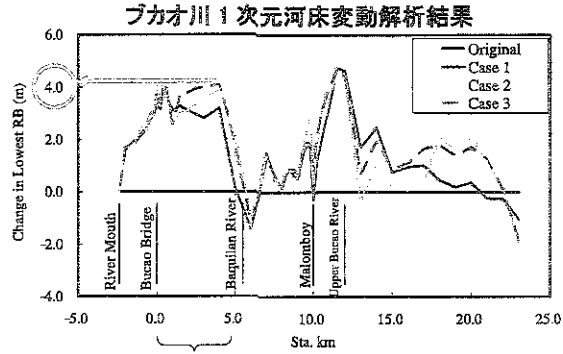
⁽²⁾ HEC-6 (Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs), U.S. Army Corps of Engineers

解析の結果は図 4.6 及び 4.7 に示す。下流域における河床上昇は、洪水時の短期的な河床変動よりも年間を通じた長期的な土砂移動が支配要因となることが明らかとなった。したがって、現況河道において、今後 20 年間でブカオ川下流域では約 4.0m、中流域で約 5.0m、サントトーマス川では下流域で約 1.5m、中流域で約 1.0m の河床上昇が見込まれるという結論となった。

しかしながらこれらの解析結果は調査期間内に得られた限られたデータのもとでなされたものであり、その精度を高めるべく河床変動のモニタリングを今後継続し、詳細設計の時点で改めて解析を見直すことが望ましい。



ブカオ川2次元泥流解析結果



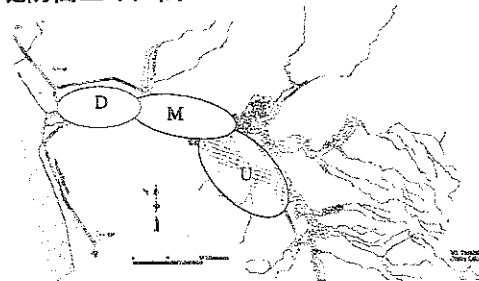
ブカオ川1次元河床変動解析結果

堤防嵩上げ区間

ブカオ川泥流・河床変動解析結果のまとめ

モデル	①Down	②Middle	③Up
	River Mouth -	Baquilan -	Malumboy - Balin-Baquero
2次元泥流解析	↑ max.+2.0 m	↑ max.+6.0 m	NA
1次元河床変動解析	↑ max.+4.2 m	↑ max.+4.8 m	↑ max.+2.4 m

堤防嵩上げ区間



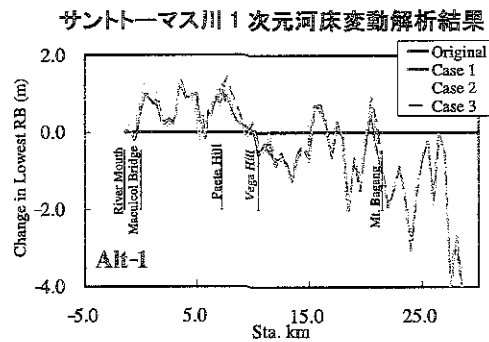
注釈: 以下の水文的条件下の解析結果を示す。

- Case 1: 今後 20 年間で洪水が起こらない
- Case 2: 5 年後に 20 年確率洪水が発生
- Case 3: 15 年後に 20 年確率洪水が発生

図 4.6 ブカオ川2次元泥流解析、1次元河床変動解析の結果



サントーマス川2次元泥流解析結果



サントーマス川1次元河床変動解析結果

サントーマス川泥流・河床変動解析結果のまとめ

モデル	①Down	②Middle	③Up
	River Mouth -	Vega Hill -	Mt. Bagang - Marella
2次元泥流解析	↑ max.+1.0 m	↑ max.+2.0 m	↑ max.+4.0 m
1次元河床変動解析	↑ max.+1.5 m	↑↓ max.+1.0 m	↓ min.-3.0 m

堤防嵩上げ区間

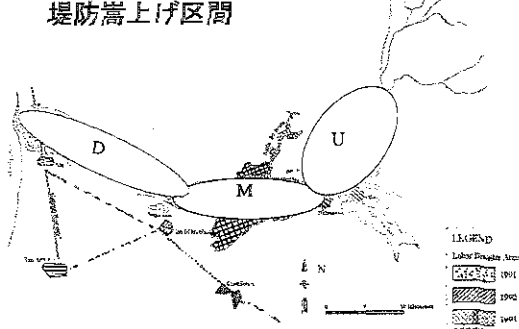


図 4.7 サントーマス川2次元泥流解析、1次元河床変動解析の結果

5. 泥流氾濫解析

氾濫条件の設定

対象河川流域は1991年のピナツポ火山噴火以降頻繁なラハールに見舞われ、その度に中下流の低平地において激甚な土砂災害、洪水災害をもたらしてきた。これまで、泥流氾濫を河道内に収めようと堤防の建設が各河川において積極的に行われてきた。その結果河道内に押さえ込まれた泥流の堆積が顕著になり、河床上昇を促進させ、やがては堤防を越流するという現象が繰り返し見られた。その結果ブカオ川下流右岸側ではこれまで2度の、サントトーマス川中流域左岸側では3度の堤防嵩上げが実施された。

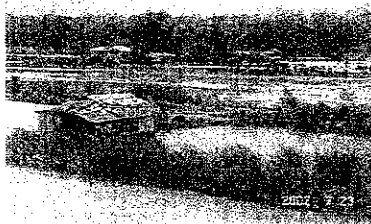
2002年の雨季にもブカオ川右岸側の堤防は護岸工が全て破壊され、下流域においては約1.5mの河床上昇のため河床から堤防天端までの余裕高が2.0mに満たない状況となっている。マロマ川では左岸側堤防の一部が2001年及び2002年に破堤し、その修復がなされていない。右岸では洪水時に下流マロマ橋地点がボトルネックとなり塞ぎ上げ現象が発生し、ほぼ毎年のように洪水が越流するといった状況である。

護岸が破壊されたブカオ川堤防

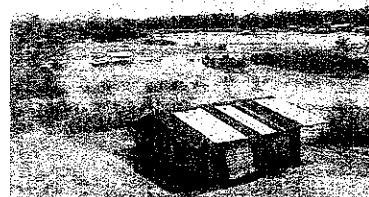


サントトーマス川においても2002年7月にはマクルコル橋下流左岸側の堤防が決壊し、周辺農地数十ヘクタールを埋没させ、2000年にも橋から3.5km上流の左岸側の堤防が決壊し、周辺地域に泥流氾濫被害をもたらしている。2002年7月洪水の詳細を表5.1に示す。2003年8月9日にも、マクルコル橋下流左岸同地点が小さな洪水により破堤し、農地が土砂により埋没した。

洪水氾濫中(7/23)



洪水氾濫後(7/29)



サントトーマス川下流左岸側破堤(2002年7月)による農地埋没の様子

表 5.1 2002年7月洪水詳細

	単位	ブカオ川	マロマ川	サントトーマス川
最大日雨量	mm/日	404.4 (July 7, at Baquilan)	369.1 (July 7, at Paete)	385.3 (July 7, at Mapanuepe)
日雨量に対する再現期間	年	5 to 10	5 to 10	5 to 10
最大観測水位	ELm	7.8 (July 8)	4.1 (July 8)	マクルコル橋桁上
流量*	m ³ /s	2,500	640	890
被害状況				
(1) 洪水(7月4日～7月8日)		・バキラン橋で2名の人と5頭のカラバオが流された。 ・15haの農地が浸水被害(ブカオ橋下流右岸側)	・90家屋と120haの農地が浸水被害(マロマ川右岸側、国道7号線沿い)	・被害無し
(2) 洪水(7月24日～7月26日)		・被害無し	・被害無し	・25家屋と2.5haの農地が土砂により埋没(マクルコル橋下流左岸側)

*実績降雨を用いて洪水流出モデルにより算定

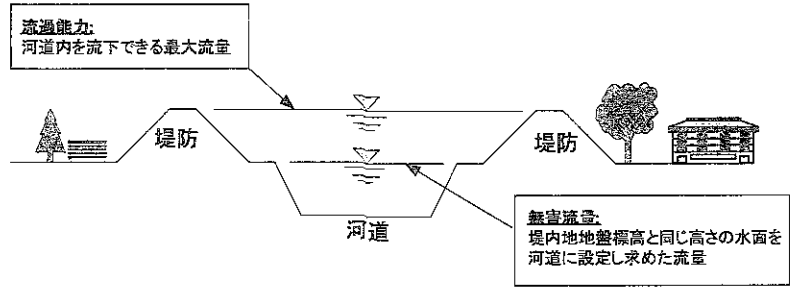
上記状況に鑑み、本調査泥流氾濫解析においては以下のような氾濫条件を設定した。

氾濫ブロックの設定： 地形的特徴より氾濫ブロックを以下のように設定した。

- ・ブカオ川：下流右岸側に広がる農業地域及びボトラン町を氾濫ブロックとする。
- ・マロマ川：マロマ川、ゴロンゴロ川合流点下流の左右岸を氾濫ブロックとする。
- ・サントトーマス川：氾濫域は広範囲に亘り、それぞれの氾濫特性が異なるため以下の3つの氾濫ブロックに分割する。
 - 氾濫ブロック 1:ベガヒルより上流左岸側の農業及び居住地域、
 - 氾濫ブロック 2:ベガヒルより下流左岸側の農業及び居住地域、
 - 氾濫ブロック 3:バエテヒルより下流右岸側の農業及び居住地域。

無害流量の設定：

氾濫解析に必要な無害流量および河道流過能力を図 5.1 に示す定義に従って算定した。無害流量とは洪水・泥流を氾濫もなく無害で流下させることの出来る最大流量であり、堤内地盤標高と同じ高さの水面を河道に設定し求めた流量である。河道流過能力とは河道内を流下することのできる最大流量であり、堤防高でその大きさが規定される。堤防が決壊した場合は河道流過能力内の流量であっても氾濫が起こる。



出典：建設省河川局：治水経済調査マニュアル、平成 12 年 5 月

図 5.1 無害流量と流過能力の定義

ブカオ川およびサントトーマス川は天井川を形成しており河川水位は常に氾濫域の標高より高いことから、無害流量をゼロに設定した。河川計画は通常、堤防が強固で破堤しないことが明らかな場合以外は、無害流量を上回る流量で氾濫被害が起こることを前提に策定される。



図 5.2 流過能力の変化

ブカオ川およびサントトーマス川の河道流過能力は、図 5.2 に示すように今後 20 年間は河床上昇の影響で年々低下する。表 5.2 から表 5.4 にブカオ川、マロマ川及びサントトーマス川のそれぞれに対する河道流過能力算定値を示す。ブカオ川の現在の流過能力はバキラン川合流点から上流で 2 年から 5 年確率洪水相当であるが、20 年後には河床上昇によりゼロと予想される。マロマ川については、マロマ橋からゴロンゴロ川にかけて河道流過能力が最小となり、60m³/s と算定された。サントトーマス川では、ブカオ川と同様に 20 年後には流過能力はゼロと予想される。

上記から、氾濫解析に用いる無害流量および河道流過能力をブカオ川とサントトーマス川についてはゼロとし、マロマ川については 60m³/s とした。

表 5.2 ブカオ川流過能力算定値

表 5.3 マロマ川流過能力算定値

区間	流過能力				区間	流過能力	
	現在(2002年)		20年後(2022年)			現在(2002年)	
	流量 (m ³ /s)	再現期間	流量 (m ³ /s)	再現期間		流量 (m ³ /s)	再現期間
河口～ブカオ橋	200	2年以下	0	なし	河口～マロマ橋	290	2年以下
ブカオ橋	5,200	50年～100年	300	2年以下	マロマ橋	500	5年～10年
ブカオ橋～バキラン川	1,900	2年～5年	0	なし	マロマ橋～ゴロンゴロ川	60	2年以下