No.

コロンビア国
ボゴタ市防災局
ソアチャ市役所

コロンビア国

地すべり・洪水のモニタリングおよび早期警報システムにかかる調査

最終報告書

要 約

平成 20 年 3 月
（2008年）

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

委託先
株式会社パシフィックコンサルタンツインターナショナル
ＯＹＯインターナショナル株式会社

環 境
ＪＲ
08-040

コロンビア国
ボゴタ市防災局
ソアチャ市役所

コロンビア国

地すべり・洪水のモニタリングおよび早期警報システムにかかる調査

最終報告書

要 約

平成 20 年 3 月
（2008年）

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

委託先

株式会社パシフィックコンサルタンツインターナショナル
ＯＹＯインターナショナル株式会社

本調査の適用為替レート

US$ 1.00=Colombian Peso 2014.76

（2008 年 1 月 1 日公定レート）

序　　文

日本国政府はコロンビア国政府の要請に基づき、同国の地すべり・洪水のモニタリングおよび早期警報システムにかかる調査にかかる開発調査を行うことを決定し、独立行政法人国際協力機構がこの調査を実施いたしました。

当機構は、平成 18 年 6 月から平成 20 年 2 月までの間、5 回にわたり、株式会社パシフィックコンサルタンツインターナショナルの竹谷公男氏を団長とし、同株式会社パシフィックコンサルタンツインターナショナルおよびＯＹＯインターナショナル株式会社から構成される調査団を現地に派遣しました。

また、同期間、国内支援委員会を設置し、本件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、コロンビア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各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成 20 年 3 月

国際協力機構
理事　松本　有幸

伝　達　状

独立行政法人国際協力機構

理事　松本　有幸　殿

今般、コロンビア国における地すべり・洪水のモニタリングおよび早期警報システムにかかる調査が終了いたしましたので、ここに最終報告書を提出いたします。

本調査は、貴機構との契約に基づき、株式会社パシフィックコンサルタンツインターナショナルおよびＯＹＯインターナショナル株式会社の共同企業体が、平成 18 年 6 月から平成 20 年 3 月までの間に実施して参りました。今回の調査においては、コロンビア国先方政府の現状を踏まえ、持続可能な地すべり・洪水のモニタリングと洪水の早期警報システム計画策定に努めました。

なお、同期間中、日本政府特に貴機構、外務省、およびその他関係方面の方々に多大な協力を賜りましたことを、この機会を借りて、厚く御礼申し上げます。また、調査期間中、コロンビア国ボゴタ市防災局とソアチャ市役所、クンデイナマルカ県防災局、その他関係機関より頂きました協力と支援について深く感謝いたします。

貴機構におかれましては、本計画の推進に向けて、本報告書を大いに活用されることを切望する次第です。

平成 20 年 3 月

株式会社パシフィックコンサルタンツインターナショナル

地すべり・洪水のモニタリングおよび早期警報システムにかかる調査

団長　竹谷　公男

最終報告書の構成

英文

第１巻：　Summary　（要約）

第２巻：　Main Report（主報告書）

第３巻：　Supporting Report　（副報告書）

第４巻：　Data Book　（データ集）

西文

第１巻：　Resumen　（要約）

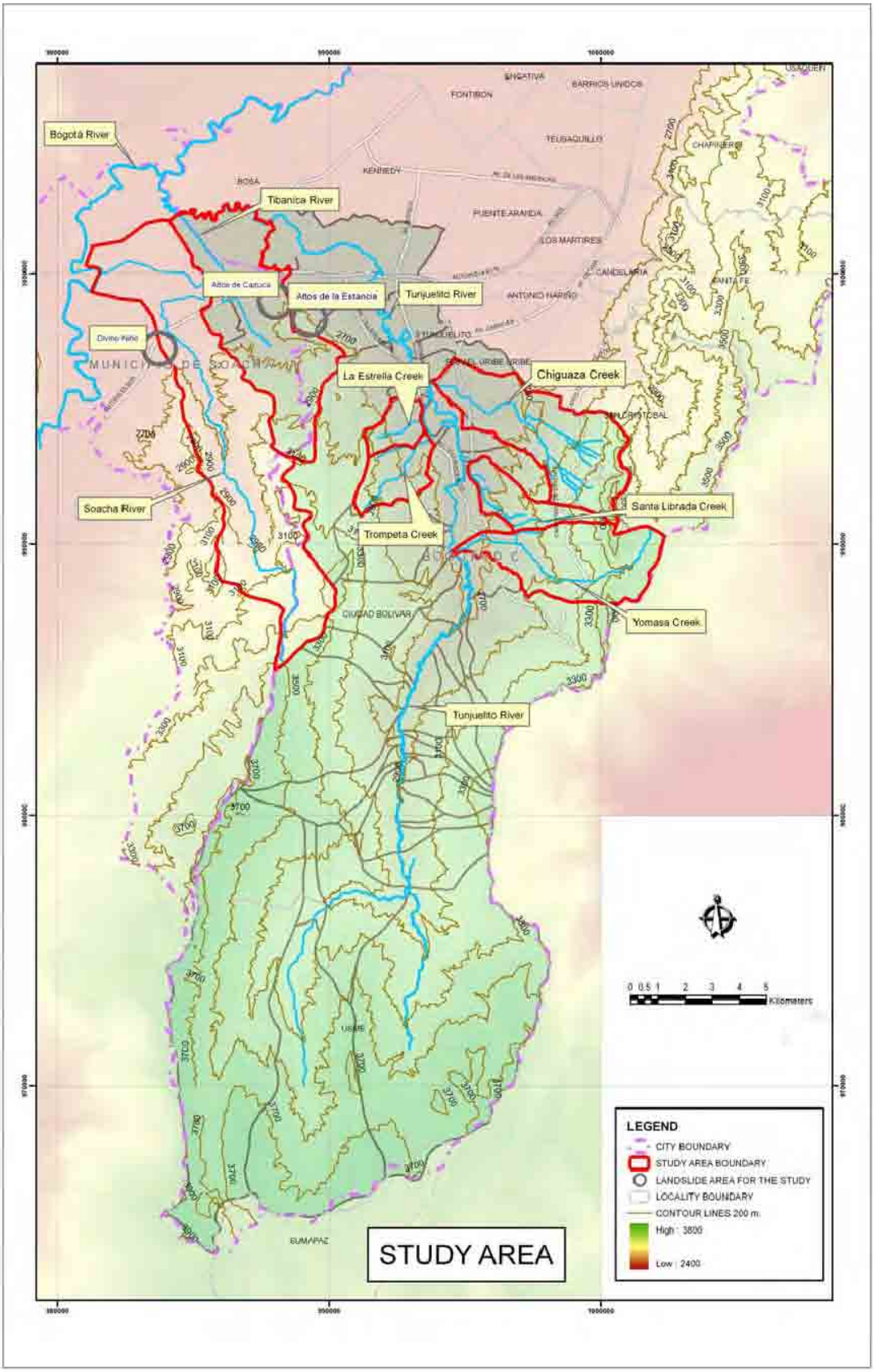
第２巻：　Reporte Principal（主報告書）

第３巻：　Reporte de Soporte　（副報告書）

第４巻：　Libro de Datos　（データ集）

和文

最終報告書　要約


Bogotá River
Tibanica River
Altos de Cazuca
Altos de la Estancia
Turjuelito River
Divino Niño
La Estrella Creek
Chiguaza Creek
Soacha River
Trompeta Creek
Santa Librada Creek
Yomasa Creek
Tunjuelito River
STUDY AREA
LEGEND
CITY BOUNDARY
STUDY AREA BOUNDARY
LANDSLIDE AREA FOR THE STUDY
LOCALITY BOUNDARY
CONTOUR LINES 200 m
High : 3800
Low : 2400
0 0.5 1 2 3 4 5
Kilometers

調査対象地域位置図

コロンビア国地すべり・洪水のモニタリングおよび早期警報システムにかかる調査

最終報告書　　要約

序文

伝達状

最終報告書の構成

調査対象地域位置図

目次

附表の一覧

附図の一覧

略語の一覧

目次

第 1 部　概論 1-1

第 1 章　はじめに 1-1

1.1　調査の背景と目的 1-1

1.2　調査対象地域 1-2

1.3　調査工程 1-2

1.4　調査に関係する機関等 1-4

1.5　報告書の構成 1-4

第 2 章　調査対象地域の自然状況 2-1

2.1　地形と地質 2-1

2.2　気象と水文 2-2

第 2 部　モニタリングと早期警報システム計画(ボゴタ市) 2-1

第 3 章　ボゴタ市の社会経済状況 3-1

3.1　行政システム 3-1

3.2　社会経済状況：ボゴタ市全般 3-1

3.3　社会経済状況：ボゴタ市内の調査対象地域 3-1

3.4　土地利用および都市計画 3-2

3.5　住民参画 3-3

第 4 章　ボゴタ市の降雨と災害の関係 4-1

4.1　災害の一般的特徴と分析に用いる既往災害の選定 4-1

4.2　降雨と災害の関連性分析 4-2

第 5 章　地すべり(ボゴタ市) 5-1

5.1　地すべりの概要 5-1

5.2　既存調査 5-2

5.3　現地調査 5-3

5.4　ハザードマップ 5-5

5.5 モニタリング計画 5-5
5.6 パイロットプロジェクト 5-9
第 6 章 洪水(ボゴタ市) 6-1
6.1 対象とする渓流 6-1
6.2 洪水の現状 6-2
6.3 モニタリングシステムの現状 6-3
6.4 洪水解析とマップ化 6-4
6.5 モニタリングと予警報計画 6-5
6.6 実施計画 6-12
6.7 パイロットプロジェクト 6-14
第 7 章 DPAE への提言 7-1
7.1 共通 7-1
7.2 地すべり関係 7-1
7.3 洪水関係 7-2
第 3 部 モニタリングと早期警報システム計画(ソアチャ市) 7-1
第 8 章 ソアチャ市の社会経済状況 8-1
8.1 行政システム 8-1
8.2 社会経済状況 8-1
8.3 都市計画 8-2
8.4 住民参画 8-2
8.5 防災制度の状況 8-3
第 9 章 降雨と災害の関係(ソアチャ市) 9-1
9.1 分析に用いる既往災害 9-1
9.2 降雨と災害の関連性分析 9-1
第 10 章 地すべり(ソアチャ市) 10-1
10.1 調査地の概要 10-1
10.2 既存調査 10-2
10.3 ハザードマップ 10-2
10.4 土砂災害対策 10-6
10.5 パイロットプロジェクト 10-8
第 11 章 洪水(ソアチャ市) 11-1
11.1 対象とする河川 11-1
11.2 洪水の現状 11-1
11.3 モニタリングシステムの現状 11-2
11.4 洪水解析とマップ化 11-3
11.5 モニタリングと予警報計画 11-6
11.6 パイロットプロジェクト 11-15

第 12 章　コミュニティ防災活動 12-1
12.1　ソアチャ市における既存コミュニティ調査 12-1
12.2　コミュニティ調査 12-1
12.3　コミュニティ防災活動 12-2
12.4　コミュニティ防災計画 12-3
12.5　コミュニティ主体の防災(CBDM)マニュアル 12-8
第 13 章　仮設工 13-1
13.1　背景 13-1
13.2　落石防護工の設計 13-3
13.3　仮設工の実施計画 13-4
13.4　施工計画 13-6
13.5　仮設工の実施 13-7
13.6　環境社会配慮 13-13
第 14 章　ソアチャ市への提言 14-1
14.1　共通 14-1
14.2　地すべり関係 14-1
14.3　洪水関係 14-2
14.4　コミュニティ防災活動 14-3
14.5　仮設工 14-3
付録

附表の一覧

表 1-1　調査対象地域 1-2
表 1-2　調査工程 1-2
表 2-1　調査対象地域における気象および水文観測所リスト 2-4
表 2-2　確率日雨量（単位 mm） 2-6
表 2-3　ゾーン毎の降雨強度（単位 mm/h） 2-7
表 3-1　ボゴタ市の土地利用状況（単位ヘクタール, 2002) 3-2
表 4-1　土砂災害発生日の日雨量 4-2
表 4-2　降雨と土砂災害の関係 4-3
表 4-3　年間最大日雨量（上位 10 位）と洪水の関係 4-4
表 4-4　日雨量と洪水の関係 4-5
表 5-1　警戒値 5-8
表 5-2　モニタリングの数量 5-9
表 5-3　盛り上がりと変状のある家屋におけるモニタリング機器の概要 5-11
表 6-1　継続時間別降雨強度（mm/h） 6-1
表 6-2　チグアザ渓流のクリテイカルポイント 6-5
表 6-3　短期、中期および長期の計画の定義 6-8

表 6-4　モニタリング地点と目的 6-9
表 6-5　モニタリング地点と機器構成、観測態勢 6-10
表 6-6　過去の洪水時の実績降雨例 6-12
表 9-1　日雨量と洪水の関係 9-2
表 9-2　日雨量と洪水の関係まとめ 9-2
表 9-3　ソアチャ市街地における降雨と土砂災害の関係 9-1
表 10-1　インベントリー調査の分類 10-2
表 11-1　対象地域周辺の既存モニタリング地点 11-2
表 11-2　サブシステムの概要 11-7
表 11-3　モニタリング地点の設置に関する基本的考え方 11-9
表 11-4　モニタリングの頻度 11-11
表 11-5　各段階における関係者の役割 11-11
表 11-6　ソアチャ川の警報水位 11-12
表 11-7　実施計画 11-14
表 11-8　ソアチャ市に設置したモニタリング機器の仕様 11-15
表 13-1　仮設工実施における責任分担範囲 13-5
表 13-2　工事契約パッケージの詳細 13-5
表 13-3　仮設工工事契約コンディション 13-6
表 13-4　仮設工工事契約 13-7
表 13-5　仮設工の実施にかかる影響項目と緩和策および事業化へ向けた提言 13-16
表 13-6　仮設工の影響項目のモニタリング計画 13-17

附図の一覧

図 1-1　調査対象地域 1-3
図 1-2　調査関係者の構成 1-4
図 2-1　ボゴタ盆地の地形断面図（基礎データ： NASA SRTM-3） 2-1
図 2-2　ボゴタ盆地の堆積物（ボゴタ高原、セクション A） 2-2
図 2-3　調査対象地域における気象水文観測所位置図 2-3
図 2-4　年雨量分布（2003） 2-5
図 2-5　2003 年における月雨量の変化 2-6
図 2-6　降雨強度曲線のゾーン 2-7
図 2-7　DPAE 観測所の 2000－2006 年における日雨量と時間雨量の関係 2-8
図 2-8　ミカエラ観測所における 1：00－24：00 降雨分布 2-8
図 2-9　日雨量による相関（2003） 2-10
図 2-10　DPAE 観測所の日雨量による相関（2003） 2-11
図 3-1　調査対象地域が関連する６つのローカリティに有る合法的なバリオの数 3-3
図 4-1　トゥンヘリト、ラファエル・ウリベ、サンクリストバル、シウダトボリバル、ウスメ地区での土砂災害発生頻度（2002 年 1 月－2006 年 7 月） 4-1

図 4-2　トゥンヘリト、ラファエルウリベ、サンクリストバル、シウダットボリバル、ウスメ地区での洪水発生頻度（2001 年 8 月－2006 年 6 月）.....4-2
図 4-3　ファン・レイ観測所(EAAB)における土砂災害発生時の各種降雨量と平均値.....4-3
図 4-4　チグアサ流域の洪水発生日のファン・レイ(EAAB)及びラ・ピコタ(CAR)観測所の日雨量.....4-5
図 5-1　アルトス・デ・エスタンシア(空中写真と地形図の組み合わせ図).....5-1
図 5-2　クラックの発達図.....5-2
図 5-3　移動杭観測による移動の方向.....5-3
図 5-4　パイロットプロジェクトの位置.....5-4
図 5-5　想定される地面の上昇.....5-4
図 5-6　地すべり地と住宅地における観測機器.....5-6
図 5-7　地すべり計器による観測の優先される地点.....5-7
図 5-8　測量地点とモニタリング装置設置地点.....5-10
図 5-9　家屋の変状を知るためのモニタリング.....5-12
図 6-1　対象渓流の縦断図.....6-1
図 6-2　1994 年 5 月 19 日洪水の影響範囲(チグアザ渓流).....6-2
図 6-3　2002 年 5 月洪水時の洪水位.....6-3
図 6-4　既存の DPAE モニタリング地点.....6-4
図 6-5　チグアザ渓流の流下能力と確率流量縦断図.....6-5
図 6-6　ボゴタ市のモニタリング・予警報システム計画の概要.....6-7
図 6-7　モニタリング地点と予警報の対象地域.....6-9
図 6-8　中期における追加モニタリング地点.....6-11
図 6-9　実施スケジュール.....6-13
図 9-1　土砂災害発生時の日雨量、3 日間雨量と累積雨量.....9-1
図 10-1　ソアチャ市の地すべり対象地域位置図.....10-1
図 10-2　危険ゾーンの定義.....10-3
図 10-3　危険ゾーン(ディビノ・ニーニョ地区).....10-4
図 10-4　危険ゾーン(アルトス・デ・カスカ地区のラ・カピージャ地区).....10-5
図 10-5　緊急ゾーンの定義.....10-5
図 10-6　緊急ゾーン(ディビノ・ニーニョ).....10-6
図 10-7　緊急ゾーンからの退去プロセス.....10-8
図 10-8　月別雨量(2007 年 8 月～11 月).....10-10
図 10-9　2007 年 8 月の月雨量(単位:mm).....10-10
図 10-10　2007 年 10 月 13 日～15 日の雨量と災害発生時刻.....10-11
図 10-11　地すべり発生前の降雨(2007 年 10 月).....10-11
図 11-1　ソアチャ川とテイバニカ川の縦断図.....11-1
図 11-2　2006 年 5 月 11 日洪水の浸水域.....11-2
図 11-3　ソアチャ市周辺の主要な既存モニタリング地点.....11-3
図 11-4　2006 年 5 月 11 日の日雨量分布.....11-4

図 11-5　2006 年 5 月 11 日の氾濫時刻 11-5
図 11-6　流下能力縦断図 11-5
図 11-7　モニタリングシステムの全体像 11-7
図 11-8　ソアチャ市のモニタリングと早期警報システムの概要 11-8
図 11-9　モニタリング計画位置図 11-10
図 11-10　ソアチャ川の警報水位設定の考え方 11-12
図 11-11　情報伝達の流れ図(左：平常時、右：緊急時) 11-16
図 11-12　情報伝達・避難訓練で採用したシナリオ 11-17
図 12-1　コミュニティ防災マップ作成のための活動 12-6
図 12-2　コミュニティ防災マップ案 12-7
図 12-3　コミュニティ防災マップの例 12-7
図 13-1　仮設工一般計画図 13-2
図 13-2　ディビノ・ニーニョ地区位置図 13-3
図 13-3　事業の実施スケジュール 13-7
図 13-4　仮設工実施体制 13-8
図 13-5　施工方法 13-9
図 13-6　仮設工全景写真 13-10
図 13-7　仮設工法線 13-11
図 13-8　追加落石防護工 13-12

略語の一覧

ASE	Exclusive Service Areas (Áreas de Servicio Exclusivo)
AFRODES	Association of Displaced Afro-Colombians(Asociacion de Afrocolombianos Desplazados)
CAM	Municipal Committee of mutual Attendance for Prevention and Attention of Disasters (Comité Municipal de Atención Mutua para Prevención y Atención de Desastres)
CAR	Regional Autonomous Corporation (Corporación Autónoma Regional)
CBDM	Community Based Disaster Management (Manejo de Desastres Basado en la Comunidad)
CCTV	Closed-circuit Television(Cicuito Cerrado de Televisión)
CHF	Canadian Hunger Foundation (Fundación Canadiense para el Hambre)
CLE	Emergency Local Committee (Comité Local de Emergencia)
CLOPAD	Local Committee for the Prevention and Attention of Disasters (Comité Local para la Prevención y Atención de Desastres)
CODENSA	
CODHES	Advisory for Human Rights and Displacement (Consultoría para los derechos humanos y el desplazamiento)
CREPAD	Regional Committee for the Prevention and Attention of Disasters (Comité Regional para la Prevención y Atención de Desastres)
DABS	Administrative Department of Social Welfare (Departamento Administrativo de Bienestar Social)

DANE	National Administrative Department of Statistics (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas)
DAPD	Administrative Department for District Planning (Departamento Administrativo de Planeación Distrital)
DCP	Data Collection Platform(Plataforma Colectora de Datos)
DNPAD	National Office for the Attention of Disasters (Dirección Nacional para la Atención de Desastres)
DPAE	Direction for the Prevention and Attention of Emergency (Dirección para la Prevención y Atención de Emergencias)
DTM	Digital Terrain Model (Modelo Digital del Terreno)
EAAB-ESP	Company of Water Supply and Sewage Service of Bogotá (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá)
EDAN	Ecumenical Disability Advocates Network(Red de Defensores de la Discapacidad Ecuménica)
EFP(PEF)	Emergency Family Plan (Plan de Emergencia Familiar)
ETB	Company of Telecommunications of Bogotá (Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá)
FOPAE	Fund for Prevention and Attention of Emergencies (Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias)
FTP	File Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de Archivos)
GDP/PIB	Gross Domestic Product (Producto Interno Bruto)
GDS	Grid Development System (Sistema de Desarrollo de Grilla)
GIS/SIG	Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica)
GMS	Geostational Meteorological Satellite(Satélite Meteorológico Geo- estacional)
GNP	National Gross Product (Producto Nacional Bruto)
GOC	Government of Colombia (Gobierno de Colombia)
GOES	Geostatinaly Operatinal Environment Satellite (Satélite Geoestacionario de Operación Ambiental)
GOJ	Government of Japan (Gobierno de Japón)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
GSM	Global Scale Model (Modelo a Escala Global)
GST	Greenwich Standard Time (Hora Estándar Greenwich)
HECRAS	Hydrologic Engineering Center River Analysis System(Centro de Ingeniería Hidrológica Sistema de Análisis de Ríos)
ICA	Colombian Institute of Agriculture (Instituto Colombiano Agropecuario)
ICBF	Colombian Institute for Family Welfare (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar)
ICS/SCI	Incident Command System(Sistema Comando de Incidentes)
ICT	Institute of Territorial Credit (Instituto de Crédito Territorial)
IDB	Inter-american Development Bank (Banco Inter-americano de Desarrollo)
IDEAM	Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (Instituto de Hidrológica, Meteorología y Estudios Ambientales)
IDF	Intensity Duration Frequency (Frecuencia Duración de la Intensidad)
IDU	Institute of Urban Development (Instituto de Desarrollo Urbano)
IGAC	Geography Institute ¨Agustin Codazzi¨ (Instituto Geográfico Agustín Codazzi)

INGEOMINAS	Institute of Investigation and Geo-scientific, Mining-Environmental and Nuclear Information (Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero Ambiental y Nuclear)
INM	National Institute of Meteorology (Instituto Nacional de Meteorología)
IOM/OIM	International Organization for Migration(Organisation Internationale pour les Migrations)
ITCZ	Inter-tropical Confluence Zone (Zona de Convergencia Intertropical)
JAC	Assembly of Community Actions (Junta de Acción Comunal)
JAL	Local Administrative Assembly (Junta Administradora Local)
JICA	Japan International Cooperation Agency (Agencia de Cooperación Internacional del Japón)
JMA	Japan Meteorological Agency(Agencia Meteorológica del Japón)
MAT	Multi-annual Average (Promedio Multi -Anual)
MAT	Multi-annual Average Temperatura (Temperatura Promedio Multi-anual)
MATPEL	Dangerous Material (Materiales Peligrosos)
MAVDT	Ministry of Environment, House and Land Development(Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial))
MEWS	Monitoring and Early Warning System (Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana
MHz	megahertz
MM5	Mesoscale Model 5 (Modelo a Meso Escala 5)
MSM	Meso Scale Model (Modelo a Meso Escala)
NASA	National Aeronautics and Space Administration(Administración del Espacio y Aeronáutica Nacional)
NGOs	Non-Governmental Organization(Organización No-Gobernamental)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Atmósferica y Oceanica Nacional)
NWP	Numerical Weather Prediction(Predicción Numérica del Clima)
OCHA	United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs(Oficina para la Coordinación de Asuntos Humanitarios)
OFDA	Foreign Disaster Attendance (Oficina de Relaciones Exteriores de los EE.UU. de Asistencia para Desastres)
ONG	Non Government Organization (Organización No Gobernamental)
OPAD	Office for the Prevention and Attention of Emergency and Disasters of Cundinamarca (Oficina para la Prevención de Desastres y Emergencias de Cundinamarca)
P.M.U.	Unified Control Post (Puesto de Control Unificado)
PAHO/OPS	Pan-American Health Organization/Worldwide Health Organization(Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud)
POT	Territorial Ordering Plan (Plan de Ordenamiento Territorial)
PRIMAT	First Response to Incidents with Dangerous Materials (Primera Respuesta en Incidentes con Materiales Peligrosos)
RTU	Remote Terminal Unit(Unidad Terminal Remota)
SDA	District Secretary of Environment(Secretaria Distrital Ambiental)
SEGOBDIS	District Secretariat of Government(Secretaria de Gobierno Distrital)
SIRE	Information System for Risk Management and Attention of Emergency (Sistema de Información para el Manejo y Atención de Emergencias)
SISBEN	Selection System of Beneficiaries for Social Programs (Sistema de Selección de Beneficiarios para Programas Sociales)

SMLM	Monthly minimum legal salary (Salario Minimo Legal Mensual)
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission(Misión Topográfica Radar Shuttle)
SYNOP	Surface synoptic observations (Observaciones Sinópticas de la Superficie)
UBN	Unsatisfied Basic Necessities (Necesidades Básicas Insatisfechas)
UESP	Executive Unit of Public Services (Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos)
UHF	Ultra High Frequency (Frecuencia Ultra Alta)
UN	United Nations (Naciones Unidas)
UNDP/PNUD	United Nations Development Programme(Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo)
UNHCR/ACNUR	United Nations High Commissioner for Refugees (Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados)
UNICEF	United Nations Children´s Fund (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia)
UNIFEM	United Nations Development Fund for Women(Fondo de Desarrollo de las Naciones Unidas para la Mujer)
UNV/VNU	United Nations Volunteers (Voluntarios de las Naciones Unidas)
UPS(SAI)	Uninterruptible Power Supply(Sistema de Alimentación Ininterrumpida)
UPZ	Unit of Zone Planning (Unidad de Planeamiento Zonal)
URL	Uniform Resource Locator (Localizador Uniforme de Recurso)
USA/EUA	United States of America (Estados Unidos de América)
USD	United States Dollar (Dolár de Estados Unidos)
USGS	United States Geological Survey (Levantamiento Geológico de Estados Unidos)
WMO	World Meteorological Organization(Organización Meteorológica Mundial)
ZMPA	Environmental Management and Reservation Zone (Zonas de Manejo y Preservación Ambiental)

第 1 部 概論

第1章 はじめに

1.1 調査の背景と目的

コロンビア国（以下「コ」国）のボゴタ市および他 8 市は「コ」国の首都圏と呼ばれ、面積：1,944km²、人口：699 万人（2000 年時点）に上る大都市圏を形成している。本調査の対象地域は首都圏の南部に位置する合計約 84 km² の範囲であり、首都圏の 4%にあたる。

調査対象地域は、地形地質的に地すべり地形が多く分布する地域である。そのような自然条件に加え「コ」国国内難民のボゴタ首都圏への急激な流入により、1990 年代以降、ボゴタ市とソアチャ市を中心として急激な人口増加が進行した。急激な人口増加にともない、本来開発されるべきではない地すべり地帯の斜面や、トゥンヘロ川支流の流域の斜面および氾濫原の宅地利用が無秩序に進行した。このような不法居住地に対して、後追いで合法化する政策が一部で取られてきたために、首都圏南部での国内難民の流入と定着は、現在野放し状態になっていると言える。ボゴタ市関連組織は、この状況に鑑み、災害対策の一環として、これら地すべり地帯のモニタリング調査、トゥンヘロ川本川に対する河道改修、ダムなどの洪水対策、水文観測網の整備などを行ってきているが、支川までを含めた十分な構造物対策は、短期的には困難であり、今後発生が予見される大規模な地すべりや洪水災害に対して、少なくとも「人命」を守るためのモニタリングと早期警報システムの整備が求められている。

本調査は、このような背景に基づき、ボゴタ市防災局(以下　DPAE)、ソアチャ市および関連機関がこれまで行ってきた防災対策の成果を最大限活用し、対策が未着手の主な地すべり地帯や支川流域の洪水を対象として、モニタリングと早期警報システムのマスタープランを策定し、パイロットプロジェクトを実施することによりコミュニティおよび行政当局の予防的な防災能力の向上を上位目標として行うものである。

本調査は以下の 3 つの目的をもって実施された。

(1)計画策定: トゥンヘロ川およびソアチャ川流域を対象とし 2020 年を目標年次とした地すべり・洪水のモニタリング及び早期警報システム開発計画を策定する。

(2)パイロットプロジェクトの実施：コミュニティの住民による地すべり・洪水のモニタリング及び早期警報システムの設立と運用、維持管理までのパイロットプロジェクトをとおし、カウンターパート機関とコミュニティの防災能力強化を図る。

(3)技術移転：調査を通じて、「コ」国側関係諸機関への技術移転を行う。

1.2　　調査対象地域

本件調査対象地域(図 1-1)は、「コ」国首都であるボゴタ市の南部に位置する地すべり地帯 1 箇所と 4 渓流、およびボゴタ市に隣接するソアチャ市に位置する 2 つの急傾斜地地区と 2 河川流域である。

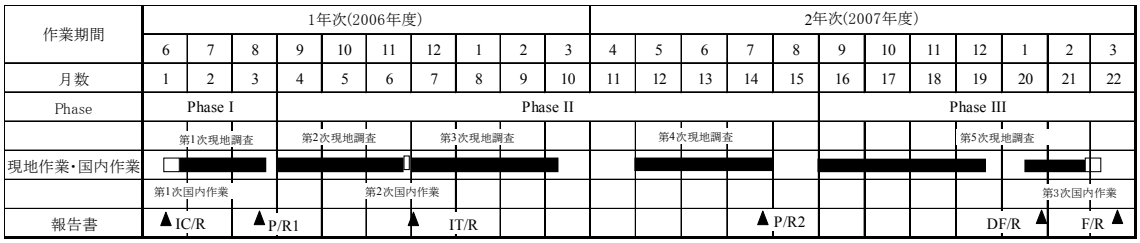
表 1-1　調査対象地域

市	洪水　対象地域			地すべり・急傾斜地崩壊　対象地域
	渓流または河川名	流域面積 (km^2)	幹線流路延長 (km)	
ボゴタ市	チグアサ 渓流	18.9	7.0	エスタンシア地すべり地区(100 ha)
	サンタリブラダ渓流	5.5	5.0	
	ヨマサ渓流	15.4	5.0	
	エストレージャ・トロンペタ渓流	8.3	1.5	
ソアチャ市	ソアチャ 川	44.3	13.0	アルトス・デ・カスカ地区とディビノ・ニーニョ地区(合計 230 ha)
	テイバニカ川	19.2	6.0	
合計	4 渓流・2 河川			3 地区

1.3　　調査工程

本件調査は、2006 年 6 月に開始された。インセプションレポートで提案した工程では 2008 年 1 月に終了するとされていたが、2007 年 8 月末から開始された第 5 次現地調査で、ソアチャ市の仮設工の実施が遅延されたために、2008 年 3 月まで調査期間が延長された。

表 1-2　調査工程



国内作業　　現地調査　　Reporting

IC/R:インセプションレポート、P/R1:プログレスレポート1、IT/R:インテリムレポート、P/R2:プログレスレポート2、DF/Rドラフトファイナルレポート、F/R:ファイナルレポート

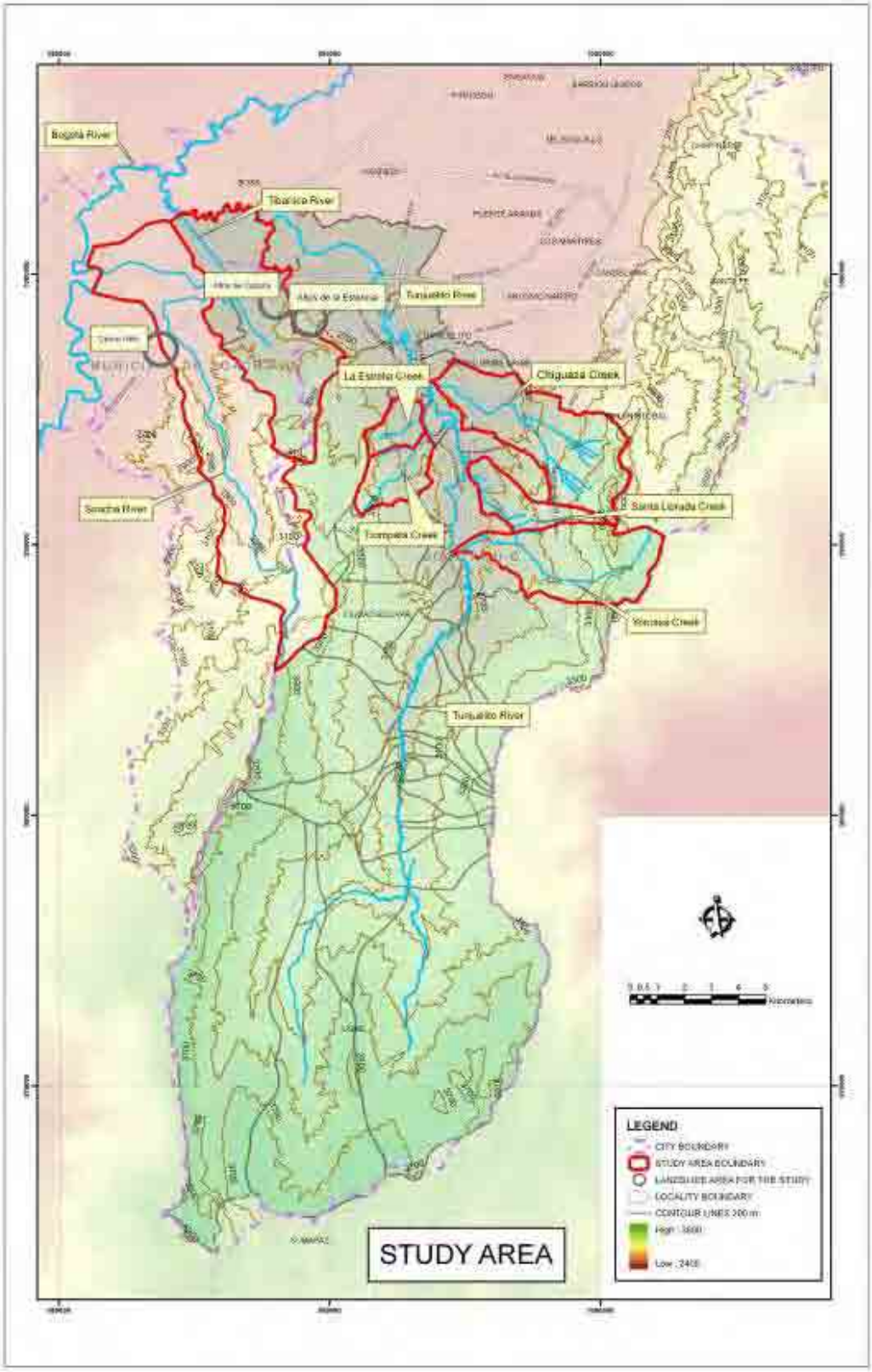

Bogotá River
Tibanica River
Tunjuelito River
La Estrella Creek
Chiguaza Creek
Santa Librada Creek
Tunjuelito River
STUDY AREA
LEGEND

図 1-1　調査対象地域

1.4　調査に関係する機関等

本調査のカウンターパート機関は、DPAE とソアチャ市役所の 2 機関である。本調査は DPAE,ソアチャ市役所および調査団との協力において遂行され、クンデイナマルカ県および独立行政法人国際協力機構（以下 JICA）コロンビア事務所から支援を受けて行われた。JICA は 2006 年 11 月と 2007 年 11 月に本調査モニタリング調査団を現地に派遣した。モニタリング調査団は DPAE、ソアチャ市及び調査団と議論を行い、JICA へ技術的な助言を行った。

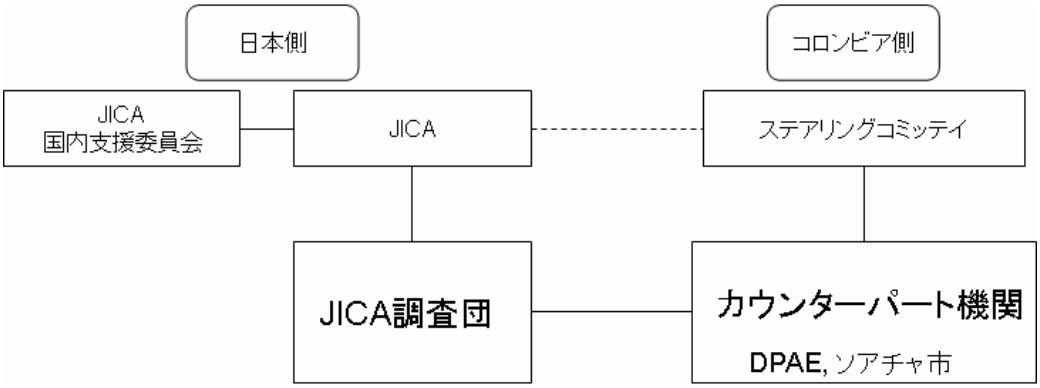


図 1-2　調査関係者の構成

1.5　報告書の構成

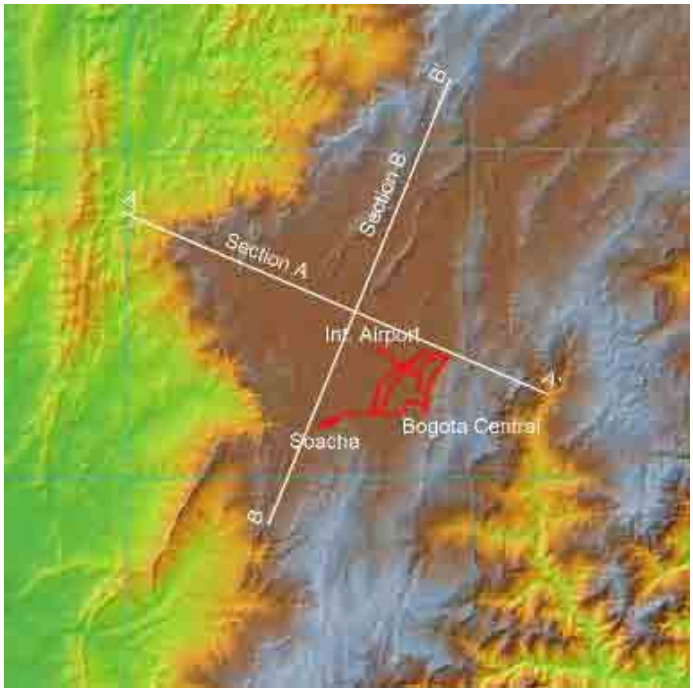
本報告書は、全ての調査結果を取りまとめたものである。本報告書は以下の構成となっている。

和文要約、サマリー、メインレポート、サポーテイングレポートおよびデータブック(図面含む)

第2章 調査対象地域の自然状況

2.1 地形と地質

ボゴタ首都圏は、ボゴタ盆地（高原）、またはボゴタサバンナと呼ばれる平坦な高原に位置しており、平均海抜高は 2,560m である。東部山岳地の標高は約 3,000m である。図 2-1 に示すように、ボゴタ盆地は北西から南東にかけて 40km、北東から南西にかけて 60km に広がる。その中で東部の周辺丘陵部および西部のボゴタ川で挟まれた地域に市街地が発展している。



SECTION A

SECTION B

図 2-1 ボゴタ盆地の地形断面図（基礎データ： NASA SRTM-3）

調査対象地域の地質は、山岳地域における白亜紀から第三期の砂岩、シルト質岩および泥岩から構成されている。湖沼における第四期の堆積物はボゴタ盆地に広がり、ボゴタ盆地の東部および南部の山岳地帯は、白亜紀か第三期堆積岩で構成されている。これらは砂岩かシルト岩で出来ており、ボゴタ高原における第四期堆積層の厚さは、図 2-2 に示すように 500m 以上である。

図 2-2　ボゴタ盆地の堆積物（ボゴタ高原、セクション A）

(Prepared based on IGAC, 1995)

2.2　気象と水文

2.2.1　調査対象地域における気象水文観測所

調査対象地域には気象および水文観測所が多数設置されており、DPAE、上下水道公社(以下 EAAB)、クンデイナマルカ自治公社(以下 CAR)、気象庁(以下 IDEAM)および他の機関にて管理されている。これらの観測所の内の数観測所はテレメータ化されているが、ほとんどの観測所が自記式のものである。調査対象地域内における DPAE、EAAB、CAR および IDEAM の観測所の位置は次ページに示すとおりであり、観測所のリストおよび諸元を表 2-1 に示す。

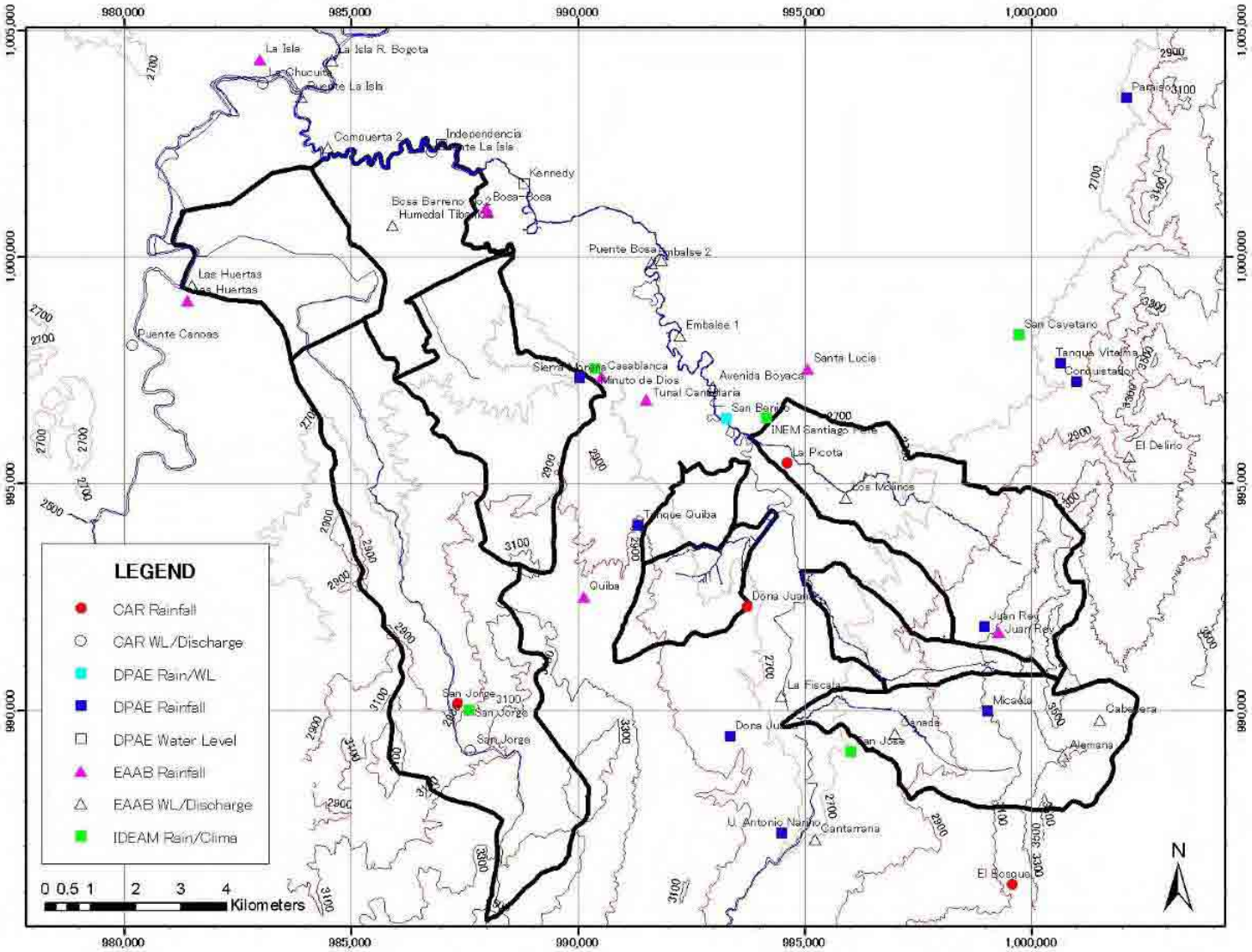


図 2-3　調査対象地域における気象水文観測所位置図

表 2-1　調査対象地域における気象および水文観測所リスト

ENTITY	CODE 1	CODE 2	TIPO	NAME	SUBCUENCA	DEPTO.	MUNICIPI	COORD	Elevation	INST DATE	SUSP DATE	Status in Oct. 2006	Telemeter	TYPE	Present Situation/Remarks
DPAE			PG,LG	San Benito	Tunjuelito	BOGO	BOGOTA	043351N740817W	2590	200010			Telemeter (Radio)	DPAE Rain/WL	
DPAE			PG	Sierra Morena	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	043430N741014W	3078	200010			Telemeter (Radio)	DPAE Rainfall	
DPAE			PG	Tanque Quiba (Quiba-Mirador)	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	043235N740921W	3078	200010			Telemeter (Radio)	DPAE Rainfall	
DPAE			PG	Conquistador (Escuela de Logistica)	San Cristobal	BOGO	BOGOTA	043428N740435W	2780	200010			Telemeter (Radio)	DPAE Rainfall	Out of study area
DPAE			PG	Juan Rey	Q. Chiguaza	BOGO	BOGOTA	043108N740520W	3160	200010		No Function	Telemeter (Radio)	DPAE Rainfall	
DPAE			PG	Tanque Vitelma	San Cristobal	BOGO	BOGOTA	043431N740418W	3078	200010			Telemeter (Radio)	DPAE Rainfall	Out of study area
DPAE			PG	Micaela (Santa Maria Micaela)	Q. Yomasa	BOGO	BOGOTA	043021N740511W	2900	200010			Telemeter (Radio)	DPAE Rainfall	
DPAE			PG	Dona Juana	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	043002N740815W	3078	200010			Telemeter (Radio)	DPAE Rainfall	
DPAE			PG	Paraiso II	Rosales	BOGO	BOGOTA	043742N740331W	2820	200010		No Function	Telemeter (Radio)	DPAE Rainfall	Out of study area
DPAE			PG	U. Antonio Narino (Nariano USME)		BOGO	BOGOTA	042854N740331W	2820	200010			Telemeter (Radio)	DPAE Rainfall	Out of study area
DPAE			LG	Kennedy	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	043650N741053W	2577	200303			Telemeter (Radio)	DPAE Water Level	
DPAE			LG	Independencia	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	043719N741154W	2576	200010			Telemeter (Radio)	DPAE Water Level	
EAAB	P-042	2120057	PG	Santa Lucia	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	043410N740701W	2618	195607				EAAB Rainfall	
EAAB	P-051	2120154	PG	Bosa Barreno No.2	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	043646N741106W	2578	-				EAAB Rainfall	
EAAB	PS-91	2120154	PG	Bosa-Bosa	Bosa	BOGO	BOGOTA	0436N7412W	2640	195705	195812			EAAB Rainfall	
EAAB	P-081	2120204	PG	Juan Rey	Q. Chiguaza	BOGO	BOGOTA	0431N7405W	2985	199008				EAAB Rainfall	
EAAB	P-090	2120205	PG	Quiba	Bogota	BOGO	BOGOTA	0432N7410W	3000	199001				EAAB Rainfall	
EAAB	P-092	2120211	PG	Las Huertas	Bogota	CUND	SOACHA	0435N7414W	2572	196811			Telemeter (GSM)	EAAB Rainfall	
EAAB	P-083	2120209	PG	La Isla	Bogota	BOGO	BOGOTA	0438N7413W	2537	196510				EAAB Rainfall	
EAAB	P-045	2120059	PM	Tunal Candelaria	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	0434N7409W	2599	195704				EAAB Rainfall	
EAAB	P-031	2120197	PM	Casablanca	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	0434N7410W	2665	197605				EAAB Rainfall	
EAAB	L-192		L	Puente La Isla	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	-	-	-				EAAB WL/Discharge	
EAAB	L-036	2120701	LG	Puente Bosa	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	0436N7412W	2550	192607			Telemeter (GSM)	EAAB WL/Discharge	
EAAB	L-005	2120806	LG	Las Huertas	Bogota	CUND	SOACHA	0435N7414W	2572	196811			Telemeter (GSM)	EAAB WL/Discharge	One of the main station in EAAB.
EAAB	L-004	2020802	LG	La Isla R. Bogota	Bogota	BOGO	BOGOTA	0438N7413W	2537	196510			Telemeter (GSM)	EAAB WL/Discharge	
EAAB	L-026	2120705	LM	El Delirio	San Cristobal	BOGO	BOGOTA	0433N7404W	2890	192701				EAAB WL/Discharge	
EAAB	L-033	2120750	LM	Cantarrana	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	0430N7407W	2643	195508				EAAB WL/Discharge	
EAAB	L-058	2120858	LM	La Fiscala	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	0430N7408W	2460	198811				EAAB WL/Discharge	
EAAB	L-070	2120904	LM	Embalse 1	Tunjuelito	BOGO	BOGOTA	0435N7409W	2586	199009				EAAB WL/Discharge	
EAAB	L-071	2120905	LM	Embalse 2	Tunjuelito	BOGO	BOGOTA	0435N7409W	2583	199009				EAAB WL/Discharge	
EAAB	L-034	2120943	LM	Humedal Tibanica (Compuesta 1)	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	0437N7413W	2600	198603		No Function		EAAB WL/Discharge	
EAAB	L-035	2120944	LM	Compuerta 2	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	0437N7437W	2600	198701		No Function		EAAB WL/Discharge	
EAAB	L-039	2120945	LM	Alemana	Q. Yomasa	BOGO	BOGOTA	0429N7404W	3300	198501		No Function		EAAB WL/Discharge	It was stolen march 2000.
EAAB	L-111	2120956	LM	Los Molinos	Q. Chiguaza	BOGO	BOGOTA	0433N7407W	2800	199001		No Function		EAAB WL/Discharge	
EAAB	L-038	2120957	LM	Cabecera	Q. Yomasa	BOGO	BOGOTA	0430N7404W	3360	198507		No Function		EAAB WL/Discharge	
EAAB	L-094		LM	Canada	Q. Yomasa	BOGO	BOGOTA	-	-	-				EAAB WL/Discharge	
EAAB	L-060	2120836	LM	Avenida Boyaca	Tunjuelito	BOGO	BOGOTA	0434N7409W	2630	198811				EAAB WL/Discharge	1 year ago, some equipment was stolen, since then the station has been operated as "LM".
CAR		2120630	CP	Dona Juana	Tunjuelito	BOGO	BOGOTA	0430N7410W	2700	198903				CAR Rainfall	
CAR		2120085	PG	El Bosque	Tunjuelito	BOGO	BOGOTA	042820N740458W	2880	196212				CAR Rainfall	One of the main station in CAR.
CAR		2120156	PG	La Picota	Q. Chiguaza	BOGO	BOGOTA	0434N7408W	2580	198006				CAR Rainfall	
CAR		2120172	PG	San Jorge	Soacha	CUND	SOACHA	0431N7412W	2890	196004				CAR Rainfall	
CAR		2120755	LM	San Jorge	Soacha	CUND	SOACHA	0430N7411W	2952	196004				CAR WL/Discharge	
CAR		2120771	LM	Puente La Isla	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	0437N7412W	2569	196402	196712	No Function		CAR WL/Discharge	
CAR		2120772	LM	La Chucuita	Bogota	BOGO	BOGOTA	0438N7414W	2538	196402	196612	No Function		CAR WL/Discharge	
CAR		2120829	LM	Puente Canoas	Bogota	CUND	SOACHA	0431N7415W	2550	195809				CAR WL/Discharge	It was replaced by Las Huertas (EAAB).
IDEAM		2120664	CO	San Jose	Tunjuelito	BOGO	BOGOTA	0430N7407W	2700	200111				IDEAM Rain/Clima	
IDEAM		2120665	CO	San Cayetano	Tunjuelito	BOGO	BOGOTA	0435N7405W	3100	200111				IDEAM Rain/Clima	
IDEAM		2120666	CO	INEM Santiago Pere	Tunjuelito	BOGO	BOGOTA	0434N7408W	2565	200111				IDEAM Rain/Clima	
IDEAM		2120572	CO	San Jorge	Soacha	CUND	SOACHA	0431N7412W	2900	196004				IDEAM Rain/Clima	
IDEAM			CO	Minuto de Dios (Sierra Morena)	Tunjuelo	BOGO	BOGOTA	043436N741003W	-	-			Telemeter (GOES)	IDEAM Rain/Clima	

2.2.2　調査対象地域における降雨特性

(1)　年間雨量

2003 年における対象地域の年雨量分布を図 2-4 に示す。2003 年における年間降雨量は、470mm から 1,040mm まで地域によって異なる。この空間的な雨量分布は、雨量がボゴタの東部丘陵地とソアチャ南部の山岳地域で高く、トゥンヘロ川沿い、またトゥンヘロ川とボゴタ川の合流点のような低地で低いのと同様の傾向を持つ。

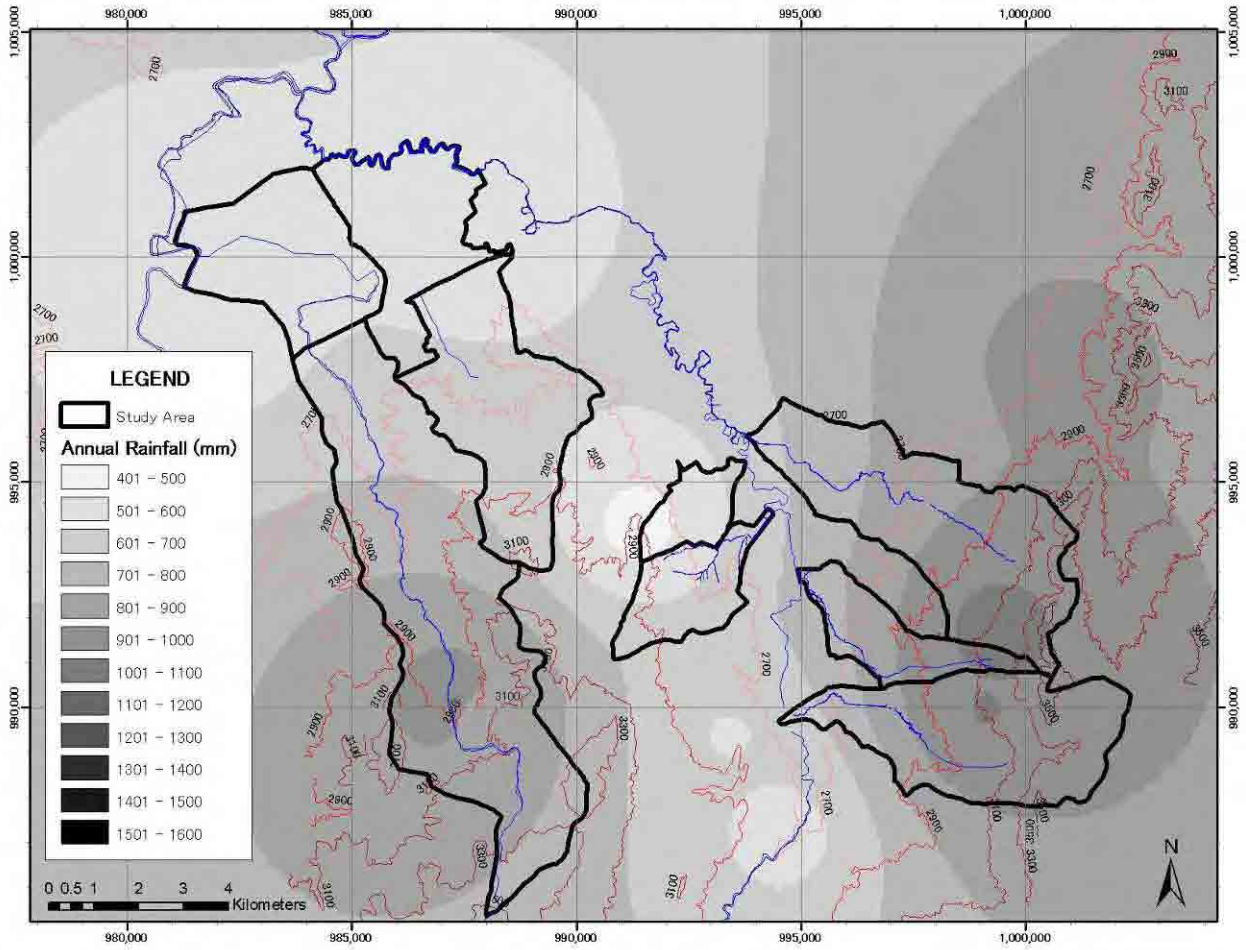


図 2-4　年雨量分布（2003）

(2)　月雨量

調査対象地域内の観測所における 2003 年の月雨量の変化を図 2-5 に示す。対象地域の雨期は 3 月から 5 月、および 9 月から 11 月の 2 期に分けられる。対象地域の特質については、雨量はボゴタ東部の丘陵地およびソアチャ市の南部山岳地帯で年間を通して比較的高く、特に南部丘陵地のミカエラ観測所に代表される 2 回の雨期を除けば、7 月の雨量が高い。この傾向は 2002 年、2004 年および 2005 年など他の年においても見られる。

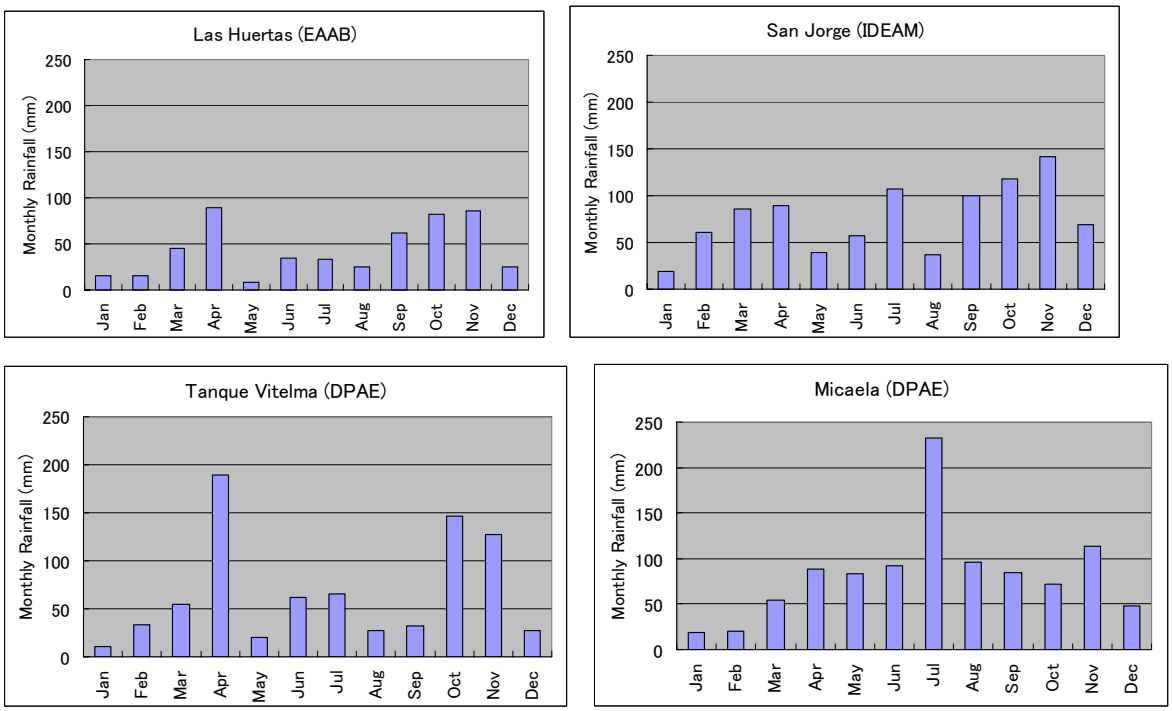


図 2-5　2003 年における月雨量の変化

(4)　日雨量

下記表 2-2 に示す観測所 5 箇所における確率日雨量は、本調査で収集された雨量データに基づきガンベル法により算定した。

表 2-2　確率日雨量 (単位 mm)

観測所名	再現期間 (年)					
	3	5	10	25	50	100
ラス・フエルタス (EAAB)	29.2	32.0	35.6	40.1	43.5	46.8
サン・ホルヘ (IDEAM)	35.4	38.7	43.0	48.3	52.3	56.2
ボサ・バレノ No.2 (EAAB)	33.6	37.2	41.8	47.7	52.0	56.3
フアン・レイ (EAAB)	47.7	53.0	59.6	67.9	74.1	80.2
ラ・ピコタ (CAR)	35.9	40.3	45.9	52.9	58.1	63.3

(5)　時間雨量

EAAB(1995 年)による対象地域の降雨強度曲線のゾーンを図 2-6 に示す。対象地域の大部分が Z4、Z5 および Z7 ゾーンに含まれている。EAAB のゾーン毎の再現期間別の降雨強度を表 2-3 に示す。

DPAE 降雨観測所の 2000－2006 年における日雨量と時間雨量の関係を図 2-7 に示す。日雨量および時間雨量は 2000 年から 2006 年の各月における最大値である。図より時間雨量から日雨量の割合はおよそ 40～60%であるが、これは強雨が短時間で終わることを意味する。ミカエラ観測所の 1：00－24：00 における降雨の分布を図 2-8 に示す。図に示す 10 標本は、ミカエラ観測所における 2000 年 10 月から 2006 年 7 月までの日雨量のトップ 10 である。ミカエラ観測所での降雨分布は 2 パターンに分類される。パターン 1 は 2001 年 11 月 12 日および 2002 年 6 月 22 日のように緩い勾配の曲線となっており、パターン 2 では 2003 年 9 月 27 日および 2005 年 10 月 23 日に見られるような比較的急勾配の曲線となっている。

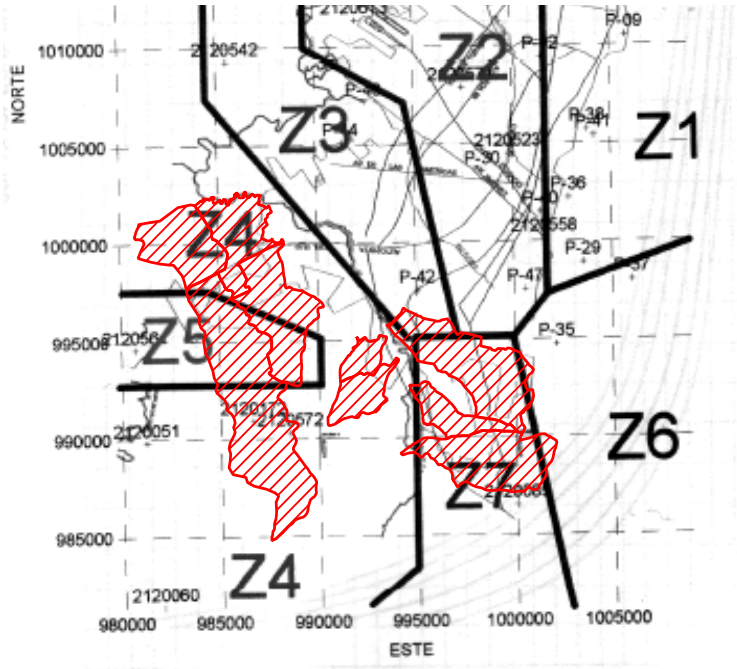


図 2-6　降雨強度曲線のゾーン

Source: "ESTUDIO PARA EL ANALYSIS Y CARACTERIZACION DE TORMENTAS EN LA SABANA DE BOGOTA", EAAB, November 1995

表 2-3　ゾーン毎の降雨強度(単位 mm/h)

ゾーン 4 (Z4)						
継続時間 (分)	3 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年
15	48.7	57.4	68.4	82.2	92.5	102.7
30	34.5	39.9	46.7	55.4	61.8	68.2
60	22.1	25.3	29.4	34.6	38.4	42.2
120	12.7	14.6	17.0	19.9	22.2	24.4
360	4.9	5.5	6.4	7.5	8.3	9.1
ゾーン 5 (Z5)						
継続時間 (分)	3 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年
15	39.3	44.1	50.1	57.7	63.4	69.0
30	27.8	31.6	36.3	42.3	46.7	51.1
60	17.5	19.9	23.0	27.0	29.9	32.8
120	10.1	11.8	13.8	16.4	18.3	20.2
360	3.7	4.3	5.1	6.0	6.8	7.5
ゾーン 7 (Z7)						
継続時間 (分)	3 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年
15	42.4	53.3	66.9	84.2	97.0	109.7
30	28.6	34.5	41.9	51.2	58.1	65.0
60	17.4	20.1	23.5	27.8	31.0	34.1
120	11.3	13.5	16.3	19.8	22.4	25.0
360	5.4	6.6	8.0	10.0	11.4	12.8

Source: "ESTUDIO PARA EL ANALYSIS Y CARACTERIZACION DE TORMENTAS EN LA SABANA DE BOGOTA", EAAB, November 1995

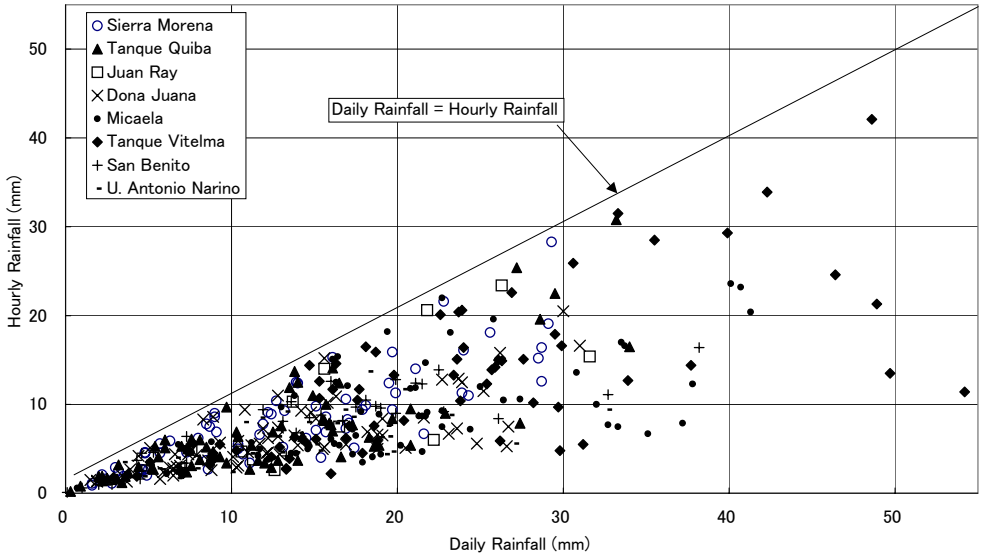


図 2-7　DPAE 観測所の 2000－2006 年における日雨量と時間雨量の関係

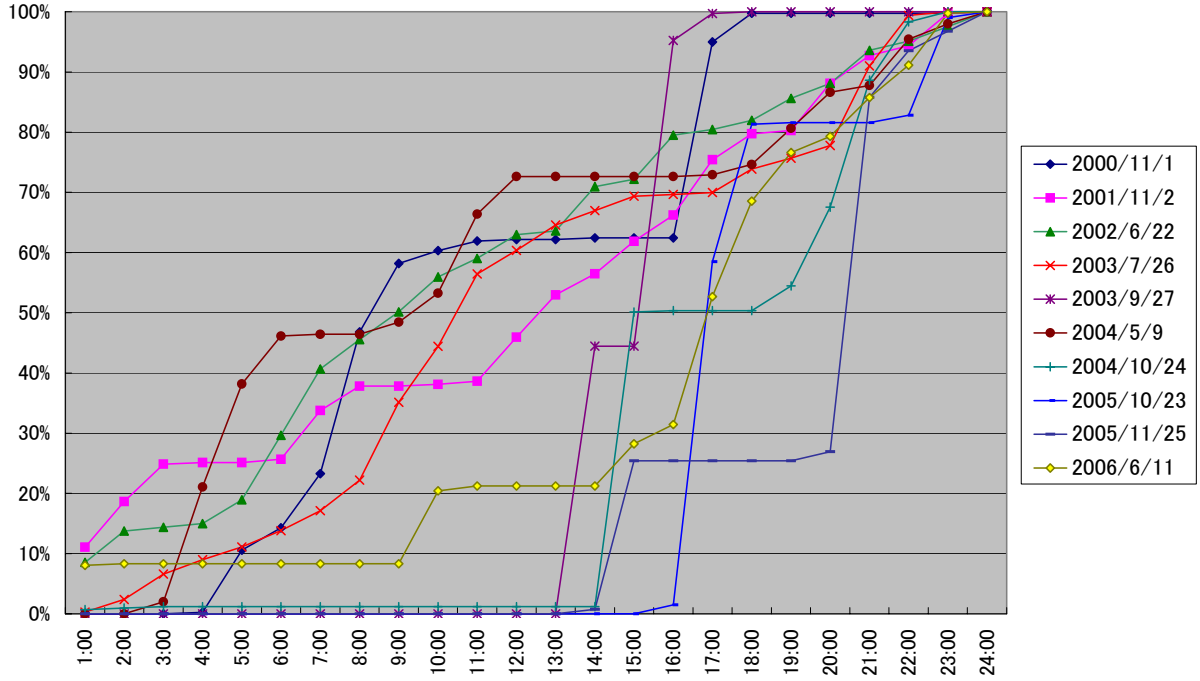


図 2-8　ミカエラ観測所における 1：00－24：00 降雨分布

2.2.3　雨量観測所における相関

(1)　調査対象地域における雨量観測所の相関

調査対象地域における降雨と降雨パターンの相関を検討するため、2000 年から 2006 年までの月雨量データおよび 2003 年の日雨量データを用いて、各観測所における相関係数を算定した。2 観測所間での相関係数が高ければ、降雨パターンはその地域では同一であることが言える。調査対象地域での日雨量に基づく相関解析結果を図 2-9 に示す。各観測所の相関係数は観測所間の線上に示すとおりである。

日雨量における観測所間の相関を以下に要約する。

- トゥンヘロ川沿い、およびソアチャ北部のような低地にある観測所では高い相関が見られる
- 調査対象地域の南東部にあるフアン・レイ、ミカエラ、ドナ・フアナ（DPAE）およびアントニオ・ナリノ観測所では比較的高い相関が見られる
- 対象地域北東部にあるタンケ・ヴィテルマ、サン・ベニートおよびラ・ピコタ観測所では比較的高い相関が見られる
- 対象地域の東西間における相関は比較的低い

(2) DPAE 観測所の相関

DPAE 観測所における 2003 年のみの日雨量に基づく相関計算結果を図 2-10 に示す。なお、フアン・レイ観測所では観測期間が非常に短かったため、この観測所の代わりとして EAAB のフアン・レイ観測所のデータを使用する。図内の数値は、各観測所における相関係数である。

日雨量に基づく DPAE 降雨観測所の相関について以下に要約する。

- 北南間でのトゥンヘロ川沿いにある観測所の相関は極めて高い
- トゥンヘロ川の西部にある観測所での相関は、高い、または比較的高い
- シエラ・モレナータンケ・キバ間、タンケ・キバーフアン・レイ間およびタンケ・キバーミカエラ間を除く東西での観測所間の相関は比較的高い

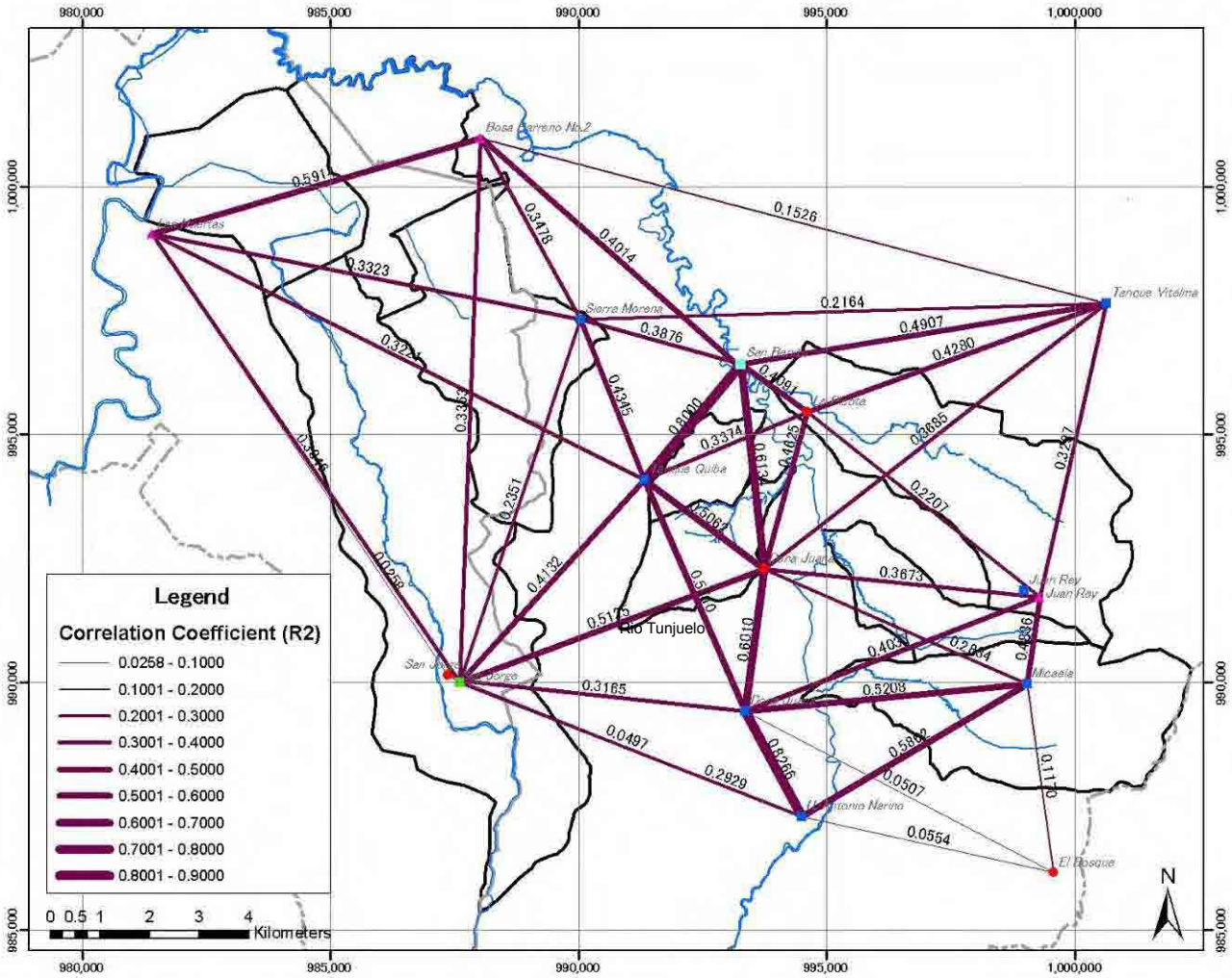


図 2-9　日雨量による相関（2003）

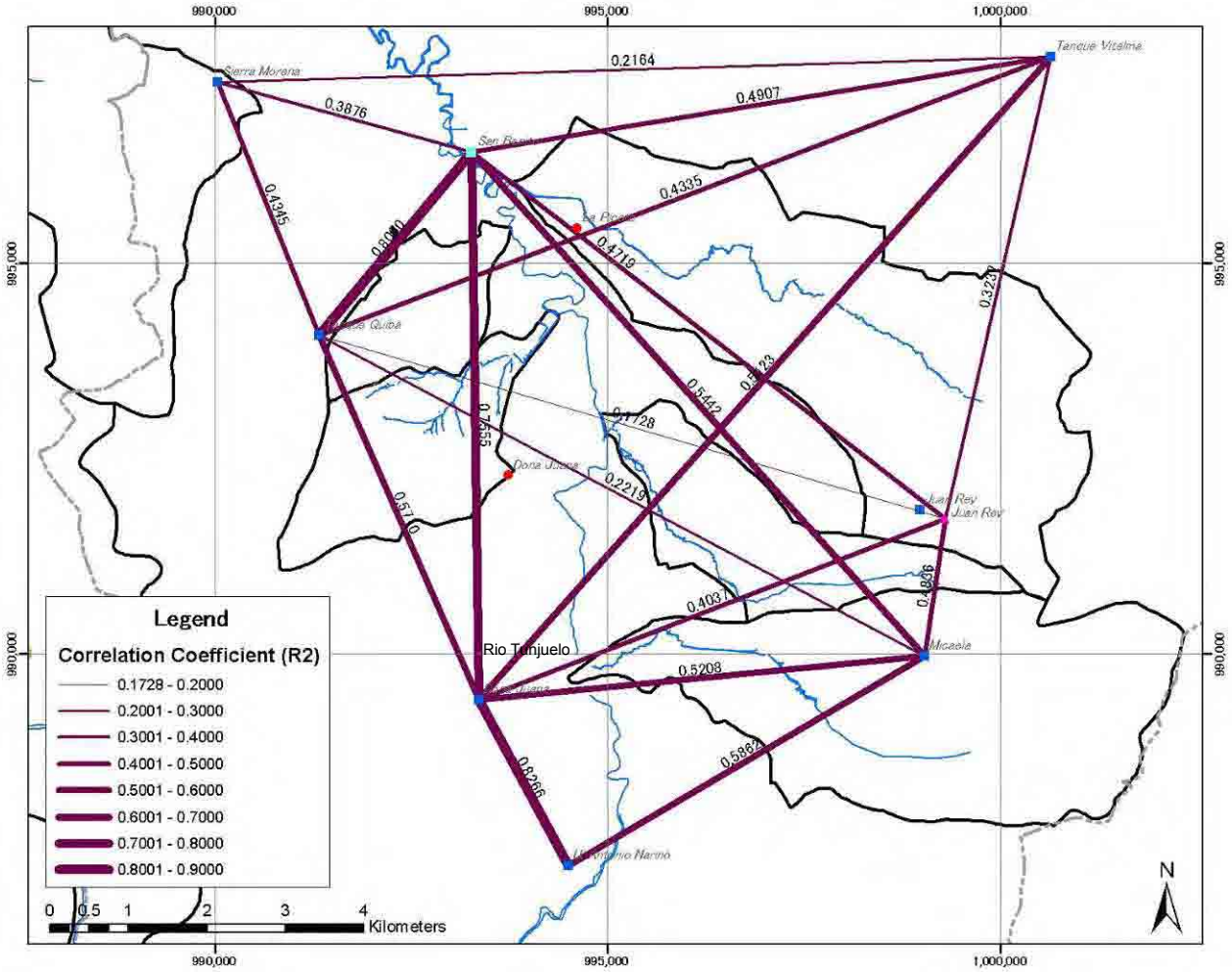


図 2-10 DPAE 観測所の日雨量による相関（2003）

第 2 部　モニタリングと早期警報システム計画(ボゴタ市)

第3章 ボゴタ市の社会経済状況

3.1　行政システム

ボゴタ市はコロンビアの首都であると同時にクンディナマルカ県の県庁所在地でもある。またコロンビアの経済文化の中心地として機能している。ボゴタ市は 177,598ha の広さを持ち、人口は７百万を超える[1]。

ボゴタ市は行政的に以下の４つの部門に大別される[2]: Central Sector (Sector Central)、Decentralized Sector (Sector Descentralizado)、Localities (Sector Localities)、Special Regimen (Régimen Especial)。

市の規定により、市の年間予算の 5%が防災関連の投資と活動に割り当てられている。FOPAE (Fondo de Prevención y Atención de Emergencias; Fund for Prevention and Emergencies response) は、予算の執行を認可する組織であり、Decentralized Sector のもとに public entity (Establecimiento Público) として設置されている。

DPAE (Dirección de Prevención y Atención de Emergencias) は、防災活動の計画・執行をする機関であり、Territorial Management (Gestión Territorial)、Sectoral Management (Gestión Sectorial)、Emergencies (Emergencias)、Research and Development (Investigación y Desarrollo)、Institutional Support (Apoyo Institucional) ５つの部を持つ。それぞれの部はその下にいくつかのユニットをもち、100 名以上のスタッフを擁している。

3.2　社会経済状況：ボゴタ市全般

3.2.1　人口および都市の拡大

ボゴタは、継続的な人口増加を続けており、最初のセンサスが行われた 1775 年の 1.6 万人から 2005 年には 6.8 百万人になっており、「コ」国総人口の 16.42%が集中している。この結果、都市域も拡大を続けており、1900 年代の 900ha から現在では 30,000ha にまで拡大している。

地方からの流入移民は通常生計が不安定な状況にあることから、市の周縁部（特に南西部）に定住する傾向があり、低質な建物やインフラ、交通や社会サービスの欠如した無計画な居住地域を開発・拡張することになる。結果として、このような無計画な人口周密な都市域は市の南部に拡大している。

3.2.2　経済一般

ボゴタの経済は成長を続けており、2005 年の域内総生産は USD22,204 百万である。

1999 年、コロンビアは経済危機を経験し、現在でも失業率が高く経済的に不安定な状態が続いている。2003 年の DANE の調査によれば、ボゴタでは約 3 百万人が就業しているが、失業率は 14.6%であり、国家平均の 12.3%に比べて非常に高い。

3.3　社会経済状況：ボゴタ市内の調査対象地域

3.3.1　社会経済状況

ラファエルウリベ、サンクリストバル、ウスメ、シウダッドボリバル、ボサおよびトウンヘリトの６つのローカリティが本調査に関係する。これら６つのローカリティにおける主要な経済活動

---

[1] Taken from DANE http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/inf_geo/Pob20062007.xls

[2] Source (organigrama general del distrito. http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/frame_detalle.php?h_id=468

は、商業、レストラン、ホテル、家庭内サービスである。また、非熟練労働者が多く従事している製品加工業では 480,000 ペソの収入がある。

このような低所得のため、世帯はベーシックニーズを充足できない状況にある。正規で安定した職業の欠如は、貧困を拡大し、食料、衣類、娯楽への支出を縮小させている。

エストラート(Estrato)は都市域の居住地の指標であり、６段階（最高：6、最低：1）に分類されている。調査対象地域の約 30%の世帯がエストラート 1（最低賃金以下の収入世帯、USD175 以下）に分類されており、70%がエストラート 2（平均月収が USD175～USD525）に分類される。

EAAB による調査対象地域の水道及び下水道のカバー率は比較的高い（90%以上）。一方、ゴミ収集は、民間委託された 3 社によって行われているが、物理的な条件によってサービスの提供に支障を来している地域もある。

加えて、いくつかの調査対象地域内のローカリティ（ラファエルウリベ、サンクリストバル、ボサ、トウンヘリト）では、急激な人口増加により、 教育、公共サービス、インフラなどが十分に供給されていない状況にある。

3.3.2 災害の危険地区

ボゴタ市全体における地すべり危険地区は、シウダットボリバル、サンクリストバル、ラファエルウリベ、サンタフェ、ウスメ、チャピネロ、ウサケン、スバに存在する。825 ブロックが高リスクエリア、また、2,720 ブロックが低危険地区として特定されている。

ウスメ、トウンヘリト、ラファエルウリベ、ボサ、シウダットボリバルが洪水危険地区にあたる。約 111ha の面積が洪水の危険地区とされている。

3.4 土地利用および都市計画

ボゴタは 2000 年に総合的な土地利用計画である POT (Plan de Ordenamiento Territorial) を制定した。POT によれば、市内の土地は、Rural Land、Urban Land、Protection Land、Expansion Land に分類され、それぞれの面積は表 3-1 の通りである。

表 3-1 ボゴタ市の土地利用状況(単位ヘクタール, 2002)

Rural Land			Urban Land			Expansion Land			BOGOTA
Rural	Protected	Total	Urban	Protected	Total	Expansion	Protected	Total	Total
48,029	73,445	121,474	34,219	4219	38,438	2,557.70	1106	3,664	163,575

(Source:http://www.segobdis.gov.co/)

ローカリティはより小さい都市計画単位である UPZ (Unidades de Planeación Zonal) に分割され、UPZ はいくつかのバリオによって構成される。

図 3-1 は、調査対象地域が関連する 6 つのローカリティに属する合法的なバリオの数を示している。合計 3,745 ha はボゴタ市全体の合法的なバリオの面積 6,499 ha の 57.6 % を占めている。

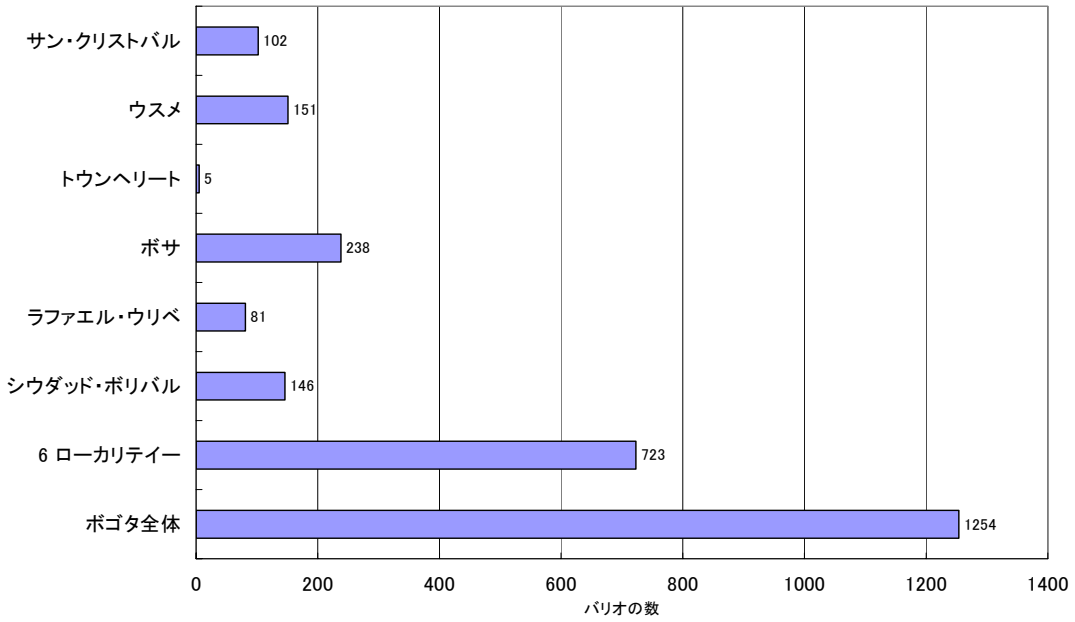


図 3-1　調査対象地域が関連する６つのローカリティに有る合法的なバリオの数

3.5　住民参画

本調査に関連する６つのローカリティでは 800 以上のコミュニティ組織（JAC とコミュニティ評議会）が組織されている。ウスメ、ラファエルウリベ、ボサの３つのローカリティには合計 137 のコミュニティセンターも建設されている。通常これらのコミュニティセンターは、コミュニティの共同作業によって作られることから、これらのローカリティのコミュニティ活動の活発さを示す。

調査期間中、モリノス、モラルバ、ラ・グロリアにてコミュニティでの洪水モニタリング活動を支援するため雨量計と水位計を設置した。これらのモニタリング活動はその地域の JAC が責任を持って行う。

第4章 ボゴタ市の降雨と災害の関係

4.1 災害の一般的特徴と分析に用いる既往災害の選定

4.1.1 土砂災害(地すべり)

図 4-1 はボゴタ市の対象流域を含む 5 つのローカリティでの土砂災害発生頻度を示したものである。土砂災害は、3 月から 5 月にかけての最初の雨季の後半に高頻度で発生している。図の頻度は､2002 年 1 月から 2006 年 7 月までの DPAE の災害記録中で“Fenómeno de Remoción en Masa (土砂災害)”に分類されている全ての記録の合計値を示したものであり、斜面崩壊、落石、泥流等様々な現象を含み、またその原因は降雨から突発的な事故まで幅広いものとなっている。既存のデータベースの情報からは土砂災害の原因を特定することができないため、今回の分析では、できる限り自然現象、特に降雨に起因すると考えられる土砂災害を抽出するために、同じ流域で同日に複数の土砂災害が発生しているケースのみを対象とし、降雨と土砂災害の関連性を調べた。

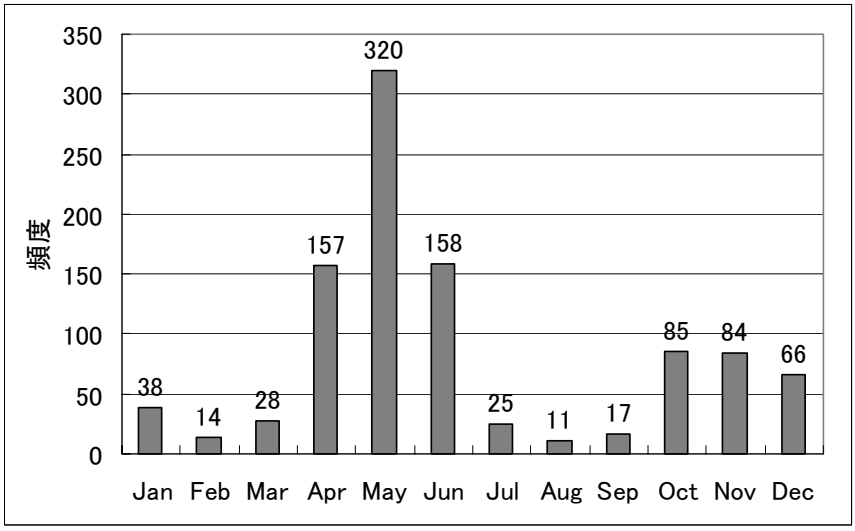


図 4-1　トゥンヘリト、ラファエル・ウリベ、サンクリストバル、シウダトボリバル、ウスメ地区での土砂災害発生頻度（2002 年 1 月－2006 年 7 月）

4.1.2 洪水

ボゴタ市調査地域の洪水現象は、1)河川からの越水・氾濫、2)排水路からの氾濫、3)下水の逆流、の 3 タイプに区分される。調査地域では、下水管が直接河川につながっているため、河川水位が堤防高を下回っている場合でも下水の逆流による洪水が生じうる状態にある。また、バリオによっては、雨水排水網の未敷設や排水路の能力不足に起因する洪水も生じている。

図 4-2 はボゴタ市の対象流域を含む 5 つのローカリティでの洪水発生頻度を示したものである。洪水は年 2 回の雨季中、特に 10 月から 12 月の雨季に高頻度で発生している。図の頻度は、2001 年 8 月から 2006 年 6 月までの DPAE の災害記録中で“Inundación (洪水)”に分類されている全ての記録の合計値を示したものであり、河川からの越水・氾濫だけでなく、上述の排水路からの氾濫および下水の逆流も含まれている。今回の分析では、この中から、対象流域内の洪水であり、河川からの越水・氾濫による洪水であるとみなせる記録を抽出し、降雨と洪水の関連性を調べた。

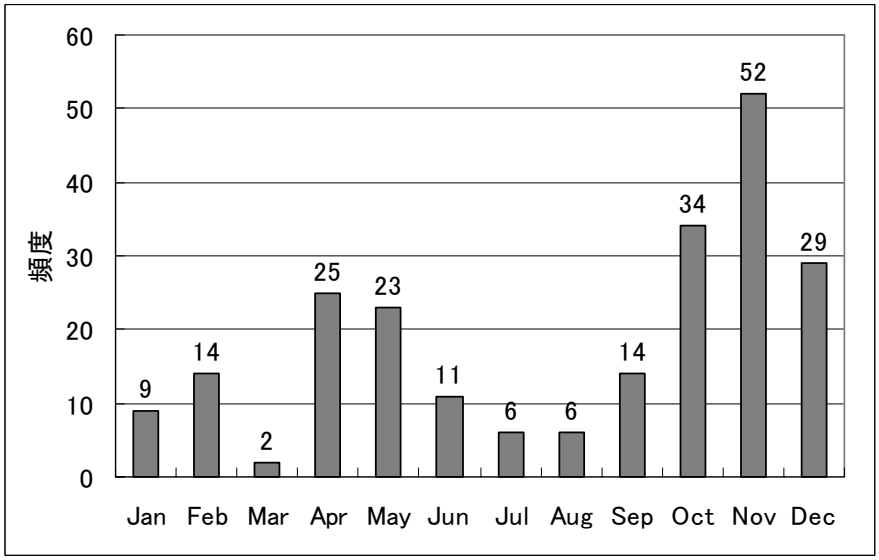


図 4-2　トゥンヘリト、ラファエルウリベ、サンクリストバル、シウダットボリバル、ウスメ地区での洪水発生頻度（2001 年 8 月－2006 年 6 月）

4.2　降雨と災害の関連性分析

収集した日雨量データと抽出後の災害記録を用いて降雨と災害の関連性を分析する。

4.2.1　土砂災害分析

表 4-1 は、流域ごとに同日に複数回の土砂災害が発生した日の日雨量を整理したものである。

表 4-1　土砂災害発生日の日雨量

流域/観測所	2002－2006 の複数土砂災害発生日数	日雨量(mm)				
		< 5	< 10	< 15	< 20	< 25
チグアサ流域／(ファン・レイ(EAAB))	18 100%	8 44%	14 78%	17 94%	17 94%	18 100%
ヨマサ流域／(ミカエラ(DPAE))	2 100%	0 0%	0 0%	1 50%	2 100%	2 100%
サンタリブラダ流域／	0	-	-	-	-	-
ラ・エストレージャ流域／(タンケキバ(DPAE))	8 100%	5 63%	6 75%	6 75%	8 100%	8 100%
トロンペータ流域／(タンケキバ(DPAE))	3 100%	3 100%	3 100%	3 100%	3 100%	3 100%
合計	31 100%	16 52%	23 74%	27 87%	30 97%	31 100%

50%以上の土砂災害が日雨量 5mm 以下で発生しており、土砂災害発生日の日雨量だけでは土砂災害発生時の降雨特性を把握することは難しいと考えられる。

図 4-3 は、チグアサ流域での土砂災害発生時のファン・レイ(EAAB)観測所における各種降雨量と、ファン・レイ(EAAB)観測所の各種降雨量の平均値を比較したものである。降雨量の種別中の四角で囲んだ上の値が、それぞれ土砂災害が発生したときの降雨量である。また、図中の累積雨量（Accumulative 雨量）は、災害が発生した日（あるいは計算基準日）から遡って日雨量が 0 であった日までの日雨量の合計値である。

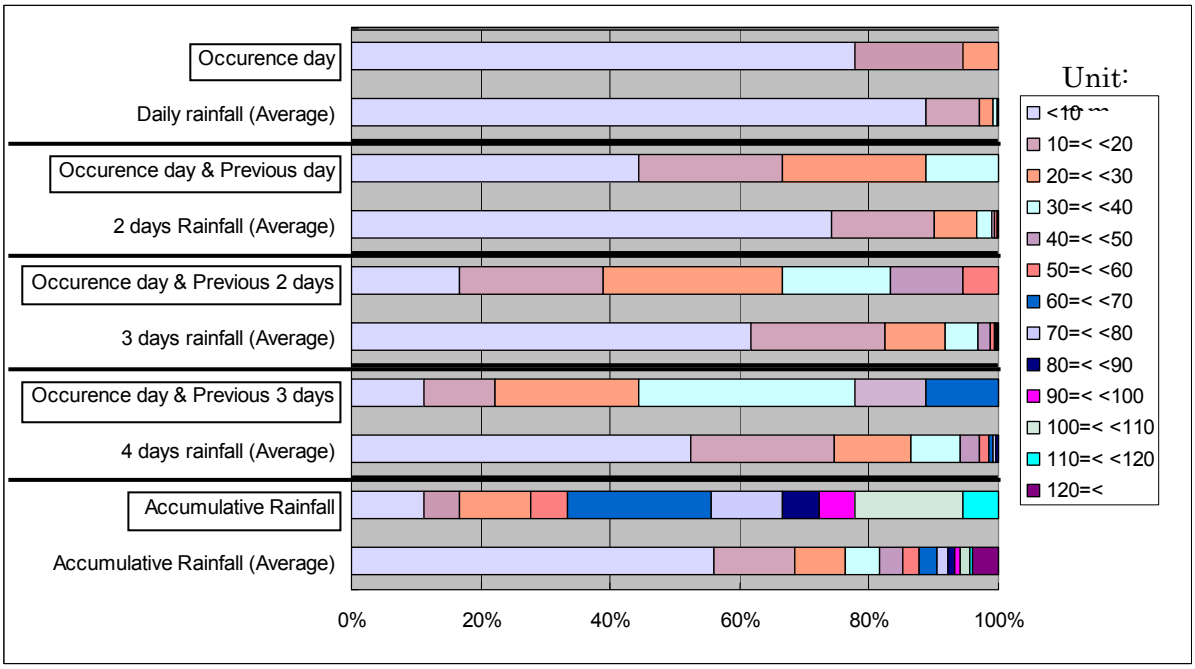


図 4-3　ファン・レイ観測所(EAAB)における土砂災害発生時の各種降雨量と平均値

上図を見ると、累積雨量のケースで明らかに傾向の違いが見られ、3 日・4 日間雨量のケースでも傾向の違いが認められる。DPAE は現在のモニタリングシステムにおいて、すでに 3 日間雨量を一つの基準として定め使用している。よって、今回は累積雨量と 3 日間雨量に着目して分析を行った。

表 4-2 に、3 日間雨量あるいは累積雨量と土砂災害の関係をまとめた。表中で、「土砂災害」行中のパーセンテージは、土砂災害発生時における各種降雨量が各列の値であった日数の割合を示し、「平均」行中のパーセンテージは、2001 年から 2006 年までで各種降雨量が各列の値であった日数の割合を示している。

表 4-2　降雨と土砂災害の関係

流域／観測所	降雨種別		降雨量(mm)												
			<10	<20	<30	<40	<50	<60	<70	<80	<90	<100	<110	<120	120=<
チグアサ流域／ファン・レイ	3 日間雨量	土砂災害	17%	39%	67%	83%	94%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		平均	62%	83%	92%	97%	99%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	累積雨量	土砂災害	11%	17%	28%	28%	28%	33%	56%	67%	72%	78%	94%	100%	100%
		平均	56%	68%	76%	82%	85%	88%	91%	92%	93%	94%	96%	96%	100%
ヨマサ流域／ミカエラ	3 日間雨量	土砂災害	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		平均	63%	83%	93%	97%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	累積雨量	土砂災害	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		平均	54%	66%	75%	80%	84%	88%	89%	91%	92%	93%	94%	95%	100%
ラ・エストレージャ流域／タンケキバ	3 日間雨量	土砂災害	13%	25%	75%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		平均	86%	95%	98%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	累積雨量	土砂災害	13%	13%	25%	50%	75%	75%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		平均	84%	91%	95%	97%	98%	99%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
トロンペータ流域／タンケキバ	3 日間雨量	土砂災害	0%	0%	67%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		平均	86%	95%	98%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	累積雨量	土砂災害	0%	0%	33%	33%	67%	67%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		平均	84%	91%	95%	97%	98%	99%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

4.2.2 洪水分析

(A) 年間最大日雨量（上位 10 位）と洪水の関係

洪水時の降雨特性を把握するため、年間最大日雨量（上位 10 位）と洪水の関係を調べた。分析は以下の手順で行った。

1. 対象流域内・周辺の観測所の 2000 年から 2006 年の各年の上位 10 位の降雨の抽出

2. 各年の上位 10 位降雨の観測日に洪水が発生しているかのチェック

分析結果を表 4-3 に示す。表中で、「2001－2006 の洪水発生日数」は、文字通り各流域で 2001 年から 2006 年の間に洪水の発生が記録されている日数の合計であり、各列の値はそれぞれの観測所で年間 10 位の日雨量が記録された日に各流域で発生した洪水数を示している。

表 4-3 年間最大日雨量（上位 10 位）と洪水の関係

観測所 / 流域	2001－2006 の洪水発生日数	ラ・ピコタ (CAR)	ファン・レイ (EAAB)	ミカエラ (DPAE)	タンケ キバ (DPAE)
チグアサ	38	8	6	-	-
ヨマサ	9	-	-	3	-
サンタリブラダ	11	-	6	5	-
ラ･エストレージャ	15	-	-	-	9
トロンペータ	7	-	-	-	5

上記結果から、過去の洪水発生と強雨との関係に関し、チグアサ及びヨマサ流域では比較的関連性が薄いが、サンタリブラダ、ラ・エストレージャ及びトロンペータ流域では比較的関連性が高いといえる。しかしながら、上記結果からは、対象流域では強雨と洪水が直接的に結びついているとは言えない。

上記については、以下の理由あるいは可能性が考えられる。

サンタリブラダ､ラ･エストレージャ及びトロンペータ流域の流域面積は 6 km^2 以下であり、近郊の観測所が流域全体の降雨を代表し得る。他方、チグアサ及びヨマサ流域では、流域面積がそれぞれ約 19 km^2 、15 km^2 と比較的大きいため、近郊の観測所が流域全体の降雨を代表し得ない。また対象地域の降雨自体が極めて局所的である。

(B) 降雨と洪水の関係

各対象流域における 2001 年から 2006 年までの洪水発生日の日雨量を表 4-4 にまとめた。各列の上段は洪水発生日数、下段はその％である。

表 4-4　日雨量と洪水の関係

流域／/観測所	2001－2006 の洪水発生日数	日雨量(mm)								
		< 5	<10	<15	<20	<25	<30	<35	<40	40=<
チグアサ流域／ラ・ピコタ(CAR)・ファン・レイ(EAAB)	38 100%	14 37%	20 53%	26 68%	31 82%	34 89%	35 92%	35 92%	37 97%	38 100%
ヨマサ流域／ミカエラ(DPAE)	9 100%	3 33%	3 33%	4 44%	5 56%	8 89%	8 89%	9 100%	9 100%	9 100%
サンタリブラダ流域／ファン・レイ(EAAB)・ミカエラ(DPAE)	11 100%	0 0%	0 0%	3 27%	3 27%	5 45%	7 64%	8 73%	10 91%	11 100%
ラ・エストレージャ流域／タンケキバ(DPAE)	15 100%	4 27%	5 33%	7 47%	10 67%	12 80%	13 87%	15 100%	15 100%	15 100%
トロンペータ流域／タンケキバ(DPAE)	7 *100%*	1 14%	2 29%	2 29%	4 57%	5 71%	5 71%	7 100%	7 100%	7 100%

チグアサ流域において、2001 年から 2006 年の間で洪水が発生した全ての日の日雨量を図 4-4 に示す。

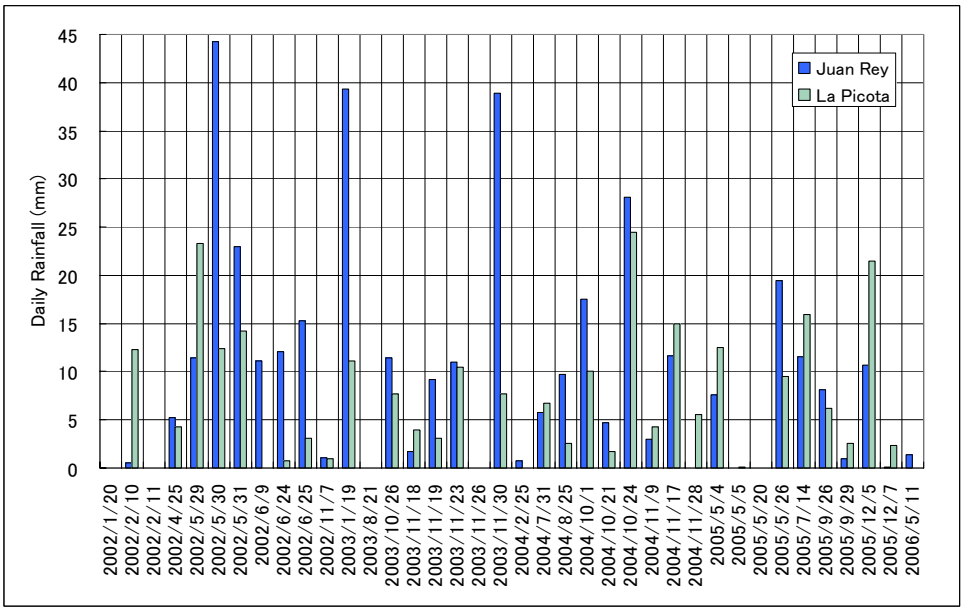


図 4-4　チグアサ流域の洪水発生日のファン・レイ(EAAB)及びラ・ピコタ(CAR)観測所の日雨量

上図において、降雨量が極めて小さいあるいは降雨量が 0 であるにも関わらず、洪水が記録されているケースが見られる。これは以下の理由あるいは可能性が考えられる。

- 降雨データあるいは洪水記録の精度が低い
- 洪水記録中の発生時間と実際の発生時間との間の時間差
- 観測所と実際の降雨地域との距離（局所降雨）が大きい
- 人的活動あるいは周辺環境等の別要因の影響

上記に加え、前期降雨が洪水発生に影響を与えている可能性があるが、洪水発生時の前期降雨に関する分析結果からは、洪水への前期降雨の明確な影響は見られなかった。

第5章 地すべり(ボゴタ市)

5.1 地すべりの概要

対象となる地すべりは、ボゴタ首都区の南西部に位置するアルトス・デ・エスタンシアと呼ばれる地すべり 1 ヶ所である。地すべりは大きく二つのブロックにわかれ、南部をラ・カルボネラ(La Carbonera)、北部をエル・エスピノ(El Espino)とよぶ。DPAE が設定している地すべり危険エリアは約 100 ha あり、そのエリアでは地すべりの対策として住民移転が進みつつある。DPAE は、移転計画のために、地すべり危険地域を危険度に応じて 3 地区に区分し、最も危険の高いものからフェーズⅠ地区、フェーズⅡ地区, フェーズⅢ地区としている。フェーズⅠ地区は危険度が最も高くこの地区内の住民はすべて移転している。フェーズⅢ地区は危険度が低いとされ住民の移転の計画はない。フェーズⅡ地区では移転計画が進みつつある。

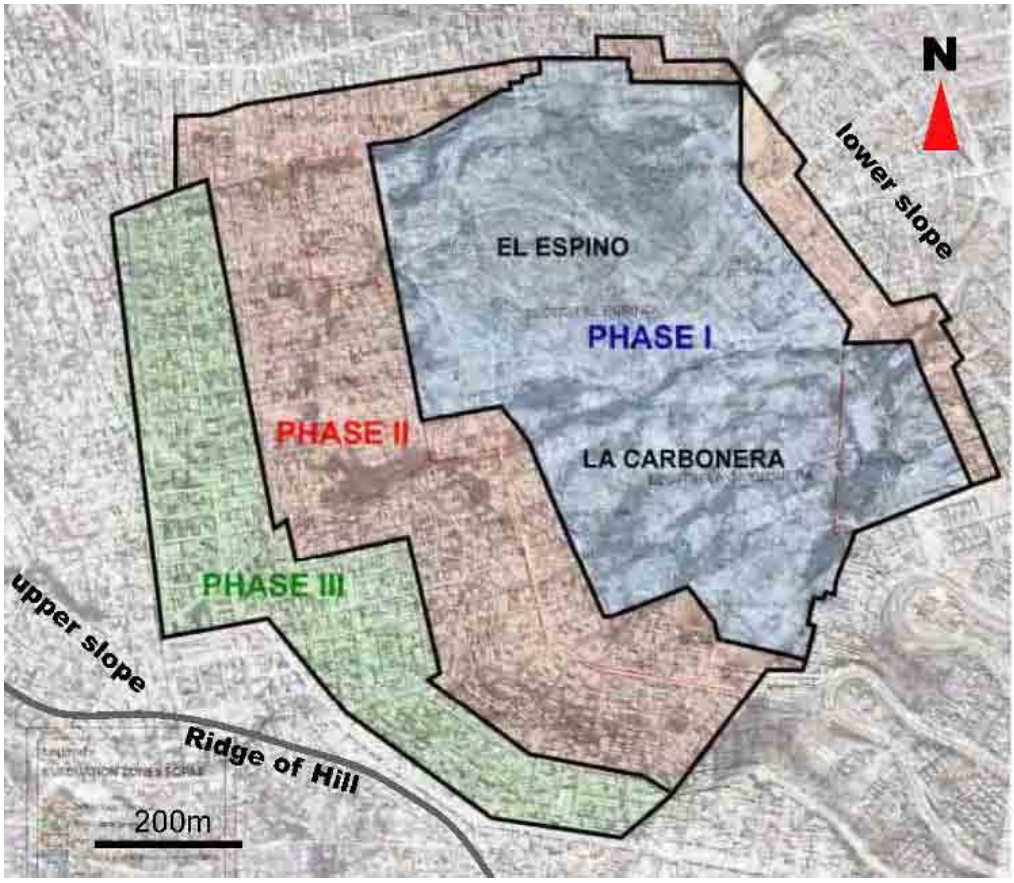


図 5-1 アルトス・デ・エスタンシア(空中写真と地形図の組み合わせ図)

地形

地すべりはボゴタ首都区の南部に東から西に張り出した丘陵の北東向き斜面上にある。地すべり地付近での丘陵の尾根は標高 2810－2830m であり、ボゴタ盆地の底面より約 300m の比高差がある。地すべりの末端部は標高約 2610m、地すべりの頭部上方フェーズⅢ地区の上端部で標高約 2810m であり、地すべり危険地域はほぼ尾根まで達している。斜面の勾配は 15－20 度である。

地質

地すべり地付近には、白亜紀から第三紀の砂岩を主体とする地層であるグアダルーペ(Guadalupe)層群とグアダス(Guaduas)層群が分布する。地層は東に 20 度前後に傾斜し、地すべりのある斜面に対しては斜面とほぼ同傾斜の流れ盤となっている。

5.2　既存調査

5.2.1　過去の災害記録

エスタンシア地すべり地では 1952 年にすでに斜面にクラックなどが観察されている。しかしこれらのクラックは地すべりによるものかどうかは明確にはされていない。地すべりが明確となったのは 1977 年で、1977 年に地すべり地内の住宅などに被害が出始めている。地すべりの誘因は、地すべり末端部で行われていたオープンピットの採石場とされている。採石場は 1990 年代まで操業していた。1977 年以降は、下図に示すように地すべりのクラックは上方へ広がっている。つまり、地すべりは年々上方に拡大してきた。

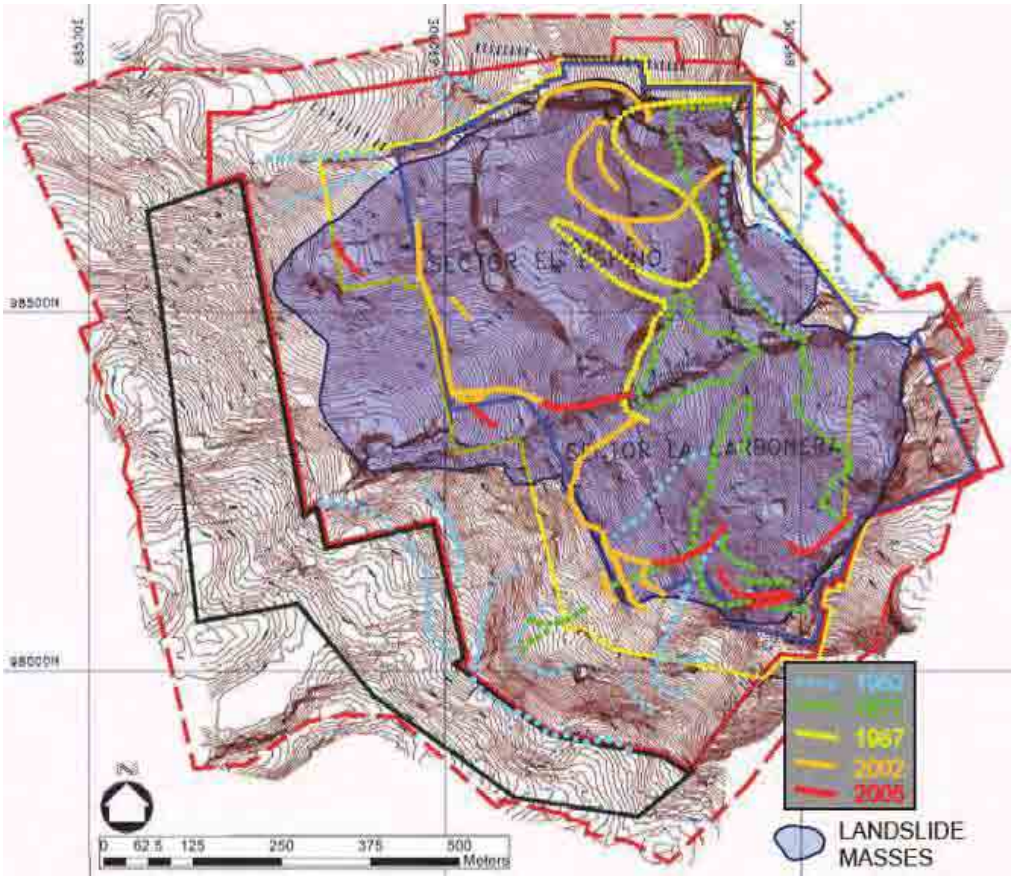


図 5-2　クラックの発達図

Vectores de desplazamiento, (Modified from Monitoreo y seguimiento de los deslizamientos activos que afectan el sector Altos de la Estancia, localidad de Ciudad Bolívar, Bogotá D.C.".INGENIERIA Y GEORIESGOS, 2004 by Yokoo this study)

5.2.2　既存調査

地すべりについては多くの調査が行われており、世界銀行による 2004 年の報告書がこれらの調査を総括している。

地すべりのモニタリングは 1999 年から行われている。2005 年に実施されたモニタリングでは、観測期間中の 3 ヶ月間に最大 90mm の地すべりブロックの移動が観測されている。ラ・カルボネラに設置された地中傾斜計のデータによると、9m から 18m の深度に明瞭な地すべり面が見られ、3 ヶ月間に 50mm（17mm/月）の変位が観測された。図 5-3 は移動杭観測による移動の方向を示したものである。

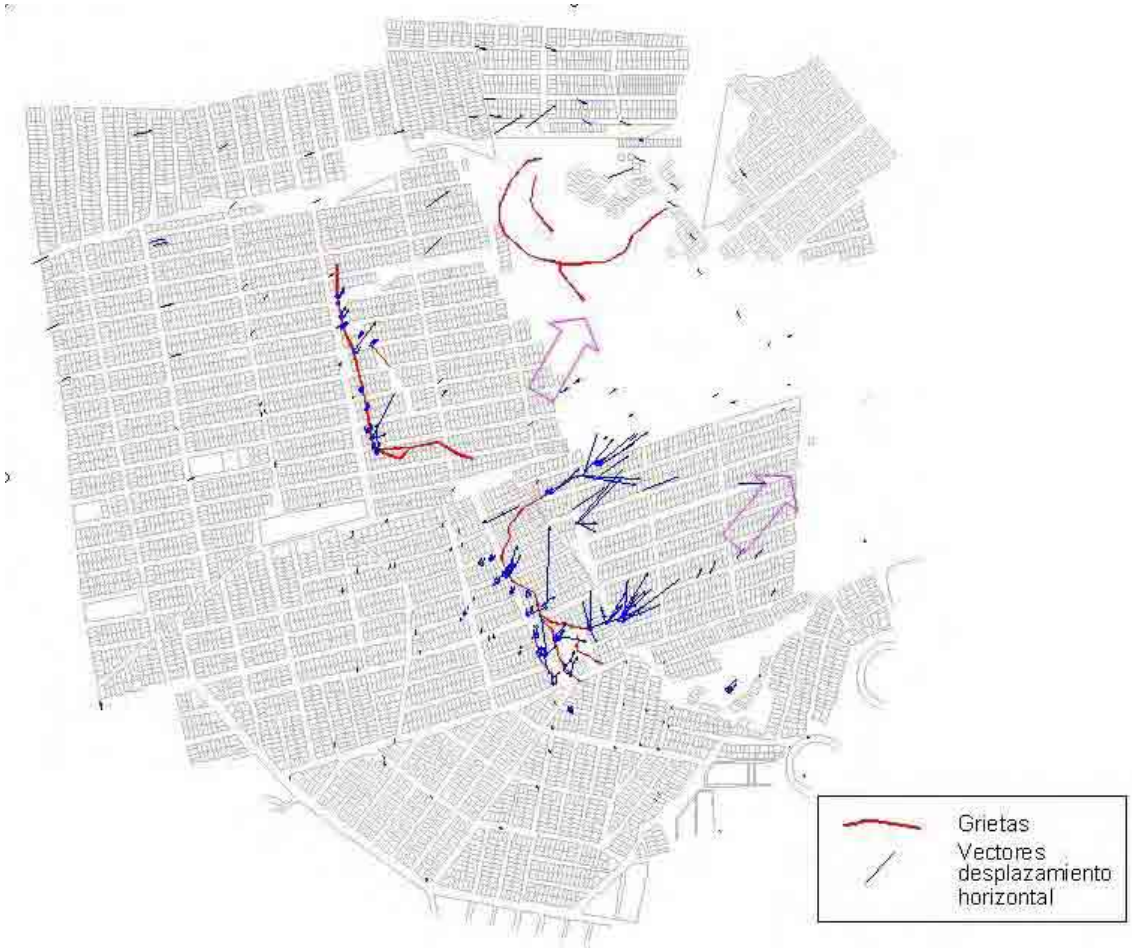


図 5-3　移動杭観測による移動の方向

Vectores de desplazamiento (Modified from Monitoreo y seguimiento de los deslizamientos activos que afectan el sector Altos de la Estancia, localidad de Ciudad Bolívar, Bogotá D.C.".INGENIERIA Y GEORIESGOS, 2004 by Yokoo this study)

5.3　現地調査

地すべり地内のフェーズⅠ地区には住民が居住せず、フェーズⅡ地区では住民の移転が進んでいることから、地域住民の人命を脅かす危険は少ないといえる。しかし、フェーズⅢ地区には住民が多く居住していることと、地すべりがこれまで年々上方に拡大していることから、今後移転対象外の地域にも地すべりの影響の有無を確認することが必要である。

地すべりの影響が移転対象外の地域にも及んでいないことを確認するために、現地踏査を行った。踏査は、地すべりのクラックが移転対象外に迫っている箇所として図 5-4 に示す 3 箇所を選定して実施した。3 箇所のうちエスピノ 1 を除く 2 箇所では、地すべりの影響は認められなかった。エスピノ 1 では、移転対象外の家屋において変状が認められた。この変状は、2006 年に家屋の 1 階と地階で発生したクラックである。この家屋の地点は地すべりの末端部にあたり、地すべりの末端部での圧縮により地すべり土塊が上方に持ち上げられた地点である。

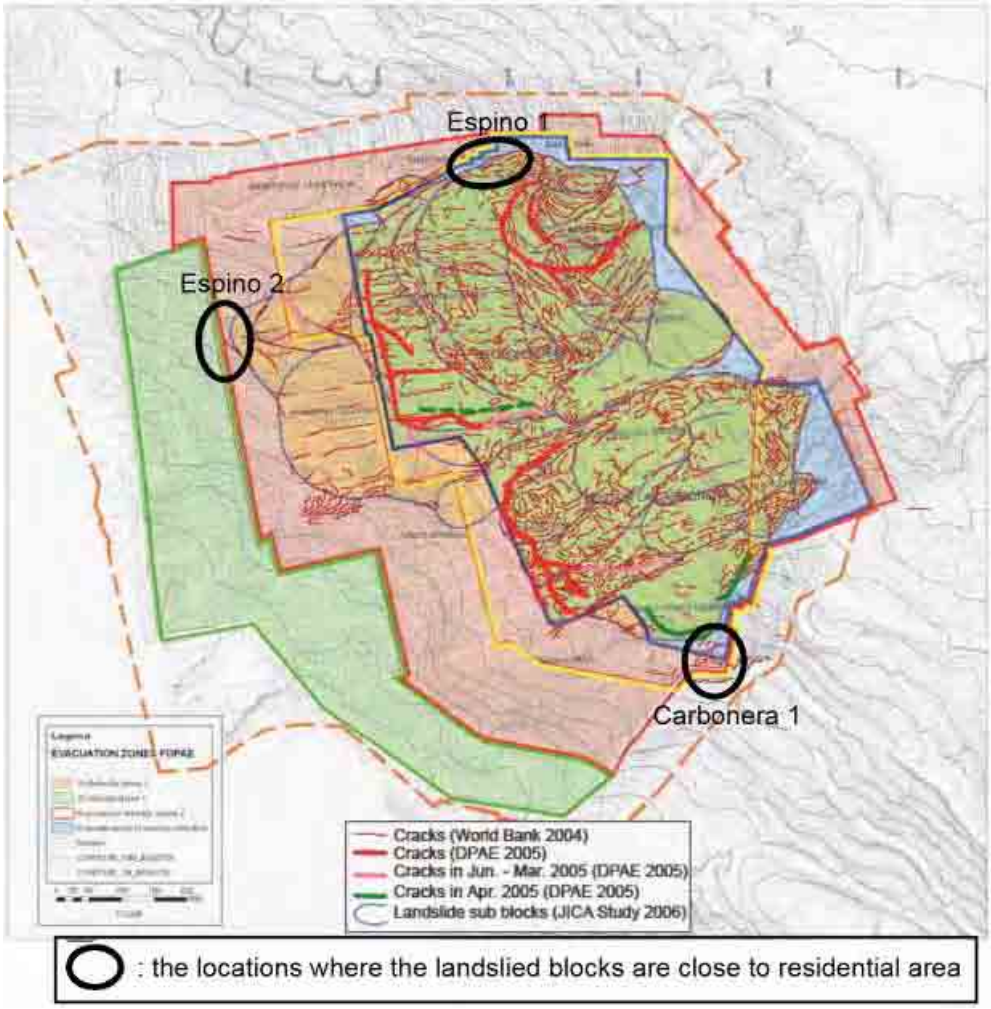


図 5-4　パイロットプロジェクトの位置

エスピノ 1 では、移転対象外の家屋において変状が認められた。この変状は、2006 年に家屋の 1 階と地階で発生したクラックである。この家屋の地点は地すべりの末端部にあたり、地すべりの末端部での圧縮により地面が比高差約 15m 上方に持ち上げられている。この地面の上昇は、2004 年に始まり急速に上昇したが、現在では上昇はほぼ停止している。

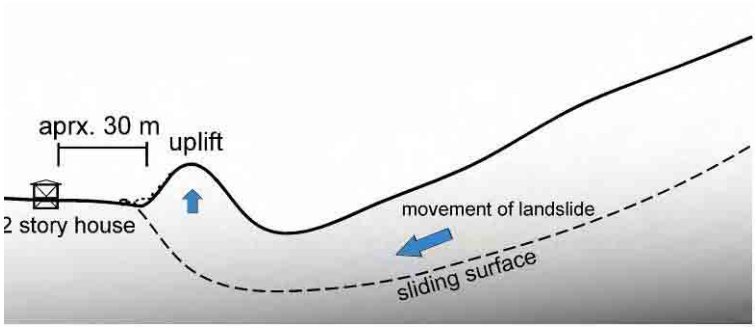


図 5-5　想定される地面の上昇

また、フェーズⅢ地区のうちフェーズⅡ地区の近傍に居住する住民に、家屋や近所の変状の有無、大雨時の状況などの聞き取り調査を行った。その結果、ほとんどの家屋では、大雨時に浸水などの異常、家屋に変状が起きているなどの回答をしたが、地すべりの影響が出ていると認められるものはなかった。

現地調査の結果は以下のとおりである。

①住民移転対象外の地域では、地すべりの影響が明瞭に現れているところは認められなかった。

②住民移転が進んでいることなどから、地すべり地内には住民の生命を脅かす差し迫った危険はない。

③地すべりはこれまで上方に拡大してきていて、これからも拡大するものと予想される。移転対象外の地域がこれからも安全とは言えず、安全性を監視していくことの必要が認められた。

④エスピノ 1 で家屋にクラックなどの変状が認められ、監視する必要性がある。家屋の変状が地すべりの影響によるものと確認された場合、地すべりの危険地域の見直しが必要となる。

⑤フェーズⅢ地区の下水、雨水の処理が適当でないため、多量の水が地すべり地内に流れ込み、地すべりの安定性に大きな影響を与えていることが考えられる。フェーズⅢ地区内の下水を整備する必要がある。

5.4 ハザードマップ

DPAE は、住民移転の計画を進めるために 2003 年の INGEOMINAS の調査結果を基に、地すべり危険地域をフェーズⅠ地区からフェーズⅢ地区に分け、それをハザードマップとして公表している。それに基づき、フェーズⅠ地区からの住民移転を始め、現在ではフェーズⅠ地区の住民はすべて移転を終了し、フェーズⅡ地区からの住民が移転中である。フェーズⅢ地区は今のところ安全とされ、フェーズⅢ地区内の住民は移転の対象となっていない。

5.5 モニタリング計画

5.5.1 計画概要

(1) モニタリングの目的

地すべりの危険な地域（フェーズⅠ地区）からの住民の移転は終了し、その周辺（フェーズⅡ地区）からも移転は進みつつある。地すべり地内には道路や鉄道などの重要構造物も存在しない。また、地すべりの活動も緩慢であり、2005 年の観測では最大 20mm/月の移動速度であった。このようなことから、住民の生命を守るための早期警戒のためのモニタリングは、この地すべりに関しては必要ないと考えられる。

しかし、地すべりは年々拡大してきており、今後も拡大を続けることが予想されるため、現在安全とされる移転対象外の地域（フェーズⅢ地区および地すべり地域外）の安全性を確認するためのモニタリングは必要である。この地すべりでの観測機器を使ったモニタリング計画は以下の 4 つの目的から成る。

① 移転対象外地域の安全性の確認

② 地面のクラックなどの異常が発見された場合の観測

③ DPAE が実施予定の対策工事の有効性の確認

④ DPAE が実施予定の対策工事中の安全の確認

5.5.2 移転対象外地域の安全性の確認

移転の対象外で安全とされている地域は、地すべりの活動により将来不安定となる可能性もある。それをいち早く察知するために最も効果的なことは地すべり危険地域と住宅地との境界付近における技術者による定期的な地表踏査である。

次に、住民の聞き取りによる異常の発見である。聞き取りに際しては、コミュニティリーダーとの情報交換、住民との定期的なミーティング、住民への戸別訪問などが有効である。住民に聞き取る場合には、下水のオーバーフローなどとの混乱を避けるため（住民にとっては洪水も地すべりも同じような災害と感じている）、新たに地面に発生したクラックの有無、家屋の変形の発生の

有無など具体的に聞くことが必要である。聞き取りにより異常が報告された場合には、技術者がその地点を訪問して、地すべりによる異常かどうかを確認する必要がある。

異常を発見した場合には、その周辺を集中的に踏査して異常の詳しい状況と原因を探ることが必要となる。踏査によって異常が地すべりによるものと判断された場合には、観測機器を使ったモニタリングを行うことも必要となる。

住宅地の安全性を確認するための観測機器によるモニタリングとしては、広域を比較的安価で簡単にできる方法である移動杭の観測がある。移動杭を住宅地と地すべり地の間に設置して、移動杭に動きが観測されるかどうかで、住宅地の安全性を確認することができる。もし、移動杭に動きが認められた場合には、技術者によってそのポイント周辺を精査し、クラックなどの地盤の変状の有無を確認し地すべりの影響の有無を判断する。

その他の地盤の動きを捉える方法として、地表面傾斜計、GPS がある。地表面傾斜計は地表の傾動を捉え、GPS は地表の動きを XYZ 方向に捉えることができる。どちらも、移動杭と同じように住宅地と地すべり地の境界付近に設置市、住宅地に安全性を確認する目的で設置できる。設置に際しては、住宅の敷地内に設置するなど盗難などを防止する対策をとる必要がある。

伸縮計は、地すべりの末端部に設置して、末端部が住宅地に迫りくる状況を捉えることができる安価で簡易な計器である。ただし、伸縮計はワイヤーを張る必要があり、住宅地周囲での使用は困難であることが多い。伸縮計に変わる方法として、レーザーを使用して距離を測る方法が有効である。

図 5-6 に移動杭、GPS、傾斜計、伸縮計の設置位置と住宅地との関係を示した。

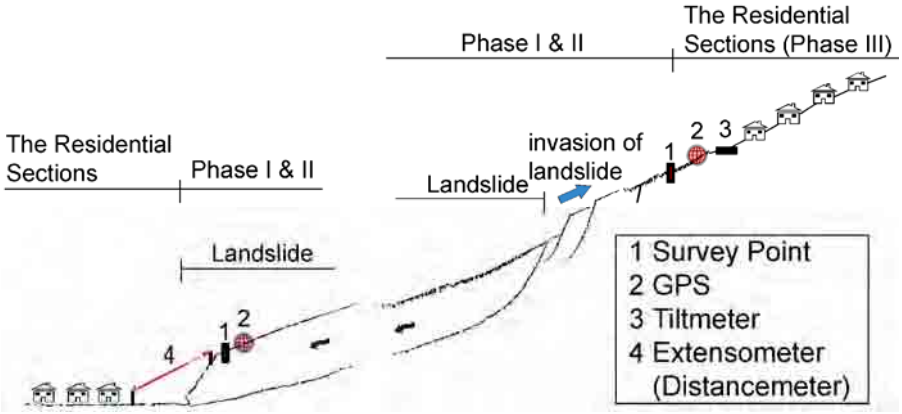


図 5-6　地すべり地と住宅地における観測機器

本調査では地すべり地内のうち、図 5-7 に示す 4 ヶ所が特に地すべりが迫っていて、地すべりの影響が住宅地に及びやすいところと考えら得る。地点 A はフェーズⅢ地区の中で、地すべりブロックが最も迫っている地点である。地点 B、C は地すべりブロックと住宅地が最も近づいている箇所であり、地点 D は地すべり末端部における住宅地と地すべりブロックが接近している箇所である。これらの 4 地点が地すべり計器による観測の優先される地点である。

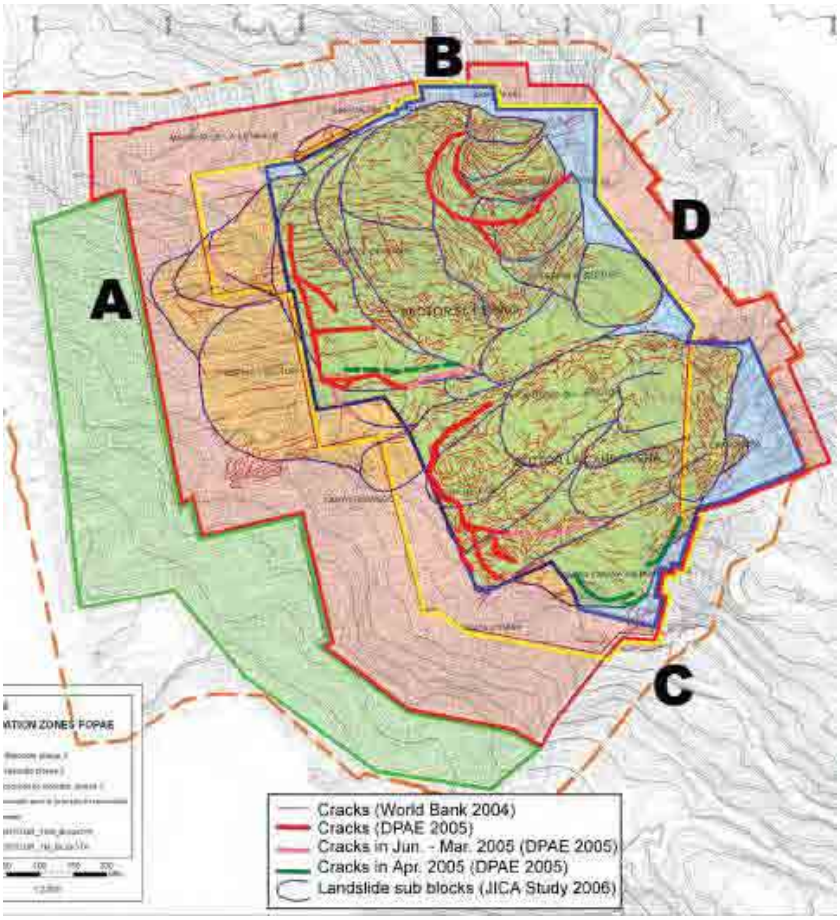


図 5-7　地すべり計器による観測の優先される地点

5.5.3　地面のクラックなどの異常が発見された場合の観測

踏査などによってクラックなどの異常が認められた場合には、その異常を観測することも必要である。地表に現れたクラックにはまず簡便な抜き板を設置し、クラックが開きつつあるのかどうかを観測する。クラックの段差が大きく抜き板での観測ができないような場合には、伸縮計の観測を行う。伸縮計は杭と杭の間にワイヤーを張っただけのような簡易のものでもクラックの開きが進行しつつあるかどうかを確認することができる。

家屋などの構造物に発生したクラックの観測は、クラックの両側に油性ペンなどでマークをつけて、そのマークの距離を測るだけの簡易なものでもクラックの進行を知ることができる。

DPAE は 2005 年の調査結果をもとに、表 5-1 に示した警戒値を設定している。伸縮計などの移動は、この警戒値を参考とすることができる。伸縮計のほかに、抜き板、構造物のクラック観測においても、観測結果を解析する毎に、現場の状況と合わせてこの警戒値を検証し、見直すことも必要である。

表 5-1　警戒値

項目	単位	重め係数	警戒の段階			
			低	中	高	危険
高度計	ミリ/日	0.25	< 1.6	1.6 – 3.3	3.3 – 5.0	> 5.0
傾斜計	ミリ/月	0.15	< 2.0	2.0 – 5.0	5.0 – 10	> 10
構造的制御	-	0.3	0.25 CGR (< 1.5)	0.5 CGR (1.5 – 2.0)	0.75 CGR (2.0 – 2.4)	1.0 CGR (> 2.4)
移動中の家の位置	-	0.3	0.25 (> 50m)	0.5 (50 – 30m)	0.75 (30 – 10m)	1.0 (10 - 0m)
警戒値指標		1.0	< 1	1 – 2.3	2.3 – 4.1	> 4.1

(出典: Monitoreo y seguimiento a los deslizamientos activos que afectan el sector Altos de La Estancia de la localidad de Ciudad Bogota, 2005)

5.5.4　対策工事の有効性の確認

DPAE は現在対策工事を計画中でありその設計を開始したところである。地すべりの効果を確認するモニタリングも地すべり対策工の種類によって方法を変えなければならない。一般的にモニタリングは以下のような考え方で行われる。

● 地すべり全域のモニタリング

地すべり対策工の目的が地すべり活動の停止にあるものであれば、地すべり地全体の移動をモニタリングすることが必要となる。広域を安価にモニタリングできる方法としては、移動杭により地表の動きを観測することがあげられる。このモニタリングは、対策工事の前と後を比較するために、対策工事の前から実施することが必要である。

● 抑制工に対するモニタリング

地すべり対策工事には地すべり滑動力を低減させる「抑制工」と抑止力を増大させる「抑止工」がある。本地すべりのように大規模な地すべりでは、費用対効果からまず行われるべき対策は「抑制工」である。特に本地すべりでは、フェーズⅢ地区からの下水の流入が地すべりに大きく影響していると考えられることから、フェーズⅢ地区での下水道の整備により、下水、雨水の流入を防ぐことで地すべりの安定化に大きく影響すると予想される。よって、対策工としてはまず「抑制工」とそれに伴う観測が優先されるべきである。

「抑制工」としては下水道の整備の他、水抜き工などが考えられるが、いずれも地すべり地内の地下水（または間隙水圧）を低下させることが目的となる。これらの効果を判定するには、対象となる地すべりブロック内に地下水位観測孔を設置し、地下水をモニタリングし、抑制工により地下水位が下がることを確認する。地下水位は季節的な変化（雨季、乾季など）があるため、地下水観測は対策工事の開始前かなり長期間（少なくとも 1 年間）における観測が必要である。

● 抑止工に対するモニタリング

抑止工としては、一般的に杭とアンカーがよく使用される。杭の場合には、杭に作用する力が杭の設計耐力より小さいことを確認する必要がある。これは直接、土圧計などで観測することもありえるが、杭の変位を測ることで知ることができる。杭の変位は、杭の間近に地中傾斜計を設置することによって測定する。また、杭が現場打ちの場合には、鉄筋にひずみ計をつけることで杭に発生している応力を知ることができる。もし杭に大きな応力または大きな変異が発生した場合

には杭が危険な状態になりつつある可能性がある。

アンカーに対しては、アンカーヘッドにロードセルと設置して、アンカーに発生している引き抜き応力を観測する。

5.5.5　対策工事中の安全の確認

ほとんどの対策工事は、地中に水を送る、土を掘るなど、多かれ少なかれ地すべりを不安定化させる工種を伴う。工事中には地すべりの活動が活発化する恐れがあるため、上記のモニタリングの頻度を上げる必要がある。また、工事中の掘削などで地すべりブロック内の小規模な地すべりが発生し、作業員の安全が脅かされるほか、作業が中断するなどの影響もある。工事現場は常に技術者により監視することが必要である。この監視は地表を目視で行うことにより、地表のオープンクラック、沈下、盛り上がりなどの異常を早期発見する。もし異常が認められたら、すぐに作業を中断し、作業員の安全を確保する。

5.6　パイロットプロジェクト

パイロットプロジェクトとして、安全とされている地域の安全性を確認するための観測を行った。地すべり地内には守るべき住民がいないことから、地すべり地内のモニタリングは実施していない。パイロットプロジェクトで行ったモニタリングは、以下の 3 種類である。

① フェーズⅡ地区とフェーズⅢ地区の境界でのモニタリング
② フェーズⅡ地区の中で新たに見つかったクラック
③ 踏査によって見つかった変状のある家屋およびその周辺

5.6.1　モニタリング項目

パイロットプロジェクトで採用したモニタリング機器は以下の 5 種類である。

(1)移動杭

(2)抜き板

(3)傾斜計

(4)レーザー距離計

(5)レベル測量器

表 5-2 に示すように、フェーズⅡ地区とフェーズⅢ地区の境界でのモニタリングは(1)移動杭、フェーズⅡ地区で新たに見つかったクラックのモニタリングには(2)抜き板、変状のある家屋は(3)傾斜計、および家屋の周辺では(4)レーザー距離計、(5)レベル測量器、を採用した。

表 5-2　モニタリングの数量

場所	モニタリング機器	モニタリング項目	数量
地すべり地と住宅地の境界	位置測量	移動点	15
		固定点(ベンチマーク)	5
フェーズ II 地区	抜き板	抜き板	3
		杭 (1 カ所当たり 4 本)	3 セット
盛り上がりと変状のある家屋	水準測量	測量点	3
	傾斜計	センサー	1
		ロガー	1
	距離計	レーザー距離計	1
		目標板	2

図 5-8 に、上記の測量とモニタリング機器設置地点を示す。

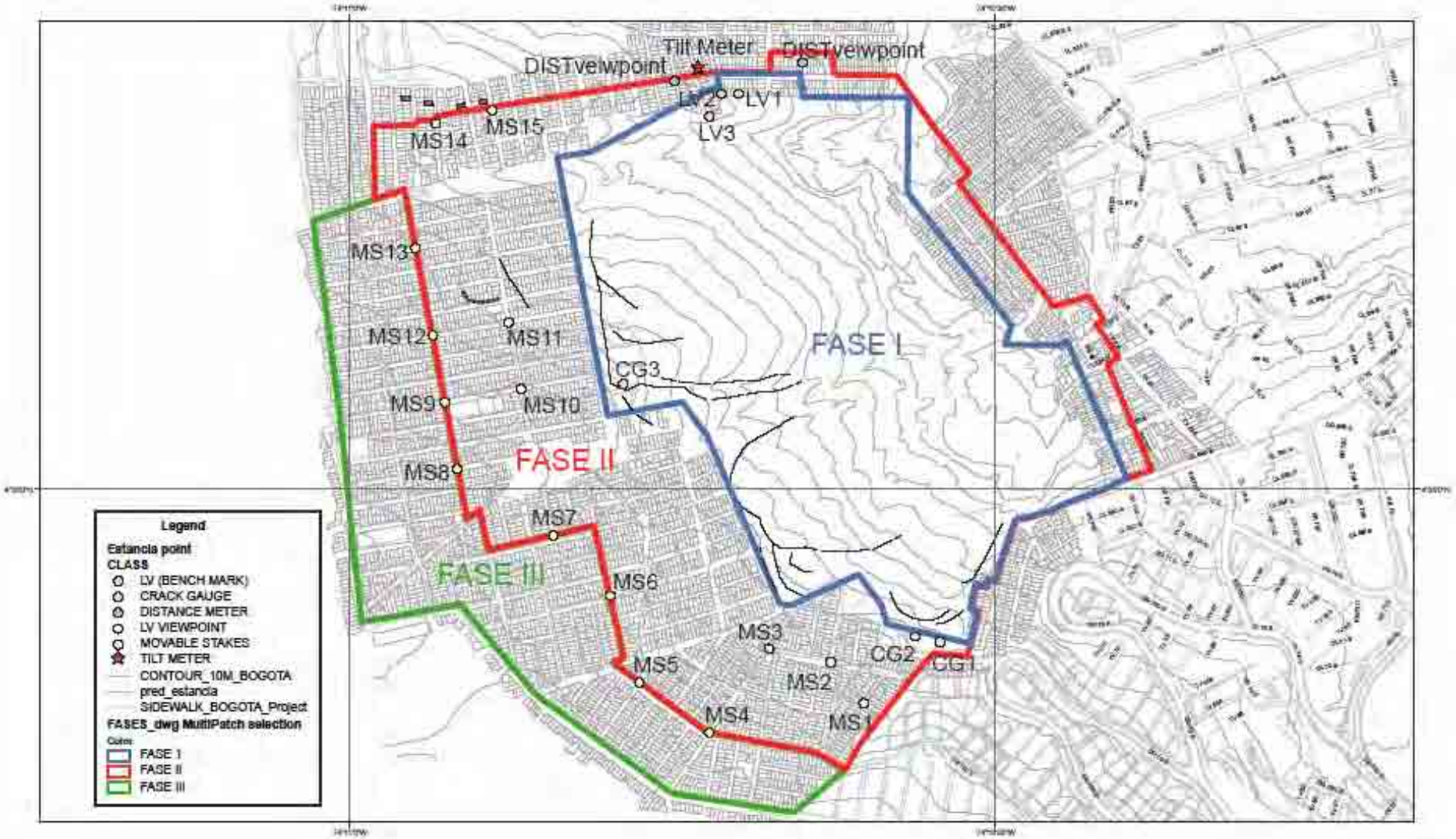


図 5-8　測量地点とモニタリング装置設置地点

5.6.2　モニタリング機器とその内容

(1) 地すべり地と住宅地の境界における位置測量(移動杭)

主に地すべり地外の安全性を確認するため 15 箇所で移動杭の設置行い、移動杭を測量するための固定点を 5 ヶ所に設置した。移動杭の設置位置は主にフェーズⅡ地区とフェーズⅢ地区の境界であるが、フェーズⅡ地区と地すべり地域外との境界、フェーズⅡ地区内の地すべりの頭部付近にも設置した。移動杭に変位が認められた場合には、その杭の周辺を踏査し地すべりの影響の有無を確認する必要がある。

(2)フェーズⅡ地区における抜き板

抜き板は地すべり頭部に新たに発生したクラックを測るために設置した。抜き板を観測することによって、地すべり頭部の動きを知ることができる。

抜き板は、フェーズⅡ地区内で新たに見つかったクラック 3 箇所で、クラックをまたいで設置された。クラックは簡易で誰でも動きを見ることができることから、抜き板の意味と動きの意味を書いた掲示板を抜き板に設置した。

抜き板は簡易であることから、簡単に引き抜かれるなどのいたずらを受けたため、簡単に引き抜かれないように規模の大きなものに変えた。しかし規模の大きな抜き板も 1 ヶ月内に壊されたことから、杭 4 本で観測する方法に変更した。本地すべりのように住宅地が迫る地すべりでの抜き板の設置に課題を残した。

(3) 盛り上がりと変状のある家屋における傾斜計、レーザー距離計およびレベル測量

対象となる家屋は、地すべりの末端部で発生した盛り上がりから約 30m はなれた箇所に位置している。この家屋は移転の対象とはなってはいないため、家屋の変状が地すべりによるものであれば、地すべり危険地域の見直し、移転対象家屋の見直しが必要となる。

以下の機器と測量点を対象家屋、盛り上がりおよびその周辺で設置した。

表 5-3　盛り上がりと変状のある家屋におけるモニタリング機器の概要

機器	数量	目的と仕様
傾斜計	1 台	自動観測　－　家屋の変状の進行状況を確認するため（設置場所；家屋の地階）
データロガー	1 台	傾斜計に接続し、データの蓄積のため 標準範囲: ±10°　またはそれ以上, 感度: ±10　秒(角度)またはそれ以下,さらに 測定間隔(1 秒、1 分、1 時間、1 日単位で設定可能), データ用メモリー: 1,000　個以上
レーザー距離計	1 台	2 測線）－　家屋と盛り上がりの距離の変化を確認するため 最大測定距離: 100 メートルか　それ以上, 測定精度: ±1.5 mm (距離 30m まで), 傾斜センサーの精度(レーザービームまで): ±0.15°,　（家屋まで）: ±0.3°
レベル測量点	3 点	盛り上がりの進行を確認するため

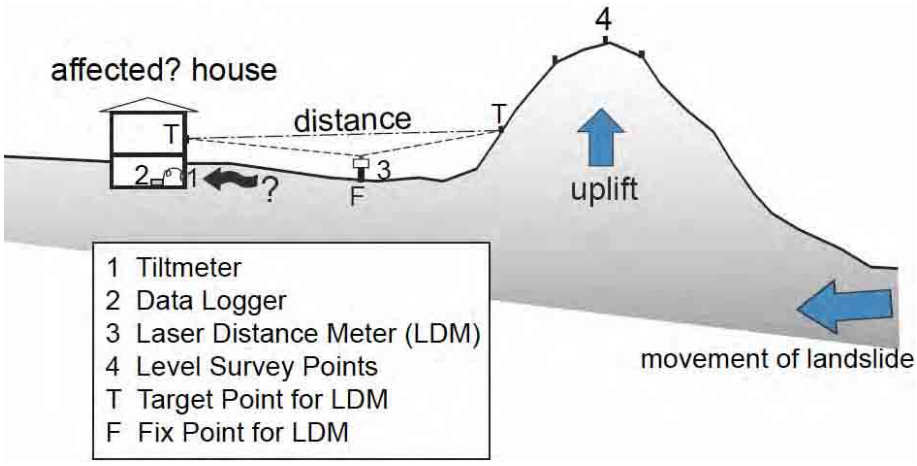


図 5-9　家屋の変状を知るためのモニタリング

5.6.3　モニタリング結果

パイロットプロジェクト期間中のモニタリング結果においては、地すべりによると思われる変状は観測されていない

第6章 洪水(ボゴタ市)

6.1 対象とする渓流

ボゴタ市の洪水の対象地域はトゥンヘロ川に合流する 4 渓流の流域である。これらは、チグアサ渓流、サンタリブラダ渓流、ヨマサ渓流およびエストレージャ・トロンペタ渓流である。流域面積はチグアサ渓流が最大で、約 19km² となっている。これら 4 渓流は、主な区間の河床勾配が 3 度以上ある急流である。

市	洪水　対象地域		
	渓流名	流域面積 (km^2)	幹線流路延長 (km)
ボゴタ市	チグアサ 渓流	18.9	7.0
	サンタリブラダ渓流	5.5	5.0
	ヨマサ渓流	15.4	5.0
	エストレージャ・トロンペタ渓流	8.3	1.5

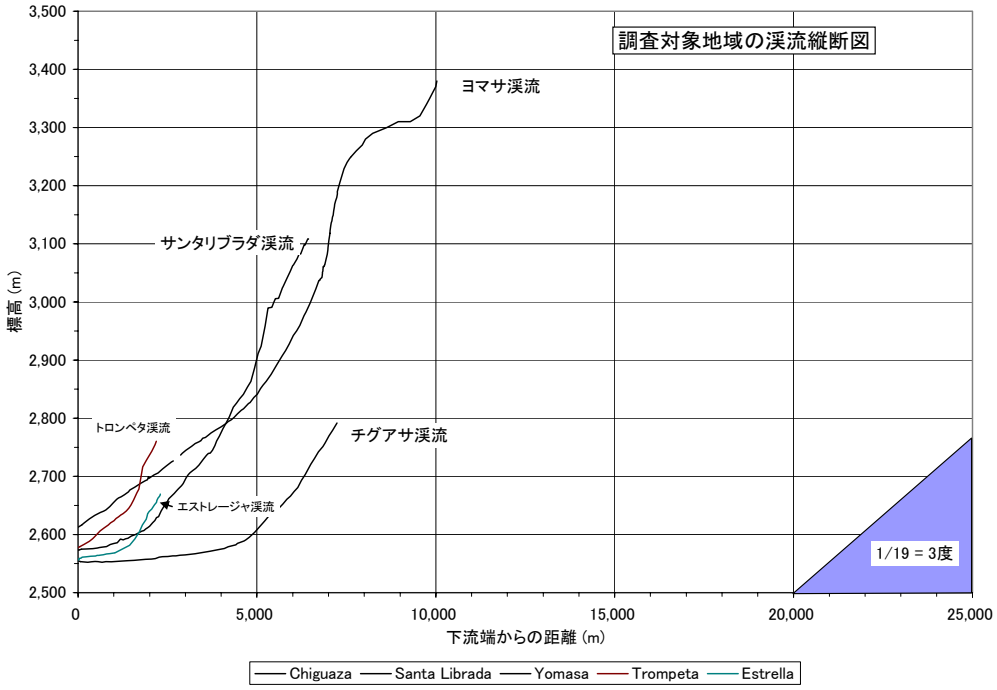


図 6-1　対象渓流の縦断図

ボゴタ市の調査地域の確率降雨強度は、EAAB によって以下の値(トゥンヘロ川右岸側地域であるゾーン 7 の場合)がある。

表 6-1　継続時間別降雨強度 (mm/h)

確率規模	5 分	10 分	15 分	30 分	60 分	120 分	180 分	240 分
3 年	89.8	56.9	43.6	27.6	17.5	11.1	8.5	7.0
5 年	109.9	69.4	53.0	33.5	21.1	13.3	10.2	8.4
10 年	169.7	90.4	66.2	40.4	25.3	16.1	12.3	10.2
25 年	154.4	102.0	79.0	50.2	31.6	19.8	15.0	12.4
50 年	-	146.2	96.1	55.2	34.2	21.9	17.0	14.2
100 年	-	164.0	107.7	61.7	38.3	24.5	19.0	15.9

6.2　　洪水の現状

4 渓流における過去の洪水被害について調査団は地元住民に聞き取り調査を行った。その結果、チグアサ渓流に過去の洪水が集中していることが分かった。

6.2.1　1994 年 5 月洪水

チグアサ渓流では、1994 年 5 月 19 日に死者 4 名、影響を受けた人々800 人以上となる洪水被害が発生している。上流の Juan Rey 観測所(EAAB)で日雨量 22.9mm が観測されているが、最大時間(正時)雨量は 6.3mm、最大 30 分雨量は 19mm であった。

主な被害は、道路を横断するカルバート前面が詰まり、洪水が右岸側市街地を流下するというものであった。

調査対象地域でこのような人命に関わる洪水被害は今回調査した結果、これが唯一である。

1994 年 5 月 19 日のチグアサ渓流の洪水の状況を聞き取り調査した結果、大きな特徴として、上流の渓床堆積物が降雨時に移動、途中の道路を横断するカルバート前面が詰まり、洪水が右岸側市街地を流下というパターンと、中流区間での元来流下能力が低い箇所での溢水というパターンがあることが分かった。

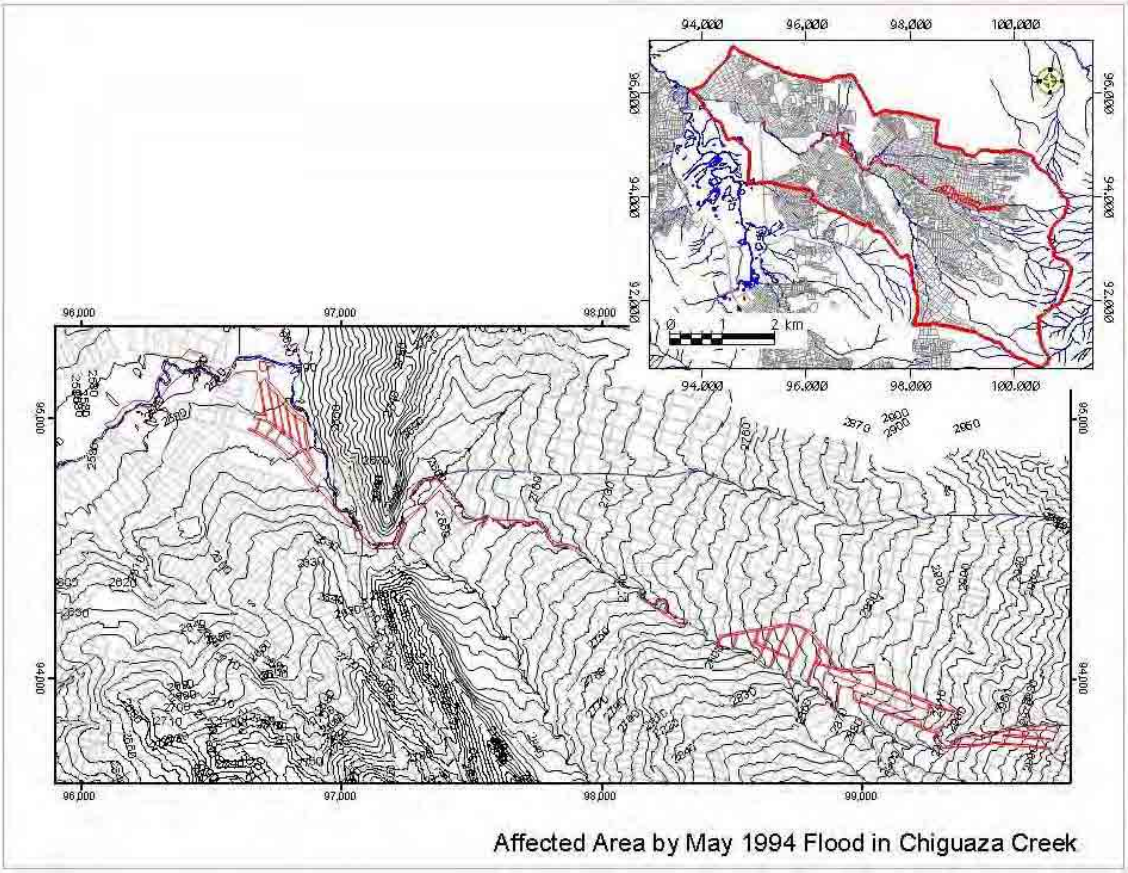


図 6-2　1994 年 5 月 19 日洪水の影響範囲(チグアザ渓流)

6.2.2　2002 年 5 月洪水

チグアサ渓流では、2002 年 5 月末に、下流区間（トゥンヘロ川合流点付近）で、浸水被害が発生している。これはトゥンヘロ川の水位の影響も受けた浸水と言われている。上流の Juan Rey 観測所(EAAB)で日雨量 37.5mm が観測されているが、最大時間(正時)雨量は

15.4mm、最大 30 分雨量は 22.4mm であった。

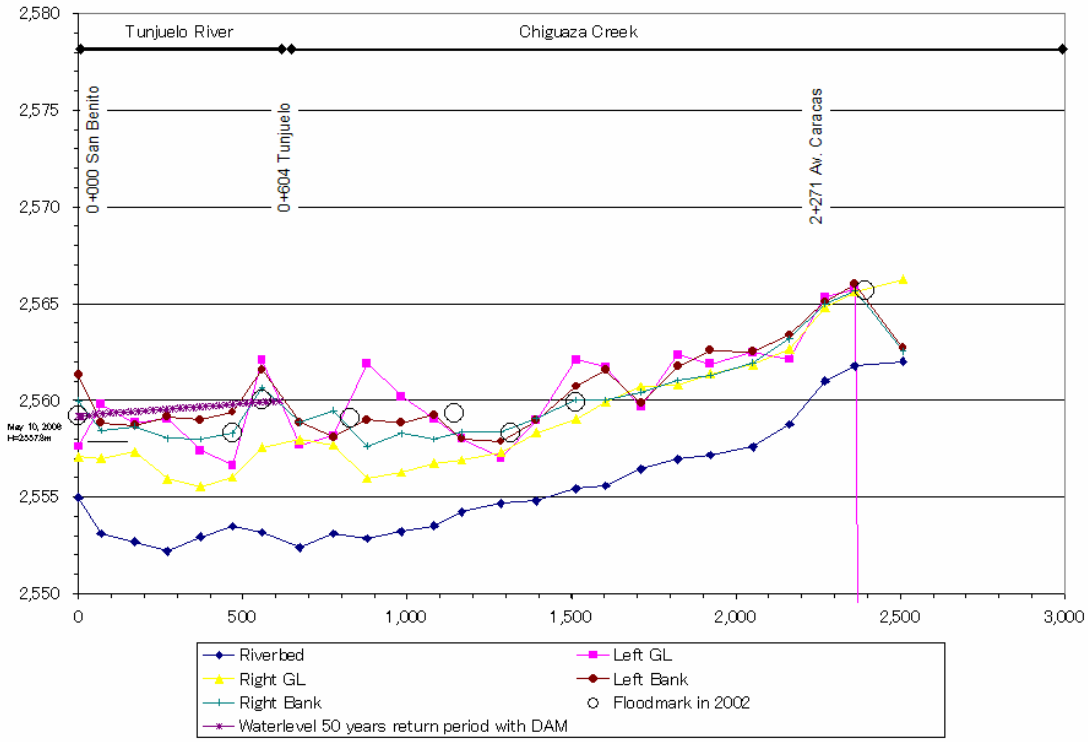


図 6-3　2002 年 5 月洪水時の洪水位

トゥンヘロ川上流には EAAB のカンタラーナダムが 2007 年春に完成しており、その洪水調節効果は 100 年確率規模に対して 88m³/s のカットである。流量 88m³/s は、チグアザ渓流が合流する付近で水位にして 1.7m の降下に相当する。仮に 2002 年洪水と同じ規模の洪水が現在発生したとしても、水位は 1.7m 低下することからトゥンヘロ川の水位がチグアザ渓流へ与える影響は軽減される。

6.3　モニタリングシステムの現状

6.3.1　DPAE

DPAE は、調査対象地域をその中に含むトゥンヘロ川流域の降雨、水位モニタリングシステムを運用・管理している。本調査対象 4 渓流近傍の観測所としては、サン・ベニート、キバ、フアン・レイおよびミカエラ雨量観測所、サン・ベニート水位観測所の計 5 箇所である(図 6-4)。これらはいずれも自動観測、テレメータ化されており、DPAE がデータを受信している。

6.3.2　他機関

調査対象地域周辺には DPAE 以外に IDEAM 、CAR、EAAB が雨量と水位のモニタリングを行っているがその目的は異なる。IDEAM は全国レベルでの気象観測、CAR は環境モニタリング、EAAB は水供給や排水路整備のためのモニタリングである。洪水の予警報を目的としたモニタリングを行っているのは DPAE のみである。

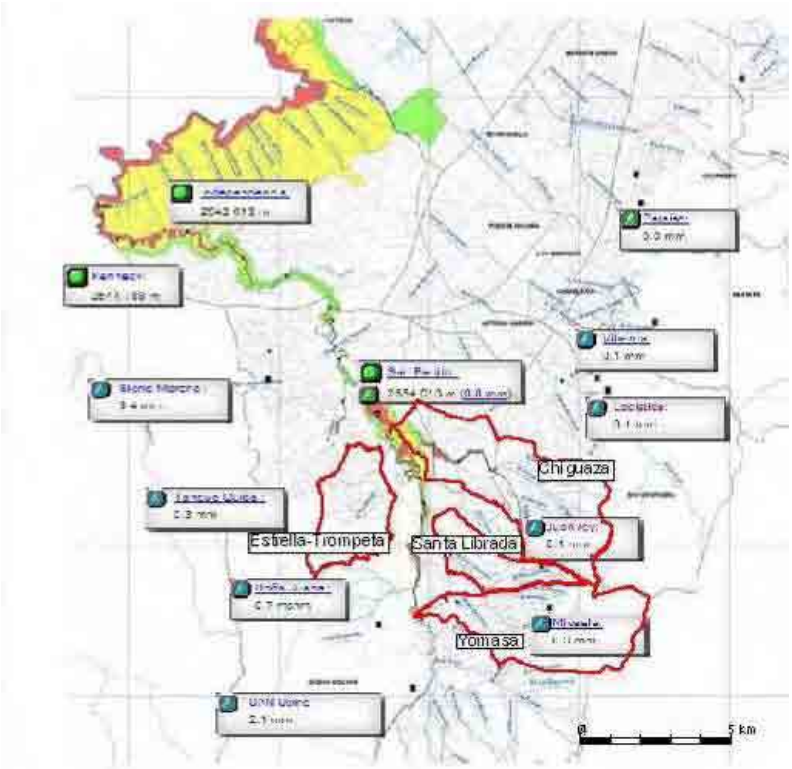


図 6-4　既存の DPAE モニタリング地点

6.4　洪水解析とマップ化

6.4.1　水文モデル

水文モデルは、対象流域の大きさ、勾配の急さ、土地利用を考慮して合理式モデルを採用した。降雨強度式は EAAB のものを採用した。100 年確率規模の時間雨量は約 40mm となっている。

6.4.2　渓流流下能力

図 6-5 はチグアザ渓流の流下能力と確率流量を縦断的に表示したものである。渓流の流下能力は比較的安全度が高く、1+200 地点付近に 10 年確率規模の地点があるのみである。図中には、橋梁地点の流下能力を▲印で表示している。橋梁地点は流下能力は高いもののゴミや土砂で容易に詰まりやすい箇所であり、そのような地点は表 6-2 にクリティカルな点として提示した。

6.4.3　氾濫マップ

現況流下能力を考慮して 25 年確率規模の氾濫範囲を示した図を作成した(データブックの GIS マップ集)。渓流流下能力図からもわかるようにチグアザ渓流の越流範囲は最下流の箇所に限定される。

なお、チグアザ渓流の下流区間(Ave.Caracas から下流)は現在 EAAB によって河道改修工事が行われている。その流下能力は 127m³/s と評価でき、安全度はさらに向上する。

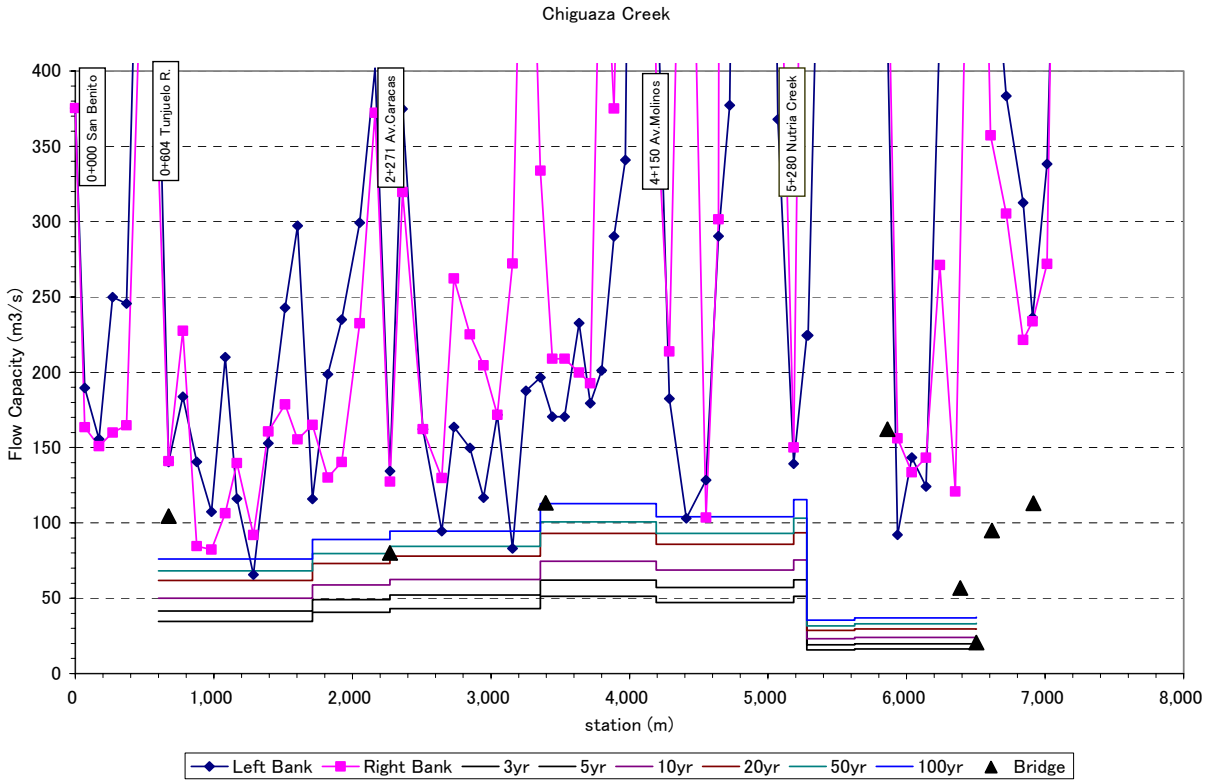


図 6-5　チグアザ渓流の流下能力と確率流量縦断図

表 6-2　チグアザ渓流のクリテイカルポイント

場所	距離標	想定される現象	備考
カラカス街道	2+271	橋の上流側の土砂堆積が進行すると周辺に洪水溢水の可能性	橋上流側の土砂の除去が重要。
モリノス II 地区(住宅地)	4+723	扇頂部的な地形。渓流内の障害物により左岸側への溢水の可能性	
ロス・プエンテス(ニュートリア渓流合流点上流)	5+450	渓流の線形から、洪水がチグアサ渓流合流点の右岸側へ直角にぶつかる。	
東３通り	6+388	橋の上流側の土砂堆積が進行すると左岸側に洪水溢水の可能性	橋の上流側の維持管理
東３B 通り	6+504	小さなパイプカルバートの容量のため、洪水が橋を越流する可能性.	橋の上流側の維持管理
ラ・グロリア（東 6A 通り)	6+916	橋の上流側の土砂堆積が進行すると左岸側に洪水溢水の可能性.	橋の上流側の維持管理
ビジャビシエンシア街道	0+109 (Zuque)	橋の上流側の土砂堆積が進行すると右岸側に洪水溢水の可能性	橋の上流側の維持管理

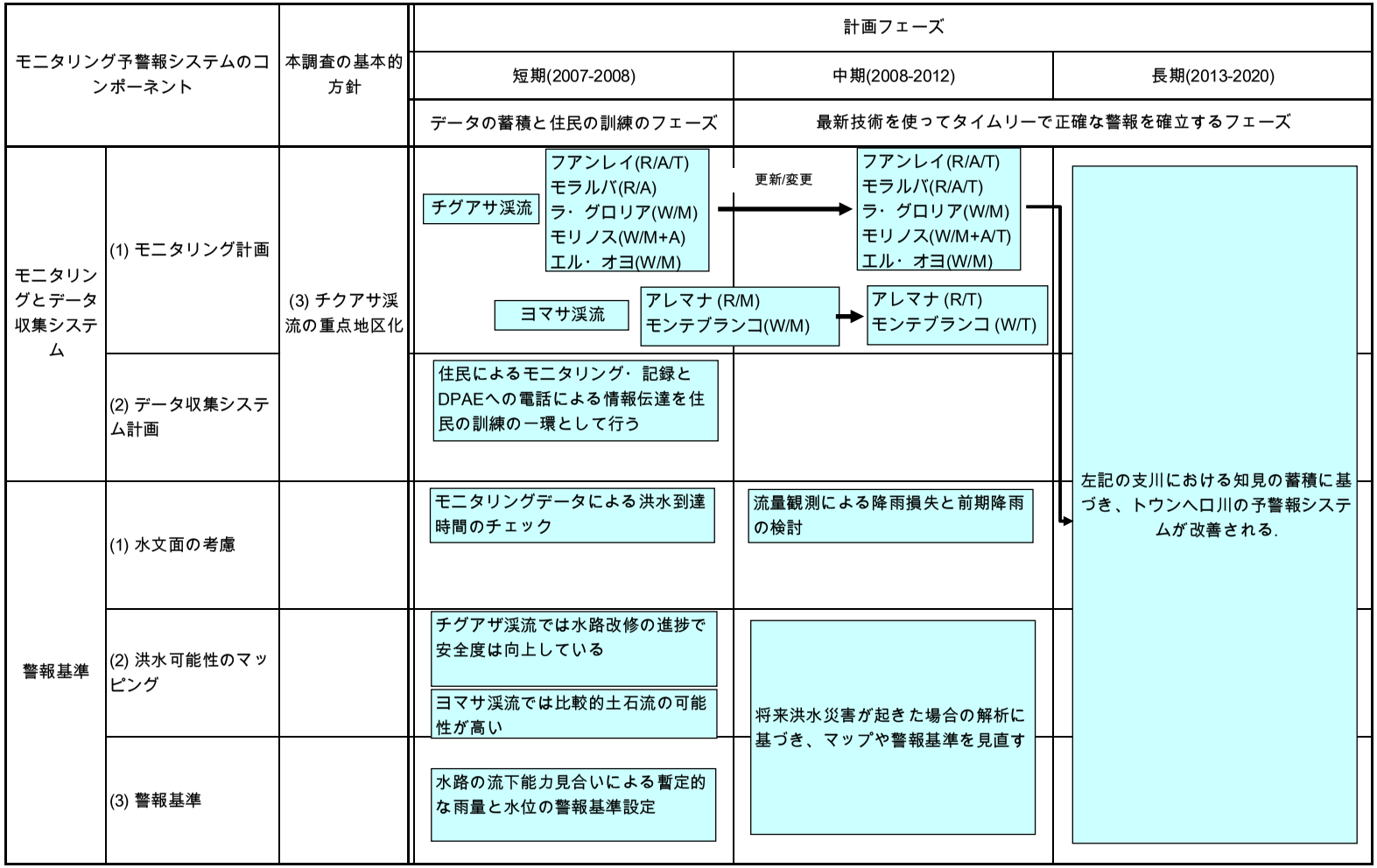
6.5　モニタリングと予警報計画

6.5.1　序

ボゴタ市の調査対象地域のモニタリングと予警報計画は、大きく 2 つのコンポーネント、(1)

モニタリングとデータ収集システム計画、(2)警報基準について策定された。(2)警報基準には水文面の検討、洪水可能性のマッピングが含まれる。

図 6-6 に、本提案内容の概要を示している。各コンポーネント、各フェーズの内容は 6.5.2 節から詳述される。



備考: "R" : 雨量観測, "W" : 水位観測, "M" : 手動観測, "A" : 自動観測/自記式, "T" : テレメータシステム

図 6-6　ボゴタ市のモニタリング・予警報システム計画の概要

6.5.2　計画の基本条件と方針

DPAE は、調査対象地域をその中に含むトゥンヘロ川流域の降雨、水位モニタリングシステムを運用・管理している。トゥンヘロ川本川沿いの洪水氾濫に対しては先方独自の早期警報システムを構築中であるが、調査対象地域である 4 つの支流域の中での洪水災害に対するモニタリングと早期警報システムは未整備である。この部分について本調査で計画策定を行った。

計画は 2020 年を目標年次とし、短期、中期および長期目標に分けて策定した。計画の開始年はその一部をパイロットプロジェクトとして実施した 2007 年とした。

表 6-3　短期、中期および長期の計画の定義

計画	期間	定義
短期	2007-2008	緊急性が高く、パイロットプロジェクトとして実施すべきものであり、中期長期の計画の基礎となるもの。
中期	2008-2012	対象とする渓流の安全度を更に上げるための短期計画の拡張となるもの。
長期	2013-2020	短期と中期の計画実施の経験に基づいた最新技術によるシステム。

計画の目標は、近年の洪水による浸水被害を受けた人たちが再度同じような洪水での被害を防止または軽減することである。よって、その手段として観測機器による気象・水文状況のモニタリングやその結果に基づく早期警報システムの整備が必要となる。従って、解析のための十分なデータの蓄積と、避難すべき人が上記警報システムを十分理解し、行動することが最も重要である。高価な警報システムを導入してもそれを避難すべき人が使いこなさなければ意味がない。以上のことから、モニタリングおよび早期警報システムの整備はあくまでも手段であり、目的達成のために何をすべきであるかを十分考えた検討を行った。

6.5.3　モニタリングおよびデータ収集計画

(1)モニタリング計画と早期警報の対象地域

対象 4 渓流の中で、過去に 4 名もの犠牲者が出た洪水災害は 1994 年 5 月のチグアザ渓流で生じた。この意味で、当該洪水は調査対象地域の中で記録上最も深刻な災害であったと考えられる。またチグアザ渓流では 2002 年 5 月に最下流域で浸水被害が発生している。従ってチグアザ渓流をモニタリング早期警報計画の最重点地区とする。

次に、1994 年 5 月洪水の現象を本計画のターゲットとして位置づける。この洪水は、上流区間において渓床の土砂が洪水と共に流下し途中の道路横過カルバートを塞ぎ、洪水が右岸側市街地の道路上を流下した。また 1994 年 5 月洪水では中流区間でも同様の現象と、水路からの溢水が発生した。

2002 年 5 月洪水は、氾濫が最下流の地域に集中した。この地域は、トゥンヘロ川の旧河道に位置し、低平な浸水常襲地である。

上述したように、モニタリング地点(水位観測地点)は、過去に洪水の被害を体験した人が住んでいて、今後も洪水の被害が生じる可能性のある地域で無ければならない。また雨量観測は過去に被害が生じた地点の上流が望ましい。この方針により、モニタリング地点は図 6-7 に示す 4 地点とした。

表 6-4　モニタリング地点と目的

観測	観測所名	既存/新規	モニタリングの目的
10分雨量	フアン・レイ(DPAE自動観測所)	既存	雨域が極めて狭い上流域の短時間降雨を観測する.
	モラルバ	新規	フアン・レイと共に1994年5月洪水の氾濫域上流で10分雨量を観測し、データの蓄積を図る。
水位	エル・オヨ(DPAE の既存水位標地点)	既存	2002年5月の浸水地域に位置するため、元来治安の悪い場所ではあるが周辺住民の協力を仰ぎ、水位観測を開始する。また、上流のモリノス水位観測所との同時観測も重要である。
	モリノス	新規	1994年5月洪水で溢水した地点であるため、住民による水位観測を行う。また、中流の本川区間に位置し、上流の支流の流出現象を反映しているため、上流の雨との応答が分かるほか、下流区間への予警報発出地点として位置づけられる。
	ラ・グロリア	新規	1994年5月洪水で、左岸側道路上を洪水が流下した地点であるため、住民による水位観測を行う。ここでの出水と上流の雨との応答を観測してもらい、洪水到達時間の検討をするほか、警報の空振りの意味についての理解も醸成する。

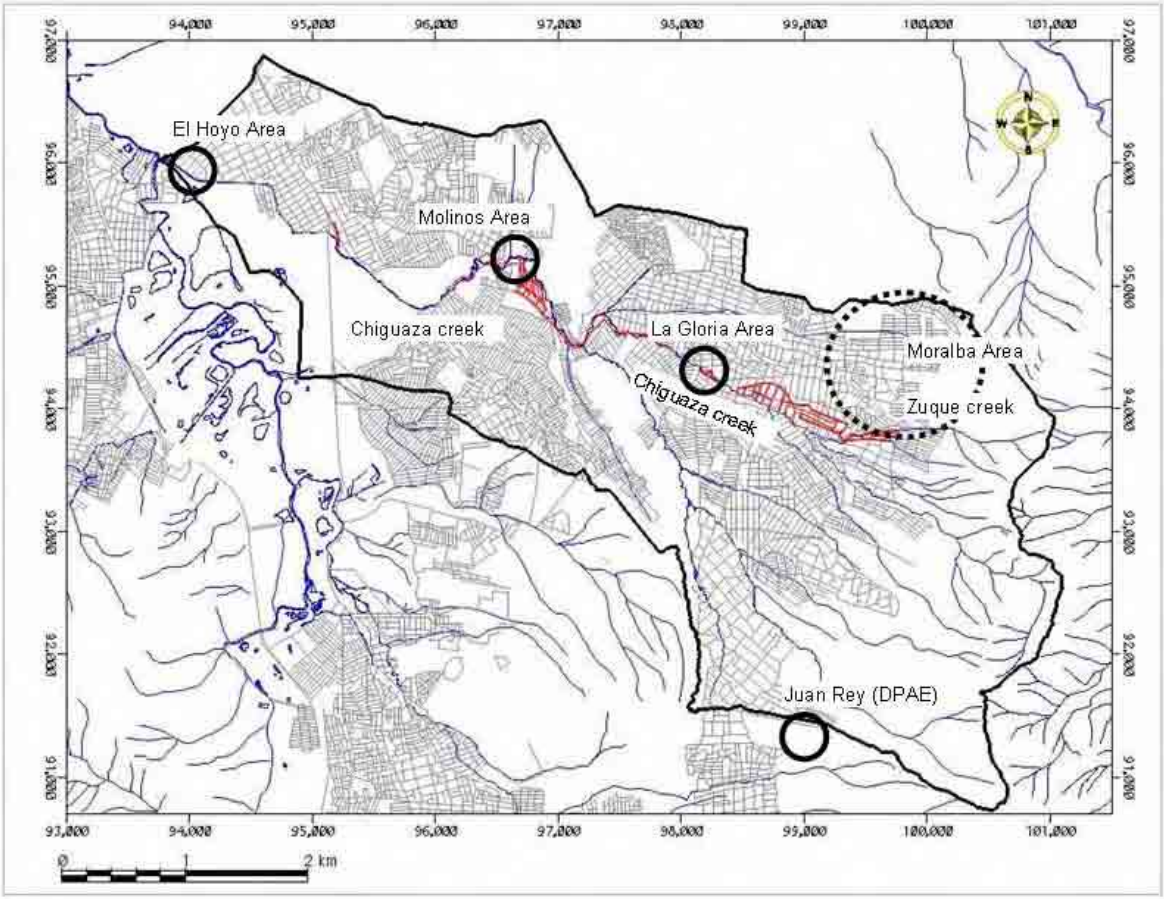


図 6-7　モニタリング地点と予警報の対象地域

(2)データ収集システム計画

データ収集システム計画は、２つのフェーズに分ける。第 1 段階は、被災地住民による水位標観測と上流域住民による雨量観測体制の構築であり、第 2 段階は、先進機器を用いたタイムリーで正確な予警報の確立である。

第 1 段階は、水位雨量共に住民あるいは学校の警備員が自らデータを確認することによるモニタリングを行う。一部の雨量観測所と水位観測所には自動観測機器を設置するが、住民（警備員）による日々の観測活動は継続して行う。

表 6-5　モニタリング地点と機器構成、観測態勢

地点名	観測項目	機器の構成	観測態勢
モラルバ(学校敷地内)	10 分雨量	雨量計、データロガー(外部表示窓付き)、ソーラーパネル、電池、キャビネット、アース	学校の警備員 毎時間観測
モリノス(人道橋)	中流水位	水位標、自記式水位計、データロガー(外部表示窓付き)、ソーラーパネル、電池、キャビネット、アース	住民と学校警備員による 1 日 3 回の観測
ラ・グロリア	上流水位	水位標、簡易水位警報装置	住民による 1 日 3 回の観測、出水時(警報装置作動時)の時刻・水位の記録
エル・オヨ	下流水位	水位標	市民防衛隊による 1 日 3 回の観測

第 2 段階は、上流の雨量観測所のテレメータ化と、中流水位観測所における流量観測の実施である。中流の水位を連続的に観測することによって、上流の降雨に対する水位応答データの蓄積を行うほか、流量観測(洪水時の浮子観測)により流域の流出量を把握し、有効雨量を検討し、予警報の精度を向上させる。洪水時の浮子観測は、第 1 段階で水位標の観測を行った住民が指導的立場で行うことが望ましい。

また、中流水位と上流雨量のテレメータ化(DPAE へ転送)を行い、チグアサ渓流の予警報システムを DPAE 既存のトゥンヘロ川予警報システムへ組み込む。

さらに渓床の土砂が比較的多いと判断されるヨマサ渓流において、第 1 段階と同様の手法で雨量と水位観測を開始する（図 6-8)。

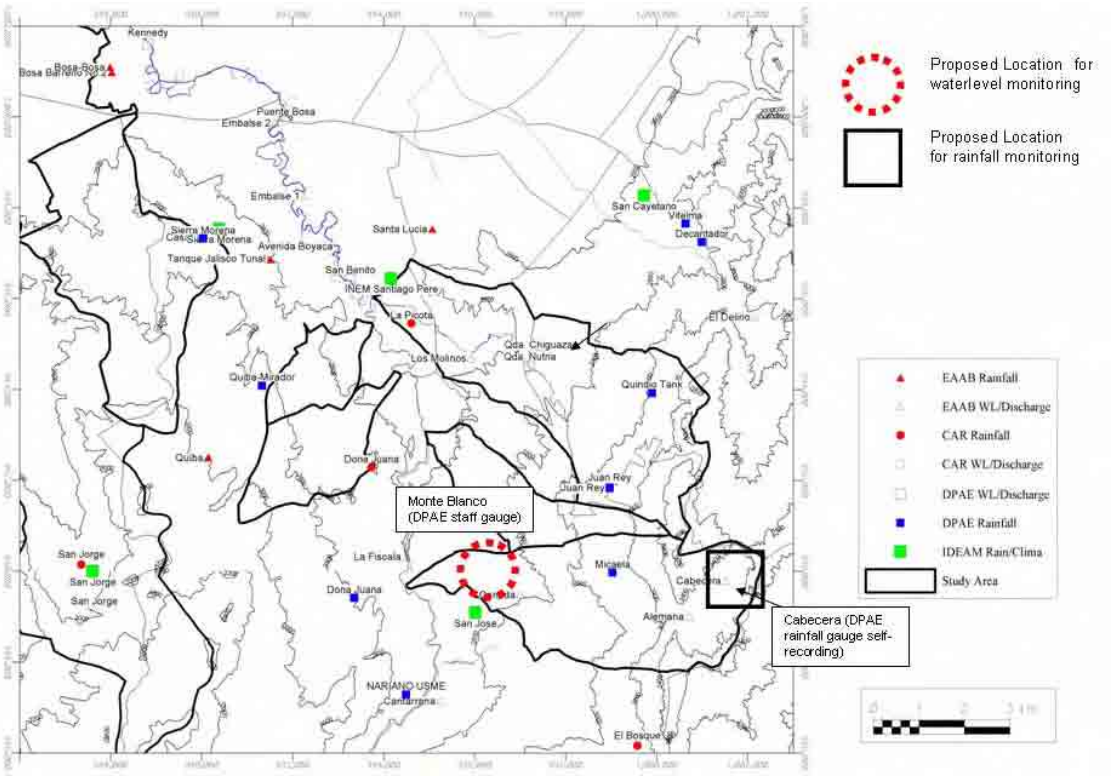


図 6-8　中期における追加モニタリング地点

6.5.4　予警報基準

(1)　水位基準

チグアサ渓流の 0+982 の右岸側が最も流下能力が低く、この地点は HQ 曲線から流量が 80m³/s で氾濫をする。一方、上流のモリノス水位観測所地点での 80m³/s は、水位標の 3.2m に相当する。そのためモリノス水位観測所での 3.2m を下流の氾濫指標とする。

(2)　雨量基準

調査地域への洪水注意報として、暫定的に日雨量 10mm を提案する。これは、過去 5 年間の DPAE が保有している調査対象地域での「flood」件数と降雨量との関係を統計分析した結果を元にしている。チグアサ渓流では過去 5 年間に 38 件の「flood」が DPAE に報告されている。「flood」の詳細な現象は記録が取られていないが、住民からの情報として水路の溢水や、低地の浸水など大小様々な「flood」の総数である。この内、20 件(53%)は日雨量が 10mm の時に生じている。これは日雨量 10mm で、チグアサ渓流では約 50%の確率で、なんらかの「flood」が発生することを意味しているため、この雨量を「注意報」として暫定運用する。他の 3 渓流の場合は今回の分析結果では日雨量が 10mm あるいはそれ以下の場合に、なんらかの「flood」が発生する確率は低下するが、調査地域の小ささを勘案すると、更に地域別の「注意報基準」は時期尚早と考える。

この日雨量基準に加え、短時間降雨の基準を暫定的に設定した。チグアサ渓流の「流下能力縦断図」より、下流区間は約 10 年確率規模の能力がある。下流区間の上流端までは約 27 分で洪水が到達する位置にある。上流の確率降雨強度式から、10 年確率　43mm/hr であるので、43mm/hr×27/60＝19mm となる。よって、基準として 30 分間に 20mm の降雨を設定する。

過去の洪水時の短時間降雨量は以下のようである。

表 6-6　過去の洪水時の実績降雨例

洪水名	フアン・レイ観測所実績(DPAE)
2002 年 5 月 30 日	23mm/15 分（実績）
1994 年 5 月 19 日	9.5mm/30 分（実績）

上流域において 1994 年 5 月洪水のような渓床堆積物が流下して横断構造物を詰まらせる可能性はある。渓床堆積物が比較的多いヨマサ渓流についてはイエローゾーンを設定した。このような現象に対する基準雨量の設定はデータ不足で困難であるが、1994 年 5 月の降雨状況として、前期 15 日降雨量 78.1mm、当日降雨量 22.9mm を最初の目安として、この雨量状況を超える場合、渓流の警戒に当たるなどの活動が望まれる。

6.6　実施計画

本計画の実施スケジュール(2007 年～2020 年)を図 6-9 に提示した。

単位: US$

Actions	短期計画		中期計画				長期計画								
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
モニタリングと早期警報システム構築															
モニタリングとデータ収集システム計画															
モニタリング機器の設置（パイロットプロジェクト）															
1 モラルバ雨量観測所（チグアザ渓流）	10,000				2,500	(テレメータ化)				10,000	(更新)				
2 モリノス水位観測所（チグアザ渓流）	13,000				2,500	(テレメータ化)				13,000	(更新)				
3 ラ・グロリア水位観測所（チグアザ渓流）	5,000														
モニタリング機器の設置（将来）															
1 ヨマサ上流域雨量観測所（ヨマサ渓流）			10,000			2,500	(テレメータ化)				10,000	(更新)			
2 ヨマサ下流水位観測所（ヨマサ渓流）			5,000			2,500	(テレメータ化)				5,000	(更新)			
3 雨量レーダーシステム（IDEAM向け）						-									
警報基準															
水文面の考慮															
洪水到達時間のチェック（パイロットプロジェクト）	6,000														
流域全体モデル化						6,000	6,000						6,000	6,000	(更新)
洪水可能性のマッピング															
洪水とフラッシュフラッドの可能性	6,000														
洪水発生に応じたマップの更新						6,000	6,000						6,000	6,000	(更新)
警報基準															
予警報基準の仮設定	10,000														
パイロットプロジェクトのデータによる水文解析															
予警報基準の更新				2,500			2,500			2,500			2,500		
コミュニテイ参加のモニタリングと早期警報システム															
水文観測の訓練	-														
情報伝達訓練		-													
避難訓練		-													
コミュニテイによる水文観測活動															
計	50,000	0	15,000	2,500	5,000	17,000	14,500	0	0	25,500	15,000	0	14,500	12,000	171,000

図 6-9　実施スケジュール

6.7 パイロットプロジェクト

6.7.1 モニタリング機器設置と観測活動

パイロットプロジェクトでは表 6-5 に示した雨量観測所と水位観測所を設置し、設置場所の関係者に観測活動に参加してもらった。

モラルバ雨量観測所は、チグアザ渓流の上流、学校の敷地内に設置された。転倒マス式の雨量計用に、データ表示窓付のデータロガーを装備した。観測は学校の警備員が毎時、表示窓の雨量値を DPAE 提供の記録用紙に手書きで記録することで継続されている。DPAE の指示により、30 分雨量が 20mm を超えた際には、警備員は電話で DPAE に連絡することとなっている。なお、このデータロガーには 30 分雨量 20mm を閾値とする警備員向けの警報装置も組み込んだ。

ラ・グロリア水位観測所は、チグアザ渓流の上流に設置された。観測所は水位標と出水をブザーで知らせる簡易警報装置から成る。水位観測は住民リーダーが持ち回りで行っている。

モリノス水位観測所は、チグアザ渓流の中流に設置された。観測所は水位標と非接触型(超音波式)の自記水位計である。自記水位計にはデータ表示窓付のデータロガーを装備した。観測は学校の警備員が毎時、表示窓の雨量値を DPAE 提供の記録用紙に手書きで記録することで継続されている。水位標の読み取りは近隣の住民リーダーが、自記水位計のロガー値は学校の警備員がそれぞれ継続して行うこととなっている。

エル・オヨ水位観測所は、チグアザ渓流がトゥンヘロ川に合流する直前の橋梁アバットに DPAE が設置していた既存のものである。これまで、増水時に DPAE が指示した時以外は特に観測がなされていなかった。パイロットプロジェクトを契機として、DPAE は周辺コミュニティと協議をした結果、市民防衛隊による水位観測を行うことを決定、実行に移している。

6.7.2 モニタリング結果

モラルバ雨量観測所の 10 分雨量と、ラ・グロリア水位観測所における出水のタイミングについて検討が行われた。2007 年 10 月の観測開始から大きな出水は観測されていないが、小さな出水について上流の 10 分雨量のピークと下流の水位応答時間は、ばらつきがあるものの、本調査で採用した洪水到達時間と大きくかけ離れてはいないという結果が得られている。

第7章 DPAE への提言

7.1 共通

調査対象地域(洪水)における主要な特徴は、渓流の流域面積が小さく、洪水到達時間が極めて短いことである。このような地域の場合、早期警報システムはよりタイムリーで正確な情報が地元から提供されることが求められ、また、そのような情報が関係者へ瞬時に正確に伝達されるべきである。また地すべり地の場合においても何らかの変状を示すローカル現象を知ることはモニタリングシステムにとって重要である。このようなローカルレベルの情報の必要性を勘案すると、ローカルの現象に最初に反応できるという意味でコミュニティの参加がモニタリングおよび早期警報システムにとってきわめて重要である。

モニタリングおよび早期警報システムを持続可能なものにしていくためには、本調査の一連の技術移転セミナーで議論されたように、行政の資源とコミュニティの参加の統合化が重要である。DPAE はコミュニティ主体のモニタリングと早期警報システムを確立していくためには、ローカル現象の最初の対応者として水文観測や情報伝達を担当するコミュニティへの技術的な訓練の必要性をすでに認識している。DPAE はボゴタ市においてすでにコミュニティとの共同作業を開始している。DPAE は、今後もさらに洪水や地すべり地域におけるコミュニティとの協働活動を継続、そして発展させていくべきである。

7.2 地すべり関係

7.2.1 エスタンシア地すべり地区の安定化工法

エスタンシア地すべり地区における最も効果的な対策は、危険地域からの住民の退去であり、DPAE としても住民の退去プログラムを策定し、フェーズⅠ地区とフェーズⅡ地区のほとんどの住民は退去完了している。従って、当該地区における地すべり対策工事は必要ないと考えられる。一方で DPAE は安定化対策工事を計画しているとされているが現時点でその詳細な内容は確認されていない。安定化対策工事は一般的に、抑制工と抑止工に分けられる。今回のような大規模な地すべり地においては費用対効果の観点から抑制工が比較的適切であると考えられる。

エスタンシア地すべりで特記すべきこととしては、フェーズⅢ地区の未整備の下水から流れてくる表流水が地すべりに流れ込んでいる状況が地すべり頭部のほとんどの箇所で見られることである。流れ込んだ表流水は地すべり地内に多くの流路と水溜りを作っている。表流水の浸透が地すべりに大きな影響を与えていることは容易に理解される。地すべりに対して最も重要で効果的な安定化工法は、地下水位を下げることと、雨水や下水などの表流水が地下に浸透しないようにすることである。

7.2.2 エスタンシア地区におけるモニタリング

DPAE の技術者あるいは地元住民による定期的な地表面の観察を行うことを提言する。具体的には、地すべり土塊とその隣接地区の地表面の状況を定期的に、目視することが重要である。必要に応じて、地表に歪みが生じているかを観測する。地すべり防止施設が存在する場合は、定期的に点検を行い、施設の異常を出来るだけ早く特定する。もし、地表面のクラックや施設の異常が認められた場合は、応急対策と安定化対策を講じた後に、速やかにその変化の観察を開始させる。この観察は、地すべり変化の範囲、方向、メカニズムを知る上で重要であり、その後の対策を考える上で有用となる。

モニタリングの種類と目的については、以下のようになる。

a)居住地域の安全性 : 地すべりの動きが住宅地域に接近していないことを確認する。このモ

ニタリングは、人々が地すべり地域周縁に居住している限り継続するべきことである。

b)特定のクラックと地表の構造物の変状のモニタリング：変状が認められた際に速やかに行うべきモニタリングである。

c)建設工事の安全性：工事中の作業員の安全を守るためのモニタリングで、建設工事中に継続するものである。

d)安定化対策工事の効果確認モニタリング：安定化対策工事の効果を確認するモニタリングで、地すべり対策工による地下水の低下や地すべりの抑止効果などを確認するために実施する。

7.3 洪水関係

1)本調査で提案したいかなる予警報基準も仮の値であり、これらは限られたデータに基づいて試算したに過ぎない。今後予警報基準は、本調査後に住民が自ら観測したデータを蓄積、分析することによって更新していくべきものである。

2)本調査後、DPAE が以下の活動を継続して行うことを提言する。

(a)モニタリング活動の継続、

住民によるモニタリング活動とテレメータシステムの統合化が DPAE の基本的な方針であり、洪水災害管理の重要な戦略の１つであると理解される。DPAE はチグアサ渓流における住民によるモニタリング活動の継続に重点を置いている。本調査の提言は、この DPAE の基本方針に沿うものであり、活動の第一歩となる。モニタリングデータの蓄積後に、他の機関の観測データとも合わせて、モニタリングシステムを改善していくことが望ましい。

以上の理解の下、DPAE は以下の具体的な活動を行うこととする。

- モリノスとラ・グロリア水位観測所における住民による水位標観測の継続
- DPAE のエル・オヨ水位観測所において、近隣住民の協力を仰いで水位標観測を開始そして継続する

モリノス水位観測所とモラルバ雨量観測所では本調査で自動観測式の機器が設置された。付属のデータロガーには、直近のデータを表示する窓も設置されている。このような自動観測式の地点においても、住民による目視観測はダブルで継続する。

(b)モニタリングデータを使った予警報基準の検討、

本報告書で提案された予警報基準は仮定の下で仮設定したものであり、今後の観測データを使って速やかに修正すべきものである。DPAE は既存の洪水予警報システムにこのデータを取り込み、適宜同定と調整をしていくものとする。

特に、予警報基準は「観測された水位」をもって修正されるべきであるので、過去に氾濫した場所の水位と、上流の水位との関係は継続して観測しなくてはいけない。

(c)より信頼性のある予警報計画の策定、

提案された予警報計画は、過去の災害(1994 年 5 月)の原因であった渓流にかかる橋の詰まりなどが無い状態でのものである。そのような人為的な原因がある場合には、いかなる予警報計画も機能し得ない。

調査対象地域の渓流は、水路改修事業や土砂・ごみの堆積のためにその状況が常に変化している。このため、渓流の流下能力に関係する要因は定期的にモニター、評価し、予警報基準の改定に反映させることが必要である。

(d)計画の住民への周知徹底。

本調査で設置したモリノス水位観測所の自記水位計のケーブルが 2007 年 1 月に盗難にあった。このようなことの再発を防ぐためにも、DPAE と住民リーダーがコミュニティをまとめて、モニタリング機器の監視を行うことが望まれる。