

第 1 章 事前調査の概要

1 - 1 要請の背景

- (1) ボゴタ平原は総面積 4,305km²、人口約 700 万人の地域であり、コロンビア国の首都であるボゴタ特別区と周辺都市を含む。同地域における年間平均降雨量は約 800mm であり、首都圏に大規模河川は存在しない。一方、近年、治安状態の悪化及び経済活動の低迷等を背景として、地方からの人口流入が顕著であり、ボゴタ首都圏の人口は 2015 年には 900 万人に達するとも予想されている。
- (2) ボゴタ首都圏における給水原単位は 160 l/day/ 人 (1999 年) で計算されており、市周辺部に整備されている 3 か所の浄水場等から、現時点では需要に対応した水量及び水質が確保されている。他方、同首都圏に対する安定的かつ中長期的な水供給の観点では、将来の水需要増大や災害時の安定供給を勘案した新規水源の早期確保が課題となっており、地方部から首都圏に流入する貧困層を対象とした給水サービスの拡充は急務である。
- (3) ボゴタ特別区では「水供給地下水開発計画」及び「市拡張整備プログラム」を策定し、上記課題に対応するため深層地下水開発及びその賦存量把握に係る調査を 1999 年に一部着手したものの、同国の地下水開発に係る事業実施の経験不足及び技術の未熟さのためにデータの量や調査精度が十分ではなく、地下水を水源とする長期的な上水の安定的供給に係る調査の必要性が高まっている。
- (4) かかる背景の下、1999 年 8 月、「コ」国政府は、我が国に対しボゴタ平原地域の地下水開発に係る計画策定のための要請を行い、これを受け、2000 年 7 月に本格調査の実施に係る S / W 締結を目的とし、事前調査団を派遣するものである。

1 - 2 調査内容及び結果の概要

S / W 及び M / M については、7 月 13 日に国際協力庁副長官、ボゴタ市上下水道公社 (EAAB) 各部部長が出席の下、EAAB 総裁と松島団長との間で署名・交換を了した。署名式にはテレビ局等マスコミが多数出席し、先方政府の期待の高さをうかがわせた。

また、事前調査中は先方 C / P がすべての協議と現地踏査に同行し、収集資料をあらかじめ準備するなど地下水や給水の現況及び先方ニーズの周知に努めていたため、短期間のうちに効果的な情報収集がなされた。

本件調査に対する先方期待及び協議結果の概要は以下のとおりである。

- (1) 調査目的はボゴタ平原への表流水を中心とする水資源開発を補完するための地下水開発に加え、持続的な水供給を行うために、白亜紀層の深層地下水の賦存量調査を行うこと及び右

に係る技術移転を行うことである。

- (2) 深層地下水の開発は現在表流水により給水を行うボゴタ市にとって、災害時・緊急時にも安定した飲料水を供給することに役立ち、市の南部地域を中心に居住する貧困層への裨益も期待されている。
- (3) 先方は INGEOMINAS、DAMA、CAR 等の関連機関との間で GRITAS という協力体制を組み、これまで自力で一部地下水部賦存量調査等を実施しているが、同協力体制が不十分であること及び調査の精度にも問題があること等の問題点があげられている。
- (4) 上記理由から、EAAB としては、安定的及び持続可能な深層地下水を持続的に開発し、上記協力体制の強化、充実に図るため、我が方に対し、地下水開発調査に係る制度の向上(深層地下水賦存量の把握、対象地域における水質・地盤沈下の現況把握及び地下水の人工涵養に係るパイロットスタディの実施等を含む)を図りつつ、対象地域内の湿地帯保全と地下水汚染等の関係等の環境面の考察を期待していることが判明した。
- (5) 本件調査の実施に際しては、EAAB が我が国経済協力に対して知識が薄く効率的かつ効果的な深井戸掘削、地下水の水質調査、関連データベースの管理及び測量調査等についても必ずしも十分なノウハウを有していないことから、本件調査の実施を通じて先方 C / P への効果的な技術移転を行う必要があり、先方からも強い要請があった。

1 - 3 調査目的

本件調査はコロンビア国の要請に基づき、ボゴタ市及び周辺市を対象とする地下水賦存量調査を行い、同地域における持続的な地下水開発計画を策定することを目的とする。今回の事前調査においては、上記調査に対する先方意図を確認するとともに、本格調査のための S / W を協議・署名することを目的とした。主な調査内容は以下のとおり。

- (1) コロンビア国側の意向及び実施体制の確認
- (2) 対象地域の地下水開発に係る現状及び問題の把握
- (3) S / W、M / M に係る協議及び署名
- (4) 他援助機関の援助動向の把握
- (5) 関連プロジェクト及び関連機関に対する情報収集
- (6) 本格調査の内容の検討

1 - 4 事前調査団の構成

氏名	担当分野	派遣期間	所属
松島 正明 Masaaki Matsushima (Mr.)	総括	8-Jul～15-Jul	国際協力事業団 社会開発調査部 社会開発調査第二課 課長代理
村山 博司 Hiroshi Murayama (Mr.)	調査企画	3-Jul～19-Jul	同課員
西元 弘隆 Hirotaka Nishimoto (Mr.)	水文／水理	3-Jul～24-Jul	住鉱コンサルタント（株）
山本 憲史 Norifumi Yamamoto (Mr.)	地質／ ボーリング計画	3-Jul～24-Jul	パシフィックコンサルタンツ インターナショナル（株）
菅野 喜巳 Yoshimi Sugano (Mr.)	通訳	3-Jul～24-Jul	国際協力センター 研修監理員

1-5 調査日程

日順	月日	曜日	宿泊地(官)	官ベース	役務提供団員	備考
					*国内作業(現地調査前5日間)	
1	7.3	月	ニューヨーク	東京発→ニューヨーク着 (NH010 10:30)		
2	7.4	火	ボゴタ	ニューヨーク→ボゴタ (CO1867 19:25)		
3	7.5	水	〃	在コロンビア日本国大使館、JICA事務所、国際開発庁表敬		
4	7.6	木	〃	上下水道公社表敬、S/W(案)提示・説明 ボゴタ市環境局表敬		
5	7.7	金	〃	米州開銀との意見交換 地質・鉱山研究所表敬		
6	7.8	土	〃	現地踏査		東京発→ニューヨーク着 (松島団長)CO1867 19:25
7	7.9	日	〃	現地踏査		ニューヨーク→ボゴタ
8	7.10	月	〃	S/W協議	資料情報収集	
9	7.11	火	〃	S/W協議	資料情報収集	
10	7.12	水	〃	M/M協議	資料情報収集	
11	7.13	木	〃	S/W署名		
12	7.14	金	〃	日本大使館報告、JICA事務所 報告	資料情報収集	
13	7.15	土	〃	現地踏査		ボゴタ→メキシコシティ (松島団長)
14	7.16	日	ワシントン(村山) ボゴタ(役務)	ボゴタ(AA916 10:16) →ワシントン	補足調査・資料情報収集	
15	7.17	月	ワシントン(村山) ボゴタ(役務)	JICA事務所打合せ 世界銀行との意見交換	〃	
16	7.18	火	〃	ワシントン(NH7421 8:00)→	〃	
17	7.19	水	〃	→東京	〃	
18	7.20	木	〃		〃	
19	7.21	金	〃		〃	
20	7.22	土	〃		ボゴタ(CO1866 9:25) →ニューヨーク	
21	7.23	日	ニューヨーク(役務)		ニューヨーク(NH009 12:15)	
22	7.24	月			→東京	
					*国内作業(現地調査後10日間)	

1 - 6 S / W・M / M 協議

(1) S / W、M / M 署名相手及び使用言語

- 1) S / W、M / M の署名相手方は、本件実施機関であるボゴタ市上下水道公社総裁とした。
また、援助受入機関である国際協力庁・計画局がコサイナーとして署名を行った。
- 2) S / W、M / M の使用言語は英語及び西語とした。ただし、正式言語はあくまで英語とし、同内容の解釈に双方の齟齬が生じた場合にも、英語の S / W、M / M を正式と解釈することにつき了承を得、M / M に記載した。

(2) 調査名

英文のタイトルとして“the Study on the Groundwater Development for the Bogota Plain in the Republic of Colombia”を提案したところ、先方より地下水の持続的開発を強調したい旨要望がなされたため、“the Study on the Sustainable Groundwater Development for the Bogota Plain in the Republic of Colombia”とした。西文タイトルは“de Estudio para el Desarrollo Sostenible de Recursos Hídricos Subterráneos en la Sabana de Bogotá la República de Colombia”とした。

(3) 実施機関

実施機関はボゴタ市上下水道公社であるが、本件調査の目的が対象地域における給水計画に資する地下水開発 M / P 策定であることから、上下水道公社以外にも関連機関が関係することが予想されたため、上下水道公社を中心とするステアリングコミッティを設立し、関係機関の調整や意見集約を行うよう提案したところ先方の了承を得、メンバー構成案とともに M / M に記載した。

(4) 本格調査の内容

1) 調査目的

当初 S / W 案では地下水賦存量調査、地下水開発計画の策定及び先方 C / P への技術移転の 3 点であったが、環境面への配慮について先方の強い要請があり、地下水開発に係る水質及び周辺地域の開発との関係等にも配慮する必要があると思料されることから「地下水に関連する環境現況調査」を加えた。

環境調査の内容としては水源付近の水質・底質に係る現況調査に加え、地盤沈下、地下水の継続的水質モニタリングとした。

2) 調査対象地域

当初先方要望は「首都ボゴタ市と隣接都市(ラ・カレラ、チア、カヒカ、ソボ、トカンシバ、

フンサ、モスケラ、マドリド等)」であったが、明確に要請書内に記載されていないため、先方に対し調査対象地域図の提出を求めた。右を検討した結果、我が方調査の目的、具体的協力範囲と照らし妥当であると思われたことからこれを S / W に ANNEX-I として添付した。

ただし、調査対象地域には市南部の Soacha、Sibate 等の危険地域が含まれるため、本格調査開始前に調査団の立ち入りの可否と同地域に対する調査方針について先方と協議を行う必要がある。

3) 目標年次

要請書には地下水開発計画策定に係る目標年次に関する記述がないが、ボゴタ市が策定した首都圏拡張計画の目標年次との整合性を勘案し、目標年次を 2015 年とすることを提案したところ先方の了承を得、M / M に記載した。

4) 調査期間

当初、地下水賦存量の調査として約 18 か月の工程を想定したが、先方が実施予定の試掘調査(3 年間で 10 本、うち本件調査にて施工監理を行う 1,000m 級の観測井 1 本を含む) 及び右に続く地下水モニタリングに係る技術移転を長期的(合計 6 年間)に実施してほしい旨先方より強い要請があった。右については、我が方開発調査スキーム及び予算の制約等を説明のうえ、観測井の整備に係る監理と初期モニタリングの実施について一部当方調査でフォローすることとし、約 30 か月の調査工程を提案のうえ、同期間内で実施される技術移転結果を踏まえ、以降のモニタリングは先方機関で実施することで合意した。

5) 調査項目

当初 S / W 案に追加した項目として、以下の項目があげられる。

- ・湿地帯等に係る環境現況調査(表流水、地下水、地盤沈下)
- ・地下水モニタリング(調査監理含む)
- ・既存水理・地質データベースの充実

水理地質図の改訂、EAAB による効率的な地下水情報の整理のために既存のデータベースの拡充を行う。右は INGEOMINAS が構築し、既に井戸 80 本分の位置(GPS で補足) 水位、地質、地形、帯水層種、土壤データ等を入力済みであり、本件調査にて得られる新たなデータ入力を行い、必要に応じ修正を行う。

- ・効果的な人工涵養に係るパイロットスタディの実施

地下水の揚水による地盤沈下を防ぐために先方は本件調査にて人工涵養を実施し、モニタリング項目に含める旨要望した。これに対し調査団より浄水場で処理した飲料水を地下へ戻すことはコスト的にフィージブルでないこと(そのまま供給する方が安価である) 技術的に目標帯水層に十分涵養されないこと、高次処理水であってもなお地下水を汚染する可能性があること等から実施は困難であることを説明した。

しかし、先方はあくまで人工涵養に係る技術移転を得たいことを説明のうえ、浅層地下水の過剰揚水から生じつつある地盤沈下を回復するため、若しくは深層地下水の利用を主として災害・緊急時における代替水源に限定して利用するため、人工涵養が不可欠であるとの意向を示した。結局、人工涵養の適用可能性を検証するため試験的事業として小規模に実施し、技術移転を図ることとし、調査項目に加えた。

(5) 調査実施体制

本格調査の効果的・効率的実施のため、技術移転の対象となる必要なカウンターパートの適正配置が不可欠である旨説明したところ、EAAB のほかに INGEOMINAS、DAMA、CAR メンバーの所属先を M / M に記載した。

(6) カウンターパート研修員の受入れ

カウンターパート研修について先方から要望があり、M / M にその旨記載した。

(7) 技術移転セミナー

技術移転セミナーについて当方より制度等について紹介したところ、先方から要望がなされたため M / M にその旨記載した。

(8) レポート

本件調査で作成するレポート(IC / R、IT / R、DF / R、F / R 等)については、英語及び西語版の作成を行うことで合意し、部数については先方意向を確認のうえ、S / W 記載部数を変更した。

また、ファイナルレポートは情報公開及び事業結果の効果的使用等に配慮し、原則公開とすることで了承を得た。先方からは本件調査に関係する機関が多岐にわたるため、公開することは不可欠である旨付言がなされた。

(9) コロンビア国側便宜供与

S / W 案に記載された先方政府の便宜供与事項については、異論なく提供されることを確認した。なお、便宜供与事項の法的根拠として日コ間の技術協力協定の存在を指摘したところ、同協定内容を保障する法令を S / W 中で参照を加える旨要望がなされたため、これを S / W の 表題に加えた。

具体的に EAAB 内でのオフィススペースや備品の提供、車両の提供等につき確認を行ったところ、供与がなされる旨回答を得、実際に調査団オフィススペースとなる部屋が事前調査

団員の執務室として提供されるなど、本格調査団の受入体制が整備されつつあることが確認された。

(10) 開発調査スキームの説明

本案件はボゴタ市上下水道公社をカウンターパートとする最初の開発調査であるため、開発調査の概要、具体的進め方等については、十分説明を行った。特に、事前調査終了後本格調査の開始前に至るプロセス等についても、十分説明を行った。

(11) 安全対策

安全対策については、協議に先立ち、コロンビア事務所からも調査期間中の十分な安全配慮を行い、南部地域等への立ち入りについては、事前に十分な協議を行うよう指示があったことから、先方に対し、本格調査団は JICA 安全対策ガイドラインに従い実査地点に立ち入らない場合があることを説明のうえ、調査開始前の具体的なプロジェクトサイトの選定及び調査期間中の安全配慮につき、先方実施機関が十分な関連情報を得、アドバイスをを行うよう求めたところ、先方は了承し、M / M に記載した。

1 - 7 世界銀行との意見交換

7月17日には世銀本部を訪問し本件調査の概要を説明のうえ、「コ」国ボゴタ市に対する水分野における同銀活動に係る実績の聴取、並びに本格調査における連携の可能性について協議を行った。協議概要は以下のとおり。

- (1) 世銀はボゴタ市上下水道公社に対し5年間にわたる投資プログラムを実施中であり、最終ステージの段階にある。内容は上水道管網及び下水処理施設整備、組織制度の強化等であり、投資規模は約500万米ドル。
- (2) 本格調査の実施にあたっては今年末に地方選挙が予定されているところ、EAAB 総裁の交代によっても調査の継続性が確保されるよう留意する旨指摘。
- (3) 世銀側は本件調査が現在不明であるボゴタ平原の深層地下水ポテンシャルを把握し、利用計画を策定する観点から意義は高いと思料する。本格調査時には JICA と継続して協議を行い情報交換を行うとともに、技術移転セミナー等技術移転の実施に対し協力を行いたい旨表明。

1 - 8 現地踏査報告

現地踏査は EAAB 企画部 Salazar 専門アドバイザー及び関連 C / P も同行のうえ、既存浄水場及び配水施設等に係る踏査を行った。

7月7、8日にはボゴタ川等の河川、貯水池、井戸等及び既存浄水場について踏査を行った。日本(円借款)及びドイツの援助を得て建設された、Vitelma 浄水場では取水地から貯水タンクに至る施設が整備され、自然公園の設立等を中心に周辺の自然環境に係る配慮もなされているように見受けられた。既存施設の設備は自動制御となっており、定期的に施設リハビリを行うなど維持管理体制についても良好な状態であった。特に、7,500 万 m³ に及ぶ貯水タンクは市街地の3か月分の水を確保することが可能であり、水供給に対する危機意識の高さをうかがわせた。

7 / 12 にはEAAB アレンジにより、ヘリコプターによる上空からの市内視察を実施した。ボゴタ川上流の水質環境については、先方説明によると比較的良好な状態であるが、下流付近では油脂の漂流も見られ、都市排水の未整備等による水質汚濁が進行しているように思われた。

また、市北部及び中心部等にはコネハラ湿地帯等貴重な生態系を有する自然資源が存在し、現時点では比較的汚染は制御されつつある印象を受けた。しかしながら、湿地帯の周辺には不法居住者の住居が散在し、未処理排水等の流入も見られることから、本件調査における環境現況調査を可能な限り実施する必要性を感じた。一方、市南部の山岳沿いにはボゴタ市外から流入する貧民層が居住する地区が点在し、市街地の高層ビル群とは明確な対比を呈していた。実際、南部地区には強盗団あるいは殺人等の凶悪犯罪が多数発生しており、上空からも周辺地域の治安が不安定である様子が見て取れたことから、本件調査の実施に際しては、安全対策に万全の配慮を行う必要があると思料された。

第2章 調査対象地域の概要

2 - 1 一般

2 - 1 - 1 コロンビア共和国

コロンビア国は南アメリカの北端に位置し北緯 $12^{\circ}27'46''$ ~ 南緯 $4^{\circ}13'30''$ 、西経 $66^{\circ}50'54''$ ~ $79^{\circ}01'23''$ にあり、中央アメリカのパナマ共和国と接するほか、ヴェネズエラ共和国、ブラジル連邦共和国、ペルー共和国、エクアドル共和国に周囲を囲まれている。国の東西中央部に南西 - 北東方向に連続するアンデス山脈を頂き、その西部はカリブ海と太平洋に面し、東方はジャノと呼ばれる平原地帯になっている。アンデス山脈は3つに分かれて雁行し、ジャノはアマゾン川、オリノコ川の太平洋へ続く。

このような地形に影響され、標高は0m から 5,700m 以上に及び、気候は西部の海岸地域では高温多湿の熱帯性、標高 1,000 ~ 1,500m の地域は 20 前後の亜熱帯性、1,500 ~ 3,000m の地域は常春の温帯性、3,000m 以上の地域は1日の気温の変化が大きい寒冷性である。

行政区は1特別市、23州に区分され、首都はクンディナマルカ州内部に位置するサンタフェ・デ・ボゴタ特別市である。同市の気象標準点は北緯 $4^{\circ}42'$ 、西経 $74^{\circ}08'$ にあり、標高 2,548m とされている。

コロンビア国の面積は $1,138,914\text{km}^2$ 、人口は 35,886 千人(1993 年)に及び、主産品はコーヒー、林産・水産品、石油製品、繊維・衣類品、石炭等であり、その他エメラルドを産することで有名である。

2 - 1 - 2 調査対象地域

本事前調査の調査地域は、東部アンデス山脈と交差する形で南南西 - 北北東方向に伸張するサンタフェ・デ・ボゴタ特別市(以後ボゴタ特別市と表す)の北端部のいわゆる“サンタフェ・デ・ボゴタ市(以後ボゴタ市と表す)”と、コロンビア国のほぼ中央に位置するクンディナマルカ州のうちボゴタ市に隣接する村地域である(図2 - 1)。

本事前調査地域の面積は $4,305\text{km}^2$ 、ボゴタ特別市の人口は 1993 年の国勢調査で 631 万 4,305 人、クンディナマルカ州の人口は 186 万 803 人であるが、調査対象地域では近年 700 万人以上に及び 2015 年ごろには 900 万人に達すると推計されている。

2-2 気象及び水系

この地域は、雁行するアンデスのうち東部山脈¹⁾と呼ばれる最も東側の山脈とその西麓に形成されたボゴタ平原と呼ばれる標高 2,500 ～ 3,000m の地域である。

ボゴタ市の気温は年間を通じて 12 ～ 14℃、湿度 68 ～ 76%、降雨は月平均降雨量が 32 ～ 110mm の間で年間を通じてあり、3 ～ 6 月及び 9 ～ 11 月が他の月に比較してわずかに多い降雨量を示している。しかし年間降雨量は 772mm 程度で決して多くはない。

表 2-1 ボゴタ市の気候

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
平均 気温(℃)	12.7	13.0	13.6	13.7	13.7	13.3	13.0	12.9	13.0	13.2	13.1	12.8	13.2
降雨量 (mm)	32.3	37.0	59.7	104.3	88.4	64.8	39.6	40.9	61.6	110.6	87.7	45.1	772.0
平均 湿度(%)	73	73	68	76	75	72	71	71	72	75	77	75	73

ボゴタ平原は南西－北東方向に伸張し、一見盆地状にも認められる。平原内部の大部分の地域は平坦で、東部山脈に平行な小高い山並みが残存し、平原内部の地質構造の複雑さを示している。平原の平坦部には小規模なボゴタ川が蛇行して北東から南西に流れ、調査地域の南西部ムニヤダムの近隣から地域外北西方に流路を変え、更に南西方に湾曲してコロンビア国最大で北方に流れるマグダレナ川に合流する。

ボゴタ川は小川程度の小規模河川であるが、調査地域内で更に小規模な支流を伴う。それらのうち東岸の主な支流は次のようなものである。

- ① トウンフェロ川
- ② フチャ川
- ③ ファンアマリージョ川

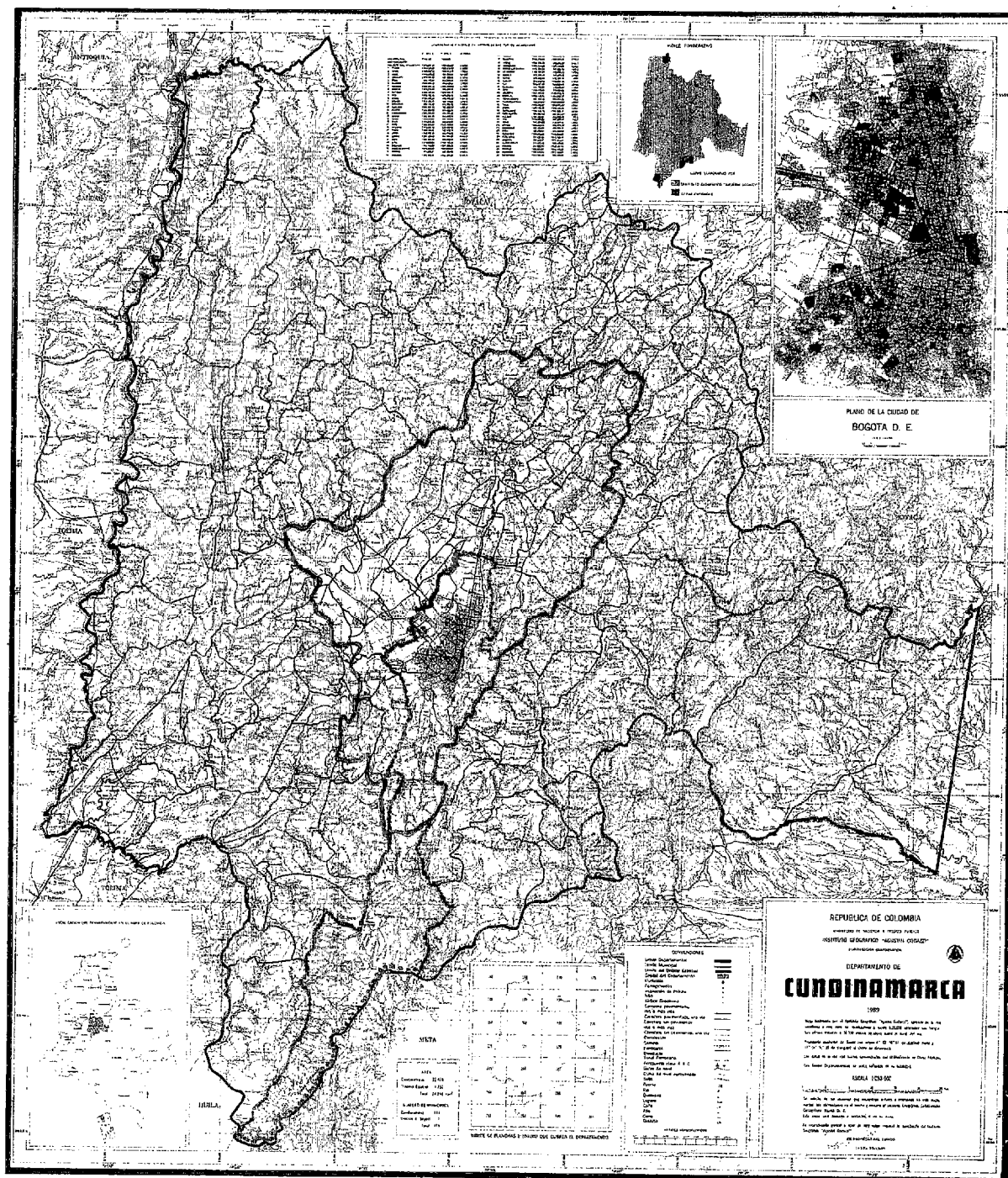
西岸の主な支流は下記のようなものである。

- ④ バルシージャス川
- ⑤ チク川
- ⑥ フリオ川
- ⑦ チェクア川
- ⑧ テウサカ川

本案件に関連するこのほかの小河川として、

- ① サンクリストバル川
- ② スワチョケ川

1) 地質の項で述べる“東部山脈地域”のなかで、より東部の山岳地形地帯を意味する。



ボゴタ特別市

クンティナマラ州

調査対象地域

図 2 - 1 調査対象地域

ポテイジョ川等

エルビノ川

等があるが、それらの大部分は日本人がイメージする川とは程遠いものである。これらの河川は傾斜のない平原に多数の湿原を形成され、湿原はボゴタ市とその周辺の貴重な遺産として配慮されている。市町村の集落は湿原を避けるように形成され、近年、湿原に配慮した自転車道等を含むエコシステム的な公園建設が計画されている。

2 - 3 地形、地質、水理地質

2 - 3 - 1 地 形

コロンビア国は西部あるいは北部から、地形学的に次の5つの地域に区分される。

カリブ地域

太平洋地域

アンデス山脈地域

東部 - オリノキア平原地域

アマゾン地域

アンデス山脈地域はコロンビア国の最高峰を形成し、その他の地域は山脈の両翼を構成する。アンデス山脈地域は互いに北北東 - 南南西方向に伸張する“西部山脈地域”、“中央山脈地域”、“東部山脈地域”の3つの山脈地域に細分され、それらは北北東上がりの雁行状に配列し、コロンビア国の中央部を北北東 - 南南西方向に貫く。

これらを含むアンデス山脈地域の標高は500 ~ 5,750m、その他の地域の標高は一般に500m以下である。アンデス山脈地域の標高500m以上の地域は急激に高度を増すため平面的な広がりとは比較的小さく、500m以下の地域は緩傾斜であるため非常に広大な広がり呈する。

調査対象地域が含まれるクンディナマルカ州の西側の州境界は、中央山脈地域と東部山脈地域の境界になっているマグダレナ川沿いである。したがって調査対象地域は、東部山脈地域のなかで西側の位置を占め、そのなかで“東部山脈²⁾”の西部山麓にあたる。山岳という感じが少なく、北東 - 南西方向に延びる帯状あるいは盆状を呈する平原地帯である。一方で調査対象地域の東部から更に東方へは急峻な山岳地形を呈し文字どおりの山脈となる。

2 - 3 - 2 地 質

調査対象地域の地質は、白亜系、第三系、第四系の地層で構成される。基盤岩は先カンブリア系とされるが、調査対象地域周辺には分布せず、地下の構造も確認されていない。

調査対象地域は、原生代(先カンブリア紀)及び古生代に相次ぐ造山運動を受け複雑な構造を

1) “東部山脈地域”のなかで山岳地形を呈する地域を狭義の東部山脈と呼ぶ(“地域”を付記しない)。

呈した後沈降し、白亜紀の初期には浅い海洋で覆われていた。この地域は次第に沈降の傾向を強め、その沈降部を埋めた海洋堆積物の厚さは1万6,800mに達したとされている。

白亜紀後期に海洋底は次第に後退を始め、古第三紀になるとそれまで海底であった地域の一部は陸域となって石炭層となる堆積物の堆積が始まった。新第三紀早期の中新世には褶曲運動や断層運動のためにそれらの堆積地域は更に上昇し、調査対象地域の地質構造の大枠が形成された(図2-2)。調査対象地域は、鮮新世に至って安定期となり更新世に至るまで氾濫原及び湖沼化した。湖底あるいは水底には、広域的には粘土の堆積が、局所的には砂の堆積が続き、その年間の堆積層厚は0.2mm程度であったとされている。鮮新世から更新世に至る地層の全層厚は現在までに確認されたもので平均250～300m、厚い部分で650m以上に達しているが、第四系の下限は完全には把握されていない。

調査対象地域の地質はこのような地史を反映した地層で構成され(表2-2)、白亜系を実質的な基盤として次のような地層が分布する。

白亜系：Chipaque層、Guadalupe層群

第三系：Guaduas層、Cacho層、Bogotá層、Regadera層、Usme層

第四系：Tilata層³⁾、Subachoque層、Sabana層

白亜系は、新第三紀中新世の褶曲運動や断層運動のためにブロック状に細分され(地塊化)複雑な構造を呈している。第三系はそのブロックごとに異なった条件で堆積したため、連続性に乏しく、層厚は地域によって様々である。第四系は安定期に氾濫原あるいは湖沼化した地域に徐々に堆積したため、細粒物質に富み局所的に砂礫を伴う。

(1) 白亜系

1) Chipaque層

上部白亜紀の海成層である。明ないし暗色を呈する頁岩から成り、砂岩層を挟有し、局所的に石灰岩を伴う。全層厚は800mとされているが詳細は明らかではない。

2) Guadalupe層群

帯水層として注目されている。上部白亜紀の海成層である。堅硬な脆い砂岩から成り、シルト岩層及び粘土岩あるいは頁岩層を挟有する。全層厚は750mとされているが詳細は明らかではない。

3) Tilata層については一般に第四系とされているが第三系とする意見もある。

表 2 - 2 調査地域の層序図

代/(界)	紀/(系)		世/(統)	(地層名)		
新生代	第四紀		完新世 更新世	Sabana 層 Subachoque 層 Tilata 層		
	第 三 紀	新第三紀	鮮新世			
			中新世			
		古第三紀	漸新世	Usme 層		
			始新世	Arenisca de la Regadera 層		
			暁新世	Bogotá 層		
				Arenisca del Cacho 層		
				Guaduas 層		
			Guadalupe 層群			
中生代	白 垩 紀		後	Villeta 層	Chipaqué 層	
			前		Une 層	
					Fómeque 層	
					Cáqueza 層群	
	ジュラ紀					
	三 疊 紀					
	古生代	ペ ル ム 紀				
		石 炭 紀	後			
			前			
		デ ボ ン 紀				
シ ル ル 紀						
オルドビス紀						
カンブリア紀						
原生代	先カンブリア紀		先カンブリア系			
始生代						

調査対象地域に存在する地層

(2) 第三系

1) Guaduas 層

上部白亜紀ないし暁新世の陸成層あるいは海成層である。粘土岩、頁岩から成り、砂岩あるいは石炭層を挟有する。全層厚は 700m とされているが詳細は明らかではない。

2) Cacho 層

砂岩層を挟有するため、重要と思われるが連続性に乏しいためか、本案件では Guadalupe 層群や後述の Tilata 層ほど話題になっていない。

3) Bogotá 層

帯水層としては注目されていない。上部暁新世ないし下部始新世の陸成層である。砂岩やシルト岩と互層する雑色の粘土岩である。全層厚は 1,600m とされている。

4) Regadera 層

帯水層としては注目されていない。中部始新世の陸成層である。砂岩及び礫岩から成り、粘土岩層を挟有する。全層厚は 450m とされている。

5) Usme 層

帯水層としては注目されていない。上部始新世ないし下部漸新世の陸成層ないし海成層である。砂岩層を挟有する粘土岩である。局所的に褐炭を挟有する。全層厚は 300m とされている。

(3) 第四系

1) Tilata 層

帯水層として注目されている。下部 Tilata 層及び上部 Tilata 層から成り、下部 Tilata 層は更に Tequendama 部層と Tibagota 部層に細分される。

(A) Tequendama 部層；下部 Tilata 層

固結した河川性砂礫である。局所的に(有機質)粘土層及びピート層ないし褐炭を挟有したり、局所的に弱い構造運動の影響を受けている。

(B) Tibagota 部層；下部 Tilata 層

河川性砂礫である。局所的にピート層ないし褐炭を挟有する。比較的粗粒な層は強い赤色や紫色を呈したり斑点を伴うことがある。Subachoque 谷ではこの堆積物は平坦化された礫層で覆われている。局所的に弱い構造運動の影響を受けている。

(C) 上部 Tilata 層

湖底あるいは河川性堆積物の複合体である。灰色あるいは緑色の(砂質)粘土、有機質粘土、シルト、(粘土質)砂から成る。局所的にピート、礫、白色あるいは多色の珪藻性粘土層を挟有し、局所的に弱い構造運動の影響を受けている。

2) Subachoque 層

湖底あるいは河川性堆積物の複合体である。(砂質)粘土、有機質粘土、ピートから成り、(粘土質)砂層、(粘土質)砂と礫層と互層をなす。河川性礫は大部分が“融氷流水堆積物”源のものである。半鋭角の斜面堆積物は境界となっている丘陵の近くに挟在している。

Guasca 谷ではこの堆積物は平坦化された礫層で覆われている。Rio Tunjuelito 層の一部層である。

3) Sabana 層

湖底粘土から成る。堆積盆の外縁部に向かって有機粘土、ピート、砂質粘土、(粘土質)砂の挟有物が増加する。Rio Tunjuelito 層の一部層である。

2 - 3 - 3 水理地質

本案件対象地域の地質は表 2 - 3 のようなもので構成され、そのなかで主要な帯水層はアミカケで示した Tilata 層、Cacho 層、Guadalupe 層群である。第三紀の Cacho 層の帯水層は既に地下水開発が行われているうえ、分布が局所的で小規模であるため本案件の対象にはなり難く、第四紀の Tilata 層は花卉園芸や工業用水として開発率が既に 97%に達し、一部で地盤沈下が生じ始めているなど、新たな地下水開発の対象とするには問題がある。

白亜紀の Guadalupe 層群は Tilata 層に代わる次期帯水層として期待されているが、現在東部山脈麓付近で地下浅所の一部分が確認されているにすぎず、ボゴタ平原中心部では Guadalupe 層群まで達した既存のボーリングが皆無に近いため(図 2 - 3、図 2 - 4) Guadalupe 層群の構造は不詳である。

そのため Guadalupe 層群の構造を明らかにして同層群の地下水資源開発可能性を明確にし、ボゴタ市上下水道公社の水資源開発計画に資することが本案件の主な目標である。

ボゴタ平原の地質單元ごとの推理地質学的特性は表 2 - 3 のとおりである。

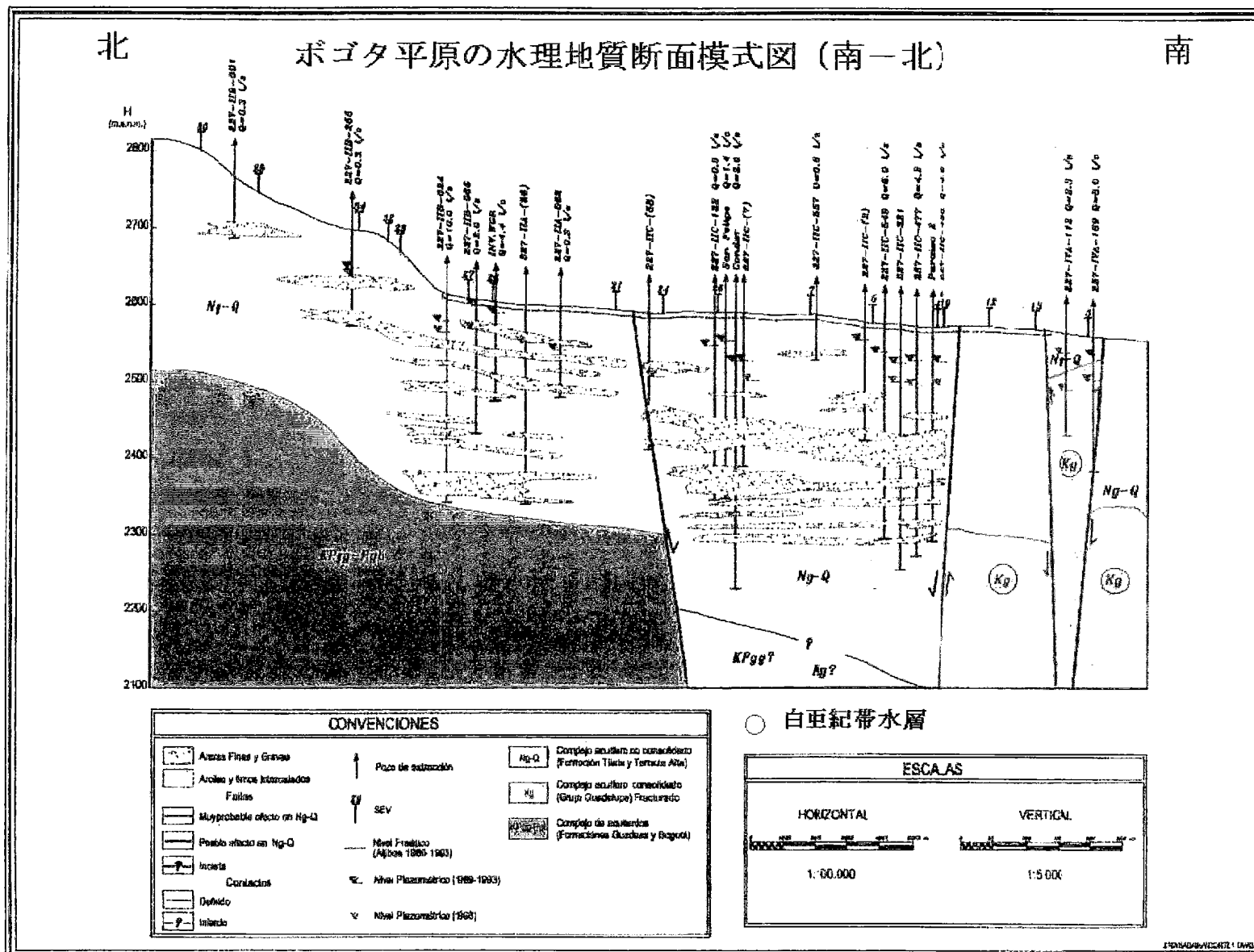


図 2 - 3 ボゴタ平原の水理地質断面図（南—北）

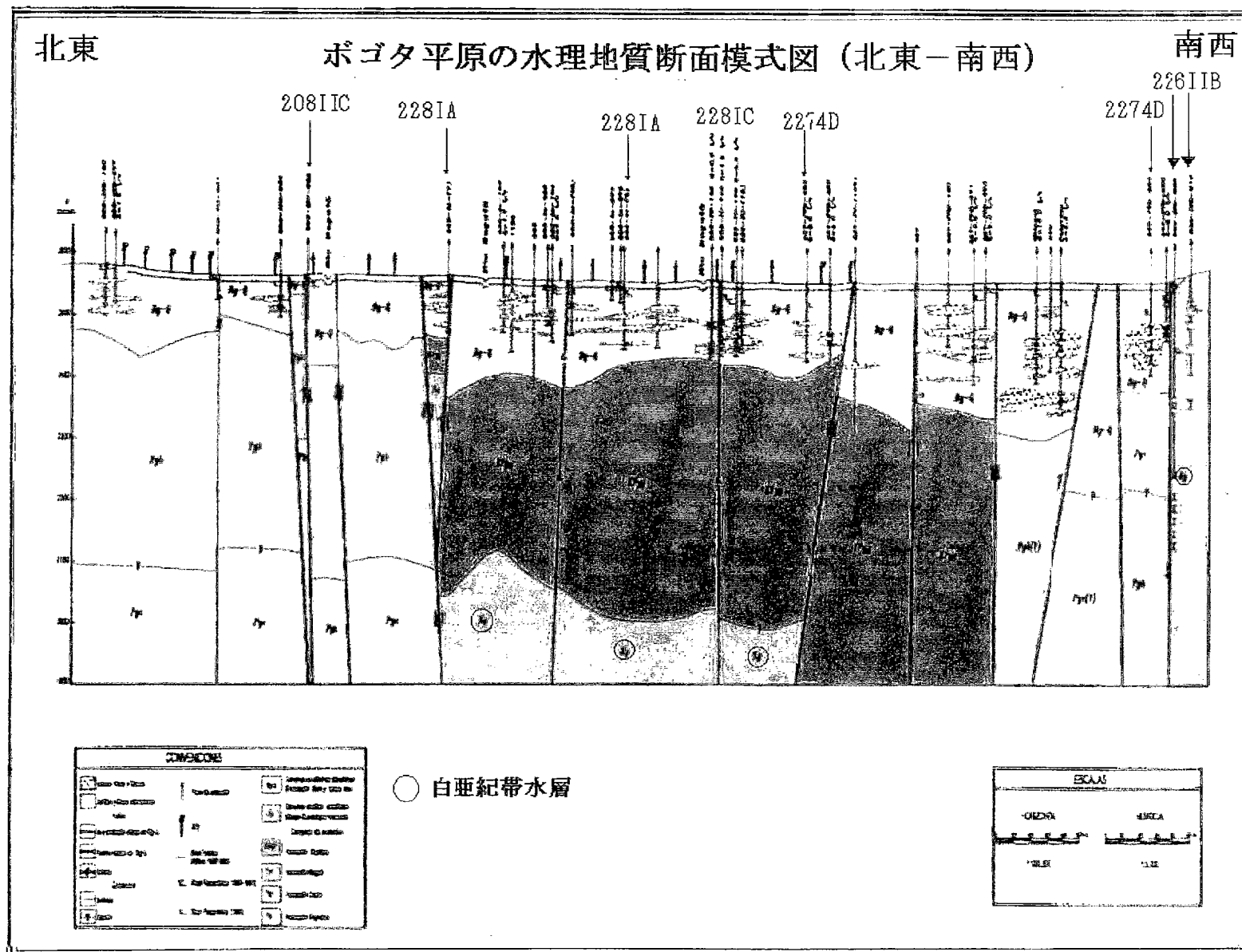


図 2 - 4 ボゴタ平原の水理地質断面図（北東－南西）

表 2 - 3 ボゴタ平原の地質単元ごとの水理地質学的特性

時代	地層名	地下水の種類	帯水層の種類	空隙率	透水量係数 m ² /d	平均産水量 lts/s	井戸の深度 m	帯水層の 広がり
第四紀層	Sabana F.	層状又はレンズ状砂の層状水	不圧又は被圧	主要	5 ~ 350	0.5 ~ 25	50 ~ 600	帯域
	Subachoque F.	層状砂礫の層状水						
	Tilata F.	層状砂礫の層状水						
	Usme F.	砂岩層						
第三紀層	Regadera F.	砂岩層	被圧	主要	< 3	< 1	< 100	局地
	Bogota F.	砂岩層						
	Areniscas del Cacho F.	砂岩						
	Guaduas F.	砂岩の割れ目						
白亜紀層	Guadalupe G.	砂岩の割れ目	主要 ~ 副次的	主要 ~ 副次的	4 ~ 600	Feb ~ 40	< 100 ^{*1}	帯域
	Chipaue F.	頁岩の割れ目		副次的	5	0.1 ~ Feb	100 ~ 600	

INGEOMINAS 資料

*1: 現時点で東部山地麓で確認されているもの。本案件ではボゴタ平原の中心部の調査が対象。

これに対して、地下水の自然涵養と地下水利用はボゴタ市上下水道公社により表 2 - 4 のとおり報告されている。

表 2 - 4 地下水涵養量の試算

項 目	区 分	涵養量/揚水量 lts/s
地下水涵養量 lts/s	山 間 部	583
	南 部 地 域	271
	河 川	15
	合 計	869
地下水揚水量 lts/s	第 四 紀 層	376
	白 亜 紀 層	580
	合 計	956

EAAB による

表 2 - 4 は一見、水収支の均衡がとれていないことを示しているように見える。

しかしこの表では、主として山間部及び南部地域から白亜紀の Guadalupe 層群への涵養量が意識され、河川以外の広大な平原域から第四紀層への涵養量が考慮されていない。

これに対して、地下水利用では、第四紀層からの揚水可能量の97%を既に利用しているといわれるなかで、表2 - 4によるとその揚水量は全地下水揚水量の39%に達している。

第四紀層からの揚水量が全地下水揚水量の39%に達しているにもかかわらず、第四紀層への涵養量が考慮されていないことは、地下水涵養量と地下水揚水量の計算基礎が異なっていることになるため、計算基礎を近似させる必要がある、そのためには、地下水涵養量では“河川”を除く854 l/secを、地下水揚水量では白亜紀層の580 l/secを比較する方が妥当であり、この比較では地下水開発の可能性は残されている。

しかし、いずれにしても試算モデルの仮定が現実離れしたものになっているため、本格調査ではGuadalupe層群の構造を明らかにして水収支について詳細な検討を行うことが必要である。

そのためには、収集資料の & “ボゴタ市上下水道公社(1999年)⁴⁾”、“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO EN LA PERIFERIA DE SANTA FE DE BOGOTA Y EN ALGUNAS POBLACIONES CERCAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA”、“PROYECTO ; Estudio Hidrogeológico Cuantitativo en la Sabana de Bogotá”、“各種図面”及び“ELABORACION DEL MODELO HIDROGEOLOGICO DE LOS ACUIFEROS DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.”等の資料の再検討が効率的であると思われる。

2 - 4 社会・経済

2 - 4 - 1 社会

1499年コロンブスの航海に参加したアロンソ・デ・オヘーダがこの国を発見し、1717年にはスペインのヌエバグラナダ副王領となったが、18世紀後半から独立を求める民衆の活動が活発化し、1810年7月に民衆は独立宣言を行って副王を追放した。シモン・ボリーバルが1819年にスペイン軍を破り同年8月に実質的な独立を達成し、同年パナマ、ヴェネズエラ、エクアドルを包含する大コロンビア共和国が誕生したが、ヴェネズエラ、エクアドルが1830年に、パナマが1902年に大コロンビア共和国から分離独立し、これに伴ってコロンビア国は1831年に新グラナダ共和国、1836年にコロンビア合衆国、1885年にコロンビア共和国と改名している。現在コロンビア国では独立は1810年7月20日とされている。

アロンソ・デ・オヘーダがこの国を発見する以前には、インディオの首長国だけが存在していたが、スペインの征服後スペインとインディオの混血化が進み、さらに黒人奴隷とインディオの混血化も進行した。このためコロンビア国にはインディオ、メスティーソ、ムラート、白人、黒人の人種が混在し、それぞれの比率は多い順にメスティーソ(43%)、白人(30%)、ムラート(18%)、黒人(8%)、インディオ(2%)となっている。気候が温暖な山岳地帯や高原には白人、かつて山地に追い込められたインディオ、メスティーソが住み、熱帯・亜熱帯性気候の低

4) INVESTIGACIONES HIDROGEOLOGICAS EN SANTA FE DE BOGOTA, D.C.* Revisión 1 & Revisión 2

地や海岸地域にはムラートと黒人が暮らしている。

これらの民族は比較的穏健な気質ではあるが、地勢の関係で各地域が孤立的に発展してきたため閉鎖的な面も持ち合わせており、地域によってかなりの違いが見られる。

一般的な傾向としては個人主義的な性向が強く、詳細な計画の下に組織的に業務を遂行することには関心が低く、大枠のガイドラインに基づいて仕事をする 것을好み、基本的な理念や考え方については雄弁に議論する傾向があるといわれている。

コロンビア国の独立は植民地を新興した勢力の宗主国からの独立といった側面があり、そのためコロンビア国の大衆意識には下から上への改革という民主的風潮が存在するといわれている。

また、富の偏在に起因する貧困からの脱出願望や、平等社会の建設願望意識が大衆に存在するといわれる反面、エメラルド取引やコカインの地下経済構造等の影響で一種の拝金主義や価値観、倫理観の麻痺などの社会現象があるといわれている。

コロンビア先住民の文化はインカ文明の影響を受けてはいるがインカ文明の中心地であったペルーからは辺境の地であったため影響力が弱かったことや、スペイン征服後のスペイン文化と先住民文化や黒人奴隷文化との融合の影響が強かったことから、文化的にはスペイン的、宗教的にはカトリック教的雰囲気強く、ボゴタ市内には市街地の各所に多数のカトリック教会が林立している。

東部山脈地域に位置するボゴタ特別市地域の人々はボゴターノと呼ばれ、コロンビア国の政治と文化を担っていると自負し、中央山脈地域西側のアンティオキア地方の人々はアンティオケーニョと呼ばれ、地場産業である工業、農業、金融経済に強く、そのため自地域の利益を優先する姿勢が強いといわれている。

コロンビア国の人口は1993年の国勢調査では35,886千人、1985～1993年の年間人口増加率は2.4%である。これに対してボゴタ市の人口は同国勢調査で5,238千人、1985～1993年の年間人口増加率は3.3%、クンディナマルカ州の人口は1,756千人、1985～1993年の年間人口増加率は2.3%である。

ボゴタ市上下水道公社がTEAコンサルタントに委託した“水需要に関するプロジェクト実践、1999”によると、ボゴタ市の人口は1994年以後表2-5のように増加し、1999年の人口を624～640万人と予測している。さらに同表は西暦2020年までの人口予測を行い、2015年には839～950万人に達すると予想されている。

表 2－5 ボゴタ市の人口予測

西暦	最大規模推計	中規模推計	最小規模推計
1994	5, 581, 211	5, 557, 567	5, 533, 898
1995	5, 743, 635	5, 713, 236	5, 682, 838
1996	5, 902, 741	5, 859, 861	5, 818, 032
1997	6, 066, 255	6, 010, 249	5, 956, 442
1998	6, 234, 299	6, 164, 496	6, 098, 145
1999	6, 406, 997	6, 322, 702	6, 243, 219
2000	6, 584, 480	6, 484, 968	6, 391, 744
2001	6, 758, 000	6, 637, 212	6, 526, 087
2002	6, 936, 092	6, 793, 031	6, 663, 254
2003	7, 118, 877	6, 952, 508	6, 803, 304
2004	7, 306, 480	7, 115, 728	6, 946, 298
2005	7, 499, 026	7, 282, 781	7, 092, 297
2006	7, 684, 887	7, 436, 871	7, 221, 838
2007	7, 875, 354	7, 594, 222	7, 353, 745
2008	8, 070, 542	7, 754, 901	7, 488, 062
2009	8, 270, 567	7, 918, 981	7, 624, 831
2010	8, 475, 550	8, 086, 532	7, 764, 099
2011	8, 671, 958	8, 239, 069	7, 885, 540
2012	8, 872, 918	8, 394, 483	8, 008, 880
2013	9, 078, 535	8, 552, 829	8, 134, 149
2014	9, 288, 916	8, 714, 161	8, 261, 377
2015	9, 504, 173	8, 878, 537	8, 390, 596
2016	9, 705, 400	9, 026, 598	8, 502, 019
2017	9, 910, 887	9, 177, 128	8, 014, 921
2018	10, 120, 724	9, 330, 168	8, 729, 322
2019	10, 335, 005	9, 485, 760	8, 845, 243
2020	10, 553, 822	9, 643, 947	8, 962, 703

2－4－2 経 済（土地利用、産業を含む）

コロンビア国は世界第2のコーヒー生産国といわれるだけにコーヒー産業に対する依存度が極めて高いが、コーヒー価格の変動で輸出額にも変動がある。輸出産品はかつて石油、コーヒー、バナナ（プラタノを含む）、花卉、エメラルド等といわれていたが、近年石油は輸入傾向にある。石炭の埋蔵規模は南米最大といわれている。

1970年代には鉱業育成政策がとられ、コーヒーを主としたモノカルチャーから脱皮を図り、1980年代には石炭、石油、金の生産が著しく増加したため、鉱業のGDP比は1980年に2.3%であったものが、1990年には8.0%に達した。しかし近年は国内の政情不安定のため鉱業政策は停滞気味のようなのである。コロンビア国は地中海ミバエの汚染地帯であるため、これが果実輸出の障害となっている。

コロンビア国の1994年の貿易額は次のとおりである。

表2-6 コロンビア国の貿易額

輸 出		輸 入	
主要品目	輸出額 10 ⁶ ドル	主要品目	輸入額 10 ⁶ ドル
コ ー ヒ ー	23.7	機会・輸送機器	46.7
林産品・水産品	14.8	化 学 品	19.1
石 油 製 品	14.7	野 菜 加 工 品	6.3
繊 維 ・ 衣 類	9.5	金 属 類	5.5
石 炭	6.6	石 油	3.8

世界各国要覧9訂版 より

コロンビア国の経済政策は国家開発計画に基づいて行われており、住宅建設、経済社会インフラストラクチャー、農地改良等に重点が置かれている。1996年の国民総生産（GNP）は801.7億米ドル、1人当たりのGNPは2,140米ドルに達しているが、富の偏在のために貧困層といわれる階層の人口は多い。

2-5 地域生活実態（生活サイクル、家計、収入源、衛生状況など）

ボゴタ市⁵⁾によると、ボゴタ市には全国の人口の15%に相当する620万人が暮らし、人口密度はアメリカ大陸で最も高い値の1つといわれ、3,529人/km²に達している。年齢別人口分布では0歳から35歳までの世代が多数を占め、それ以上の世代は急減しているが、0歳から35歳までのなかでは、0歳～5歳未満の幼児期の人口は多いものの、5歳から10歳未満の人口が急減しており、乳幼児期の死亡率が高いことを示している（図2-5）。

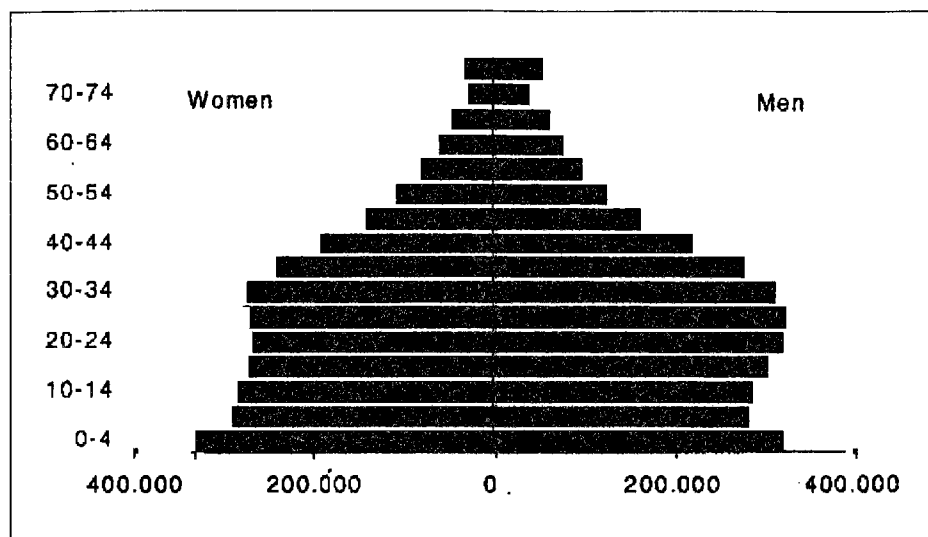
コロンビア国23州⁶⁾の全世帯数をデシル区分したデシル世帯域別可処分月収は表2-7、図2-6、図2-7のとおりである。

全23州の世帯数は360万世帯、月収入総額1兆9,380億ペソ⁷⁾に達し、その算術平均値は5万3,833ペソ/世帯である。しかし、これらの全世帯を可処分月収を基にデシル世帯域に区分すると、デシル1からデシル7までの世帯域（69.3%）の総収入は6,806億600万ペソ（35.1%）であるのに対して、デシル8からデシル9までの世帯域（19.8%）の総収入は5,172億7,500万ペソ（26.7%）、

5) Bogota City Hall Foreign Affairs (1999) ; DATA SHEET included in the pamphlet of the "BOGOTA; Bogota 2,600 meters closer to the stars"

6) コロンビア国23州：Bogotá, Medellín, Cali, B/quilla, B/manga, M/zales, Pasto, Cartagena, Cúcuta, Neiva, Pereira, Montería, Villavicencio, Tunja, Quibdó, Popayán, Ibagué, Valledupar, Sincelejo, Riohacha, Florencia, Santa Marta y Armenia.

7) コロンビアペソ1C\$= J¥ 0.0522 (2000年7月)



Source: National Administrative department of Statistics, DANE

図 2 - 5 ボゴタ市の年齢別・男女別人口 (1998)

デシル 10 の世帯域 (9.9%) の総収入は 7,401 億 1,900 万ペソ (38.2%) である。

しかし、下記のような状況から、デシル 10 の世帯域のなかで最高域付近に属するごく一部の世帯がデシル 10 の総額の大部分を得ていると考えられる。

各デシル世帯域の月収入平均額は、デシル 1 からデシル 7 までの世帯域では 27 万 2,612 ペソ、デシル 8 からデシル 9 までの世帯域では 72 万 5,170 ペソ、デシル 10 の世帯域では 207 万 5,151 ペソである。

デシル 1 からデシル 7 までの世帯域の月収入平均額 (27 万 2,612 ペソ) に対する、デシル 8 からデシル 9 までの世帯域の平均額の倍率は 7.6 倍、デシル 8 からデシル 9 までの世帯域の平均額に対するデシル 10 の世帯域の平均額の倍率は 2.9 倍に過ぎない。

これに対して最大月収入額では、図 2 - 7 に見られるように、デシル 1 ~ 9 間の世帯域では極端な差が見られないのに対して、デシル 10 の世帯域の最大月収入額は、デシル 1 の最大月収入額の 269.3 倍、デシル 8 ~ 9 の 35.5 倍となり、群を抜いて高くなっている。

これは、デシル 10 の世帯域のなかで最高域付近に属するごく一部の世帯が、デシル 10 の総額の大部分を得ているためである。

表 2-7 可処分月収に基づくデシル世帯域別月別収入（全国 23 州）

収入別デシル世帯	世帯数合計	収入合計 100万Pesos	Pesos			比 率			
			最小収入額	最大収入額	平均収入額	世帯数	収入額	累積世帯数	累積収入額
23州の合計	3, 604, 775	1, 938, 000	1, 458	38, 833, 333	543, 378	100. 00%	100. 00%	0. 00%	0. 00%
デシル 1	356, 659	36, 461	1, 458	144, 179	102, 230	9. 90%	1. 90%	9. 90%	1. 90%
デシル 2	356, 658	60, 091	144, 179	193, 072	168, 483	9. 90%	3. 10%	19. 80%	5. 00%
デシル 3	356, 658	76, 368	193, 072	239, 333	214, 121	9. 90%	3. 90%	29. 70%	8. 90%
デシル 4	356, 658	93, 569	239, 333	290, 000	262, 349	9. 90%	4. 80%	39. 60%	13. 70%
デシル 5	356, 658	112, 634	290, 000	348, 333	315, 805	9. 90%	5. 80%	49. 50%	19. 50%
デシル 6	356, 658	135, 513	348, 333	416, 333	379, 952	9. 90%	7. 00%	59. 40%	26. 50%
デシル 7	356, 658	165, 970	416, 333	517, 220	465, 349	9. 90%	8. 60%	69. 30%	35. 10%
デシル 8	356, 658	213, 119	517, 220	691, 667	597, 546	9. 90%	11. 00%	79. 20%	46. 10%
デシル 9	356, 658	304, 156	691, 667	1, 093, 325	852, 794	9. 90%	15. 70%	89. 10%	61. 80%
デシル10	356, 658	740, 119	1, 093, 325	38, 833, 333	2, 075, 151	9. 90%	38. 20%	99. 00%	100. 00%
資料なし	38, 194	-				1. 10%		100. 10%	

出所

DANE : Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos 1994-1996

消費 : 使用人及び寄宿人以外の全ての世帯構成員で構成。

23 州 : Bogota, medellin Call, B/quilla, B/manga, M/zares, pasto, Cartagena, Cucuta, Neiva, pereira, Monteria, Villavicencio, Tunja, Quibdó, Popayán, Ibagué, Valledupar, Sincelejo, Riohacha, Florencia, Santa Marta y Armenia.

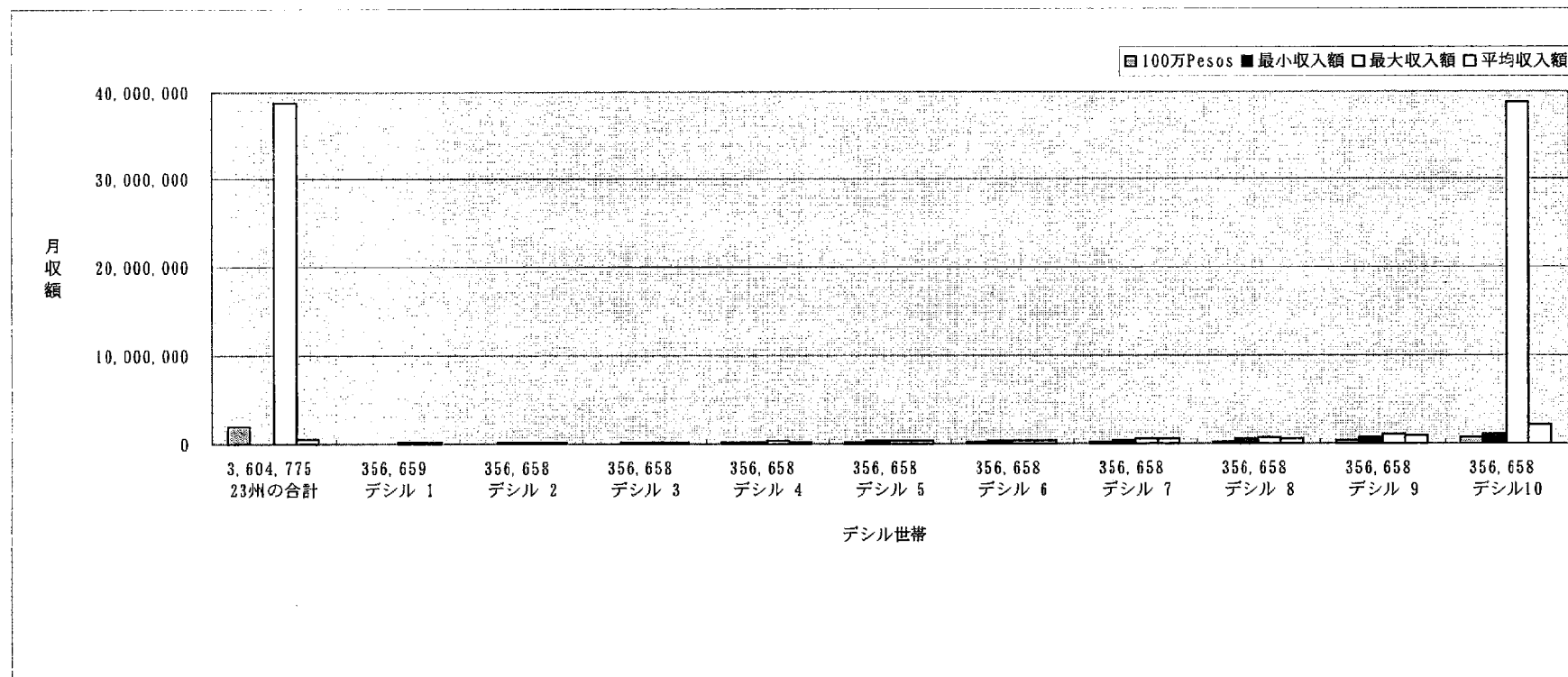
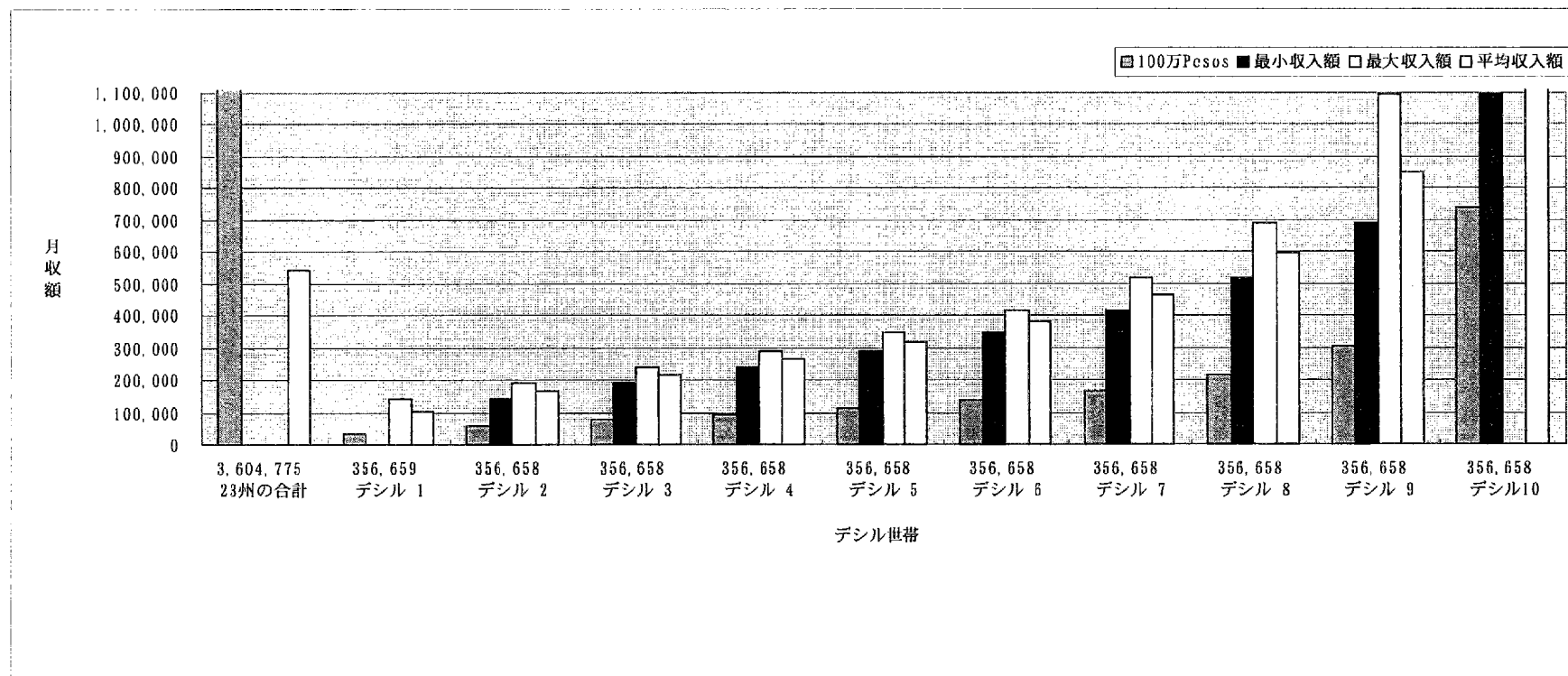


図 2 - 6 可処分月収に基づくデシル世帯域別月別収入（全世帯域）



この拡大率ではデシル1世帯域の最小収入額は標記されないぐらいに小額(1,458ペソ)

図2-7 可処分月収に基づくデシル世帯域別月別収入(デシル9世帯域まで完全)

2 - 6 水利用実態

ボゴタ特別市はクンディナマルカ州の東西中央部及び南北中央部以南に南北に細長い地域を占める(図2 - 1)。両市県が占める面積はそれぞれ1,732km²及び2万2,623 km²、人口は1993年の国勢調査によるとそれぞれ631万人及び1,860万人である。

一般にボゴタ市といわれる地域は上記のボゴタ特別市の北部を意味し、ボゴタ特別市全面積の50%程度の部分を占める。本事前調査で述べる“ボゴタ市”の語句はこの地域を意味する。

本項では調査地域の水利用実態を給水サービスの観点から歴史的に振り返り、ボゴタ市上下水道公社の給水サービスの展開を振り返るとともに公社の今後の水利用方針を明確にする。さらに、本項末尾に本事前調査で収集できた各給水施設と給水の状況について記載する。

2 - 6 - 1 ボゴタ市の発展

ボゴタ市上下水道公社が関係するボゴタ市経済圏地域には、ボゴタ市地域にクンディナマルカ州の15の町村が含まれる。ボゴタ市を含むこの地域の人口は近年700万人以上に及び、2015年ごろにはボゴタ市の人口だけで900万人に達すると推計されている。

ボゴタ市上下水道公社が関係するボゴタ市経済圏地域には、ボゴタ市にクンディナマルカ州の15の町村が含まれ、ボゴタ市を含むこの地域の人口は近年700万人以上に及び、2015年ごろには900万人に達すると推計されている。

ボゴタ市は、現在のボゴタ市南部といわれる東部山脈山麓及び丘陵地域を中心として発展を始め、次第に平原地形の北方に発展したため都心部は次第に当初の中心地より北方へ移動してきた。近年更に北方への発展が予想される反面、都心に残された湿地保護等を含む環境保護の観点から北方への発展が環境庁によって規制される傾向にある。南部地域の再開発的な構想も想定されているが、南部地域は治安の問題や、地勢的に山麓部から山地に至る地域であるため給水サービスの観点からの問題が残されている。

給水サービスは、ボゴタ市の発展に関連して現在のボゴタ市南部を中心に始められ、市の発展とともに北方へ展開されてきたが、近年更に北方あるいは南部への都市開発計画の構想の成り行きに合わせて、将来の給水サービス展開の諸政策が検討されている。

2 - 6 - 2 ボゴタ市の給水サービスの展開

ボゴタ市及び周辺地域の現在の給水サービスは図2 - 8のとおりである。これらの展開は次のように行われた。

ボゴタ市の給水サービスは、1900～1950年には現在のいわゆるボゴタ市の南部地域に近接する地域で、小沢同様のサンクリストバル川(ボゴタ川支流、フチャ川の上流にある根無し川⁸⁾)及

8)現在はボゴタ川支流、フチャ川、サンクリストバル川は、河川工事により連絡されている。

びボゴタ川の支流であるトゥンフェロ(トゥンフェリート)川にあるレガデラダムを水源とするヴィテルマ浄水場(クンディナマルカ州)を中心とした給水サービスが行われた($1.1\text{m}^3/\text{秒}$)。

ボゴタ市の北方への発展に伴い水の需要を補うため、1950 年ごろボゴタ市の北北東、ボゴタ川の湾曲部とその支流のテウサカ川に挟まれた地区のティヴィトゥック(ティビト; クンディナマルカ州)にティヴィトゥック浄水場が建設され($5\text{m}^3/\text{sec}$; 旧称ボゴタ浄水場)。その後第二期工事により給水能力が倍増されている($10.5\text{m}^3/\text{sec}$)。

ティヴィトゥック浄水場の能力では給水の全需要を賄いきれなかったため、1970 年ごろ広域的な表流水資源調査が実施されるとともに、1975 年にボゴタ平原東壁を形成するボゴタ市東方、東部山脈の更に東方にチンガサダムが建設された。ダムの貯水は送水トンネルを介して東部山脈の東方山麓に建設されたウィエスナー浄水場に送水され、浄水処理されたあと更に東部山脈の送水トンネルを介してボゴタ市の中北部に給水サービスが開始された($14\text{m}^3/\text{sec}$)。

その後 1997 年にチンガサダムからウィエスナー浄水場への送水トンネルの一部が崩落を起こし、ボゴタ市への給水サービスが緊急状態に陥ったため、これを機会に緊急時の水源の確保が検討され、その対策の 1 つとしてウィエスナー浄水場に隣接してサンラファエルダムが建設された。以後チンガサダムからウィエスナー浄水場への送水の余剰分と、テウサカ川の上流の流水がサンラファエルダムに貯水され(テウサカ川は下流でティヴィトゥック浄水場の臨時の水源としても使用されている)、チンガサダムからの送水が不可能になった場合の水源として利用することになっている。

また、局地給水が可能で送水距離が短いことが有利な地下水を利用した給水計画も検討され始めた。

このほかヴィテルマ浄水場の代替えとして、南部地域対策を対象にしたエルドラド浄水場が現在建設中であり、レガデラダムの第二期工事を前提としてエルドラド浄水場の第二期工事も計画されているものの、それぞれの第二期工事着工の目途は立っていない。

近年、ボゴタ市の更に北方あるいは南部への都市開発計画が検討されるに至ったが、それらの計画進行の立ち遅れからボゴタ市西方への都市拡張をも検討する必要性が生じており、給水サービスはボゴタ市の北方、南部、西方へのいずれの拡張をも考慮した柔軟な給水サービス計画の必要性を抱えている。

これらの地域はボゴタ市とクンディナマルカ州の隣接する 15 町村に及ぶ。従来それらの各町村独自で行ってきた給水サービスは、1997 年ごろから設立され始めてきた独立採算性の各上下水道公社に移管されつつあるが、各上下水道公社の設立はまだ全 15 町村には及んでおらず、また、設立が完了した町村では取水量や技術的な問題、採算性の問題からボゴタ市上下水道公社から送水及び技術的な面で支援を受けている。

このような状況の下に、クンディナマルカ州の各町村自治体には、給水サービスをボゴタ市

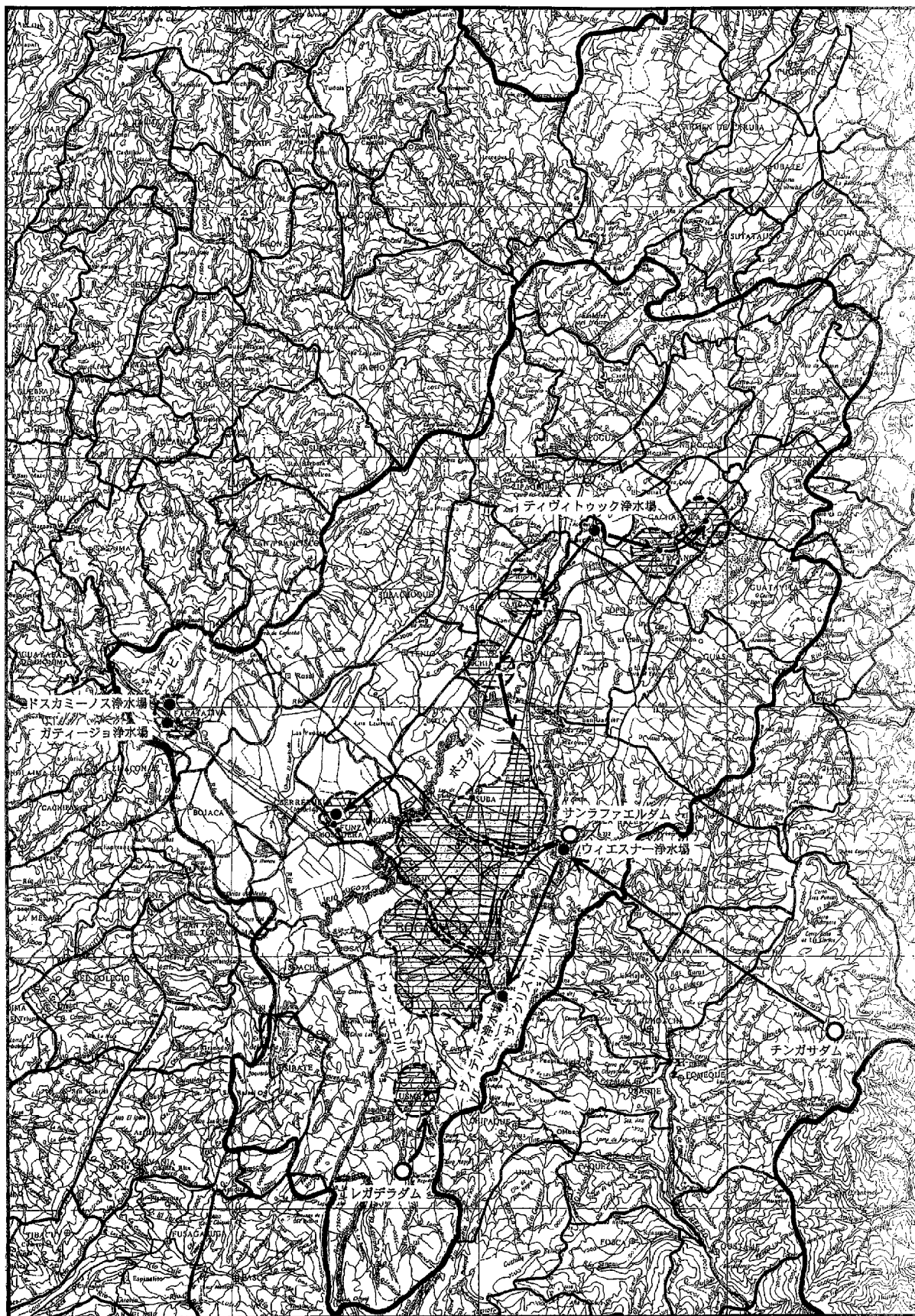


図 2 - 8 ボゴタ市及び周辺地域の給水施設及び給水サービス地域

上下水道公社に移管したいとする意向が出始めた。これらの 15 町村は北方から南方に、Gachancipá、Tocancipá、Sopó、La Calera、Zipaquirá、Cajicá、Tabio、Chía、Tenjo、Cota、Funza、Madrid、Mosquera、Soacha、Fontibón である。

Funza, Madrid の北西方 15km に位置する Facatativá は、上記 15 町村に含まれず、現在は表流水と地下水による独自の給水サービスを行っている。しかしボゴタ市の西方は一般に表流水の確保が難しいうえに水質が悪く、表流水を利用する場合でも平坦地であることから浄水のための取水にポンプによる揚水を必要とするため、給水コストが高くなり運営が困難に陥る危険性を含んでいる。

2 - 6 - 3 ボゴタ市上下水道公社の今後の水資源確保

ボゴタ市の人口は、西暦 2015 年には 839 万 ~ 950 万人に達すると予想され、また、事前調査地域の全面積 4,305km² の地域の人口は 900 万人以上に達すると推計されている。

現在のボゴタ市上下水道公社の給水総量は表 2 - 8 に示すように 131.5m³/sec である。これを事前調査地域の 2015 年の最小予想人口、900 万人を対象にすると 1 人当たり 146l/day の給水量、ボゴタ市の人口 950 万人を対象にすると 138l/day の給水量である。

この給水量は都市部としては小さく、ボゴタ市上下水道公社が提示する原単位 160l/人/day にも及ばない。さらにボゴタ市上下水道公社やボゴタ市政府が最も懸念している“チンガサの危機(後述)”で経験した“給水サービスの緊急事態”や国内紛争等による類似の緊急事態を考慮すると、新規の水源を早急に確保する必要がある。

この点についてボゴタ市上下水道公社は、大きな規模の河川がないボゴタ平原では、河川からの取水の影響は都心部に点在する湿原の縮小、消滅の危険をはらんでいるうえ、河川は既に黒色有機汚染を受け、異臭を伴い、地域によって重金属汚染を受けているため河川水の利用には限界があると考え、今後の水資源確保について次のような種々の試案を検討中である。

チンガサダム(ウィエスナー浄水場?)の給水量拡大

レガデラダム(ボゴタ川の支流トゥンフェロ川)の第二期工事

地下水利用

チンガサダムの給水量拡大案では、現在の送水量 14m³/sec を 20m³/sec に改善するもので、レガデラダムの第二期工事案は、現在の 1m³/sec の給水能力から 2m³/sec の能力に改善するものの、地下水利用案は、前二者の方法では次第に給水サービス網の給水距離が拡大してきており、送水距離が 70km にも及ぶ地域が生じるため局地開発をめざすものである。この給水システムの利点は、送水距離が短いため漏水によるロスが少なく、維持補修管理が容易で投資コスト、運転コスト、給水コストが安価であること等である。

ボゴタ市上下水道公社では上記の 3 つの水資源確保の手法について、今後の北方、南部、西

方への都市開発の成り行きを想定した投資効果を評価し、更に効率的な給水サービスについて検討を行っている。それによると、それぞれの案に次のような問題が残されている。

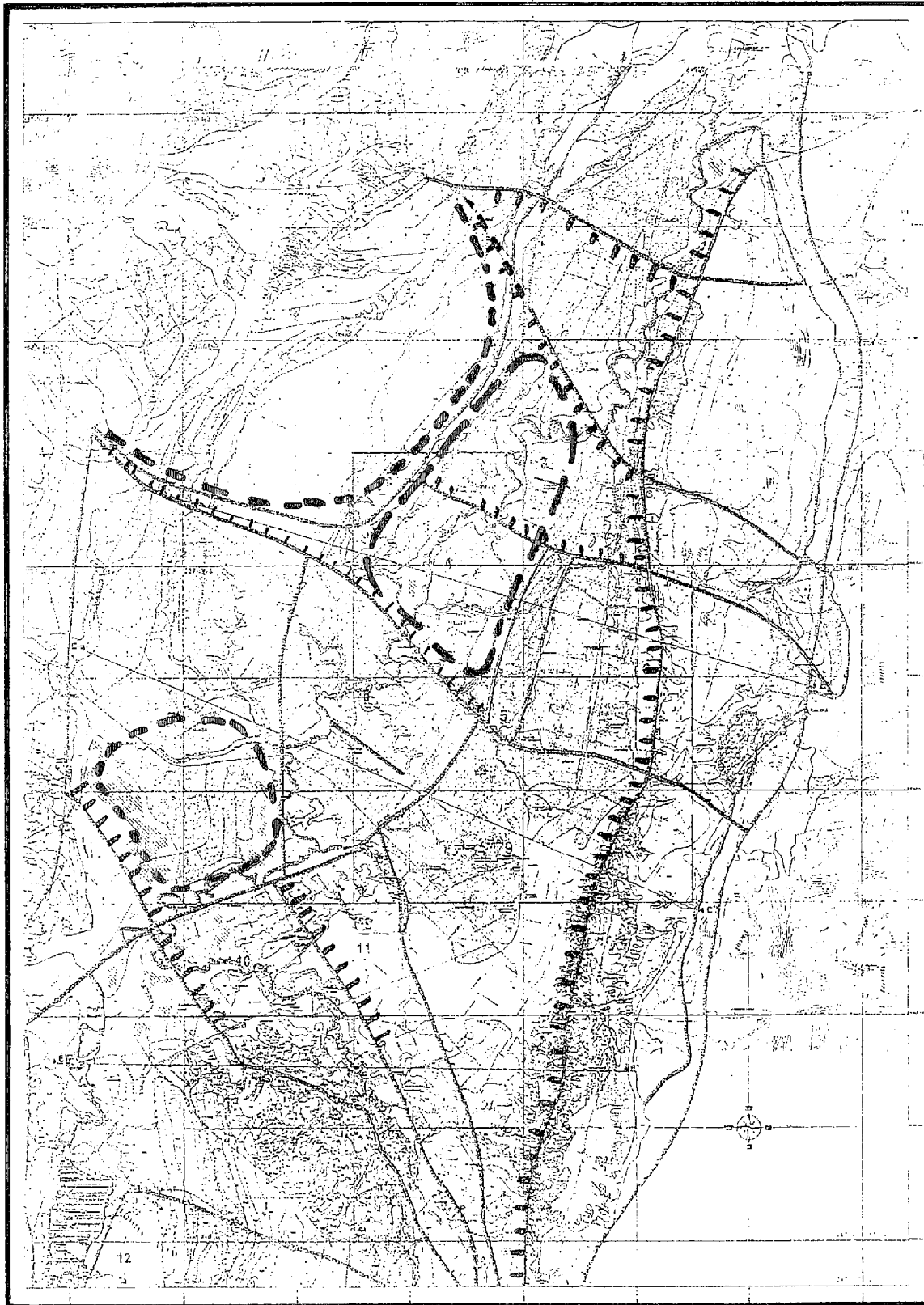
チンガサダムの送水量拡大案では、水源への $1\text{m}^3/\text{sec}$ 当たりの投資コストが最も安価であり現段階では最も現実的であるが、給水距離が 70km 以上にも及ぶ地域が生じるため送水施設、漏水対策等を含む給水コストがかさむ。

レガデラダムの第二期工事案では、南部地域を含む諸地域への送水距離は短い、案で $14\text{ m}^3/\text{sec}$ から $20\text{ m}^3/\text{sec}$ に $6\text{ m}^3/\text{sec}$ の給水改善を行う投資に対して、本案では $1\text{m}^3/\text{sec}$ から $2\text{ m}^3/\text{sec}$ に $1\text{ m}^3/\text{sec}$ の給水改善を行うのに 案より多くの資金を要し、更にレガデラダムが平原にあるため浄水施設へのポンプアップ等運転コストがかさむ。

地下水利用案では、水源を身近に確保でき送水管敷設等の投資コスト、運転コスト、給水コストが安価であるが、これまでに開発されてきた第四紀層の地下水の利用が極限に達しており、更に下位の白亜紀層の帯水層についてはその構造や、同層中の地下水に関する情報が乏しい。

ボゴタ市上下水道公社では、数年前から最も情報が少ない 案について、水収支を無視した地下水開発は行わないとの方針から、1992 年から主に地下水に関する既存資料の整理と初期解析を開始し、1999 年から前述のワーキンググループ等を編成して資料編纂を行い、本年 3 月にそれらの結果を総合したセミナーを開催した（図 2 - 9）。

その結果、同公社は第四紀層より下位の地下水に関する情報は乏しく、さらに、既存資料の資料集積が可能であった地域や解析が可能であった地域の広がり、地下水開発計画の策定には十分ではなかったとの判断から、近日中に管井掘削による深部地下水調査を開始するとともに、国外からの支援に対して、上記の初期解析手法の再検討と適切な調査地域の設定（図 2 - 10）、第四紀層の地下水利用による環境への影響調査、第四紀層下部及び白亜紀層の構造把握、物理探査の実施と解析、広域水収支に関する調査の手法の選定、より深部への管井掘削技術の技術供与、それらの解析作業及び地下水開発計画指針策定等に関する技術指導について期待している。



上上上上； 断層様構造部のうち高低差が特に大きな方向 ○○○○； 調査候補地域

図2-9 EAAB / INGEOMINAS のデータに基づく白亜紀帯水層調査候補地域

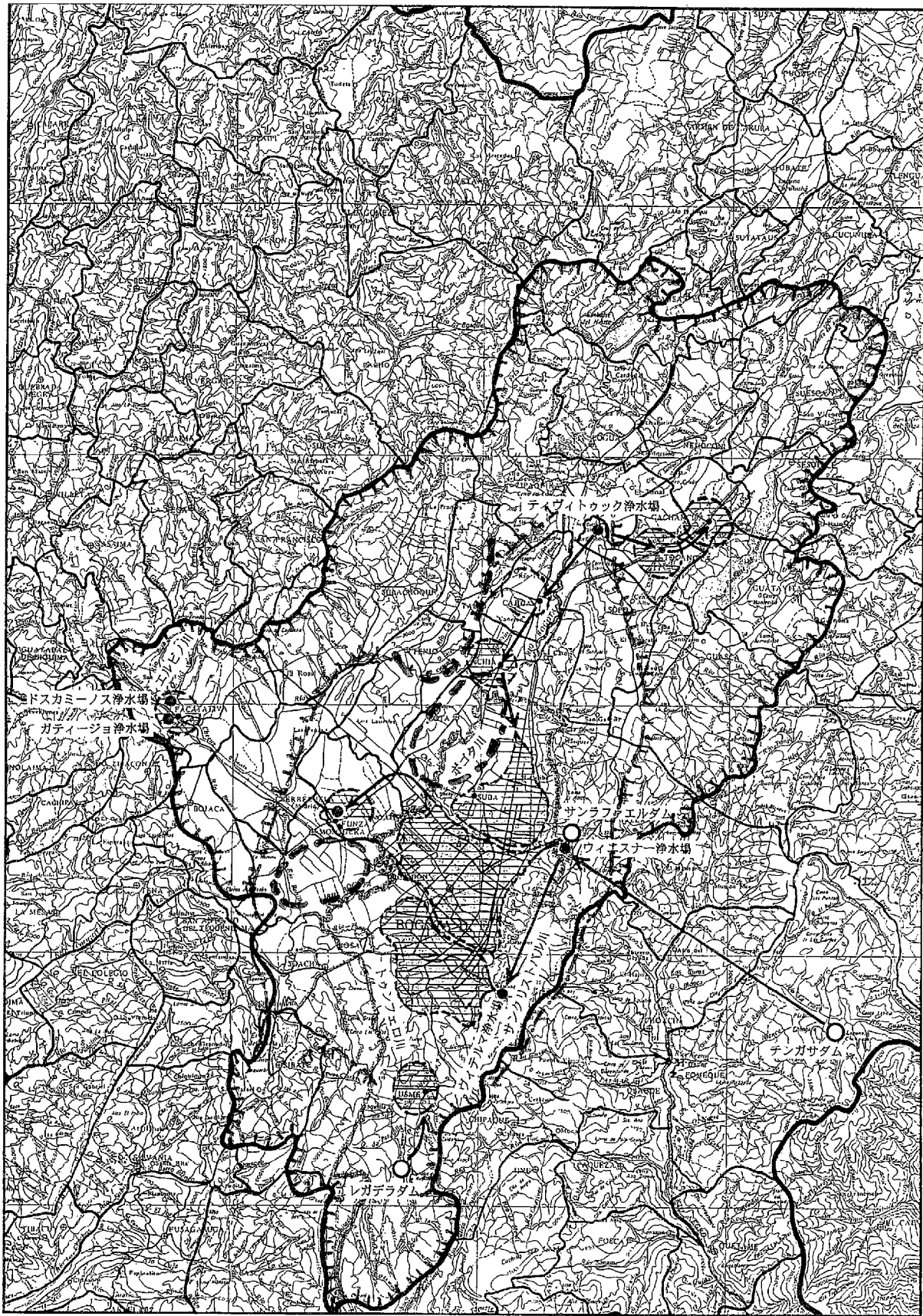


図 2 - 10 EAAB による既存調査の非対象地域

2 - 6 - 4 ポゴタ市及び周辺地域の水資源開発に関する問題

ポゴタ市及びその周辺の水資源に関する問題は、諸産業の水資源利用（表流水、地下水の両資源）による環境負荷の問題と飲料水の確保に関する問題である。

ポゴタ市及びその周辺のなかで、ポゴタ市の東部は東部山脈と呼ばれる山岳地帯に属し、南部は東部山脈の山腹あるいは丘陵地帯に、中部地域及び北部地域といわれる地域はいわゆるポゴタ平原といわれる地帯に属する。

ポゴタ平原には貴重な環境資源として都心部に分布する湿原が多数点在する。ポゴタ市中西部の飲料水工業等による地下水利用や、中北部の花弁・牧草灌漑等のための地下水及び表流水利用によるこれらの湿原の縮小化、地盤沈下による湿原の拡大化、北部地域の皮革工業による河川の汚染、ポゴタ川の有機質汚染（黒色化、含メタンガス等）などが問題化している。

第四紀層中の地下水開発は限界に達したともいわれており、ポゴタ市上下水道公社はこれらの問題を考慮しつつ、既に述べたような今後の水資源確保の諸方策を INGEOMINAS、DAMA、CAR 及び大学で構成するグリータス（GRITAS）と呼ばれるワーキンググループを結成して検討している。

2 - 6 - 5 ポゴタ市及び周辺地域の給水施設と給水状況

ポゴタ市の給水サービスに利用されている浄水施設は、すべて同市に近接するクンディナマルカ州内にありポゴタ市内にはない⁹⁾。それらの給水施設は、現在稼働中の3か所の浄水場と3か所のダム及び1か所の建設中の浄水場である。これらの施設からポゴタ市及びクンディナマルカ州のうちポゴタ市周辺の15市町村へ給水されるが、それらの町村のうちフンサ町には独自の浄水設備があり、不足分についてポゴタ市上下水道公社から供給を受けている。

その他、上記の15市町村に含まれないファカタティバ町では、地下水と表流水を利用した浄水施設があり、フンサ町上下水道公社によって独自に給水サービスが行われている。

以上の給水状況は表2 - 8 及び前出の図2 - 8 のとおりである。

9) EAAB 談、しかしヴィテルマ浄水場はポゴタ市内とも考えられる（図2 - 9）。

表 2 - 8 調査対象地域の浄水場

番号	地域名	浄水場名	取水箇所	処理可能量		現在処理(利用)量		処理余力
				m ³ /s	万 m ³ /d	m ³ /s	万 m ³ /d	万 m ³ /d
1	San Rafael Dam	Wiesner Plnta	Chingasa Dam	14.0	120.0	11.0	95.0	25.0
			Teusaca River					
2	Vitelma	Vitelma Plnta	San Cristobal River, Tunjuelo River(Enbalse Regadera)	(2.0)	(17.0)	(1.1)	(9.0)	(8.0)
			Wiesner Plnta					
3	Tibitoc	Tibitoc Plnta	Bogotá River	10.5	90.7	3.8	32.8	57.9
			Teusaca River					
4	Regradera	El Dorado Plnta	Regrade River	(2.0?)	(17.0?)	(1.1)	(1.0)	-
ボゴタ市の合計				24.5 (26.5)	210.7 (227.7)	14.8 (15.9)	127.8 (136.8)	82.9 (90.9)
5	Funza	Funza Plnta	a Well	0.12	1.0	0.08	0.7	0.3
			from EAAB	-	-	(0.05)	(0.4)	-
6	Facatatiba	El Gatillo Plnta	Botello River	0.20	2.4	0.20	2.4	0.0
		Dos Caminos Plnta	El Vino Well site	0.07	0.6	0.07	0.6	0.0
周辺地域の合計				0.39	4.0	0.35	3.7	0.3
調査対象地域の合計				24.9	214.7	15.2	131.5	83.2

(): 独自の取水口からだけではなく、他の浄水場等施設からも取水を行っているもの。
El Dorado PlntaはVitelma Plntaの代替え施設。

(1) ボゴタ市上下水道公社の給水施設

ボゴタ市へは現在稼働中のヴィテルマ浄水場、ティヴィトゥック浄水場、ウイエスナー浄水場の各浄水施設から給水サービスが行われており、このほかエルドラド浄水場が現在建設中である(表2-8)。

(A) ヴィテルマ浄水場

ヴィテルマ浄水場はボゴタ平原東壁を形成する東部山脈の南部山麓にある(ボゴタ市内南南東方)。サンクリストバル川(ボゴタ川支流、フチャ川の上流にある根無し川)及びボゴタ川の支流であるトゥンフェロ(トゥンフェリート)川のレガデラダムを主な水源として1900年代にウスメ地域への給水を目的に給水量2m³/secの規模で建設されたが、

現在は同川の流水が枯渇した場合にはサンラファエルダムから供給を受け稼働している。供給量が十分でないことや水圧が十分でないなど施設が老朽化してきたため、ボゴタ市上下水道公社ではヴィテルマ浄水場に代わるものとして、2001年の完成を目途に後述のレガデラダムから取水するエルドラド浄水場を建設しており、当初はヴィテルマ浄水場と同規模で稼働する予定が組まれており、これが竣工するとヴィテルマ浄水場からウスメ地域への給水は中止される。エルドラド浄水場はレガデラダムの第二期工事の完成を待って最終的には処理能力 $2\text{m}^3/\text{sec}$ になる計画であるが、レガデラダムの第二期工事の目途は立っていない。

ヴィテルマ浄水場の当初処理可能量は $2\text{m}^3/\text{sec}$ ($17.0\text{m}^3/\text{day}$) であるが、現在 $1.1\text{m}^3/\text{sec}$ ($9.0\text{m}^3/\text{day}$) の処理しか行われていない(表2 - 8、1; San Rafael Dam)。

(B) ティヴィトゥック(ティビト)浄水場

ティヴィトゥック浄水場はヴィテルマ浄水場の北方40kmに位置する。ボゴタ川の南岸とその支流テウサカ川の北岸に挟まれた地域のボゴタ川河岸にあり、1950年代にボゴタ市の北方への発展に伴って建設された。当初はボゴタ川浄水場と呼ばれ、現在はティヴィトゥック(ティビト)浄水場と呼ばれている。当初の処理能力は $5\text{m}^3/\text{sec}$ であったが、後に第二期工事で $10.5\text{m}^3/\text{sec}$ に改善されている。主にボゴタ川を水源とし、ボゴタ川からの取水量が十分でない場合にテウサカ川からも取水する。

リハビリテーションの時期に達したのを機会に、フランスの Campania Aqua de Pariss (CAP) が1998年3月に20年間の契約でコンセッションを得て、浄水施設約3,500万米ドル、導水トンネル等約3,000万米ドル、合計6,500万～7,000万米ドルを投資して3年間のリハビリテーションを実施中で、現在その80%程度を終了している。取水口に続く沈殿池は2000年8月に初めての浚渫が行われる予定で、現在隣接地域に6万 m^3 の浚渫物乾燥用の乾燥池を建設中である。

この浄水場では、ボゴタ川上流の皮革工業による重金属汚染が最重視点となっている。

ボゴタ市上下水道公社は、CAP社から処理後の水を同公社が引き取りボゴタ市中北部に給水を行うという形式上のシステムをとっている。

(C) ウィエスナー浄水場

ティヴィトゥック浄水場でも給水サービスが十分ではなくなったため、ボゴタ市上下水道公社は1970年代に地表水に関する大々的な調査を行って水源としてチンガサダムを、浄水施設としてウィエスナー浄水場を計画し1975年に完成した。チンガサダムはボゴタ盆地東壁を形成する東部山脈の更に東方30kmほどの位置にあり、同ダムからトンネル及びパイプを介して東部山脈の東方山麓にあるウィエスナー浄水場に取水している。チンガサダム周辺は立入禁止の自然公園内であるため、同ダムの水質が非常に清浄であるこ

とから、ウィエスナー浄水場には通常の浄水場で見られる硫酸アルミニウム添加施設に後続する沈殿池がなく、直接、硫酸アルミニウム添加水を砂・礫・活性炭等で構成されるフィルター施設で処理している。

本案件を創案するきっかけとなった“チンガサの危機”とは、チンガサダムからウィエスナー浄水場への送水トンネルの一部が崩壊したことによって、ウィエスナー浄水場への送水が停止したためボゴタ市への給水が困難に陥ったことを述べたものである。これを機会に緊急時の水源確保の必要性が叫ばれ、ウィエスナー浄水場の隣接部にサンラファエルダムが建設され、さらに、長い送水距離を必要としない地下水開発の重要性が再確認された。

ウィエスナー浄水場ではチンガサダムからの取水量の一部を場内の取水池で取水し、残余分及びテウサカ川からの取水をサンラファエルダムに貯水しており、サンラファエルダムはチンガサダムからの送水施設の点検時期や緊急時には、チンガサダムに代わってウィエスナー浄水場の“水源”の役割を果たす。

ウィエスナー浄水場の処理水の一部はボゴタ盆地の東壁を貫く送水トンネルによってヴィテルマ浄水場へも補給用水として送水されている。

チンガサダムからウィエスナー浄水場を経てサンラファエルダムに供給される取水量は表 2 - 8、地域名“1 ; San Rafael Dam”の行に示すとおりである。ウィエスナー浄水場の処理可能量は $120.0\text{ m}^3/\text{day}$ であるが、現在は $95.0\text{ m}^3/\text{day}$ の処理量にとどまっている。

(D) エルドラド浄水場

エルドラド浄水場は 2001 年にヴィテルマ浄水場の代替浄水場として、南部貧困層地域であるウスメ地域を給水対象として竣工する。ボゴタ川の支流トゥンフェロ川のレガデラダム (10^6 m^3) を水源とし、ヴィテルマ浄水場からウスメ地域への現在の供給量と同程度の規模で稼働されるが (700 l/sec ; $6.0\text{ 万 m}^3/\text{day}$)、レガデラダムの第二期工事が終了する時点で $1,600\text{ l/sec}$ ($13.8\text{ 万 m}^3/\text{day}$) の規模とする計画があるものの第二期工事の目途は立っていない。

(2) 周辺地域の給水施設 (クンディナマルカ州)

ボゴタ市周辺地域の給水施設は、フンサ町上下水道公社の地下水とボゴタ市上下水道公社からの補給、ファカタティバ町上下水道公社の表流水及び地下水の浄水場である (表 2 - 8)。

(A) フンサ町上下水道公社 (EMAAF) の給水施設

ボゴタ市の北東方 20km、ボゴタ川の西岸に位置するフンサ町では、フンサ町地方自治体がスワチョケ川の支流を水源として給水サービスを行っていた。1995 年にフンサ町上

下水道公社が設立され、引き続きスワチョケ川の支流を公社の敷地内で取水していたが、近隣の花弁栽培への地表水及び地下水の利用が増大したため流水が見られなくなり、フンサ町上下水道公社は 1998 年に公社敷地内に管井を掘削し、以後は地下水及びボゴタ市上下水道公社からの補給による給水サービスに切り替えている。

管井は敷地内に掘削されており、孔径 6 インチ、深度 610m、静水位 42m で、帯水層は第四紀層の基底をなす Tilata 層である。深度 435 ~ 595m 間に 17 か所、総延長 155.50m のジョンソン型ステンレススクリーンが設置され、対象人口 6 万人に対して、最大利用時には最大揚水量の 120 l/sec (1.04 万 m³/day) の揚水を、通常時には 80 l/sec (0.69 万 m³/day) の揚水を行い、その他ボゴタ市上下水道公社から 50 l/sec (0.4 万 m³/day) の補給を受けている。管井からの揚水時間は通常 1 日 16 時間に定められており、管井の比湧出量は 960 m³/day/ 人である。

本管井の地下水は鉄分が高いため地下水はいったん高架タンクに貯水されたあと、同タンクの下位に設置されているばっ気塔を自然落下したあと浄水処理が施される。浄水施設は現在コンクリート製の小規模な沈殿槽であるが、鋼鉄製の大型のものに切り替える作業が進められている。

(B) ファカタティバ町上下水道公社 (EAAF) の給水施設

ファカタティバ町にはファカタティバ町上下水道公社が設立され、互いに近接したガティージョ浄水場及びドスカミーノス浄水場の 2 浄水場から同町の人口 10 万人を対象に給水サービスが行われている。この町は現在はボゴタ市上下水道公社からは技術的な支援を受けているだけで、送水等の支援は受けていない。

ガティージョ浄水場はボティジョ川の表流水と管井から得られる地下水を水源とし、同川の水が少なくなる 7 ~ 10 月ごろには管井からのみの取水を行っている。本事前調査時 (2000 年 7 月) には 4 つの管井が利用されていた。井戸はファカタティバ町内に分散して 7 つあり、そのうちエルピノにある管井からは近接するドスカミーノス浄水場へも送水されている。ドスカミーノス浄水場はこの管井からのみ地下水の供給を受けている小規模な浄水場である。

それぞれの浄水場の取水状況は表 2 - 8 に示したとおりである。

ガティージョ浄水場へ給水するマナバンカポンプ場の管井は北緯 04° 47 ' 50 "、西経 74° 21 ' 07 " に位置し、施設は敷地が広いことや建設後の時間が長いこともあってフンサ町のものより整えられている。孔径 6 インチ、深度 427m、静水位不明、帯水層は第四紀層の基底をなす Tilata 層である。本管井は深度 258m 以下にジョンソン型ステンレススクリーンが設置され (総延長は不詳)、本管井からは 35 l/sec (0.30 万 m³/day) の揚水が行われており、全管井からは対象人口 10 万人に対して 183 l/sec (1.58 万 m³/day) の給

水が行われている。通常時の揚水時間は 9 : 00 ~ 21 : 00 の 1 日 16 時間に定められている。

ガティージョ浄水場が利用するボティジョ川の流水は pH が 6.5 程度で NH_4 が検出されるなど表流水汚染の傾向が見られる。一方で管井の地下水は pH が 7.31 ~ 8.50 程度で河川水より高く、ファカタティバ町の管井と同様に鉄分が高いため EAAF では鉄分除去に努力しており、ガティージョ浄水場ではすべての管井からの地下水を場内でばっ気用高架塔に取水し、自然落下させた後浄水を行っている。ドスカミーノス浄水場でもエルピノの管井からの地下水を自然落下を利用した“ばっ気装置”で取水し、以後の処理を行っている。

2 - 7 地下水利用実態

調査対象地域の給水事業に占める地下水利用の状況は表 2 - 9 に示すとおり小さいが、農業セクターや工業セクターでは第四紀層からの地下水を花卉・牧草灌漑や飲料水、工業用水等へ大規模に利用しており、そのため第四紀層の地盤沈下の問題が指摘され始め、第四紀層中のこれ以上の地下水開発の危険性や地盤沈下のモニタリングの必要性が指摘されるとともに、第四紀層からの地下水開発の是非について検討が行われた。そのためこれまでの経験から、第四紀層の下位に第三紀層を介して存在する白亜紀のファカタティバ層群からの地下水開発が地質構造と水理地質条件等から有利であると判断され、今後の地下水開発計画では白亜紀層の構造解析が再重要であるとされている。

現在ボゴタ市上下水道公社をはじめとして、水セクター関連機関が各種資料の相互利用を検討し、GRITAS (グリータス) と呼ばれるワーキンググループを編成している。

本事前調査では農業セクターや工業セクターの水利用状況を把握していないが、第四紀層の地下水は既に 97 % (376l/sec ; 3.25 万 m^3/day) が利用されているとされており、これ以上の第四紀層中の地下水の利用は避けなければならない状況にある。本格調査の段階で地下水の利用状況と地盤沈下の関係、地下水の水質の関係、地質構造、特に第四紀層の下底深度と白亜紀層の帯水層の状況を詳細に把握する必要がある。現在では第四紀層及び第三紀層に各 1 層、白亜紀層に 3 層の帯水層が知られているが、白亜紀層については東部山脈の山麓付近に関する情報しかない。

以上のような状況のため、コロンビア国側は第四紀層からの地下水の取水を避け白亜紀層の地下水開発を検討すべきであるとし、地下水水利用の観点から第四紀層中の地下水利用と地盤沈下の関係を明確にして、地下水過剰揚水による湿地帯域の縮小防止と地盤沈下による湿地帯域の環境変化等をコントロールする必要があることからモニタリングを計画している。

表 2 - 9 地下水利用状況

番号	地域名	浄水場名	取水箇所	利用可能量		現在利用量		利 用 余力
				m ³ /s	万 m ³ /d	m ³ /s	万 m ³ /d	万 m ³ /d
1	Funza	EMBBF	EMBBF 敷地	0.12	1.0	0.08	0.7	-
2	Facatativa	El Gatillo Planta Dos Caminos Planta	7 well sites included the El Vino Well	0.183	1.6	0.183	1.6	-
3	不詳	Irrigation	不詳	不詳	不詳	不詳	不詳	不詳
-	-	-	-	-	-	-	-	-

第 3 章 コロンビア国の地下水開発・給水事業における組織・体制・制度

3 - 1 行政・組織

コロンビア国の国家機構は図 3 - 1 に示すように行政、立法、司法の 3 部門から成っている。行政部門には下記の 16 省があるが、本件の C / P 機関はボゴタ市に属する上下水道公社 (EAAB) である。

- (1) Ministry of Agriculture and Rural Development : 農業地方開発省
- (2) Ministry of Communications : 逓信省
- (3) Ministry of Culture : 文化省
- (4) Ministry of Economic Development : 経済開発省
- (5) Ministry of Environment : 環境省
- (6) Ministry of External Commerce : 貿易省
- (7) Ministry of External Relations : 外務省
- (8) Ministry of Finance and Public Credit : 大蔵省
- (9) Ministry of Health : 厚生省
- (10) Ministry of the Interior : 内務省
- (11) Ministry of Justice and Law : 法務省
- (12) Ministry of Labor and Social Security : 労働省
- (13) Ministry of Mining and Energy : 鉱山エネルギー省
- (14) Ministry of National Defense : 国防省
- (15) Ministry of National Education : 文部省
- (16) Ministry of Transport : 運輸省

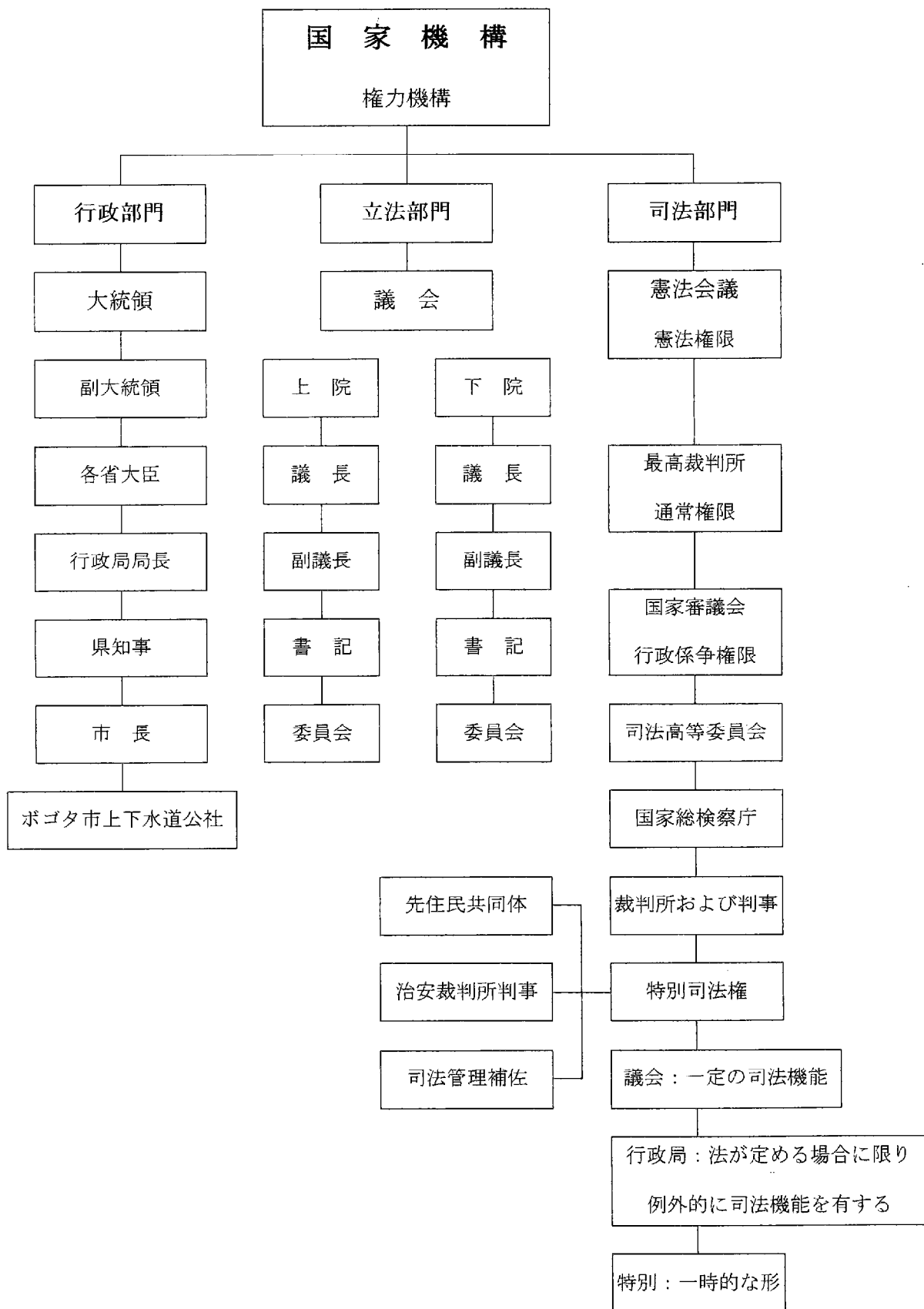


図 3 - 1 コロンビア国の国家機構

3 - 2 実施機関の組織・運営

3 - 2 - 1 背 景

ボゴタ市上下水道公社は、サンタフェ・デ・ボゴタ議会において1955年105号合意に基づいて創設された。1995年の第6号合意により地方レベルの公社へと変容した。現在約2,400人の職員を有し、予算規模は6億4,600万ペソ(1998年)である。同公社は、法人としての資格と自主経営及び私有財産を備え、住宅への公共サービスを提供しており、サンタフェ・デ・ボゴタ首都圏の管轄地域並びに近隣の市に水道、下水道サービスを提供している。

3 - 2 - 2 ボゴタ市上下水道公社の主な任務

ボゴタ市上下水道公社の主な任務は、

- ・飲料水を確保・保管・処理・輸送・給水すること。
- ・諸規則に定められた基準・条件において排水を収集・運送・処理及び処分すること。
- ・管轄域内の雨水排水を処理すること。
- ・公社の業務に関連した分野での調査及び技術開発を促進すること。

である。EAABは現在ボゴタ市の98%約620万人の住民に水道サービスを提供し、更に近隣各市の約60万人にもサービスを提供している。

地下水関連の業務としては、同公社が開発計画策定、調査の実施、観測施設の建設・維持管理、地下水のモニタリング活動を担当している。図3 - 2にボゴタ市上下水道公社の組織図を示す。

3 - 2 - 3 地下水開発に係る関係機関

地下水関連条例の策定、生産井の設置・使用の許認可、並びに届け出後の管理はボゴタ市の場合は市環境局(DAMA)が、周辺都市の場合はクンディナマルカ州公社(CAR)の所掌となる。ただし、CARは3 - 3節に示すように、地下水のモニタリング活動を一部実施している。

また、INGEOMINASは地質学、地球物理学等に関する国の研究機関であり、地質構造に関する調査・研究のほか、石油・鉱物等の資源探査等を行っている。本年までボゴタ市における地下水開発に係る調査(ボゴタ水文地質)をEAABと共同で実施してきており、調査の企画立案から調査結果の共有まで密接に関係している。担当者間の意見交換や役割分担など連携体制も整っている。

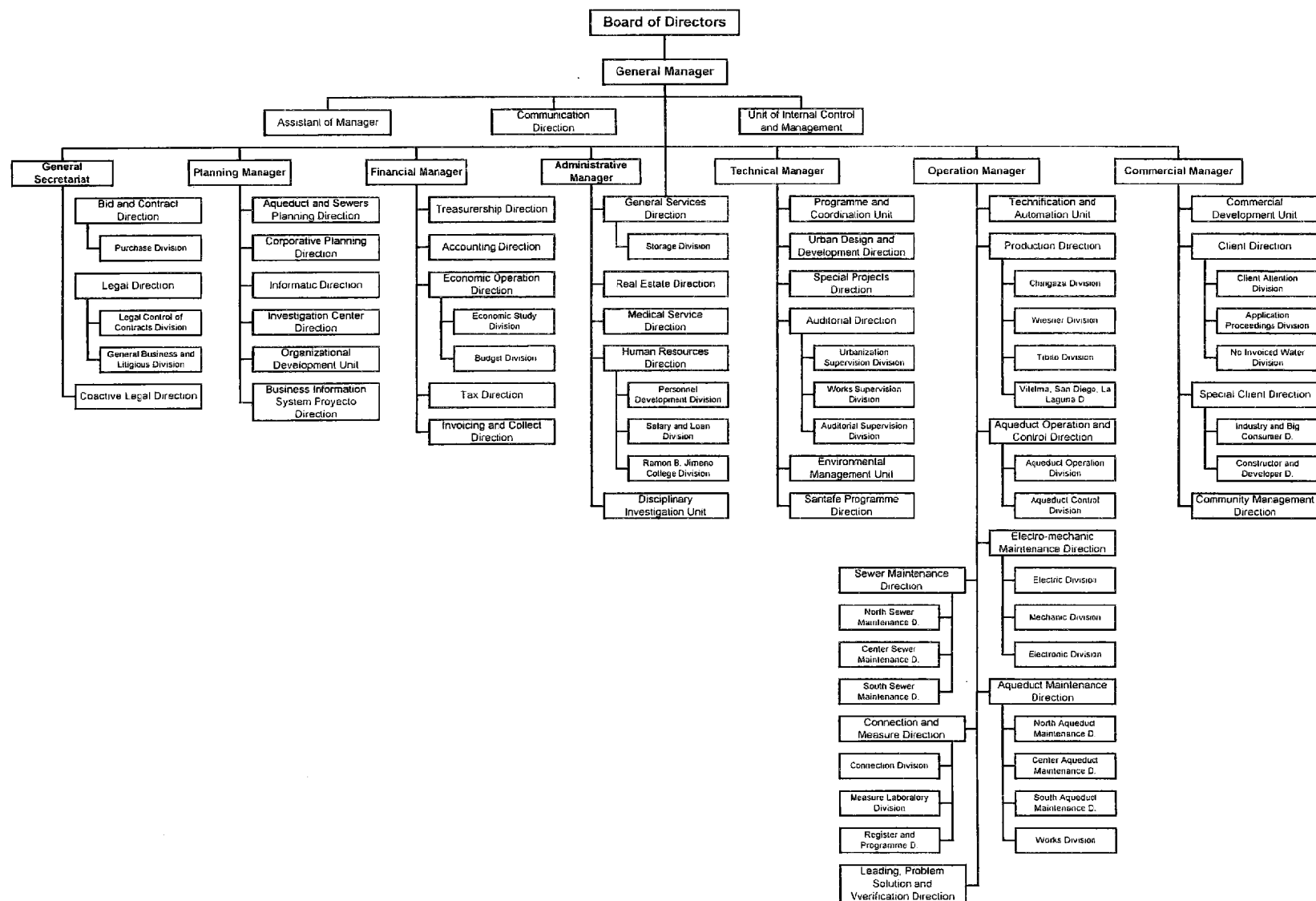


図 3 - 2 ボゴタ市上下水道公社組織図

3 - 2 - 4 水関連の制度

(1) 地下水関連法

地下水に関する法律としては以下のようなものがある。

Decreto (大統領令) 1541 1978

Ley (法律) 0373 1997

Resolución(DAMA 規則) 0250 1997 下水使用料金の算出

Resolución(DAMA 規則) 0251 1997 井戸の登録期間

Resolución(DAMA 規則) 0815 1997 井戸水量計の設置

Resolución(DAMA 規則) 1219 1998 地下水利用料金の支払い(1998/9/30 より)

Decreto(大統領令)1541(1978)は、公共利用水の定義からその使用手続きの形態が規定されている。そのうち、第4条では公共所有水と民間所有水の区分に触れており、第5条においてその公共用水の定義がなされている。それによると自然河川、人工河川、湖沼、地下水、雨水等が公共用水とされている。また第6条では民間所有水の定義があり、同所有地内における地表水は3年間継続して利用していれば民間所有とされるようである。

次に Ley(法律)0373(1997)では、冒頭に「水の効率的利用と節水のためのプログラム」を定める法律とあり、すべての地域や市の環境計画にはこの「水の効率的利用と節水のためのプログラム」を含むことが義務づけられ、地域自治公社や市の環境当局が承認することとされている。

(2) 地下水使用許可証

上記のようにコロンビア国では地下水は公水とされており、私水として無秩序に地下水を使うことはできない。井戸の設置並びに使用許可はクンディナマルカ地域自治公社又はボゴタ市環境局への届け出、承認が必要である。しかし、実際には無届けの井戸があるほか、届け出だけで比較的安易に井戸が建設されているようである。これらの機関の人員も不十分なため、届け出後の管理が十分なされていないとの指摘が聞かれる。また、1998年から実施されている地下水利用料金の徴収も流量メーターが設置されている井戸のみであって、現在は井戸所有者にメーターの設置のキャンペーンを実施している段階であるという。

(3) 井戸構造に関する指導

井戸構造(深度、口径、スクリーン等)を規定する法律はないようであるが、地下水汚染を防ぐために、井戸建設届け出の時点でその地点での汚染状況に合わせて深度5、10、20mまでシーリングをするように指導している。しかし、実際の施工に関しての検査は実施されていない。

3-3 維持管理体制

ボゴタ市上下水道公社は約2,500名の従業員を抱えているが、そのうち1,100名が維持管理に携わっている。さらに、そのうちの3割が上水道、7割が下水道の維持管理を担当している。上水道の維持管理業務のうち2割は外注しているとのことで、公社としては、今の2,500名体制を今後も維持していく計画であるため外注の割合が増えていく傾向にある。

地下水に係る管理体制としての水文・気象データ、地下水モニタリング状況は以下のとおりである。調査対象地域内には90か所の雨量観測所、87か所の河川流量所、50か所の気象観測所があり、気象庁・クンディナマルカ地域自治公社・ボゴタ市上下水道公社などが管理している。地下水モニタリングは、クンディナマルカ地域自治公社が表3-1のように流域別に計330か所の井戸について、所有者の協力の下に年3回の水位測定を実施している。図3-3のチク流域の地下水位時系列に示すように1998年7月に10m前後の地下水位低下が認められる。これはエルニーニョの影響であるとクンディナマルカ地域自治公社では説明している。

表3-1 調査地域内流域別観測井戸

流域名	流域面積(km ²)	井戸数	観測井戸数
シスガ	435	5	5
トミネ	654	54	49
テウサカ	362	28	24
ネウサ	655	52	11
フォンティボン	776	111	75
チク	148	54	52
スパチョケ	401	63	59
バルシージャス	270	27	25
タウンフェロ	603	41	30
計	4,304	435	330

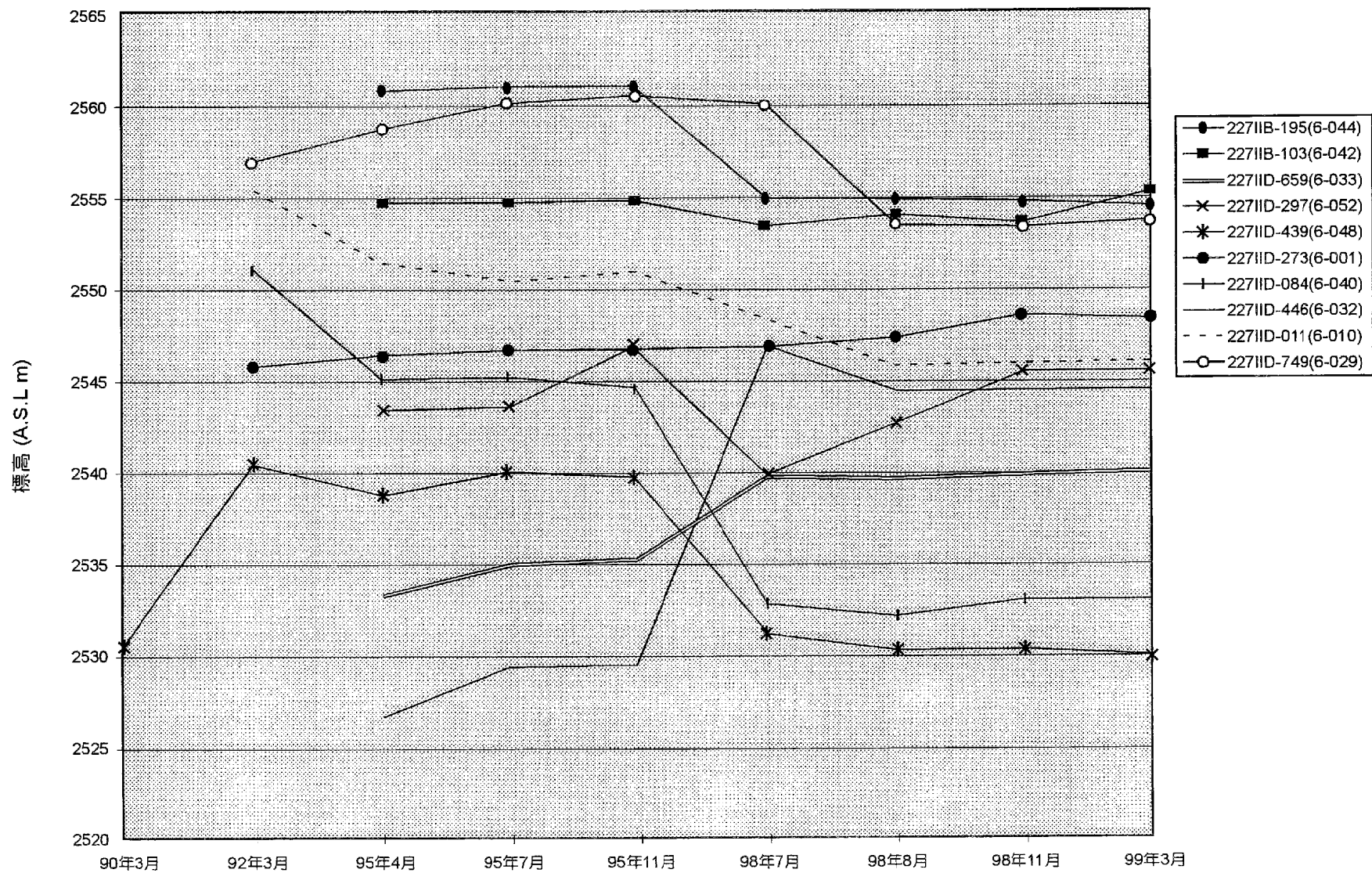


図3-3 チク支流域の帯水域における地下水位の変動

3 - 4 既往及び関連計画・調査

現パストラナ政権は、国家開発計画(「平和構築のための変化(1998～2002年)」)のなかでコロンビア国が平和裡に発展するためには、諸々の社会的暴力や不公正を解消する必要がある、その前提として社会的組織基盤を再生、強化することが重要と指摘している。

さらに同政権は、コロンビア国における破壊的な武装グループの活動に終止符を打つため、暴力的行為を引き起こす主要な原因を根絶すべく「プラン・コロンビア」という総合的・包括的政策を決定した。

プラン・コロンビアは政府の政策の要であり、地方政府と複数の組織が協力して運営していく代替政策という一連のプロジェクトから成っている。その目的は、和平基金を通じて社会開発のために国内外の特別な投資プロジェクトを推進し、暴力の害を被る地域(不法栽培が行われる地域)における代替作物プログラムを実施し、また、合法的作物の市場アクセスを改善して貧困の解消に資すると同時に、和平交渉の進展に寄与する良好な環境をつくりあげることであるとされている。

地方レベルで見ると、首都圏拡張計画(1998～2015年)という都市計画をボゴタ市側にて策定している。また、今年になってPOT——土地開発計画(2000～2030年)が承認された。このなかで、修正された都市計画とともにマクロレベルでの投資計画を示している。セクタープランとしては「首都圏飲料水供給マスタープラン」がある。このマスタープランのなかの地下水分野についてボゴタ市上下水道公社では「ボゴタ平原地下水開発計画調査(2000～2015年)」を計画しており、公社とINGEOMINASを中心として既に一部は実施されている。それら調査の経緯については以下のとおり。

1994～1997年：首都の南西・南東・北東部の地下水開発F/S、ボゴタ平原内の市町におけるプレF/S。地下水調査・開発計画案策定。

1997年：「地下水調査のためのマスタープラン」がアルゼンティンの支援で作成され、国立地質鉱物科学研究所による改正を経て完成した。

1998年：地下水開発の経済的側面を検討するため「地下水料金に関する調査」が実施された。

1999年：Hidrogeocol社に「ボゴタ市水文地質」を発注した。本年秋に完成予定。

国立地質鉱物科学研究所とは「ボゴタ平原における水文地質調査におけるアイソトープ技術の応用」が2001年4月までの工期で契約された。

「ボゴタ市水文地質」に関しては2000年3月9日にボゴタ市上下水道公社主催でシンポジウムが開催され、主要な調査結果は報告されている。

本件調査は「ボゴタ市水文地質」の実施プログラム(要請書を参照)に沿い、継続して同調査にて不備を指摘された点(井戸データの不足、地層構造等)を検証・補足し、調査対象地域を地下水盆地全体に拡大して実施することが望まれている。すなわちFacatativa、Zipaquirá等を含む北側の

地域、Usme より南側の地域、及び Funza 南部の地域についても深層地下水のポテンシャルを把握し、既存の GIS やシミュレーションの拡充を行うことが期待されている。

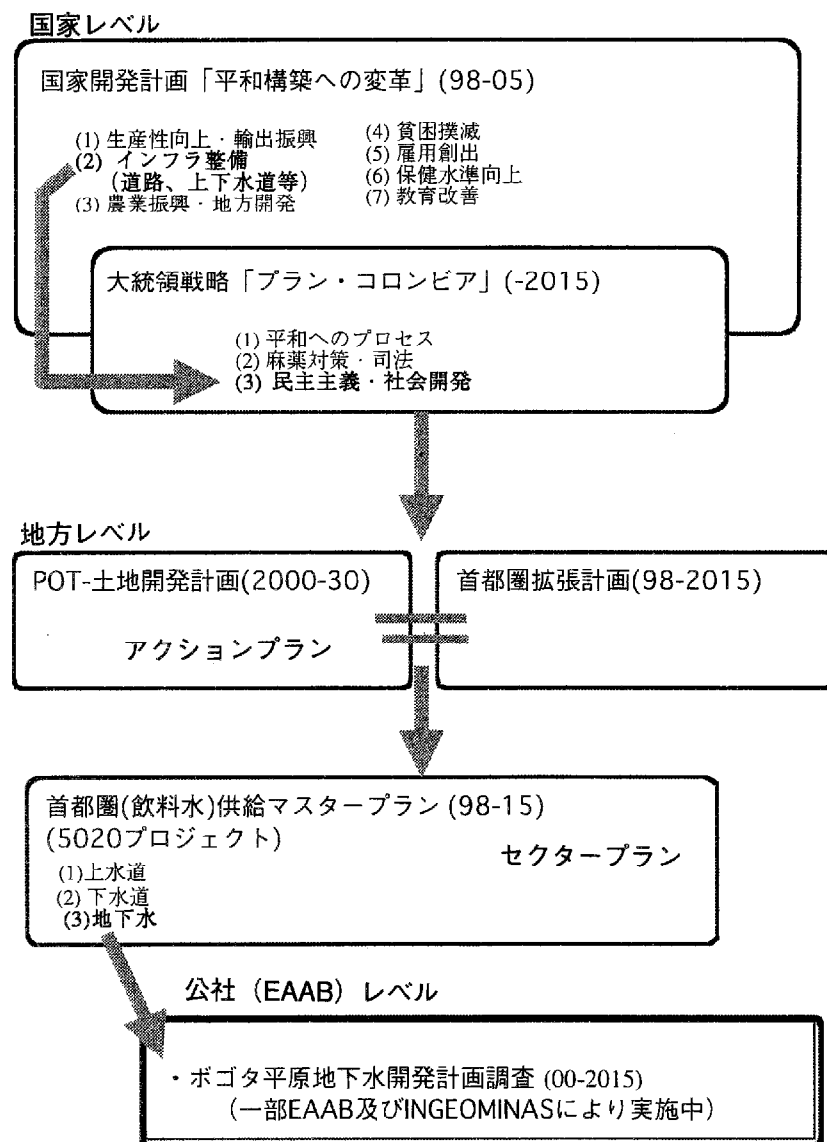


図 3 - 4

他の援助機関については、ボゴタ市上下水道公社は主に世界銀行からの援助で上・下水道施設建設の融資を受けているが、地下水に関してはこれまで開発を指向してこなかったもので事例はない。ボゴタ市上下水道公社は、1997 年の「チンガサ緊急事態」の教訓から水供給の戦略的配慮から地下水利用の可能性を探ろうと考えている段階である。

3 - 5 地下水開発の問題点

3 - 5 - 1 ボゴタ平原全体の地下水賦存量と開発可能量の把握

全ボゴタ平原全域の 4,305km² を対象とした地下水賦存量と開発可能量に関してはまだ明確に

は把握されていない。ボゴタ市上下水道公社が中心となって国立地質鉱物科学研究所、ボゴタ市環境局、クンディナマルカ地域自治公社、国立大学の協力の下に 1999 年から 2000 年にかけて実施した「ボゴタ平原水理地質調査」はボゴタ市街地の約 710km² のみを対象としたものである。

その結果によると、

涵養量：白亜系	583l/sec
第四系	271l/sec
河 川	15l/sec
合 計	869l/sec

揚水量：白亜系	580l/sec
第四系	376l/sec
合 計	956l/sec

河川流出： 0l/sec

となっており、水収支バランスが崩れている、すなわち過剰揚水の状況になっていると指摘している。しかし、揚水量の還元分を考慮していないこと、涵養量を少なく見積もっている、揚水量の把握が不十分である、境界条件の詰めが甘いのではないか等の不満も指摘されており、この調査で得られた地下水モデルに関しては必ずしも良い評価がなされていないように感じられた。

この調査を実質的に行った Hydrogeocol という地元コンサルタントがセミナーで述べているように、このモデルは出発点到過ぎず、今後の調査により大幅に変わる可能性を残している。本プロジェクトでは、ボゴタ平原(盆地)全体を対象とした本来の意味での地下水ポテンシャル調査が期待されており、これまでの調査結果を足がかりにしてより信頼性の高い調査結果が待ち望まれている。

3 - 5 - 2 揚水量と井戸データベース

ボゴタ平原では、最近まで地下水揚水に関してほとんど規制をしてこなかった。ただ 1995 年に市が地下水揚水を全面規制しようとしたことがあったが、各方面の強い抵抗にあって実現しなかった。地下水揚水量の管理はボゴタ市環境局、クンディナマルカ地域自治公社が管轄区域別に実施することになっているが、法的根拠はあるものの実質的には現在まだ十分な揚水管理を行っている状況ではない。

ボゴタ平原には 1992 年当時、約 4,200 本あった井戸が現在では 5,000 本近くになっていると

推定されている。しかし、無届けの井戸も相当あるものとされている。井戸のデータベースは各関係機関がそれぞれにもっていたものを、「ボゴタ平原水理地質調査」がきっかけとなってまとめられたが、データ不足は否めない。例えば、ボゴタ市街地（約 710km²）にある 1,075 本の井戸のうち、位置・揚水量・地下水位・水質・井戸構造などが一通りそろっているのはわずか 80 本に過ぎない。特に揚水量は市街地北部の花卉栽培を中心とした農業地域、さらに飲料水企業などの主要企業の揚水量すら十分に把握されていない模様である。地下水調査で最も基本的なデータの 1 つである揚水量のデータを含むいわゆる井戸インベントリー調査を実施する必要がある。その際、本格調査団としては立入検査、ヒアリング調査を念頭に置きつつも、産業原単位を用いるなどの間接的な手段での推算をも考慮する必要があるものと思われる。

このようにして修正、補充、拡張された井戸データベースは、地下水シミュレーション・GIS システム構築に大いに貢献することとなる。

3 - 5 - 3 地下水開発に伴う環境問題

地下水開発調査の際に問題となる環境問題として、地下水汚染、地盤沈下、自然環境・生態系があげられる。

（１）地盤沈下

四紀層からの過剰揚水によって、地盤沈下が発生していると指摘されている。空港の北部チーヤ付近のビール工場、清涼飲料水工場並びにトカンシパの小規模な工業地帯、さらに空港南部のマドリッド、モスケラの工業地帯付近に地盤沈下が発生しているといわれている。沈下は井戸の抜け上がりが見られ、過去 10 年間に 1 ～ 2m 程度の地盤沈下があったものと推定されている。沈下測定は、国立地質鉱物科学研究所が間隙水圧計による推計、クンディナマルカ地域自治公社による基準点測量による実測が実施されており、コロンビア国側としては、地盤沈下を伴わない地下水開発として白亜系（グアダルペ層）を開発対象と考えている。

（２）地下水汚染問題

皮革工場をはじめとした域内工場排水による地下水汚染が懸念されている。国立地質鉱物科学研究所が地下水汚染の危険度を評価した結果を発表しているが、これはあくまで自然条件から見た可能性を検討したものであって、実態については明確になっていない。ボゴタ平原の第四紀層は湖成粘性土層が厚く堆積していて概して地下水汚染にくい条件下にあるが、既存の井戸構造が不適切なためその井戸を通じて地下水が汚染されている可能性がある。

(3) 自然環境・生態系

ボゴタ平原には Wet Land と呼ばれる湿地が 13 か所もあり、コロンビア国はラムサール条約締約国としてこれらの湿原を登録しており、特にコネヘラ湿地は世界的に貴重なエコシステムがあり、貴重種、固有種が知られている。また、これらの湿地は渡り鳥のすみかともなっており、コロンビア国側はこれらの湿地の保護に努力している。しかし、最近のボゴタ川流量の減少によって、4 か所の湿地に水が入らなくなっているといわれている。

3 - 5 - 4 地下水涵養の問題

地下水涵養量の把握は持続的地下水開発を行ううえで最も重要なものであるが、直接これを求めることは一般に困難である。定性的な評価として、同位体を用いた涵養調査が重要である。通常は、地下水シミュレーションモデルにおいて出来るだけ既知のデータを収集して変数を減らし、地下水位モニタリング結果によるモデルの検証を通じて間接的に推算される。本格調査において、この地下水涵養の再検討、再評価が非常に重要である。

一方、地下水人工涵養の可能性についてコロンビア国側は大変興味を示している。過剰揚水による地盤沈下を防止し、回復させる手段としての人工涵養の効果を評価するパイロットスタディに期待がもたれている。

3 - 5 - 5 地下水管理システムの構築

地下水管理に係る 5 機関(クンディナマルカ地域自治公社、ボゴタ市環境局、国立地質鉱物科学研究、ボゴタ市上下水道公社、国立大)が GRITAS という協力体制を組み、情報の交換・共有を通して調査精度の向上を図ろうとしている。GRITAS のなかでリーダーシップをとるボゴタ市上下水道公社では、GRITAS 内において GIS を本格的に導入し地下水管理システムの構築に当たろうと考えている。

3 - 5 - 6 地下水開発対象帯水層

調査地域における主要帯水層は第四紀層中のティラタ層と呼ばれる砂礫層及びグアダルペと呼ばれる白亜紀の帯水層である。前者については、部分的に過剰揚水となっており、地盤沈下を発生させている。また、地下水汚染の可能性も指摘されており、これ以上の開発にはコロンビア国側は消極的である。一方、グアダルペ層の井戸は「ボゴタ平原水理地質調査」が対象としたボゴタ市街地の約 710km² にある井戸 1,075 本のわずか 3% に当たる 33 本しかなく、いまだにその全貌が明らかになっていない。調査地域内グアダルペ層は、地質構造運動を受けて多くのブロックに分断されており深度数百メートルの比較的浅いブロックではデータがあるものの、全般にデータが少ないため帯水層としてのポテンシャルがよく把握されていない。

したがって、本調査において1,000m 級の試験井を掘削する意味合いは大きいものがある。また、グアダルペ層を対象とした地下水連続モニタリングはなされておらず、本調査において連続水位計を設置して観測する意義は大きいものがある。

以上のようにボゴタ平原における地下水開発にとって最も大きな問題は自然条件としての地下水ポテンシャルである。すなわち帯水層にどの程度の貯留量があり、どの程度の涵養が期待できるか、そして将来の水需要(目標年 2015 年)に対して社会経済的に、さらに環境保全の観点からも持続的にどの程度の開発が可能であるか、あるいはどこでどの程度の揚水規制をかける必要があるかを見極める必要がある。更に一步進んで、地下水人工涵養によって積極的な対策を施せる可能性を見いだしておくという意味で本調査が果たすべき役割は非常に大きなものがあるといえる。

第4章 本格調査の基本方針

4 - 1 本格調査の目的

- (1) ボゴタ市及び周辺都市を含む一地下水盆(4,305km²)を対象とした地下水賦存量調査を行い、同地域における持続的な地下水開発計画を策定する。
- (2) 持続的な地下水開発に資する環境現況調査を行う。
- (3) 本調査の実施を通じ、地下水調査手法及び計画手法についてコロンビア国側カウンターパートに対する技術移転を行う。

4 - 2 調査対象地域

S / W の ANNEX-I に記載したとおり、ボゴタ市及びその周辺地域(総面積約 4,305 km²)について調査を行う。

4 - 3 計画対象年次

地下水開発計画の計画年次は2015年とする。これは、ボゴタ市が策定した首都圏供給マスタープランの目標年次と同一であり、整合性を考慮しつつ計画を策定する必要がある。

4 - 4 調査実施上の留意事項

- (1) 先方が地下水開発に期待する点として、都市への集中による将来の人口増に対応した安定的な上水の供給を行うことのみならず、非常時における代替水源を確保する意図があることから、対象地域における地下水資源に係る賦存量評価に基づく、長期的かつ持続的な地下水利用計画となるよう十分留意する必要がある。
- (2) ボゴタ川及び周辺河川等の水環境の汚染は進行していることが想定され、湿地帯等の自然環境に係る影響が懸念される。また、浅層地下水の水質状況については、未処理の都市排水及び工業排水等による汚染が進行しており、かつ過剰揚水も行われていることから、代替水源としての浅層地下水の使用には制約があることを認識する必要がある。
- (3) 現在 EAAB には深井戸掘削、地下水の水質調査、関連データベースの管理及び測量調査等について必ずしも十分なノウハウを有していないことから、先方 C / P への効果的な技術移転を行う必要があり、先方からの要望も強い。このため、調査全体並びに C / P ごと個別の技術移転計画を策定のうえ、調査期間中における OJT あるいは技術移転セミナー・ワークショップでの off-JT の実施、本邦における C / P 研修等の機会を利用し、戦略的な人材開発を図るよう留意する必要がある。

- (4) EAAB に対しては、上水道分野において既に世銀・米州開銀等ドナーが施設建設、組織強化等に係るプロジェクトを実施しているため、これらドナーとの情報交換を十分に行うとともに、我が方協力の概要、目的、範囲等につき積極的に意見交換を行う必要がある。
- (5) プロジェクト対象地域における調査実施中の安全確保については十分な配慮を行う必要があり、具体的な試掘場所の選定等には現地日本国大使館、JICA 事務所とも事前に十分な協議を行い、フィールド調査実施時には事前に JICA 事務所とも協議しつつ、警官を備上する、先方 C / P の同行を求める等、治安配慮に係る万全の体制を組むことが重要である。

4 - 5 調 査 項 目

第一段階：基礎調査

- (1) 既存資料の収集・整理(先方一部実施の地下水調査及び他ドナー等による関連プロジェクトを含む)
- (2) 現地踏査
- (3) 実査(水需要調査、既存給水施設現況、物理探査、水質分析、水位観測)
- (4) 地下水モニタリング
- (5) 環境現況調査(既存井・河川水質、底質調査、地盤沈下)
- (6) 計画フレームの予備検討

第二段階：地下水賦存量調査

- (1) 水理・地質解析
- (2) 水収支解析
- (3) 既存データベースの整備
- (4) 既存地下水シミュレーションの検証・拡充
- (5) 地下水賦存量の評価

第三段階：地下水開発計画の策定

- (1) 計画フレームの設定
- (2) 水需要予測
- (3) 施設概略設計
- (4) 運転・維持管理計画の策定
- (5) 組織・制度計画策定
- (6) 地下水モニタリング計画の策定
- (7) 概算事業費積算

(8) 計画評価（経済、組織、技術、社会）

(9) IEE

(10) 事業実施計画策定

4-6 調査工程

調査工程は、原則として平成12年10月中旬に開始し、約30か月後終了を目途する。調査工程案を図4-1に示す。

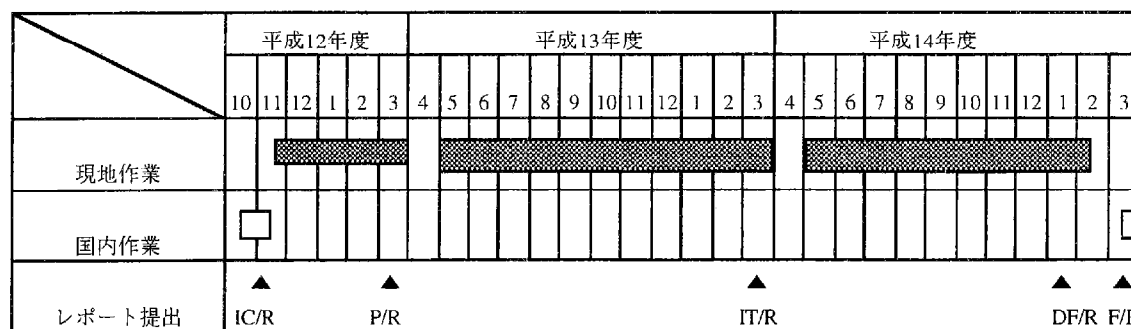


図4-1

4-7 調査団構成

本件調査団は、おおむね以下の団員により構成される。

- ア 総括／地下水開発計画
- イ 水理・地質 A
- ウ 水理・地質 B
- エ 水質／環境配慮
- オ 物理探査
- カ 掘削指導
- キ GIS
- ク 地下水シミュレーション
- ケ 経済・社会／社会配慮
- コ 組織・制度／人材育成

