

第1章 調査の概要

1.1 調査の構成

(1) 調査の背景

ボゴタ平原にはコロンビア国の首都ボゴタ特別市と周辺都市が存在し、その人口は現在 700 万人であるが、地方部からの人口流入や自然増加により 2015 年には人口が 900 万人に達すると予測されている。現在、ボゴタ首都圏の給水の主要水源は表流水で、現時点では量・質とも確保されているが、将来の水需要増に対応するため、安定した新たな水資源の開発が求められている。また一方では、自然災害に起因した給水施設の破損のため給水が停止する事態が発生し市民生活が大混乱したことを教訓に、災害・緊急時の代替水源の確保が重要な課題となっている。これらの対策として表流水を新たに開発することは、表流水の水源開発地が遠隔地となり、コスト・維持管理の面で問題があることが指摘されている。

ボゴタ平原の地下水開発は、ボゴタ市周辺の一部の都市給水、花卉園芸等の灌漑用水および工業用水として利用されている。大部分の地下水は、浅層の第四紀層を対象に現在まで開発が進められてきたが既に限界まで開発され、これ以上の開発は困難とみられている。これに対し、深層の白亜紀の地下水は、現在まで大規模開発は行われておらず、今後の長期的な安定水源としての開発の可能性が注目されている。ボゴタ市は、1999 年に深層地下水の賦存量調査を開始したが、十分な調査成果を得るに至っていない。安定水源としての地下水の開発は、中長期的に安定した給水水源として期待され、その賦存量の確認調査と地下水開発計画策定が急務となっている。

このような背景のもと、コロンビア政府は日本政府に対しボゴタ平原の地下水開発に係る計画策定のための技術協力を要請した。この要請を受けて、国際協力事業団（JICA）は 2000 年 7 月に事前調査団を派遣し「コロンビア国ボゴタ平原持続的地下水開発計画調査」（本調査）に係る S/W の署名・交換を行った。この S/W に基づいて、JICA は本格調査団を 2000 年 12 月に派遣し、本調査の現地作業が開始された。本調査の第 1 年次調査（2000 年 12 月 - 2001 年 3 月）の調査成果は Progress Report に報告されている。また、第 1 年次調査および第 2 年次調査（2000 年 5 月 - 2002 年 2 月）の中間成果は Interim Report にまとめて報告されている。Final Report（本報告書）は本調査の最終報告書として、第 1、2、3 年次調査結果についてまとめたものである。

(2) 調査の目的

ボゴタ平原全体を対象にした本調査の目的は、ボゴタ平原における地下水ポテンシャルの評価、地下水に関係する環境の現状調査、持続的地下水開発計画（マスタープラン）の作成、本調査の実施を通じてのコロンビア側カウンターパートへの技術移転である。

(3) 調査対象地域

本調査の調査対象地域は、コロンビア国の首都ボゴタ特別市およびクンディナマルカ県の周辺都市が位置するボゴタ平原である。本調査で整備した GIS データベースによると、調査対象地域は、面積 4,268 km² で、31 の自治体を含んでいる。

(4) 調査フェーズ

本調査は次の 3 フェーズに分けて実施された。

第 1 年次調査：基礎調査（2000 年 9 月 - 2001 年 3 月）：

調査対象地域の現状を把握し、問題点を明確にするとともに、問題点の解決するための分析を行う。また、物理探査、試掘調査等の実査を通じ、地下水ポテンシャルの評価のために必要なデータを測定する。

第 2 年次調査：地下水ポテンシャルの評価（2001 年 5 月 - 2002 年 3 月）：

第 1 年次調査および第 2 年次調査で収集・実測したデータに基づき、地下水ポテンシャルの予備評価を行う。評価では、地下水シミュレーションや GIS データベースを活用し、データの量や精度を充実させて効率的な評価を行う。

第3年次調査：地下水開発計画の策定（2002年5月～2003年2月）：

地下水ポテンシャルの評価を確定させながら、調査対象地域における井戸掘削計画、給水計画、維持管理計画等を策定する。計画策定にあたっては、ボゴタ市の財政状況、運営能力、資金導入条件等を十分に考慮して、維持管理面や建設資金面でも持続可能な計画を立案する。

1.2 調査の運営

(1) 調査組織

本調査の円滑な運営とカウンターパートとの良好なコミュニケーションと技術移転をはかるように、図 1-1に示すような調査組織を確立した。カウンターパート機関である EAAB（ボゴタ市上下水道公社）は、EAAB および関連機関（CAR:クンディナマルカ地域公社、DAMA:ボゴタ首都圏地区環境局、INGEONMINAS:国立地質鉱山環境核調査情報研究所、IDEAM:水文気象環境研究所、ACCI:コロンビア国際協力庁等）からの代表者をメンバーとする運営委員会（ステアリング・コミティー）を設立した。調査団の提案した技術委員会は、運営委員会が技術的事項も取り扱うため、設立されなかった。調査団員とカウンターパート・チームは、それぞれのメンバーの技術面に応じて、3つのグループに分けられた。即ち、グループA：地下水ポテンシャル調査、グループB：地下水開発計画およびグループC：事業評価である。



図 1-1 調査組織

(2) 主要な会議

調査団とカウンターパート機関との間で、表 1-1 に示すような主要会議が持たれた。

表 1-1 主要な会議

会議名・開催日	主な議題と協議内容
インベントリパート協議会議 2000年12月18日、19日	主要議題：全体調査計画 協議内容：・JICA 調査団の調査計画について合意 ・調査目的に「地下水関連の環境を調べること」を追記する。・既存の調査結果の活用 ・水質基準はコロンビア国の水準を使う。 ・地下水シミュレーションでは水質汚染も調べる。その他。
運営委員会 (No.1/Phase1) 2001年01月05日	主要議題：調査組織 協議内容：・運営委員会では技術的な内容も協議する。従って、技術委員会を設置しない。 ・調査団とカウンターパートグループは、3 グループ (A.地下水ポテンシャル B.地下水開発計画 C.事業評価) の作業部会に分ける。 ・各カウンターパート機関は、積極的に調査に参加し、それぞれのグループに専門家を出す。 ・
運営委員会 (No.2/ Phase1) 2001年03月08日	主要議題：試掘井戸計画およびパイロットスタディ計画 協議内容： フェーズ2のEAAB 試掘井戸として、調査団は、4 サイト (Ciudad Bolivar, Vitelma, La Aguadora, Subachoque) を提案した。パイロットスタディの候補地点として、調査団は 4 サイト (Vitelma, La Aguadora, La Salle および Subachoque) を提案した。
運営委員会 (No.3/ Phase1) 2001年03月15日	主要議題：プログレスレポートの内容およびフェーズ e2 の調査計画 協議内容： ・調査団のフェーズ1の調査成果についての協議 ・フェーズ2の調査計画 (EAAB の準備事項：探査井戸、パイロットスタディ、気象観測所 ・フェーズ1で設置したモニタリング井戸の観測)
運営委員会 (No.1/Phase2) 2001年06月28日	主要議題：月例の会議 協議内容： ・新メンバーの照会 ・ IDEAM および ASOCOLFLORES が新しくメンバーとなる ・地下水関連情報の一元化管理 ・各月の月末の木曜日に運営委員会を開く。
運営委員会 (No.2/ Phase2) 2001年07月25日	主要議題：月例の会議 協議内容： ・ IDEAMA と CAR は、井戸情報データベースについて協定を結んで情報交換しているため、調査団は関係者に接触して進捗を確認することができる。 ・地下水管理に関連する組織の持つ地下水関連データを統合して、本調査のデータベースに組み込む。 ・ボゴタ平原の地下水管理組織・体制について今後議論を重ねる。 ・ACCI は今後、議事録に Check サインをする。
運営委員会 (No.3/ Phase2) 2001年08月30日	主要議題：月例の会議 協議内容： ・地下水管理体制 ・モニタリング3井戸の設置 ・11ヶ所の気象観測の設置 ・井戸インベントリ調査について、調査団は関係機関からのデータ提供をお願いした。地下水シミュレーションについての調査団からの説明 (2モデルを作成：広域モデルと調査域詳細モデル) ・カウンターパート研修
運営委員会 (No.4/ Phase2) 2001年09月27日	主要議題：月例の会議 協議内容： ・EAAB からの試掘井戸の遅れについての説明 ・Subachoque 流域での試掘井戸に必要性についてのEAABの説明 ・11 気象観測所の位置について ・INGEOMINAS からの井戸情報の提供で協定が必要 ・水収支解析では、CAR の所有する水文データが必要である。 ・アイソトープ分析結果の公表
運営委員会 (No.5/ Phase2) 2001年10月25日	主要議題：月例の会議 協議内容： ・Vitelma 試掘井戸についてのEAABの経過報告 ・11 気象観測所の位置についての合意 ・地下水シミュレーションの既存モデルの改良についての調査団の説明 ・水収支とシミュレーションに関する Work Shop を毎週木曜日に開催する。Subachoque 地区での地下水涵養に関する CAR の計画
運営委員会 (No.6/ Phase2) 2001年11月29日	主要議題：月例の会議 協議内容： ・Vitelma 試掘井戸についてのEAABからの経過報告 ・現地調査の結果、CAR の提案したSubachoque 地区の試験地は適切でなかった。井戸インベントリの調査経過 ・井戸の合同現地調査についてのEAABの提案 ・Vitelma 試掘井戸の早期完成についての調査団の依頼
運営委員会 (No.7/ Phase2) 2002年01月17日	主要議題：月例の会議 協議内容： ・水収支計算結果の概算値の調査団からの報告 ・広域地下水シミュレーションについての説明 ・データベース整備の進捗状況
運営委員会 (No.8/ Phase2) 2002年02月19日	主要議題：月例の会議 協議内容： ・インテリムレポート説明・協議、 ・第3年次調査計画の説明
運営委員会 (No.1/ Phase3) 2002年06月13日	主要議題：月例の会議 協議内容： ・第3年次調査内容に関する調査団からの説明 ・調査域を対象とした国側関係機関による井戸 Inventory 調査の進捗状況に関する国側からの説明 ・Vitelma 人工涵養井戸の完成および揚水試験結果に関するEAABからの説明
運営委員会 (No.2/ Phase3) 2002年07月25日	主要議題：月例の会議 協議内容：現在までの調査団井戸水質試験結果および環境現況調査結に対する総合的な分析結果に関する調査団からの説明 ・東部山地帯地下水開発・保全計画およびボゴタ平原西部地域地下水保全計画に関するワークグループの設立に関する調査団からの提案
運営委員会 (No.3/ Phase3) 2002年10月10日	主要議題：月例の会議 協議内容： ・地下水涵養量評価の進捗状況と解析結果に関する調査団からの説明 ・調査団が作成した地下水シミュレーションおよびその他の分析結果の国側への移転について ・東部山地帯地下水開発・保全計画およびボゴタ平原西部地域地下水保全計画の進捗に関する調査団からの説明
運営委員会 (No.4/ Phase3) 2002年11月28日	主要議題：月例の会議 協議内容： ・調査域の地下水涵養量と地下水流動に関しての調査団からの報告 ・ボゴタ平原東部山地帯地下水開発・保全計画およびボゴタ平原西部地域地下水開発保全計画に関する調査団からの説明
運営委員会 (No.5/ Phase3) 2003年01月16日	主要議題：ドラフト・ファイナルレポート 協議内容：ドラフト・ファイナルレポートについて協議し、M/M を取りまとめる。

(3) ワークショップ

本調査期間、各担調査分野ごとにワークショップを適宜開催した。ワークショップでは本調査における各分野の調査内容や進捗状況を日本側が説明し、調査内容や解析手法につき「コ」国側と活発に議論し、また必要に応じて「コ」国側も技術的発表を行なった。これらのワークショップを通じて「コ」国側に技術移転を行なうとともに、調査団側も「コ」国側から貴重な情報を得た。とりわけ、ワークショップを通じて、本調査における各調査部門の現在までの「コ」国側の調査結果や認識が明らかになり、また調査団の調査実施上および分析実施上の問題点が明らかにされ、その対策が「コ」国側から提案された。これらの議論を通じて、調査団と「コ」国側が共同で各調査内容を深く検討することができた。本調査期間に実施されたワークショップの内容は表1-2の通りである。

表 1-2 ワークショップの実施状況

調査年次	No.		日付	内 容
第1年次	1	WS-1-1	2001年01月09日	・試掘井戸
	2	WS-1-2	2001年01月26日	・ボゴタ平原の湿地 ・ボゴタ市の湿地 ・ボゴタ市湿地の管理する EAAB の役割
	3	WS-1-3	2001年02月12日	・地下水ポテンシャルの評価方法 ・ボゴタ平原の水文特性 ・ボゴタ平原の既存の物理探査 ・EAAB の湿地管理状況
	4	WS-1-4	2001年02月14日	・総合水資源管理事業 ・DAMA の地下水管理 ・CAR の地下水管理 ・組織制度の調査方針
	5	WS-1-5	2001年02月19日	・ボゴタ市の土地利用計画 ・ボゴタ市の水需要 ・ボゴタ平原の土地利用計画 ・ボゴタ平原の水需要
	6	WS-1-6	2001年03月06日	・試掘井戸状況 ・フェーズ2の試掘井戸計画
	7	WS-1-7	2001年03月06日	・フェーズ2のパイロットスタディ計画
	8	WS-1-8	2001年03月06日	・提案する地下水シミュレーションモデル ・既存の地下水シミュレーションモデル
	9	WS-1-9	2001年03月06日	・水質調査およびアウトプット分析 ・ボゴタ平原の地下水の水質 ・ボゴタ市の地下水水質 ・既存のアウトプット分析
第2年次	1	WS-2-1	2001年06月06日	・フェーズ2 調査内容 ・GIS ・水質 ・GIS ・パイロットスタディ ・試掘調査
	2	WS-2-2	2001年07月19日	・人工涵養のためのパイロットスタディ
	3	WS-2-3	2001年09月21日	・地下水資源管理
	4	WS-2-4	2001年10月04日	・水収支解析 ・地下水シミュレーション
	5	WS-2-5	2001年10月11日	・気象観測 ・井戸インベントリー
	6	WS-2-6	2001年10月18日	・水収支解析 ・地下水シミュレーション
	7	WS-2-7	2001年11月08日	・水収支解析 ・地下水シミュレーション ・人工涵養試験
	8	WS-2-8	2001年11月15日	・水収支解析 ・地下水シミュレーション
	9	WS-2-9	2001年11月22日	・気象解析 ・水収支解析 ・地下水シミュレーション
	10	WS-2-10	2001年12月06日	・CSMAT 物理探査 ・水収支解析 ・水理地質解
	11	WS-2-11	2001年12月13日	・水収支解析 ・地下水シミュレーション
	12	WS-2-12	2001年12月20日	・水収支解析 ・水理地質解析
	13	WS-2-13	2002年01月10日	・地下水開発可能性 ・人工涵養 ・地下水シミュレーション
	14	WS-2-14	2002年01月17日	・地下水シミュレーション
	15	WS-2-15	2002年01月24日	・地下水シミュレーション ・水需要予測
	16	WS-2-16	2002年01月31日	・GIS ・水質 ・地下水シミュレーション
	17	WS-2-17	2002年02月14日	・地下水シミュレーション
第3年次	1	WS-3-1	2002年06月20日	・地盤沈下 ・GIS
	2	WS-3-2	2002年06月27日	・水収支解析
	3	WS-3-3	2002年07月04日	・GIS システム、CAR の水収支解析
	4	WS-3-4	2002年07月11日	・調査団：水質
	5	WS-3-5	2002年07月23日	・水収支解析
	6	WS-3-6	2002年08月01日	・Vitelma 揚水試験 ・水収支
	7	WS-3-7	2002年08月08日	・水収支解析 ・地下水シミュレーション
	8	WS-3-8	2002年08月15日	・水収支解析
	9	WS-3-9	2002年11月15日	・水収支解析 ・地下水シミュレーション
	10	WS-3-10	2002年11月22日	・水収支解析
	11	WS-3-11	2002年11月14日	・水質分析結果
	12	WS-3-12	2002年11月22日	・水質分析結果

(4) 技術移転セミナー

本調査において2回の技術移転セミナーを実施した。その概要は以下の通りである。

表 1-3 技術移転セミナーの内容

セミナー	日時	会場	講演者	講演内容
第1回 セミナー	2002年 2月22日	Calle 71、EAAB オフィスホール	渡辺 正知	調査の進捗状況
			Carlos Molano	ボゴタ平原の地下水
			Sigifredo Tenjo	Cauca 河谷の地下水開発
第2回 セミナー	2002年 1月15日	La Auadula EAAB 研修施設ホール	神野 健二	地下水開発・保全技術
			渡辺 正知	調査の最終成果
			中村 浩	地下水調査
			原 尚生	地下水管理体制

< 第1回技術移転セミナー >**調査団側からの発表**

調査団側からは渡辺団長が、Phase-II までの調査実施内容とその成果について講演を行なった。講演内容は調査内容の全般におよび、特に地下水涵養量推定・地下水シミュレーションの中間成果の説明に重点が置かれた。また、有望な地下水開発地域と地下水人工涵養の可能性についての提案がなされた。

コロンビア側からの発表

コロンビア側からは、Cauca 河谷地域公社の Sigifredo Tenjo 技師と Los Andes 大学講師の Carlos Molano 氏による講演があった。Molano 氏の講演は地下水流動の原理の説明から始まり、ついでボゴタ平原の水理地質や地下水流動に関する学術的な内容であった。Sigifredo Tenjo 技師は Cauca 県における地下水開発・管理に関する貴重な報告を行なった。Cauca 県の地下水開発・管理はコ国において最も成功した例として評価が高く、その手法は本調査においても参考となった。

講演内容に対する反響

本セミナーへは、本調査の C/P 機関の関係者だけでなく、ボゴタ首都圏地区・政府機関・大学・周辺市町村の関係者など幅広い層からの参加者があった。日本側の発表は調査の中間成果に関するものであったが、幾つかの重要な新情報を参加者に与えた。それは、現在のボゴタ平原における地下水使用量、ボゴタ平原における地下水涵養量、白亜紀層の有望開発地域、人工涵養による地下水資源の保全である。ボゴタ平原における現在揚水量は一部関係機関で部分的には把握していたものの、本調査に実施によって全体揚水量の推定値が提出された。ボゴタ平原における地下水涵養量はコ国側担当機関によって過去にその推定値が提出されていた。今回調査団によって提出された値はその推定値を大きく上回るものであり、この算出手法と結果が「コ」国側の大きな関心と呼んだ。調査団は白亜紀層の有望開発地点としてボゴタ平原東部山地帯を提案した。この地域は過去に地下水開発がなされていない地域であり、「コ」国側参加者にとって新鮮なアイデアであった。人工涵養による地下水保全はボゴタ平原において前例がなく、過剰揚水が指摘されているボゴタ平原における実施可能性が「コ」国側の関心を引き起こした。

< 第2回技術移転セミナー >

第2回技術移転セミナーは本調査の最終段階である2003年1月に実施した。調査団から渡辺団長（総括/地下水開発）、中村団員（水理地質 A）および原団員（組織法制度/人材育成）が調査結果を報告した。また、特別講師として招かれた九州大学神野教授が日本の地下水開発・利用の現況と地下水開発・保全に係わる諸問題についての講演を行なった。

九州大学神野教授の発表内容

九州大学神野教授は、まず日本の水使用の現状とその中における地下水の利用価値について

紹介を行った。次いで、地下水の利用の伴って発生した諸問題について説明した。日本では、全体水利用の中の86%が表流水を水源とし、残り14%が地下水を水源とし、工業、上水道、農業にほぼ等しく利用されている。一方、地下水使用量は地下水涵養量を上回っていると推定されており、地盤沈下や塩水の侵入といった深刻な環境問題を引き起こした。これに対して現在まで数多くの研究・調査がなされ、また法律による地下水の利用規制が実施されてきた。また、近年は、地下水汚染の問題が顕在化し、社会問題となっている。これに対しても、法律の整備による対策が行われるとともに、数々の汚染調査法や汚染土壌や地下水の浄化法が提案され実施に移されている。今後、地下水に関わる諸問題を解決するに当たっては、次の3点が重要である、より現実に即した調査の実施、関連分野の専門家の協力、各種の成果を総合的に検討するキパースンの存在。

調査団からの発表内容

調査団からの発表として、まず渡辺団長が調査結果を総括的に説明した。：本調査によってボゴタ平原の水収支が検討され、その結果、地下水開発可能性が推定された。またボゴタ平原における現在の地下水利用実態が明らかにされた。これらの結果から、ボゴタ平原では地域ごとの地下水開発可能性に応じた新たな地下水開発が可能であることが判明した。この結果と将来的な水需要を総合することによって、調査団は次の2つの事業を提案した。ボゴタ平原東部山地帯における地下水開発計画および保全計画、ボゴタ平原中央部・西部地域における地下水保全計画。これらの事業は、いずれも実施可能という事業評価がなされている。

次いで水理地質担当の中村団員が地下水開発ポテンシャル評価の結果を説明した。：本調査における地下水ポテンシャル評価は、地下水涵養量の推定によって行われた。この推定は水収支解析に基づいている。降雨量、実蒸発散量、河川流出量を既存データから算出することによって地下水涵養量を求めた。その算出結果の地下水涵養量は144mm/年である。この算出値は地下水シミュレーションによって検証された。

最後に、組織法制度人材育成担当の原団員が発表を行った。原団員は、今回のマスタープランで提案されている、組織・制度/人材育成計画の背景となる世界的な地下水所有権の歴史的な流れ、公有の財産となつてからの地下水管理としてとられてきた資源管理に関する諸施策の理念・動向について概観した。また、日本においては地下水は未だ私権に属すもので地下水管理の概念が地下水を公有財産とした国とは全く異なることに触れた。その後、提案している組織・制度/人材育成計画について概説した。

講演に対する反響

九州大学神野教授の講演は、日本の地下水利用と現況と諸問題に関する内容であり、多くの参加者の強い関心を引き起こした。講演内容に示された日本における地下水の諸問題は、コロンビア国において近い将来に問題化する可能性が高いものであり、講演内容の各話題の対して参加者から多くの質問が寄せられ、その関心の高さが窺われた。とりわけ地盤沈下や地下水汚染、またこれに対する法制度の整備に関して神野教授に対して多く質問がなされた。神野教授が講演の中で示した地下水調査法は、コロンビア国の将来的な地下水調査法の在り方を示唆するものであった。

調査団からの発表は調査成果に関するものであった。調査団は多くの会議やワークショップの場を通じて関係機関に調査の成果を説明してきたが、今回のセミナーにおいてより広範な人々にその内容をアピールすることが出来た。地下水開発・保全を計画するうえで地下水涵養量は極めて重要な意味をもっており、本調査で調査団が提出した144mm/年の地下水涵養量は、参加者の関心を引き起こした。また、調査団が提案した2つの地下水開発・保全事業は、その必要性についてコロンビア側から強い賛同を得たものと考えられる。