

国際協力事業団(JICA)

スリ・ランカ国

灌漑・水管理省(MIWM)

水資源局 (WRB)

# スリ・ランカ国 南部2県地下水資源開発計画調査

## ファイナル レポート

### 和文要約

2003年 2月

(株)パシフィックコンサルタンツインターナショナル

社調二
-----

JR
----

03 - 46
---------

スリ・ランカ国  
南部2県地下水資源開発計画調査

ファイナル レポート

和文要約

2003年 2月

(株)パシフィックコンサルタンツインターナショナル

Exchange rate on Oct.2003 is Sri Lankan Rupees (Rs.) = Japanese Yen ¥1.206 = US\$0.0103.

## 序 文

日本国政府は、スリ・ランカ民主社会主義共和国政府の要請に基づき、同国の南部2県地下水資源開発計画にかかる開発調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施いたしました。

当事業団は、平成13年3月から平成15年2月までの間、4回にわたり、(株)パシフィックコンサルタンツインターナショナルの畑裕一氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。

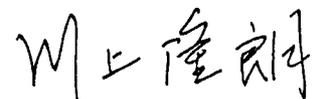
また平成13年3月から平成15年2月までの間、当事業団の牛木久雄国際協力専門員及び埼玉大学地圏科学研究センターの渡辺邦夫教授で構成される調査監理委員会を設置し、本件調査に関し専門的かつ技術的な見地から検討・審議が行われました。

調査団は、スリ・ランカ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共に、両国の友好・親善のいっそう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いただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成15年2月



国際協力事業団  
総裁 川上隆朗

# スリ・ランカ国南部2県地下水資源開発調査

## 伝達状

平成15年2月

国際協力事業団

総裁 川上隆朗 殿

拝啓

スリ・ランカ民主社会主義共和国における、南部2県地下水資源開発調査の報告書を提出いたします。本報告書は平成12年度から平成14年度にわたる調査結果を取りまとめたものであります。

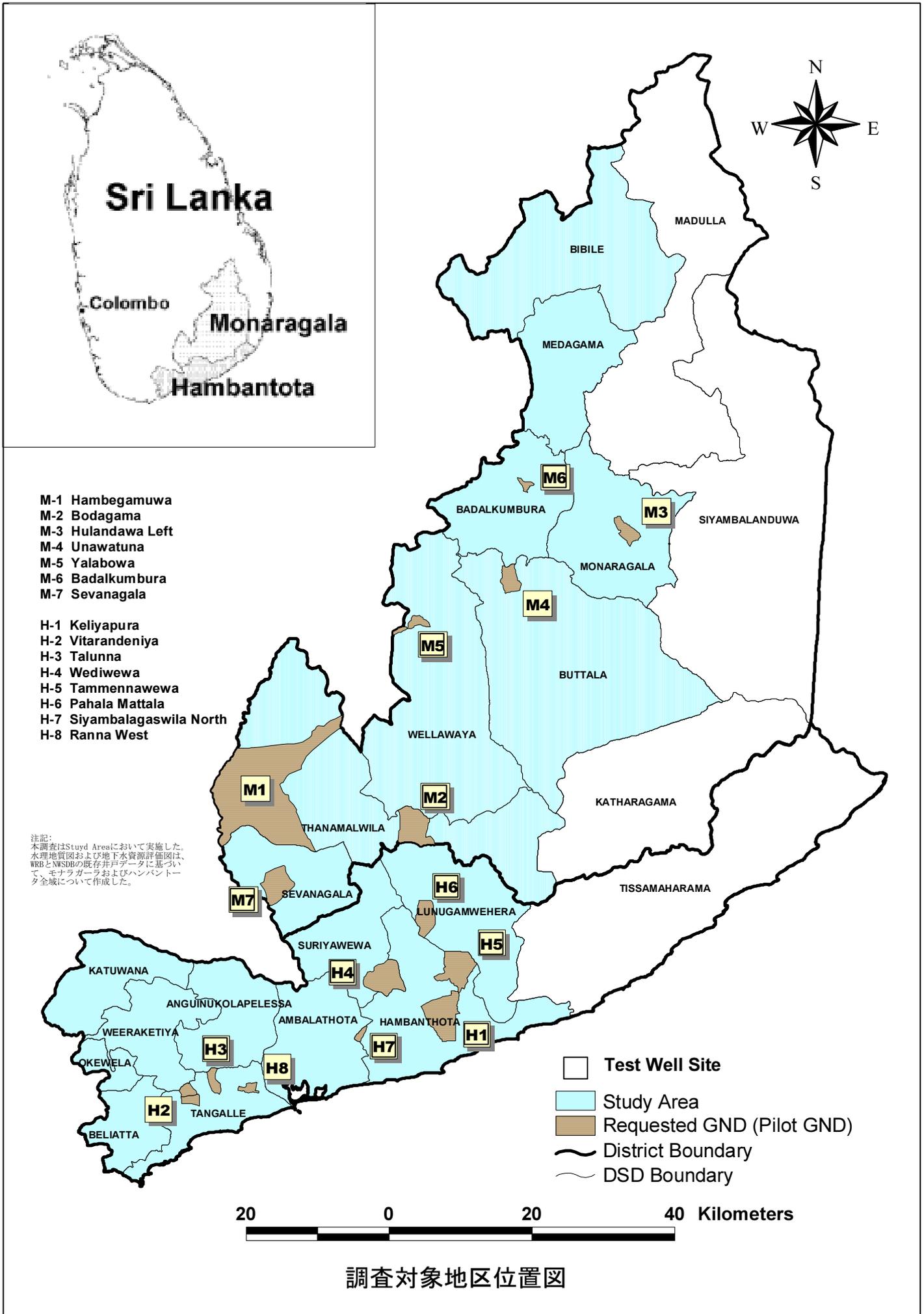
本調査では、ハンバントータとモナラガラ の2県をカバーする、上部裂隙型帯水層および下部/深部裂隙型帯水層の2つの水理地質図を作成しました。さらに水理地質図をもとに、地下水資源開発計画の資料とするため地下水資源評価図を作成しました。水理地質図および地下水資源評価図は、スリ・ランカ国で初めて構築されたものであり、本調査の最も重要な成果であります。この地下水評価結果に基づいて、地下水開発有望地域を割り出し、地下水資源開発計画を策定しました。

本報告書の提出にあたり、調査団に対し多大なご支援を賜った貴事業団、外務省、在スリ・ランカ国日本大使館の諸賢、スリ・ランカ国政府機関の関係各位、ならびに民間技術者の方々に対し、心から感謝の意を表すと共に、提案しました開発計画が、ハンバントータとモナラガラ の2県の給水と公衆衛生状況が改善されるとともに、スリ・ランカ国の経済活動に寄与することを希望する次第です。

敬具



南部2県地下水資源開発調査  
調査団長 畑 裕一





乾季にバウサーから給水を受ける住民



干上がった川底を掘って水を得る少年



既存井戸調査で供与機材の水質計を使う WRB の技術者



電磁探査(CSAMT 法) を実施する調査団員



供与機材で電気探査(シュランベルジャー法)を実施する WRB 技術者達



供与機材の掘削機を動かす WRB の技術者達



WRB の掘削資機材ヤードと供与機材



エアリフトにより地下水が排出されているところ



井戸の成功に沸く住民(Yarabowa)



供与機材の水中ポンプを使って揚水試験を実施する WRB の技術者達



供与機材の検層機で孔内検層を実施する WRB の技術者達



完成した試験井戸と、WRB が作成したシンハラ語,タミール語そして英語の3言語で井戸の目的を記述した看板



完成した試験井戸の自記水位計の水位データの読み込み作業を視察される大塚大使



約 70 名が参加した技術移転セミナーの様子 (2002 年 12 月 20 日)

## 調査結果の概要

### 1 計画の背景と現況

本調査は、ハンバントータおよびモナラガラ の 2 県が対象である。2 県は、スリランカ国内のなかでも開発の遅れた地域であり、上水道も含む社会基盤整備は後進的である。

2 県における利用できる水資源の有用性は、ある一定の地域に限られている。その結果、地域住民は乾季における慢性的な水不足の被害を被り続けている。同地域における安定した水資源の開発は、現在の水不足を解消する基幹的課題である。その為の実現性のある水源として、地下水資源の開発が将来の水資源開発で最も期待されている。

### 2 水理地質

水理地質調査結果から、調査地域の裂隙型帯水層を 3 つに分類した。すなわち、上部裂隙型帯水層、下部裂隙型帯水層、深部裂隙型帯水層、である。100m 以深の深部裂隙型帯水層が確認されたのは、本調査が初めてである。No.M-2 Bodagama, No.M-3 Badalkumbura, No.M-4 Yalabowa での試験井掘削により、優良な下部裂隙型帯水層の存在が確認された。また、優良な深部裂隙型帯水層の存在が、No.H-2 Talunna 試験井確認された。揚水試験および継続水位調査結果から、深部裂隙型帯水層と、上部の裂隙は連続性があるものと考えられる。

10 箇所の試験井のうち 5 井が毎分 400 リットル以上を湧出した。またその他の 2 本は 85～100 リットルの湧出であった。このような結果は、過去のデータと比較しても優良な結果といえる。試験井戸の位置は、事前の地質調査、特に物理探査の結果によって決定したものである。地下水開発有望地域といえども裂隙型地下水の場合、その分布は一様ではない。そのため物理探査の実施が、井戸掘削地点を決定する上で不可欠である。探査側線の決定は、地質構造と地下水の関係を考慮して行われるべきである。水理地質図は、これらの物理探査結果、試験井掘削結果などのデータによって修整されてゆくべきである。

### 3 地下水評価

水理地質調査結果に基づき、上部裂隙型帯水層および下部/深部裂隙型帯水層の 2 つの水理地質図を作成した。これらの水理地質図は、今後の水理地質情報の積み重ねによりさらに修整されるものである。さらに水理地質図をもとに、地下水開発計画の資料とするため地下水資源評価図を作成した。地下水資源評価図には、地下水開発有望地域が示している。

水理地質図および地下水資源評価図は、スリランカで初めて構築されたものであり、本調査の最も重要な成果である。これらの図面によって、両県における将来の地下水開発をより確かなものとし、さらにこの分野での効果的な資本投資を可能にする。

モナラガラでは比較的広い地域が有望地域として見込まれている。ハンバントータでは、中央部の沿岸地域はほとんど水質が悪く “poor” として評価された。

#### 4 地下水資源開発計画

地下水評価結果に基づいて、ハンバントータ、モナラガラ 2 県の地下水開発有望地域を割り出した。6 段階評価のうち、上位 Very Good と Good を地下水有望地域として表 1 に示した。帯水層別の地下水開発有望地域に分布する GND 数、水需要量、面積を示す。

表 1 帯水層別地下水開発用有望地域の水需要量と面積

ハンバントータ県				
帯水層のタイプ		GNDs 数	水需要 (m <sup>3</sup> /day)	面積 (km <sup>2</sup> )
上部帯水層	Very good	69	11,405	147.29
	good	153	27,487	616.80
下部/深部帯水層	Very good	3	436	5.75
	good	126	26,323	520.28
Subtotal		<b>351</b>	<b>65,651</b>	<b>1,290.28</b>
モナラガラ県				
帯水層のタイプ		GNDs 数	水需要 (m <sup>3</sup> /day)	面積 (km <sup>2</sup> )
上部帯水層	Very good	84	22,445	1,465.28
	good	115	32,764	1,957.11
下部/深部帯水層	Very good	42	10,767	302.18
	good	55	22,539	894.40
Subtotal		<b>296</b>	<b>88,514</b>	<b>4,618.97</b>
2 県合計				
		GNDs 数	水需要 (m <sup>3</sup> /day)	面積 (km <sup>2</sup> )
Grand Total		<b>647</b>	<b>154,165</b>	<b>5,909.25</b>

#### 5 地下水開発のための生産井掘削計画

提案した生産井掘削計画を表 2 に示す。上部帯水層で 468 井、下部/深部帯水層で 193 井の生産井が必要であると見積もられた。井戸本数は、既存井戸及び試験井戸の平均湧出量で算定したものであるため、固定値ではない。しかしながら、需要を満たすためには上部帯水層および下部/深部帯水層の両方で、600~700 井程度の生産井が必要であると見込まれる。

表 2 帯水層別生産井計画

上部帯水層	県	水需要量 (m <sup>3</sup> /day)	生産井本数
	Hambantota	38,892	193
	Monaragala	55,209	275
	<b>Total</b>	<b>94,101 m<sup>3</sup>/day</b>	<b>468 wells</b>
Remark: Expected well yield of 201 m <sup>3</sup> /day (an average of 586 existing wells with 12 hours operation/day) was adopted			
下部/深部帯水層	県	水需要量 (m <sup>3</sup> /day)	生産井本数
	Hambantota	26,759	86
	Monaragala	33,306	107
	<b>Total</b>	<b>60,065 m<sup>3</sup>/day</b>	<b>193 wells</b>

掘削計画は以下のように提案する:

- 上部帯水層：**  
 WRB もしくは NWSDB が現在保有している稼働掘削機の 2 台を充当する。468 井の計画は約 7.8 年要する。本さく井機によって掘削を行う地下水開発実行候補地は、Bibile- Madulla 地区、 Monaragala-Siyambalanduwa 地区 Thanamalwila 小地区と Katuwana-Weeraketiya 小地区 が提案される。
- 下部/深部帯水層：**  
 8 インチ口径で 200m 深度の能力を有する、掘削機 1 台を充当する。193 井の計画で約 7.5 年の期間が必要である。本さく井機によって掘削を行う地下水開発実行候補地は、Badalkumbura-Wellawaya 地区と Wellawaya-Lunugamwehera 地区である。

## 6 パイロット計画

スリランカ側の要請に基づいて決定した、15 パイロット GND に対する地下水開発計画を、表 3 に示すように提案した。

表 3 パイロット GND の地下水開発計画

GND 名	NWSDB による計画			水源のポテンシャル			開発計画			
	level 2 (Y.T.) %	level 3 (D.C.) %	水需要 2010 m <sup>3</sup> /day	試験 井戸 m <sup>3</sup> /day	想定 湧出量 <sup>1)</sup> m <sup>3</sup> /day	水質	level 2 (Y.T.) %	level 3 (D.C.) %	計画揚水量 m <sup>3</sup> /day	井戸 本数
<b>MONARAGALA</b>										
M1 Hambegamuwa	20	80	469	N.A.	72.00	Good <sup>2)</sup>	100	0	174	3
M2 Bodagama	20	80	389	316.80	N.A. <sup>6)</sup>	Alkalinity & F <sup>-</sup>	45	55	316	1
M3 Hulandawa L	20	80	491	N.A.	72.00	good	100	0	182	3
M4 Unawatuna	10	90	563	N.A.	72.00	good	100	0	148	2
M5 Yalabowa	10	90	313	439.20	N.A.	Alkalinity	10	90	313 plus 1GND	1
M6 Badalkumbura	10	90	178	684.00	N.A.	Fe <sup>3+</sup>	10	90	178 plus 2GND	1
M7 Sevanagala	20	80	1,315	61.20	N.A.	PH & Pb	100	0	174	3
<b>HAMBANTOTA</b>										
H1 Keliyapura	0	100	11	0.72	N.A.	Inappropriate	0	100	E.S <sup>4)</sup>	N.A
H2 Vitarandeniya	10	90	66	N.A.	36.00	Fair <sup>3)</sup>	35	65	36	1
H3 Talunna	10	90	206	298.80	N.A.	Hardness & Ca <sup>2+</sup>	10	90	206 plus	1
H4 Wediwewa	20	80	352	1.08	N.A.	Inappropriate	20	80	E.S	N.A
H5 Tammennawewa	0	100	225	311.04	N.A.	Inappropriate	0	100	225 plus	1
H6 Pahala Mattala	10	90	84	76.32	N.A.	Desirable	20	80	76	1
H7 Siyambalagasvila	0	100	87	0.75	N.A.	Inappropriate	0	100	E.S	N.A
H8 Ranna West	10	90	284	N.A.	72.00	Fair	84	16	71	1

Remarks

1) 水理地質評価による推定

2) Good: 電気伝導度で 750 μS/cm 以下

3) Fair: 電気伝導度で 750 から 3,500μS/cm

4) ES: 既存の上水道の拡張を提案

5) N.A.: 該当しない

Y.T.: ヤードタップ

D.C.: 各戸給水

## 7 計画の実施までの手順

本計画は、GND を対象にした主に飲料水供給を目的としている。取水可能な揚水量は、各地域の水理地質条件によって異なる。したがって、実際の開発には、基本的に本調査で実施された手順を採用する必要がある。その手順は、1) 水理地質調査、2) マスタープラン、3) フィージビリティ調査および設計の3段階がある。

本調査で実施した段階は、上記の段階のうち1) 水理地質調査、および2) マスタープランまでの過程であり、したがって今後はフィージビリティ調査および設計が必要となる。

## 8 移転された掘削技術

本調査を通じて、スリランカで始めてである深部（深さ 200m）掘削方法と掘削機が導入された。さらに、様々な地質条件や孔壁状態の違いの中で、各種深部掘削技術が移転された。WRB の組織力、および掘削技師の技術力を考慮すると、移転された技術及び機材は開発計画の実施のみならず、深部地下水開発が必要とされている多くの地域で今後の地下水調査に発展させる十分に役立つものと判断される。

## 9 地下水開発計画の評価

計画に対する社会経済面での評価は、地域社会の経済活動や保険・公衆衛生の改善に大きく貢献することを示した。総合評価として、計画は1) 水汲み労働の軽減、2) 水需要の増加への対応、3) 水因性疾病対策、4) 季節的、あるいは年変動による将来の水不足に備え、住民の厚生と国家発展の維持、に効果的な方策であると結論づけられた。

上記の利益を考慮すると、計画の実現のためレベル2から開始し、住民の所得の増加に応じてレベル3に移行する方法を提案する。この方法は給水事業の独立採算性を促進する。

# 目 次

序 文	
伝達状	
調査対象地区位置図	
写 真	
調査結果の概要	
目 次	
付表一覧	
付図一覧	
略語一覧	

## 第 1 章 序論

1.1	調査の背景	1-1
1.2	調査の目的	1-1
1.3	調査地域	1-1
1.4	調査の実施	1-1
1.5	報告書の構成	1-5

## 第 2 章 調査地域の概要

2.1	地質	2-1
2.1.1	地形と地勢	2-1
2.1.2	地質	2-1
2.2	水文	2-3
2.2.1	気象	2-3
2.2.2	水文学的特徴	2-3
2.2.3	地下水涵養ポテンシャル	2-7
2.3	社会経済状況	2-7
2.3.1	行政区分	2-7
2.3.2	人口、民族、宗教構成	2-8
2.3.3	経済	2-9

## 第 3 章 給水の現状と水利用

3.1	既存給水施設	3-1
3.1.1	ハンバントータ県	3-1
3.1.2	モナラガラ県	3-1

3.2	灌漑及び工業用水	3-1
3.2.1	灌漑	3-1
3.2.2	工業用水	3-4
3.3	生活用水源のタイプ	3-4
3.4	将来計画（現行プロジェクトを含む）	3-5
3.5	水利用	3-5
3.5.1	調査地域の給水状況	3-5
3.5.2	水消費量と主要生活用水源への距離	3-5
3.5.3	給水源	3-6
3.5.4	乾期における給水源の状況	3-6

## 第4章 水理地質

4.1	概要	4-1
4.2	帯水層分類と湧出量	4-1
4.2.1	帯水層の分類	4-1
4.2.2	上部帯水層（深度 70m 以浅）	4-1
4.2.3	下部帯水層（深度 70～100 m）	4-2
4.2.4	深部帯水層（深度 100～200m）	4-2
4.2.5	帯水層の相互関係	4-2
4.3	地質構造と地下水	4-5
4.4	地下水位	4-5
4.4.1	調査地域の一般的な特徴	4-5
4.4.2	水位変動	4-5
4.5	水質	4-6
4.6	帯水層の特性	4-8

## 第5章 地下水評価

5.1	概要	5-1
5.2	開発可能量の評価	5-1
5.2.1	湧出量	5-1
5.2.2	水質	5-1
5.2.3	地下水位	5-1
5.2.4	地質構造	5-1
5.2.5	地下水開発有望地域	5-1
5.3	取水可能量	5-5
5.3.1	パイロット GND の取水可能量	5-5
5.3.2	地下水開発有望地域の評価	5-5

## 第6章 地下水資源開発計画

6.1	計画の基本的な考え方	6-1
6.2	水需要予測	6-1
6.2.1	予測条件	6-1
6.2.2	調査地域における将来水需要	6-1
6.2.3	パイロット GND における将来水需要	6-3
6.3	地下水資源開発計画	6-3
6.3.1	地下水資源開発計画	6-3
6.3.2	計画実施の手順	6-10
6.4	パイロット計画	6-12
6.4.1	給水方式計画	6-12
6.4.2	地下水資源開発計画	6-13
6.5	地下水モニタリング計画	6-16
6.6	運営維持管理計画	6-16
6.6.1	給水施設の運営管理計画	6-16
6.6.2	供与される井戸掘削機の維持管理	6-17
6.7	組織・制度、人材育成計画	6-17
6.7.1	WRB 掘削局の強化	6-17
6.7.2	地方行政組織の能力強化	6-18
6.8	地下水資源開発計画の評価	6-18
6.8.1	社会経済面の評価	6-18
6.8.2	財務面の評価	6-18
6.8.3	環境面の評価	6-19
6.8.4	総合評価	6-19

## 第7章 結論と提言

7.1	結論	7-1
7.2	提言	7-2

## 付表一覧

### 調査結果の概要

表 1	パイロット GND の地下水開発計画-----	ii
表 2	帯水層別地下水開発用有望地域の水需要量と面積-----	iii
表 3	帯水層別生産井計画-----	iii

### 第 1 章 序論

表 1.1	調査団およびカウンターパートのメンバーリスト-----	1-3
表 1.2	ステアリングコミッティーのメンバーリスト-----	1-4

### 第 2 章 調査地域の概要

表 2.1	調査地域内の河川-----	2-4
表 2.2	モナラガラ県の DSD の人口-----	2-8
表 2.3	ハンバントータ県の DSD の人口-----	2-9

### 第 4 章 水理地質

表 4.1	帯水層の特性 (透水量係数; T, 透水係数; k, 貯留係数; S)-----	4-8
-------	--	-----

### 第 5 章 地下水評価

表 5.1	地下水評価のマトリックス表-----	5-1
表 5.2	パイロット GND の格付評価と推定開発可能量-----	5-5
表 5.3	地下水資源評価の分類-----	5-5

### 第 6 章 地下水資源開発計画

表 6.1	パイロット GND の将来水需要 (2010 年)-----	6-3
表 6.2	帯水層別地下水資源開発有望地域の水需要量と面積-----	6-4
表 6.3	帯水層別生産井計画-----	6-7
表 6.4	パイロット GND における地下水開発計画 (1/2) モナラガラ県-----	6-14
表 6.4	パイロット GND における地下水開発計画 (2/2) ハンバントータ県-----	6-15
表 6.5	維持運営組織の区分け-----	6-16
表 6.6	施設計画規模別の維持管理人員計画-----	6-17

## 付図一覧

### 第2章 調査地域の概要

図 2.1	複合岩体の分布	2-1
図 2.2	調査地域の地質	2-2
図 2.3	年間降雨量	2-3
図 2.4	河川水系と観測所	2-5
図 2.5	年平均降雨量の分布	2-6

### 第3章 給水の現状と水利用

図 3.1	調査対象地域内の既存給水施設による給水地域	3-2
図 3.2	GND 毎の給水施設による給水率	3-3
図 3.3	ハンバントータとモナラガラ県における生活用水源の割合	3-4
図 3.4	給水施設までの距離と水消費量の関係	3-6
図 3.5	給水の中断及び枯渇の割合	3-7

### 第4章 水理地質

図 4.2	湧出量による井戸の分類 (深度 70m 以浅)	4-1
図 4.3	湧出量による井戸の分類 (深度 70 ~ 100 m)	4-2
図 4.1(1)	水理地質図 (上部裂隙型帯水層)	4-3
図 4.1(2)	水理地質図 (下部/深部裂隙型帯水層)	4-4
図 4.4	ハンバントータの試験井のハイドログラフ	4-6

### 第5章 地下水評価

図 5.1(1)	地下水資源評価図	5-3
図 5.1(2)	地下水資源評価図	5-4
図 5.2	地下水資源開発有望地域	5-6

### 第6章 地下水資源開発計画

図 6.1	2010 計画年の水需要の分布	6-2
図 6.2 (1)	水需要 (2010)と地下水資源開発有望地域の分布 (上部裂隙型帯水層)	6-5
図 6.2 (2)	水需要 (2010)と地下水資源開発有望地域の分布 (下部/深部裂隙型帯水層)	6-6
図 6.3	地下水開発計画の実行候補地	6-9
図 6.4	地下水開発の手順のフロー	6-11
図 6.5	レベル2・3 複合型給水計画の概念図	6-12
図 6.6	レベル3 型給水計画の概念図	6-12
図 6.7	レベル2 型給水計画の概念図	6-12

## 略 語 一 覧

ASL, asl	: above sea level (海拔高度)
AGL, agl	: above ground level (地表面上)
BGL, bgl	: below ground level (地表面下)
CBO	: Community Based Organization (地域密着型組織)
CEA	: Central Environmental Authority (中央環境局)
CSAMT	: Controlled Source Audio-frequency Magneto Telluric Method (人工発信源を用いた電磁探査方の一手法)
DO	: Dissolved Oxygen (溶存酸素)
DSD	: Divisional Secretary's Division (県の下位の行政区分単位)
EC	: Electric Conductivity (電気伝導度)
EIA	: Environmental Impact Assessment (環境影響評価)
GDP	: Gross Domestic Product (国内総生産)
GND	: Grama Niladhari Division (DSD の下位の行政区分単位)
GPS	: Global Positioning System (全地球的測位システム)
GSMB	: Geological Survey and Mines Bureau (地質調査鉱山局)
GVA	: Gross Value Added (付加価値総量)
IEE	: Initial Environmental Examination (初期環境調査)
JICA	: Japan International Cooperation Agency (国際協力事業団)
LAN	: Local Area Network (構内情報通信網)
MIWRM	: Ministry of Irrigation and Water Resources Management (灌漑・水資源管理省) (was reorganized as Ministry of Lands, Irrigation and Energy in September 2001)
MIWM	: Ministry of Irrigation and Water Management (灌漑・水管理省)
MLIE	: Ministry of Lands, Irrigation and Energy (土地、灌漑、エネルギー省) (was reorganized to Ministry of Irrigation and Water Management in December 2001)
NORAD	: Norwegian Agency for Development (ノルウェー開発事業団)
NWRA	: National Water Resources Authority (国家水資源委員会)
NWSDB	: National Water Supply and Drainage Board (国家給水・排水局)
P.W.L	: Pumping Water Level (動水位)
PS	: Pradeshiya Sabha (地方行政組織の名称)
RWS	: Rural Water Supply (地方給水)
S.W.L	: Static Water Level (静水位)
T	: Temperature (水温)
TDS	: Total Dissolved Solids (蒸発残留物)

TOC	: Top of Casing (ケーシング頂端)
USGS	: United States Geological Survey (米国地質調査所)
WRB	: Water Resources Board (水資源局)
WRC	: Water Resources Council (水資源議会)
WRT	: Water Resources Tribunal (水資源法廷)
$T$	: Transmissivity (透水量係数)
$k$	: Permeability Coefficient (透水係数)
$S$	: Storativity (貯留係数)
$Q$	: Yield (湧出量)
$s$	: Drawdown (水位降下)
$Q/s$	: Specific Capacity (比湧出量)