

第1章 序論

1.1 調査の背景

スリランカ民主社会主義共和国(以下スリランカ国)は、インド洋に位置しており、65,610km²の面積を有する国である。気候は熱帯モンスーン地域に属しており、高温多湿である。年平均降雨量は、山岳地域(wet zone)で5,000mm以上あるが、北西および南東地域(dry zone)では1,000mm以下である。

地方部の主な生活用水源は、河川や貯水池等の表流水と浅井戸に限定されている。その結果、住民は乾期には慢性的な水不足に陥っている。このことは、地域の住民の社会経済活動を妨げ、南部地域の経済発展を阻害する一因となっている。安定した水資源の開発は、水不足の改善、および将来の水需要の増加を満たすための基幹的課題であるとともに、地域の維持可能な開発につながるものである。

スリランカ国においては包括的な水資源開発計画が策定されていないが、ほとんどの河川水は、水力発電、水供給、灌漑利用に開発されている。従って、今後の水資源開発の主な対象として、地下水資源の開発が要請された。

本調査は、かかる背景のもと、特に同国内でも乾燥地域である南部2県(ハンバントータ県、モナラガラ県)における、将来の水資源開発にとって不可欠である地下水賦存量の調査を要請してきたものである。

1.2 調査の目的

本調査の目的は以下の通りである。

- (1) 対象地域における地下水賦存量の評価
- (2) 地下水資源開発計画の策定
- (3) スリランカ国側カウンターパートへの技術移転

1.3 調査地域

本調査の対象地域は、スリランカ国南部に位置する南部州ハンバントータ県、およびウバ州モナラガラ県の2県から、東部危険地域に位置するモナラガラ県の3つのDSD(Madulla, Siyambalagaswila, Kataragama)、およびハンバントータ県のTissamahalama DSDを除外した地域である。この除外は安全対策の理由からであり、2000年12月の事前調査および2001年6月のインセプションレポートの協議において合意している。従って、スリランカ国政府から要請があった22のGNDのうち、15GNDを調査対象地域とした。調査地域と各15GNDの位置は巻頭の位置図に示した。

なお、地下水賦存量は、上述の調査対象地域をマクロ的に評価した。取水可能量の評価と地下水資源開発計画の策定は、上述の15GNDを対象とした。

1.4 調査の実施

調査に携わったメンバー及びSteering Committeeのメンバーのリストをそれぞれ表1.1と表1.2に示す。

本調査は以下の3つのフェーズから構成されており、2001年3月から24ヶ月間実施した。調査の進捗状況は各フェーズ毎に評価され、以下に記す調査項目が決定された。

第1章 序論

フェーズⅠ : 基礎調査 (2001年6月～10月)

現地調査で収集したデータのレビューを行った後、水理地質および調査関連事項について評価を行った。その結果を踏まえて、次フェーズの詳細な調査計画を策定した。

フェーズⅡ : 地下水賦存量の評価 (2001年11月～2002年7月)

フェーズⅠで策定した調査計画をもとに、地下水調査および水理地質学的解析を実施し、地下水賦存量を評価した。

フェーズⅢ : 地下水開発計画の策定 (2002年8月～2003年2月)

フェーズⅡの結果を踏まえて取水可能量の評価を行い、将来水需要予測結果を考慮して地下水開発計画を策定した。

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) 調査団は以下の 12 人から構成されている

Name	Assignments
Dr. Yuichi HATA	Team leader Groundwater resources development
Mr. Yusuke OSHIKA	Deputy team leader Hydrogeology
Mr. Hiroyuki SHIRAIWA	Hydrology / Water Balance
Mr. Toru YORITATE	GIS (Hydrogeology)
Mr. Asahi HATTORI	Geophysical exploration (A)
Mr. Kazuto MATSUKUBO	Geophysical exploration (B)
Mr. Kinichi YAMASHITA	Geophysical exploration (C)
Mr. Toshimitsu OZEKI	Test well drilling
Mr. Masahiro KAWACHI	Water quality / Environment
Mr. Akira TAKACHI	Socioeconomy
Mr. Hiroyoshi YAMADA	Water usage / Study administration
Mr. Kenji MORITA	Organization / Operation / Management

2) カウンターパート機関のメンバーは以下の 14 名から構成されている。

Name	Assignments
Mr. R.N. Karunaratne (WRB)	Leader of Counterpart Team Policy Matter
Mr. R.S. Wijesekera (WRB)	Leader of Counterpart Team Groundwater resources development
Mr. R.R.G.R. Rajapakse (WRB)	Deputy team leader Hydrogeology
Mr. A.L.M. Cassim (Irrigation Department)	Hydrology / Water Balance
Miss A.A.A.K.K. Seneviratne (WRB)	GIS (Hydrogeology)
Mr. J.M.L. Gonawela (WRB) Mr. S. Wickrema (WRB)	Geophysical exploration
Mr. W.M. Dharmawardena (WRB)	Test well drilling
Mr. J. Weerakoon (WRB) Mr. D.V.K. Wijekoon (WRB)	Water quality / Environment
Mr. G.A. Illangesinghe (NWS&DB)	Socioeconomy
Mr. M.D. Jayaratne (NWS&DB – Moneragala) Mr. U.C. Pathiranage (NWS&DB – Hambantota)	Water usage
Mr. R.S. Wijesekera (WRB)	Organization / Operation / Management

表 1.2 ステアリングコミッティーのメンバーリスト

Name	Organization
Mr. S.B. Bandusena (till Sep. 2001)	Secretary Ministry of Irrigation and Water Resources Management
Mr. Jaliya Medagama (from Sep. 2001 till Dec. 2002)	Secretary Ministry of Lands, Irrigation and Energy
Mr. S. Wickramarachchi (from Dec. 2002)	Secretary Ministry of Irrigation and Water Management
Mr. D.W.R. Weerakoon (till March 2002)	Additional Secretary Ministry of Irrigation and Water Management
Mr. S. Selvarajah (from March 2002)	Additional Secretary Ministry of Irrigation and Water Resources Management
Mr. L.W. Jirasinghe (till September 2001)	Director (Construction) Ministry of Housing, Plantation and Infrastructure
Mr. M.W. Dayananda (from September 2001)	Additional Secretary (Technical) Ministry of Urban Development, Construction and Public Utilities
Mrs. Chandanie Wijayawardhana	Assistant Director Ministry of Finance & Planning
Mr. K.W. Perera	Deputy Director Department of Irrigation
Mr. W.H.M.T. Bandara	Additional Deputy Director (Engineering Geology) Department of Irrigation
Mr. M. Wickremage (till August 2001)	Director General Water Resources Secretariat
Mr. K. S. R. de Silva (From August 2001)	Director General Water Resources Secretariat
Mr. G.K. Simal	Assistant General Manager (Ground Water) National Water Supply & Drainage Board
Mr. P. Lankadikara	Secretary, Agriculture, Land & Wild Life Chief Secretary – Uva Province
Mr. Suwandaratne	Chief Secretary Southern Province
Mr. Ananda Amarathunga	District Secretary Hambantota District
Mr. Danapala Balage	District Secretary Moneragala District
Mr. K. Yoganathan (till Dec. 2001)	Chairman Water Resources Board
Mr. M.W.P. Wijesinghe (from Dec. 2001)	Chairman Water Resources Board

1.5 報告書の構成

ドラフトファイナルレポートは下記の項目から構成されている。

(1) メインレポート

Pilot GND および調査地域の地下水資源開発計画に係るマスタープランを含む、全ての調査結果について記述した。

(2) サポートイングレポート

各調査分野の詳細な結果は、以下に示すように、10のパートに分けて記述した。

サポートイング1：地形・地質

サポートイング2：気象・水文

サポートイング3：物理探査

サポートイング4：社会経済状況

サポートイング5：既存井戸調査

サポートイング6：試験井

サポートイング7：水理地質

サポートイング8：井戸のデータベースシステム

サポートイング9：環境配慮

サポートイング10：組織/運営・維持管理

(3) データブック

調査で得られたデータをデータブックに記載した。

(4) サマリー

調査の要点をまとめてサマリーに記載した。

第2章 調査地域の概要

2.1 地質

2.1.1 地形と地勢

調査地域の大部分は、標高 200m 以下の緩やかな傾斜地である。北部は標高 200m 以上の丘陵地帯で、一部 400m を超す山地がある。調査地域の南部は、海岸線に向かって緩く傾斜している。

モナラガラ北部には、Inselberg(島状丘)が発達する丘陵地帯が存在する。調査地域の地表のほとんどは、Micro Relief Planation Surface と呼ばれる起伏が少なく傾斜が 0.4 度以下の平坦面であり、海岸地帯から標高 140m の内陸部まで分布している。Coastal lowland(海岸低地)は、南部海岸地域に分布する。

2.1.2 地質

(1) スリランカ島の地質概要

スリランカ島の 90%は、先カンブリア代の高度変成岩類が基盤となっている。この変成岩類は、Highland 岩体、Vijayan 岩体、Wanni 岩体の 3つの岩体に分類される。これらの岩体の分布を、図 2.1 に示す。

(2) 調査地域の地質

図 2.2 に調査地域の地質図を示す。調査地域には、Vijayan 岩体の変成岩類が広域に分布し、Highland 岩体の変成岩類の分布は調査地域北東部の丘陵地と西部に限られている。南部と南東部海岸地帯には、現世の堆積物が分布する。

1) Highland 岩体

調査地域西部と北西部に卓越する Highland 岩体の変成岩類は、互層状の堆積岩起源の変成岩を特徴としており、石榴石・黒雲母・珪線石・石墨片麻岩、結晶質石灰岩、石灰質片麻岩、珪長質片麻岩、石榴石・黒雲母片麻岩、含石榴石チャーノッカイト質片麻岩からなる。

2) Highland 岩体アウトライナー

Buttala クリッペ、Monaragala レンジ、Kataragama 岩体 と呼ばれる Highland 岩体の一部が、飛び地状に Vijayan 岩体分布域にも分布している。

3) Vijayan 岩体

Vijayan 岩体の地質は、ミグマタイト化された上部角閃岩相の片麻岩類からなり、角閃石と黒雲母の比率も様々である。これら片麻岩類の組成は、はんれい-閃緑岩から閃長-花崗岩質にわたり、卓越する岩相としてはトータル岩-石英閃緑岩質の角閃石-黒雲母片麻岩、黒雲母-角閃石片麻岩がある。

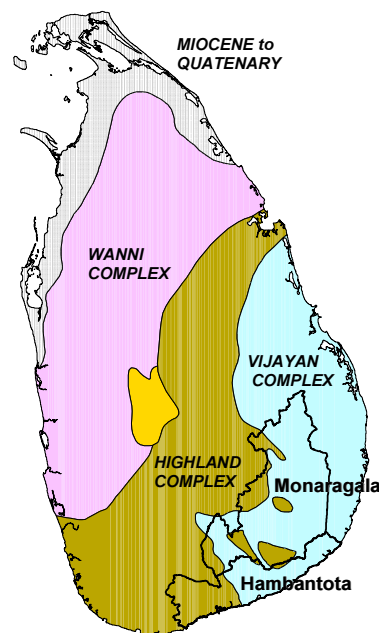


図 2.1 複合岩体の分布

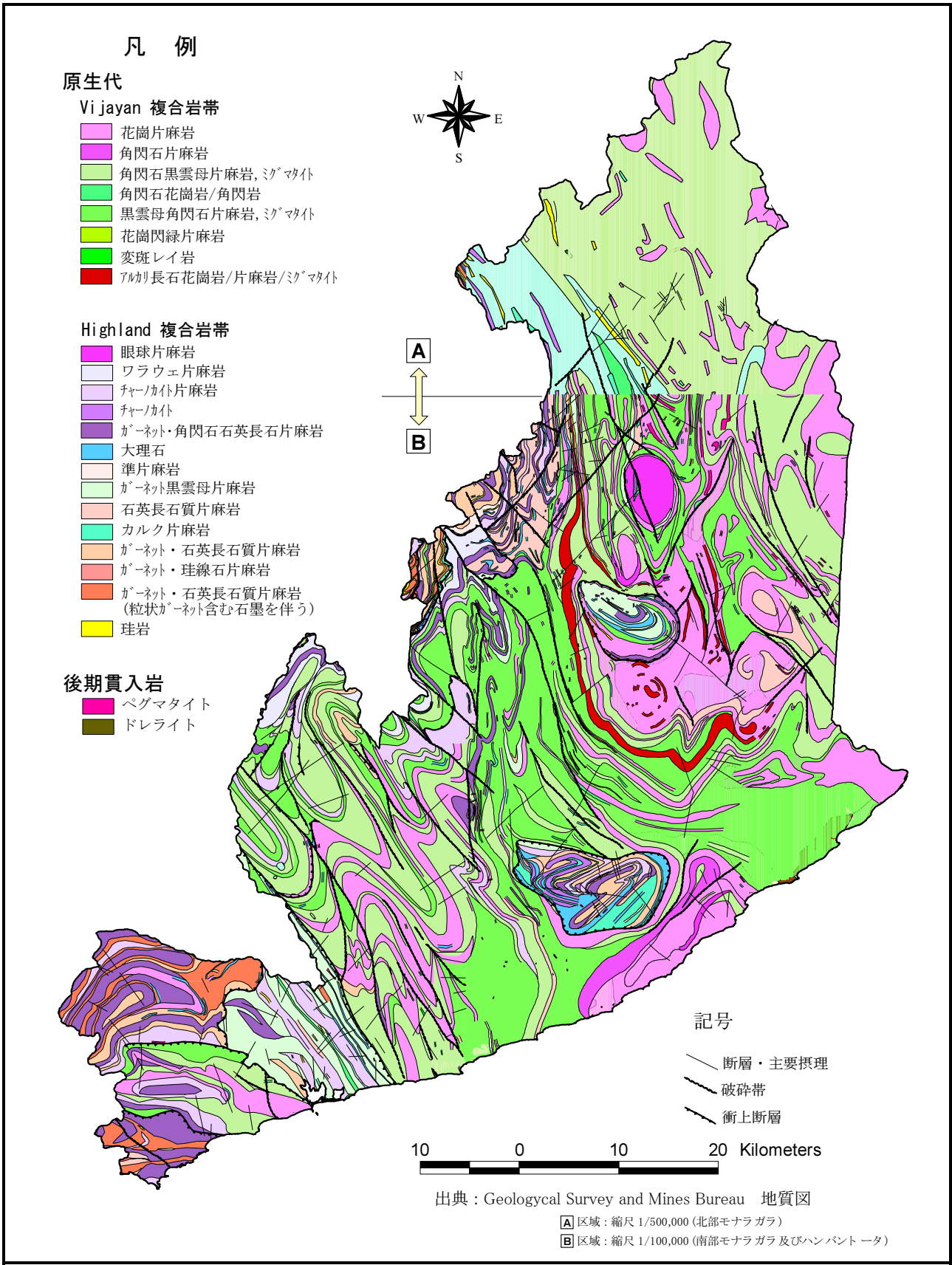


図 2.2 調査地域の地質

2.2 水文

2.2.1 気象

(1) スリランカの気象概要

スリランカの気候は、熱帯モンスーンに分類され、2つのモンスーン期に分けられる。5月から9月が南西モンスーン期で、10月から2月が北東モンスーン期である。この気候条件のため、国の北部と南東部は乾燥地帯になっている。

平均年間降水量の地域差は非常に大きく、降水量は中央部の高地で多い。最少の年間降水量は北西部と南東部でそれぞれ1000mm以下となっている（図2.3参照）。

(2) 調査地域の気候

調査地域の気候は、北東モンスーン地域と乾燥地域として特徴づけられる。

1) 降雨

調査地域では、北東モンスーンによりもたらされる雨量は少ない。最少雨量月は5月から9月の南西モンスーン時期の7月である。年間降雨量の半分は、10月から12月にかけての3ヶ月間に集中する。一般に、モナラガラ県の方が、ハンバントータ県に比べて雨量が多い。

2) 気温

月平均気温のばらつきは少なく、1961年から1990年のデータではわずか2°Cの差しかない。月平均気温の最高は、31.2°Cの4月で、最低は22.8°Cで1月に観測された。

3) 相対湿度

1995年から2000年における、ハンバントータ観測所の月平均相対湿度の平均データによると、日中の相対湿度の変動は72%（3月）から79%（5月）で、夜間は85%（2月）から88%（11月）である。南西および北東モンスーンの時期に、やや高くなる傾向がある。

2.2.2 水文学的特徴

調査地域内には、23の河川流域が区別され、その総集水面積は11,120km²である。本調査に関連する河川を、以下の表2.1に示した。調査地域の水文観測所（雨量と河川流量観測所）および河川系については、図2.4に示した。

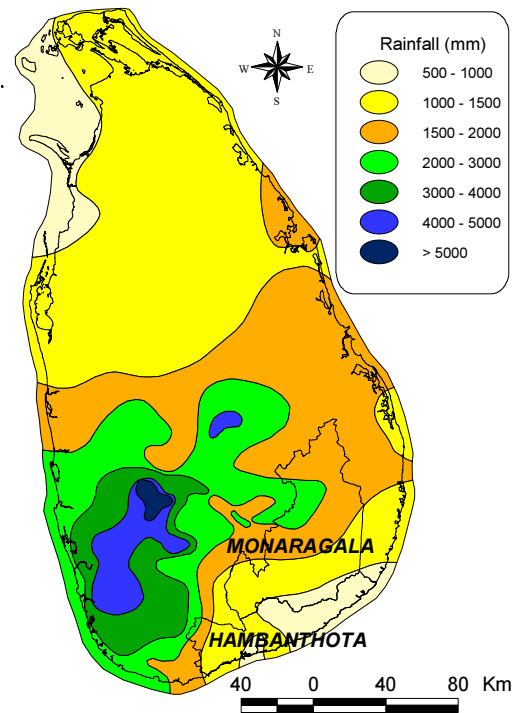


図 2.3 年間降雨量

表 2.1 調査地域内の河川

No	河川名	集水面積 (km ²)	流域内のタンク数	対応する県および地域
13	Sinimodera Oya	39	9	Hambantota
14	Kirama Oya	225	206	Hambantota
15	Rekawa Oya	76	113	Hambantota
16	Urubokka Oya	352	182	Hambantota
17	Kachchigala	223	150	Hambantota
18	Walawe Ganga	2471	777	Hambantota, Monaragala
19	Karagan Oya	58	28	Hambantota
20	Malala Oya	404	378	Hambantota, Monaragala
21	Embilikala Oya	60	20	Hambantota
22	Kirindi Oya	1178	334	Hambantota, Monaragala
23	Banbawe Ara	80	27	Hambantota, Yala National Park
24	Mahasiliwa Oya	13	5	Hambantota, Yala National Park
25	Butawa Oya	39	18	Hambantota, Yala National Park
26	Menik Ganga	1287	294	Hambantota, Monaragala, Yala National Park
27	Katupila Ara	87	45	Hambantota, Yala National Park
28	Kurundu Ara	132	35	Hambantota, Yala National Park
29	Nabadagas Ara	109	9	Hambantota, Yala National Park
30	Karamba Ara	47	2	Hambantota, Yala National Park
31	Kumbukkan Oya	1233	61	Monaragala, Yala National Park
32	Bagura Oya	93	19	Monaragala, Yala National Park
35	Wila Oya	490	65	Monaragala
36	Heda Oya	611	55	Monaragala
44	Gal Oya	1813	91	Monaragala
	Total	11,120	2,923	

出典: Irrigation Department

(1) 降雨の分布

調査地域の年平均降雨量の分布を図 2.5 に示す。

1) 調査地域の降雨量

調査地域内の降雨量の特徴は以下のように特徴づけられる。

- 北東に向いた山地の斜面は、年平均降雨量が多く、最高 3,000mm である。一方、南西向き斜面では、これより少ない 2,000mm 以下であった。
- 南部の海岸地帯の年平均降雨量は少なく、800~1,100mm である。
- 内陸平坦部の年平均降雨量は、1,000~1,500mm である。

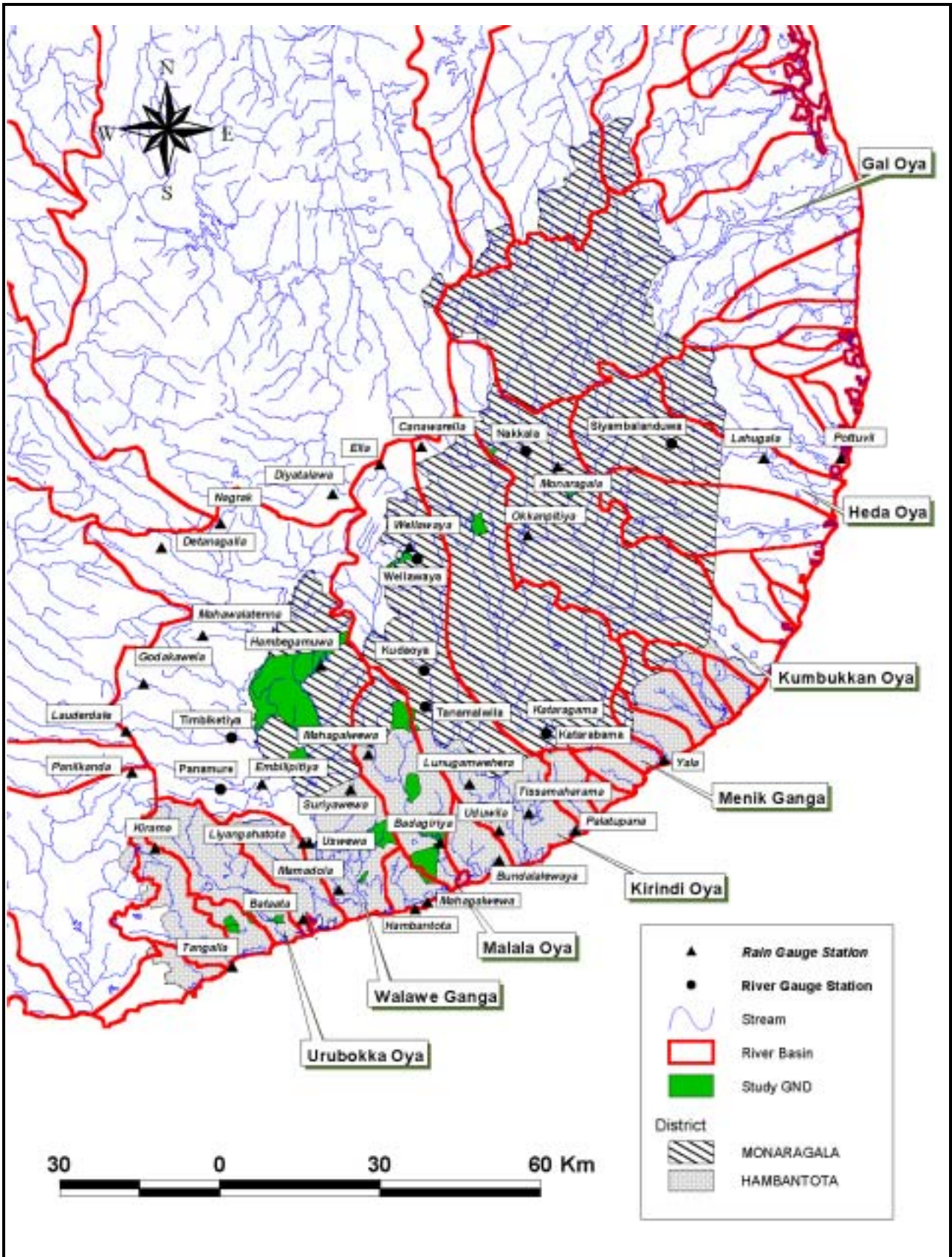


図 2.4 河川水系と観測所

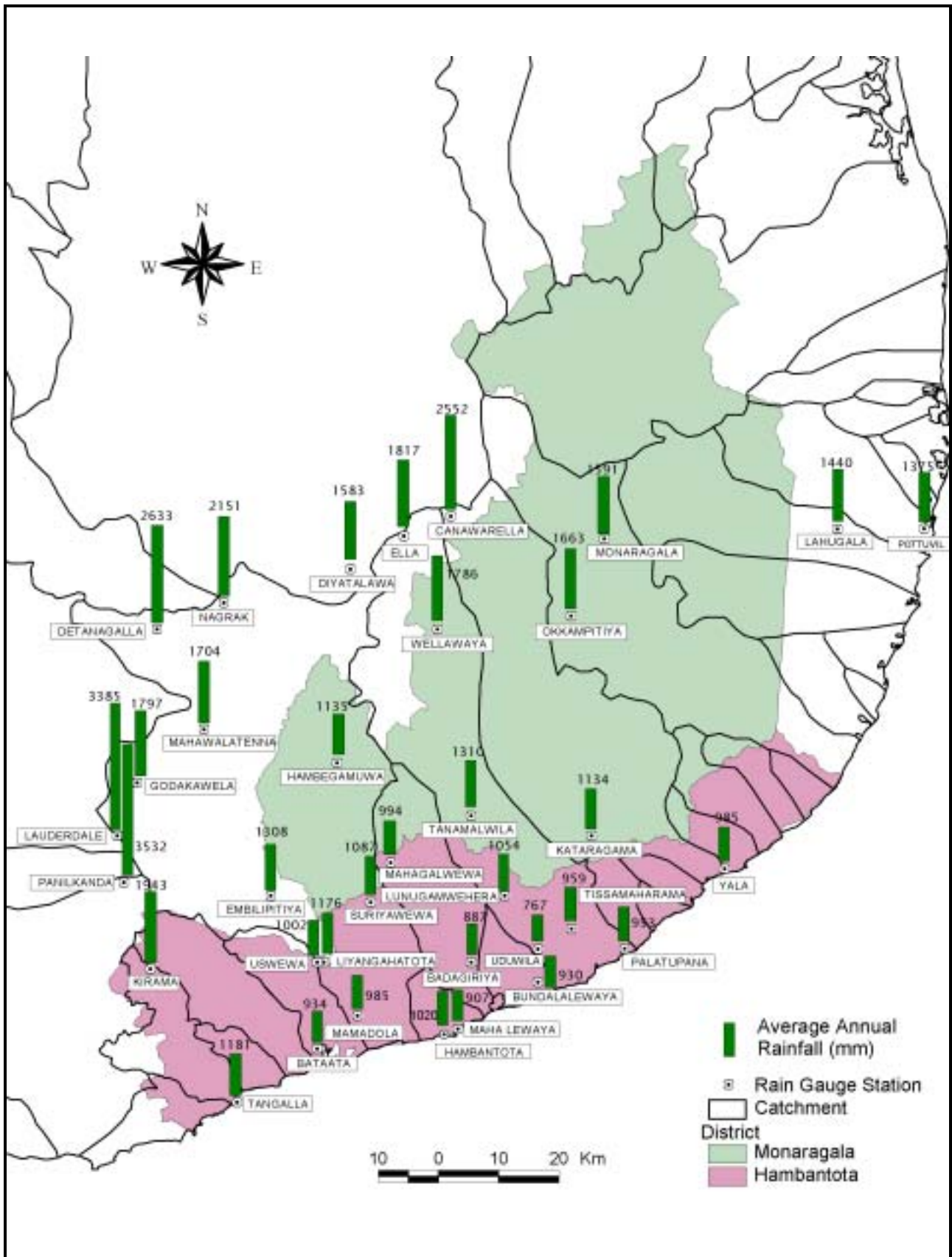


図 2.5 年平均降雨量の分布

2) 年間降雨量の分布

月間降雨量のデータにもとづいて、年間降雨量(10月から翌年9月)を求めた。その主な特徴は以下のとおりである。

- ハンバントータ観測所の記録では、1988/89 (625 mm)、89/90 (706 mm)、95/96 (737 mm) そして 82/83 (800 mm)が少雨年(平均 982 mm、maximum 1,350 mm)であった。
- 集水域上流における少雨年は 82/83、84/85 と 88/89 年 (Menik Ganga において)、86/87、91/92 と 88/89 年 (Kirindi Oya において) である。河川流量のデータから判断すると、88/89 年が最も少雨の年といえる。

(2) 主な解析結果

Walawe Ganga 川は、乾期でも水量が豊富である。その理由は、その集水域が大きいこと、及び流域西部での降雨量が大きいことによる。

Kirindi Oya 川と Menik Ganga 川では、北部の一部の山地を除いて流域での降雨が少ないために、乾期に十分な水量がない。ハンバントータ県の小規模河川は、Urubokka Oya を除いて十分な表流水が無い。

調査地域内には、灌漑のための多くの貯水池が存在する。乾期には、全く水の流れていない河川も観察された。

15 の Pilot GND は、モナラガラ県では標高 30m から 375m の丘陵地に、ハンバントータでは 25m から 40m の地帯に位置している。これらの地域では、手堀井戸は乾期には涸れてしまう。

調査地域の河川水は、主に灌漑に使用されている。主要な貯水池及び anicuts より放流される年間平均灌漑水量は、モナラガラ県で 135 百万 m³、ハンバントータ県では 502 百万 m³ である。

2.2.3 地下水涵養ポテンシャル

本調査では、干ばつ時の河川流量の大部分が地下水から流出していると仮定し、地下水涵養ポテンシャルは干ばつ時の流出量と等しいとみなして見積もった。結果は以下のとおりである。

- ハンバントータ県は乾燥地域であり、100mm とした。
- モナラガラ県は、比較的降雨量が多く標高の高い地域を 200mm、標高が低い地域を 100mm とした。

求められた地下水涵養ポテンシャルは推定ではあるが、目安としては妥当である。しかしながら、涵養量は地下水の水頭ポテンシャルによっても影響されるので、揚水のスケールによって異なる。従って計画の実行時には、長期間のモニタリングによって地下水涵養を検討する必要がある。

2.3 社会経済状況

2.3.1 行政区分

スリランカにおける行政区分は、州(Province)、県(District)、DSD(Divisional Secretary's Division)、GND(Grama Niladhari Division)、村(Village)と階層的に分類されており、9つの州と 25 の県が存在している。国家統計データの入手できる範囲では GND が最小の単位となる。従って本調査では、GND を地下水開発計画における最小の単位とし、“Pilot GND”として定義された。

第2章 調査地域の概要

本調査はモナラガラとハンバントータの2つの県を対象とする。

(1) モナラガラ県

モナラガラ県は、ウバ州(Uva Province)を構成する2つの県の1つであり、11のDSDより構成されている。各DSDは、さらにGNDに区分される。モナラガラ県では各DSDに1つのPS(Pradeshiya Sabbas: 地方行政組織)があり、どのDSDにも地方議会(Urban Council)は無い。

モナラガラ県では、7つのパイロットGNDが要請された。

(2) ハンバントータ県

南部州(Southern Province)に属するハンバントータ県は、11のDSDより構成される。ハンバントータ県では、各DSDに地方行政組織としてのPS(Pradeshiya Sabhas)が存在する。Hambantota DSDとTangalla DSDには、地方議会(Urban Council)がある。

ハンバントータ県では、8つのパイロットGNDが要請された。

2.3.2 人口、民族、宗教構成

スリランカの人口は、2001年の国勢調査により18,730,000と見積もられた。人口密度は、285人/km²である。年平均人口増加率は、1990から2000年の過去10年間で1.14%と算定された。人口増加率は、モナラガラ県で1.8%と高く、ハンバントータ県で1.1%と低くなっている。

スリランカには、シンハラ人(Sinhalese、全人口の74%)、タミール人(Tamils、同18%)およびムーア人(Sri Lanka Moor、同8%)の3つの主要民族が存在する。宗教は多くが仏教徒であり(69%)、主にシンハラ人で構成される。次がヒンズー教徒(15%)であり、タミール人から構成される。他は、キリスト教とイスラム教徒である。

(1) モナラガラ県

モナラガラ県の各DSDの人口は、以下の表2.2に示すとおりである。

表 2.2 モナラガラ県のDSDの人口

DSD 名称	人口
Badalkumbura	36,693
Bibile	35,435
Buttala	47,086
Katharagama	16,372
Madulla	28,302
Medagama	32,083
Moneragala	42,575
Sevanagala	36,683
Siyambalanduwa	47,437
Thanamalvila	23,158
Wellawaya	50,349
合計	396,173

出典: 2001の国勢調査, Department of Census and Statistics, Sri Lanka

モナラガラ県では、シンハラ人(Sinhalese)、スリランカタミール人(Sri Lanka Tamil)、インドタミール人(Indian Tamil)、そしてスリランカムーア人(Sri Lanka Moor)が全人口のそれぞれ94.5%、1.4%、1.9%、2%を占めており、シンハラ人が他の民族に対して卓越していることが特徴的である。

宗教は、全体の 94.4%が仏教徒であり、3%がヒンズー教徒、2.1%がイスラム教徒、0.4%がローマカトリック教徒、0.2%がその他のキリスト教徒である。

(2) ハンバントータ県

ハンバントータ県の各 DSD の人口は、以下の表 2.3 に示すとおりである。

表 2.3 ハンバントータ県の DSD の人口

DSD 名称	人口
Ambalantota	63,930
Angunakolapelessa	42,420
Beliatta	52,280
Hambantota	46,777
Katuwana	62,222
Lunugamvehera	25,148
Okewela	18,204
Sooriyawewa	35,620
Tangalle	62,804
Thissamaharama	60,941
Weeraketiya	55,024
合計	525,370

出典： 2001 の国勢調査, Department of Census and Statistics, Sri Lanka

本県の年人口増加率は 1.1%であり、モナラガラ県の人口増加率より低い。

ハンバントータ県では、シンハラ人(Sinhalese) スリランカタミール人(Sri Lanka Tamil)、インドタミール人(Indian Tamil)、そしてスリランカムーア人(Sri Lanka Moor) が全人口のそれぞれ 97.1%、0.4%、0.1%、1.1% を占めており、シンハラ人が他民族に対して卓越していることが特徴的である。

宗教は、全体の 96.9%が仏教徒であり、0.3%がヒンズー教徒、2.5%がイスラム教徒、0.2%がローマカトリック教徒、0.2%がその他のキリスト教徒である。

2.3.3 経済

社会経済調査の結果によれば、1995/1996 年のスリランカの地方部における家庭の月平均収入は約 4,000Rs である。

(1) モナラガラ県

モナラガラ県における家庭の職業構成を、本調査で実施したアンケート調査にもとづいて分類した。農業に従事する家庭は 51.5%を占めており、全国平均より高い値となっている。

また、各家庭の月収入の状況もアンケート調査によって把握した。60%を超す家庭が月平均収入 4,000Rs 以下である。県全体の平均月収も明らかに 5 年前の全国平均より低い値である。このことから、モナラガラ県は全国でも貧しい地域と考えられる。

(2) ハンバントータ県

ハンバントータ県における主要な職業は、農業である。農業従事家庭は県全体の 80%以上を占めており、モナラガラ県より高い値となっている。

月平均収入が 4,000Rs 以下の家庭の割合は約 80%であり、モナラガラ県より高い割合となっている。このことは、ハンバントータ県の家庭収入のレベルは、モナラガラ県より低いことを表している。