

社会開発調査部報告書

# ナイジェリア連邦共和国

## ナイジェリア北部地下水開発計画調査

### 概要報告書

平成 2 年 7 月

国際協力事業団

社 調 2
<del>90-084</del>
90-084

ナイジェリア連邦共和国

ナイジェリア北部地下水開発計画調査

概要報告書

平成 2 年 7 月

国際協力事業団

90-084



JICA LIBRARY



1087408191

21942



ナイジェリア連邦共和国  
ナイジェリア北部地下水開発計画調査

概要報告書

平成2年7月

国際協力事業団

国際協力事業団

21942

## 序 文

日本国政府は、ナイジェリア連邦共和国政府の要請にもとずき、同国の北部地下水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した。

当事業団は、1988年4月より7月、10月より1989年3月、同年5月より7月、9月より12月および1990年2月に国際航業株式会社の鎌田 烈氏を団長とし、同社および(株)三祐コンサルタンツから構成される調査団を現地に派遣した。

調査団は、ナイジェリア国政府関係者と協議を行うと共に、プロジェクトサイト調査を実施し、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った。

本報告書が、本計画の推進に寄与すると共に、ひいては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ある。

終りに、本調査にご協力とご支援をいただいた両国の関係各位に対し、心より感謝の意を表するものである。

1990年7月

国際協力事業団

総裁 柳谷 謙介

ナイジェリア北部地下水開発計画調査団  
伝達状

平成2年7月

国際協力事業団

総裁 柳谷 謙介 殿

ナイジェリア連邦共和国ナイジェリア北部地下水開発計画調査の最終報告書を提出致します。本報告書は、昭和63年3月25日、同年10月5日、平成元年5月26日、及び平成2年6月11日の4回にわたる国際協力事業団とナイジェリア国北部地下水開発計画調査共同企業体（構成員：国際航業株式会社、(株)三祐コンサルタンツ）の間で締結された契約に基づいて結成された調査団によって作成されました。

調査団は、合計5回の水文地質調査・ボーリング調査を含む現地調査を実施しました。本報告書には現地調査の結果を整理解析して策定したナイジェリア北部ソコト州の中～大規模村落の地下水による水供給計画の検討結果が述べられています。

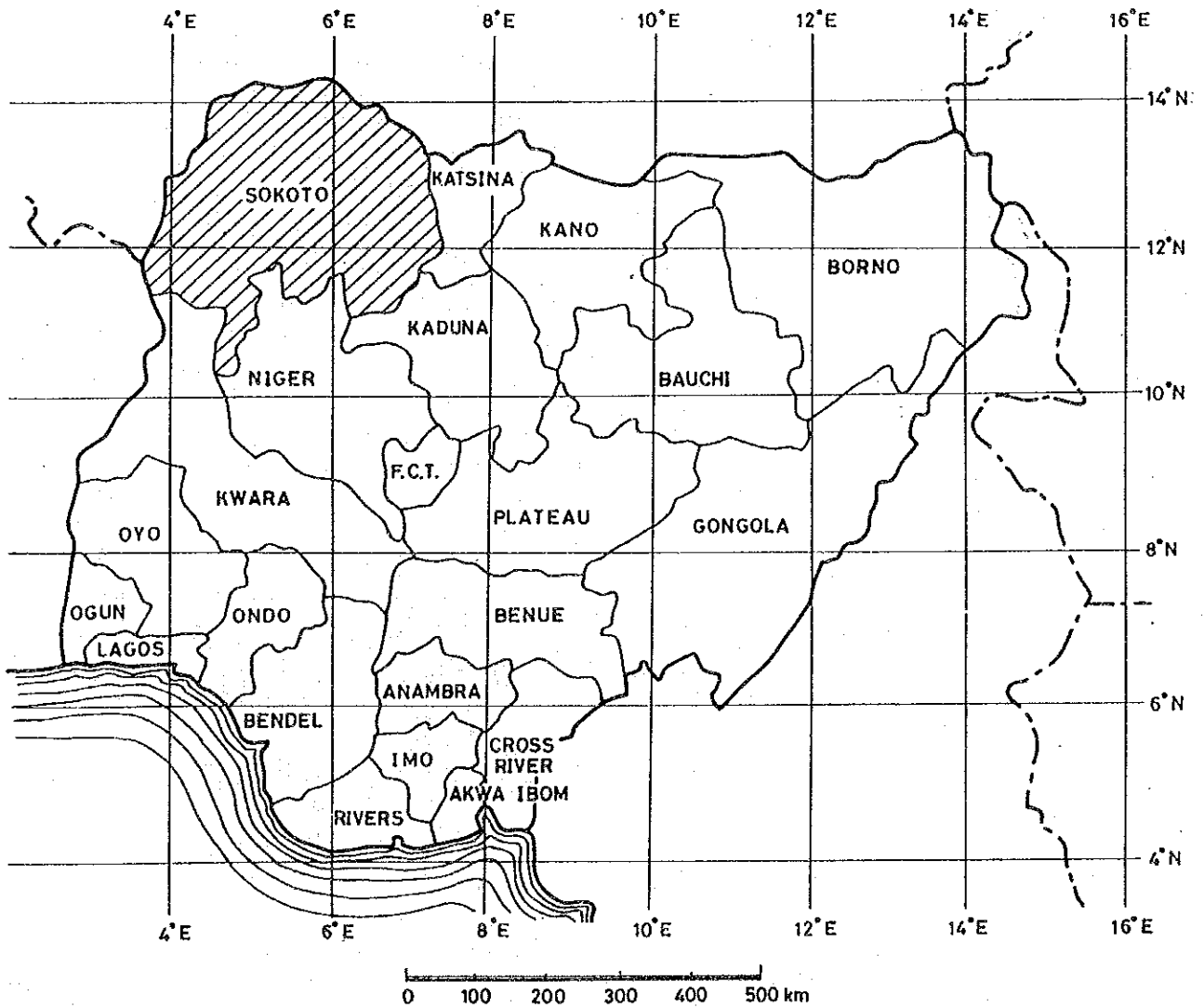
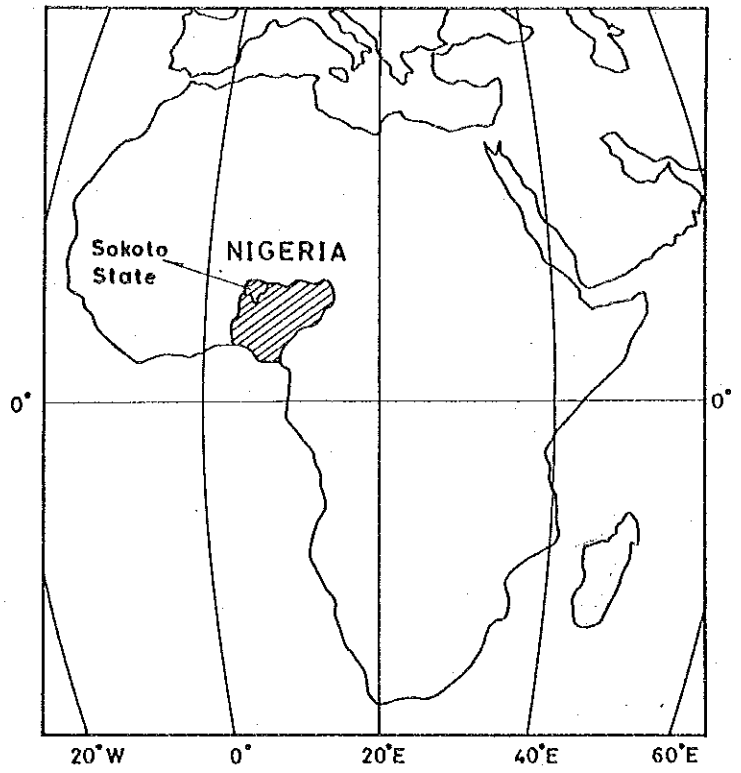
報告書は、概要報告書、主報告書、付属報告書1および2、資料集の5分冊で構成されております。概要報告書は、調査全体を簡潔にまとめ、主報告書には調査の背景、ソコト州の水文地質、地下水資源評価、開発計画、給水事業計画ならびに提言を記述しております。付属報告書には、計画策定に用いた水文地質調査結果の詳細やデータベースマニュアルがまた資料集には電気探査などの試験記録が収録されています。

本報告書を提出するにあたり、全調査期間に渡り多大なご支援を賜った貴事業団、外務省、在ナイジェリア日本大使館の諸賢ならびにナイジェリア政府諸機関の関係各位に対し、心から感謝の意を表すると共に、本調査の成果がナイジェリア連邦共和国の社会開発および経済発展に寄与することを希望する次第であります。

調査団長 鎌田 烈



図-1 調査位置図



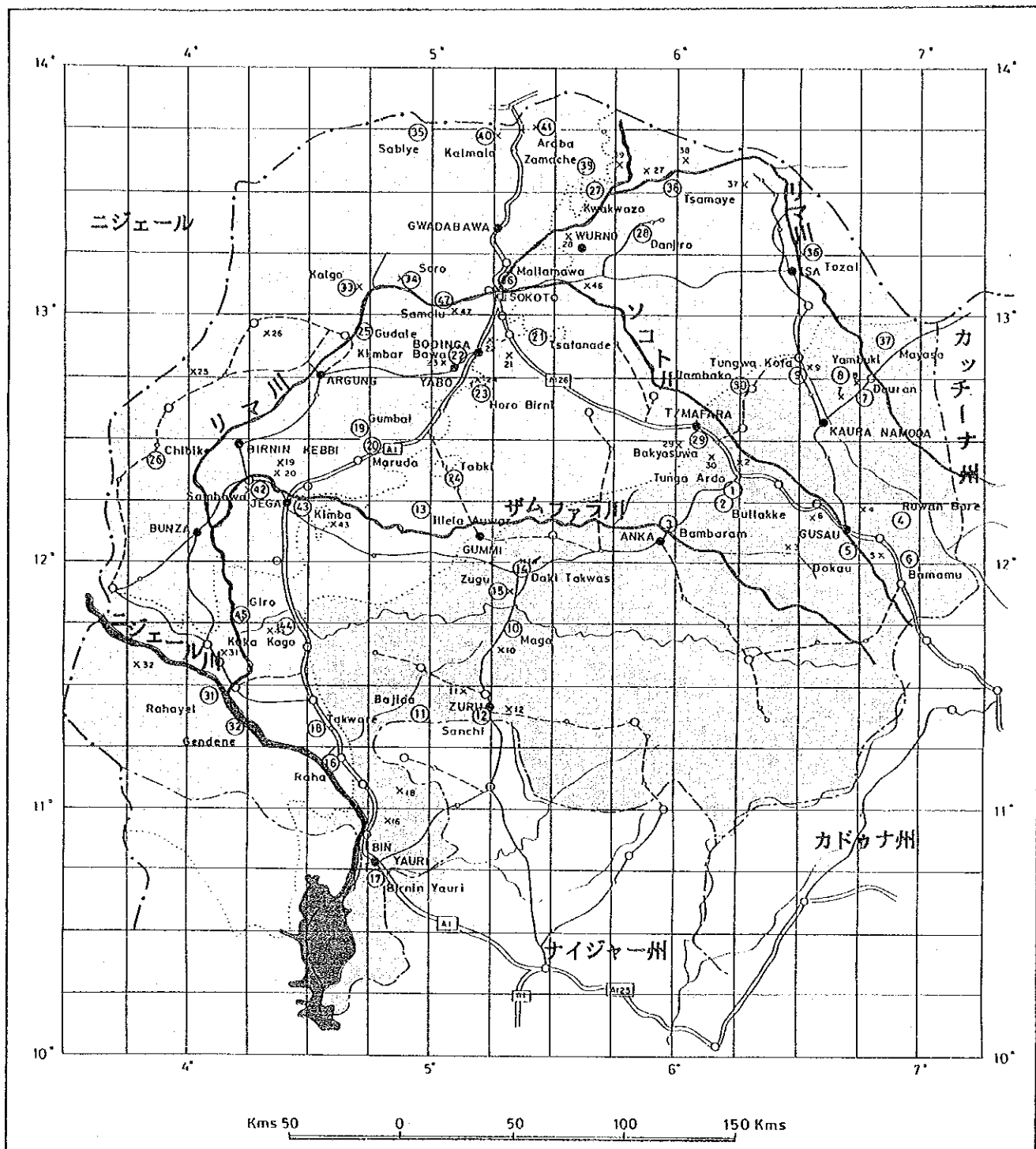


図-2 ソコト州候補村落位置図

	堆積岩地域
	基盤岩地域

## 目 次

序 文

伝達状

1. 序論	1
2. 社会経済の状況	6
3. ソコト・リマ川流域の水文	8
4. ソコト州の水文地質	14
5. データベースの構築	22
6. 候補村落の水文地質	23
7. 地下水開発可能量の評価	33
8. 地下水開発計画	36
9. 中～大規模村落給水計画	39
10. 結論と提言	50



## 1. 序論

### 1. 1 調査の背景

ナイジェリアは大西洋ギニア湾に面した西アフリカ諸国の一つであり、その位置は、ほぼ東経 $3^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 、北緯 $4^{\circ} \sim 14^{\circ}$ にあり、東西の距離は最大1,300km、南北に1,100kmに及ぶ。その総面積は約92万km<sup>2</sup>であり、日本の約2.5倍で西部アフリカのおよそ1/7を占めている。現在の人口は約1億人であり、全アフリカの1/5に達している。またナイジェリアはアフリカ最大の産油国であるが1970年代末からの石油価格の低迷により、国家経済は困難に直面している。

ナイジェリア政府は石油価格の低下する中であって、経済自立にもとづく国民生活水準の改善と国家財政の再建を計ることを目的とした各種の開発計画を策定しているが、なかでも農業振興を計り、食料の自給体制を確立することを重要課題としている。

調査対象地域であるソコト州はナイジェリアの北西端に位置する州で、北緯 $10^{\circ} \sim 14^{\circ}$ 、東経 $4^{\circ} \sim 7^{\circ}$ に渡り、総面積は約10万km<sup>2</sup>、総人口820万人（1987年推定）の農業地域である。ソコト州をはじめとするナイジェリアの北部諸州は、乾燥したサバンナ地帯にあつて、古くから伝統的な自給自足農業を細々と営んできた地域であるが、国家経済の低迷と人口増加などにより地域経済の発展は著しく立ち遅れている。

地域経済発展の基礎は、生活基盤を構成する水資源の安定的確保にある。しかし、ソコト州などの農業振興の場となるべき農村地域では気象・地形・地質など自然的条件の制約に加えて、水開発技術・資金・人的資源の決定的な不足により、安定的・衛生的な生活用水の確保が極めて不十分である。このため、これら農村地域では、水に起因する疾病の蔓延と生産力の低下が起き、水不足は、地域の発展を疎外する大きな要因となっている。

そこで、各州では過去に世銀、アフリカ開発銀行等の融資を受けて人口500~1,000人規模の小規模村落を対象としてハンドポンプ井戸による給水計画を進めてきた。一方、連邦政府では人口数千人~数万人規模の中~大規模村落について、地下水開発による給水計画である「ナショナルポアホール計画」を策定し、1981年より事業を開始した。しかしこの計画は、基本計画の杜撰さに加え、財政難のため3年後には中断を余儀なくされた。

このような状況に鑑み、ナイジェリア国政府は日本国政府に対して、北部諸州のうちソコト州・ナイジャー州の2州の給水計画に関連した地下水開発計画調査の実施と技術協力を要請した。

日本国政府はこの要請を受けて調査の実施を決定、1987年10～11月および1988年2月に事前調査団を現地へ派遣した。

同調査団は、プロジェクトの内容についてナイジェリア連邦共和国農業・水資源・地方開発省水資源局関係者と一連の協議を行い、より緊急度が高いソコト州を調査対象に地下水開発計画調査を実施することとなった。

## 1. 2 調査目的および対象地域

調査の目的は以下に示す通りである。

- (1) ソコト州における地下水資源の開発可能量評価
- (2) 選定された地域における地下水開発計画の立案
- (3) 上記調査を通じてのナイジェリア国政府のカウンターパートへの技術移転

調査対象地域はソコト州（面積約10万km<sup>2</sup>）のうちナイジェリア政府より要請のあった47か所の中～大規模の優先開発村落及びその周辺地域である。この47か所の村落のうち、地下水開発による給水計画の対象とする地域は、地下水開発可能性、緊急性、アクセス等についての調査結果から21村落に絞り込んだ。

ソコト州は地質的には、白亜紀～第三紀の地層から成る堆積岩地域と先白亜紀の花崗岩・変成岩類からなる基盤岩地域の二つに大別できる。給水計画の候補村落のうち28村落は堆積岩地域に、他の19村落は基盤岩地域に位置している。

とくに、基盤岩地域では、岩石は硬く水を通しにくい事から地下水開発地域の選定が難しい。また地表水は流出が早く、乾季には涸渇する。このため、地域住民の乾季の飲料水は浅井戸や溜池河底の溜り水や伏流水などに頼っており量的にも少く、人為的な汚染もあって水に起因する疾病が多発している。

そこで本調査では、基盤岩地域における効果的な地下水開発手法についても検討を行った。

## 1. 3 調査実施体制

ナイジェリア国政府側の調査実施機関は、農業・水資源・地方開発省の水資源局が担当し、日本国政府の技術協力の機関として、国際協力事業団がその任にあたった。

調査は1988年3月から1990年2月までの期間に行われた。調査団及びナイジェリア国政府関係者は以下の通りである。

### (1) 調査団

団長	鎌田 烈	(総括/地下水開発)
団員	神田 淳 男	(水文地質)
	藤田 元 夫	(地形地質(1))
	前川 統一郎	(水文・水収支)
	田中 栄 治	(物理探査)
	藤原 邦 夫	(電気探査/地質(2))
	尾崎 弘 明	(電気探査)
	中村 豊 春	(さく井指導)
	河村 功	(給水計画) 第一年次
	直塚 昭	(給水計画) 第二年次～第三年次
	木村 繁	(事業評価)

### (2) ナイジェリア国政府カウンターパート

Hanidu, J. A.	: 水資源局長	(総括)
Shamonda, J. A.	: 水資源局ソコト事務所長	(現地総括)
Oty, R. C.	: 水資源局ソコト事務所	(水文地質)
Ayuba, S. A.	: "	(地質)
Olatinwo, O. M.	: "	(水文)
Oburo, P.	: "	(物理探査)
Ochigbo, J.	: "	(物理探査)
Ounna, B. C.	: ソコト・リマ流域開発公団	(水文地質)
Buba, P. M.	: "	(水文)
Ibrahim, U. U.	: ソコト水道局	(水文地質)
Sani, M.	: "	(水文地質)
Ezeh, A.	: "	(水文地質)
Junaidu, M.	: "	(水文地質)
Kende, M.	: 水資源局ソコト事務所	(水文)
Emoikhare, O.	: "	(水文)

#### 1.4 調査概要と手順

調査は、1988年3月末～1990年2月末までの2か年間で2段階に分けておこなった。第一段階調査では、既存水文地質資料の収集と解析、水文資料の収集と観測、ソコト州全域のランドサットデータ解析および47候補村落の水文地質予備調査を行い、21か所の候補村

落を精査地域として抽出した。

第二段階調査フェーズ1では、第一段階に引き続き水文観測を継続するとともにソコト州の水文データベースを検討した。また21か所の精査対象候補村落については詳細な地質調査、物理探査を行い、このうち8村落において調査ボーリング、試掘井掘削及び揚水試験を実施した。

第二段階フェーズ2では、基盤岩地域で追加的に検証調査を行い、基盤岩地域における地下水調査開発手法確立のための資料を得ると共に、精査対象村落の一つであるホロビルニ村において給水施設のモデル施工を行い、給水計画作成に必要な資料を得た。また水文データベースを完成させるとともに、第一、第二段階における各種の地下水調査結果を総合的に解析し、ソコト州全域の地下水開発可能性を評価し、地下水開発計画をとりまとめた。

調査のフローチャートを図-3に示す。

#### 1. 5 報告書の作成

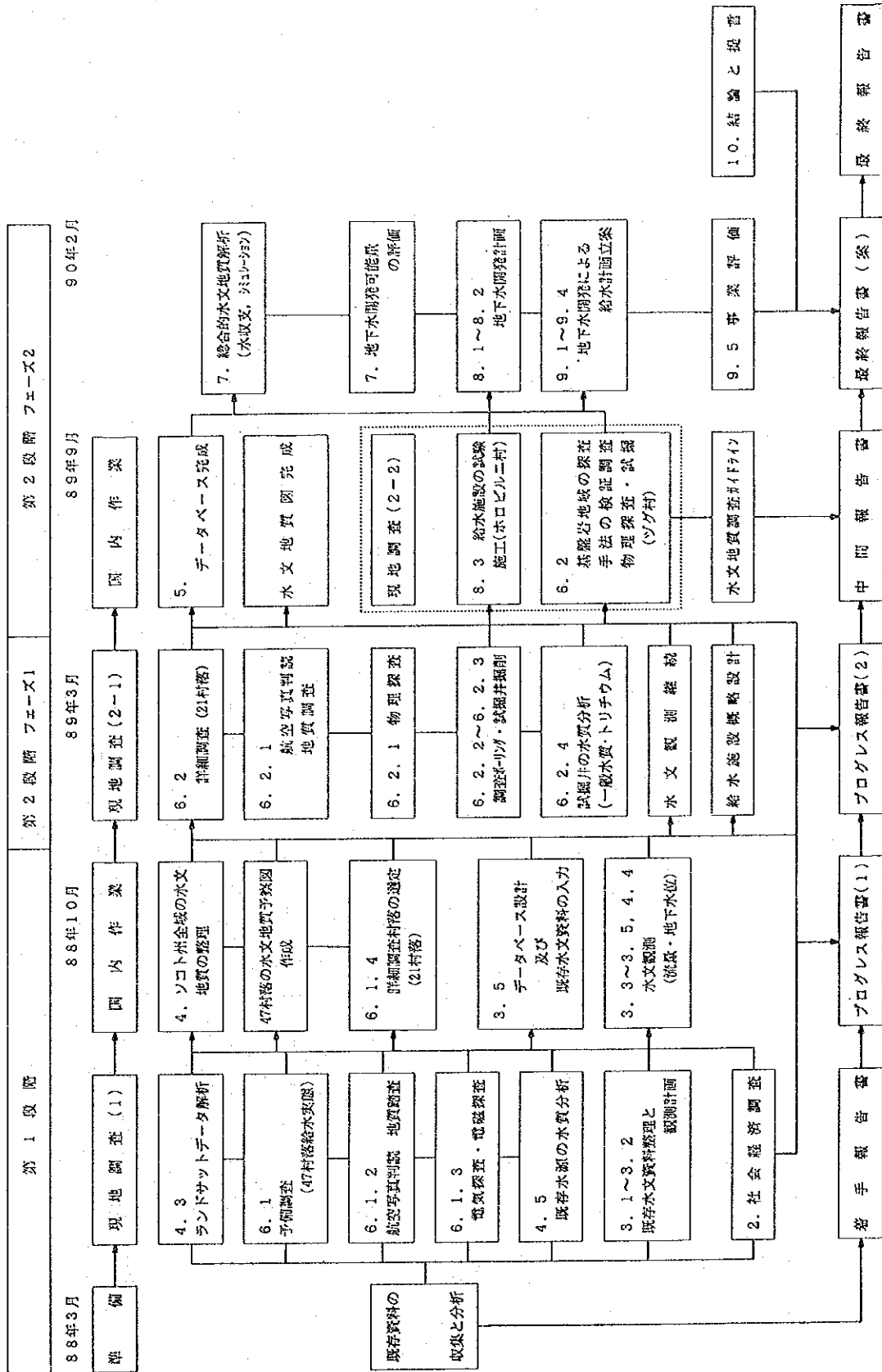
報告書は概要報告書、主報告書、付属報告書1、2および資料集の5分冊より構成されている。

概要報告書には調査結果全体の概要が述べられている。主報告書にはソコト州の河川水文と水文地質、給水計画候補村落の詳細調査結果、ソコト州全体の地下水資源評価、地下水開発計画が述べられており、最後に中～大規模村落の給水計画とその事業計画および提言がまとめられている。

付属報告書1には47候補村落の水文地質図が含まれている。また付属報告書2にはデータベースマニュアルと地下水シミュレーションが解説されている。資料集は、水文地質調査に関連する、電気探査、電磁探査等の物理探査結果、試掘井柱状図、コアボーリング柱状図、揚水試験記録が含まれている。



図-3 ソコト州地下水開発計画調査フローチャート (枠内数字は概要報告書の章・節を示す)





## 2. 社会・経済の状況

2度の石油ショックを契機に、順調な経済発展を遂げたナイジェリアは、以下に示すような第四次経済開発5か年計画（1981～1985）にもとづき、一層の経済成長を目指した。

- 1) GDPを年率7.2%の割合で拡大し、一人当たり所得を1980年の568ナイラから931ナイラに引き上げる。
- 2) 所得格差を是正する。
- 3) 雇用を拡大し、各部門に労働力を適正に配分する。
- 4) 経済を多様化し、均衡発展を成し遂げる。
- 5) 経済自立を強化する。
- 6) 経済活動のナイジェリア化を促進する。
- 7) 生産性を向上する。
- 8) 国民意識を高揚する。

しかし、1980年代初頭から始まった原油価格の低迷により、1985年1月には経済非常事態宣言が出され、上記の第四次5か年計画は中断され、それに続く第五次5か年計画の実施も大幅に延期された。

そこで、ナイジェリア政府は1986年に、経済再建策として「構造調整計画」（SAP）を導入した。これは石油依存型経済から脱却して生産の多様化を計り、国際収支と財政の健全化を目標とする政策であった。同計画の実施の結果、製造業においては、外貨の流入による生産活動の活発化が促され、また農業においては換金作物の生産増がもたらされた。それに伴い、1987年の経済成長率は多少の回復がみられた。

しかし、同計画は大幅なナイラ切り下げを伴っていたため、輸入物価の上昇をもたらし、さらに、国内供給力の水準も低いため、国内消費者物価の大幅な上昇を招いた。また、失業率も高水準のまま推移し、農業生産も換金作物を除いては天候不純のため、低迷状態をつづけた。

政府はこのような状況を改善するため、1988年7月に総合経済回復計画を導入し、さらに1989年からは、長い間延期されていた第五次5か年計画の実施に踏み切ろうとしている。この計画では、食料の自給自足体制確立を目指した農業生産の拡大を重点政策としているが、地域住民の生活基盤はまだほとんど整備されておらず、生活用水の確保にも困窮している状態である。このため、水くみ労働に多大な労働時間がとられるほか、水に起因する疾病の増大により、労働集約的な生産を行う農村部の発展は著しく阻害されている。従って、とくに農村部の安定的・衛生的な水供給計画を早急に実施することが強く望まれているところである（表-1）。

表-1(1) ナイジェリア国保健指標

単位：人

疾病（報告例）	1980	1981	1982	1983	1984	※
マラリア	1,171,071	1,471,561	1,147,518	1,273,090	1,242,882	1.5%
赤痢	234,071	293,747	272,079	251,241	222,879	-1.2%
はしか	142,106	129,671	139,785	136,778	188,591	7.3%
肺炎	88,595	114,692	96,364	99,070	101,455	3.4%
淋病	65,914	68,087	56,731	53,732	55,139	-4.4%
百日咳	48,696	56,913	77,830	70,024	62,751	6.5%
鶏痘	19,161	26,384	34,573	41,203	65,932	36.2%
フィラリア	22,561	27,521	14,640	14,970	12,746	-13.3%
住血吸虫	24,550	41,662	40,028	41,889	36,710	10.6%
結核	9,694	10,838	10,949	10,212	10,677	2.4%

出典：ナイジェリア連邦保健省

※ 1980～1984年平均増加率

表-1(2) ソコト州47候補村落の水系症発生状況

地域区分 疾病	基盤岩地域村落	堆積岩地域村落
赤痢・腸炎等	多数の村落で発生	多数の村落で発生 (クカコゴではとくに深刻)
ギニアウォーム症	ツンガアルド、ドカウ、 バمام、ヤンプキの4村落 (ヤンプキはとくに深刻)	カルマロ (カルマロ湖の水使用による) 1村落

### 3. ソコト・リマ川流域の水文

#### 3. 1 流域の概要と観測施設

ソコト州を流れる河川はアフリカ有数の大河川であるニジェール川の支川であるリマ川、ソコト川、ザムフアラ川である。ニジェール川は隣国ニジェールから東流してナイジェリア国内に入り、ソコト州の西南部を通過してナイジェー州へ抜けるが、ソコト州内の流路延長は150km程度である。

リマ川はソコト州の北東部基盤岩山地に発し、サボンビルまでは北～北西に流れ、以後ワマコまで南西に流れ、この間に同じく基盤岩山地を北西に流れてきたソコト川と合流する。リマ川は、ブンサ村近でザムフアラ川を加えさらに南流して州境付近でニジェール川と合流している。

リマ川の流域面積はワマコ地点で約57,000km<sup>2</sup>、年間流出量は約17億m<sup>3</sup>である。また、ソコト川の流域面積はギダンドガ地点で約12,000km<sup>2</sup>、年間流出量は7.3億m<sup>3</sup>である（いずれも1965～1966年の記録）。また、ジェガにおけるザムフアラ川の流量は調査期間中、最大284m<sup>3</sup>/sec（1988年9月）、最小0.95m<sup>3</sup>/sec（1989年10月）を示している。

ソコト・リマ川流域の気象観測所は連邦航空部（FDCA）、州農業省（SMA）、ソコト・リマ流域開発公団（SRRBDA）などによって設置されており、その総数は確認されただけで50か所である。

水位・流量観測は流域全体で50か所設置されているが、流量観測はそのうち18か所だけで、他はすべて水位観測所である。これらの観測施設は貧弱で、大半の施設は補修を必要としている（図-4）。

#### 3. 2 流量観測

リマ川河道水収支を検討するため、カイヌア（カイヌア湖）、アルグング（リマ川）、ブンザ（リマ川）、ジェガ（ザムフアラ川）の4地点で、1988年7月から1989年11月まで毎月1回の流量観測を行い水位・流量曲線を作成した。

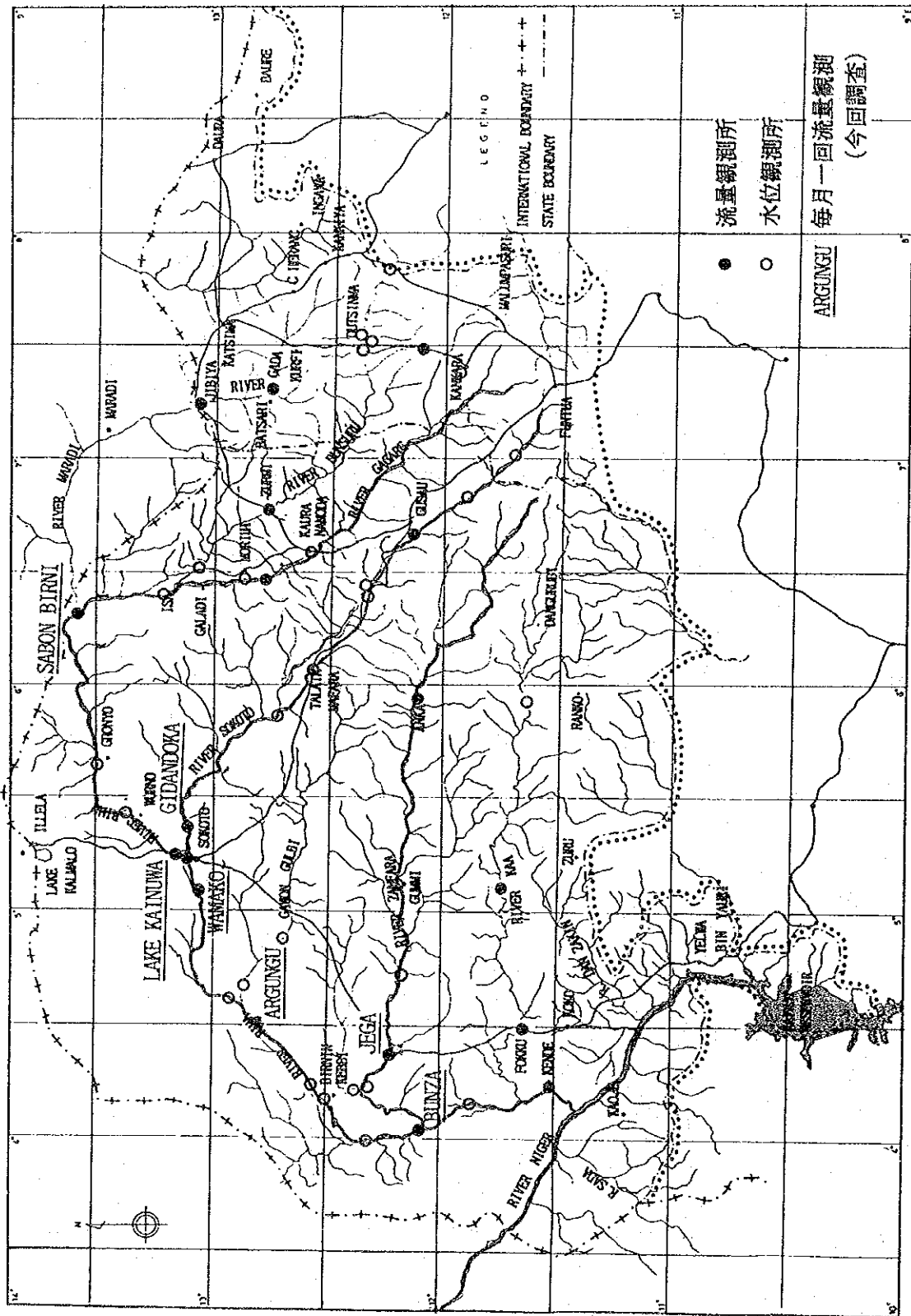


図-4 ソコト州水系区分図と水文観測所

### 3. 3 地下水位観測

地下水の流動と地下水位の変化を把握するため、堆積岩地域の62か所の既存ボアホールの地下水位一斉観測を調査期間中に4回行った。また、既存浅井戸2ヶ所とボアホール4ヶ所において16ヵ月間にわたり週一回の定時観測を行うとともに、試掘井戸2ヶ所、既存ボアホール2ヶ所には自記水位計を設置し観測を行った。

### 3. 4 水文気象

ソコト州の気象は5月～9月の雨季と10月から翌年4月までの乾季に分けられる。月平均降雨量は8月が最も多く、グサウで240mmを示している。毎年11月～翌年2月は全く降雨がなく、その前後の10月、3～4月がそれに次ぐ降雨の少ない期間である。

ソコト市街の平均降雨量は632mmで、1970年代後半から80年代は減少傾向にあり、1987年は80年代で最低の325mmを記録している。

降雨量の地域分布を見ると、ソコト以北は、ニジェールの国境に向かって少なくなり600mm/年以下となる。しかし、州南部に向かっては降雨量は次第に多くなり、ブンザとタラタ・マフアラを結ぶ線以南では900mmを越している。

日最高および最低気温の年平均値はそれぞれソコトで34.8℃および21.2℃である。日最高気温の月別平均値は4月が最も高く、40.1℃を示す。また日最低気温の月別平均値は8月が最も低く30.5℃である。気温の地域分布には大きな差はないが、ソコト市周辺が州内で最も暑い地域である。

カチーナ、グサウ、ソコトおよびイェルワにおいて年間の可能蒸発散量をソーンスウエイトの方法により求めると、それぞれ1526mm、1553mm、1739mm、および1729mmが得られた。これらの値は実際の蒸発散量を表すものではないが、降雨により供給された水の大半が蒸発散により失われることは明らかである（図-5参照）。

### 3. 5 河川水文

ソコト・リマ川流域の河川は基盤岩地域では間欠河川である。また、堆積岩地域ではソコト川・リマ川の中・下流域にあたるため恒常河川となっている。

ソコト川下流のギダン・ドカとリマ川中流部のワマコの流出量をみると、年間流出率は4

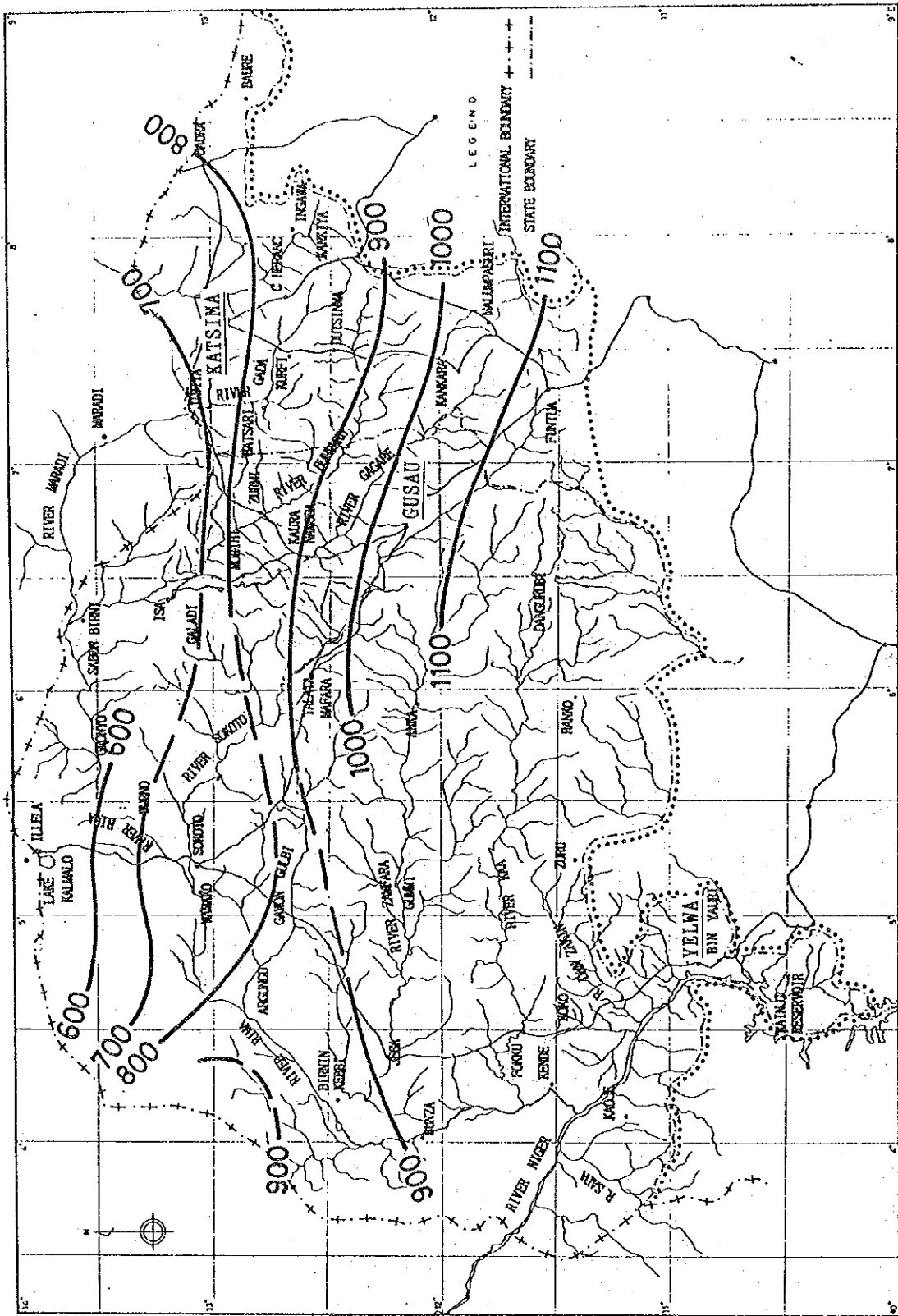


图-5 气象观测所之雨量分布图 (mm/year)



～7%で、降雨量のほとんどは蒸発散と地下浸透により失われている。

1988年11月～1989年3月の流量観測結果からリマ川の河道水収支を検討すると、流域の地下水との関係について次のような結果が得られた（図-6参照）。

- 1) 雨季の期間のうち6～8月の間は、ギダン・ドカとリマ川上流サボン・ビルニの合計流量は、下流側のワマコの流量よりも多い。この間の流量減は、河川ぞいの沖積層へのかん養浸透を示している。しかし、乾季に入ると、ワマコの流量は上流側より大きくなる。この間の流量増はカランバイナ石灰岩帯水層からの地下水流出によるものである。
- 2) ワマコとアルグングの流量は、雨季の5～9月は10～200 $\text{m}^3/\text{sec}$ の範囲にあるが、上流側のワマコの流量は常にアルグングを上回っている。一方、乾季には両地点の流量は1.0～10 $\text{m}^3/\text{sec}$ の範囲を示し、アルグングの流量はワマコを上回る。この間の流量増はグワンドウ帯水層上部および沖積層からの地下水流出による。
- 3) アルグングとブンザ間においても乾季の流量は下流側で増加している。この間には流入する河川はないので、この流量増はグワンドウ帯水層及び沖積層からの地下水流出が大きな役割を果たしている。
- 4) ジエガにおけるザムフアラ川の乾季の流量（1～13 $\text{m}^3/\text{sec}$ ）は、この流域に露出しているリマ層およびグンドウミ層からの地下水流出により保たれている。

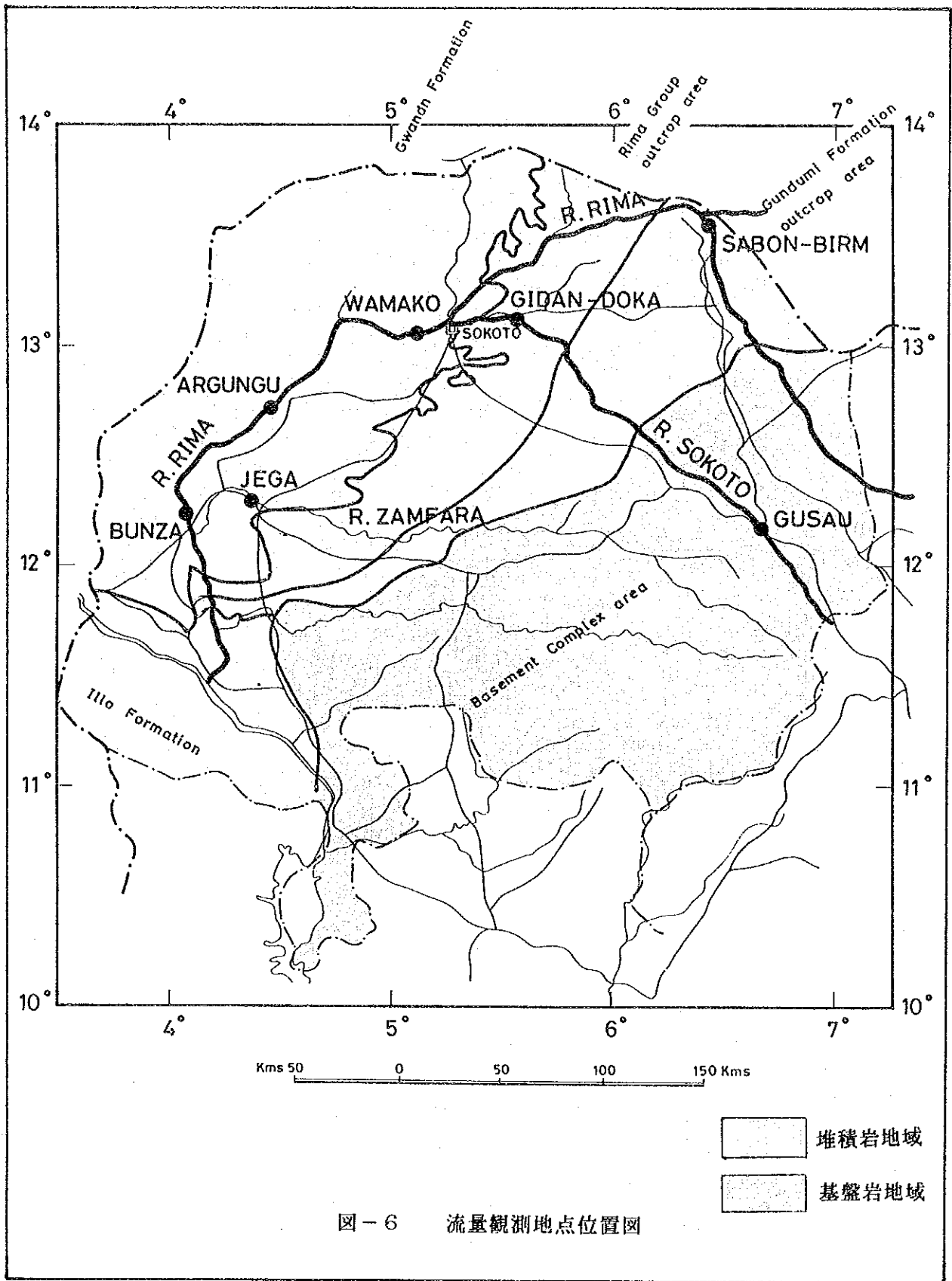


图-6 流量观测地点位置图

#### 4. ソコト州の水文地質

##### 4. 1 地質分布と帯水層

ソコト州の地質は白亜紀～第三紀の地層からなる堆積岩地域と先白亜紀の深成岩変成岩類よりなる基盤岩地域に大別される。堆積岩地域（ソコト堆積盆）は、ソコト州の北東から南西地域を占めて分布している。また、基盤岩地域は、南東地域を占め、その面積はソコト州全体の約42%を占めている（図-7）。

##### (1) 基盤岩類

花崗岩、片麻岩、結晶片岩、珪岩など深成岩・変成岩類により構成され、新鮮部は極めて硬い岩石である。風化により砂質化した部分、粗粒岩の変質部、緩く変質した岩石の亀裂部及び貫入岩と深成岩の接触破碎部などに地下水を賦存する。

既存ポアホールの比湧出量は一般に低く $10\text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$ 以下である。

##### (2) グンドウミ層

湖沼堆積物起源の砂、礫、粘土からなり、ソコト堆積盆の最下部層として基盤岩を覆っている。ソコト州全体面積の約14%を占めて、北東から南西方向に帯状に分布する。北東部では不圧地下水となっており降雨と河川からのかん養を受ける。一方南西部では上位の地層に覆われ被圧地下水となっている。既存ポアホールの比湧出量は平均 $57\text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$ を示し、良好な帯水層をなす。

##### (3) イロ層

グンドウミ層と指交関係にあり、ソコト州南西部に分布し、上位のリマ層に覆われる。帯水層の性状はグンドウミ層と同様である。

##### (4) リマ層群

白亜紀の海進に伴い堆積した海成層で、下位よりタロカ層、デュカマジェ層、ウルノ層の3層に区分される。タロカ層及びウルノ層の砂質部はそれぞれ帯水層をなす。デュカマジェ層は主に頁岩からなり難透水層である。

リマ層群の帯水層はソコト市の北側で、比湧出量は $3\sim 20\text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$ と低い値を示すが南方では $23\sim 63\text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$ を示し良好である。しかし地下水位は両地区とも深く、水質も悪い。

##### (5) ソコト層群

下位よりダング層、カランバイナ層よりなる。分布面積はソコト州の3%を占める。

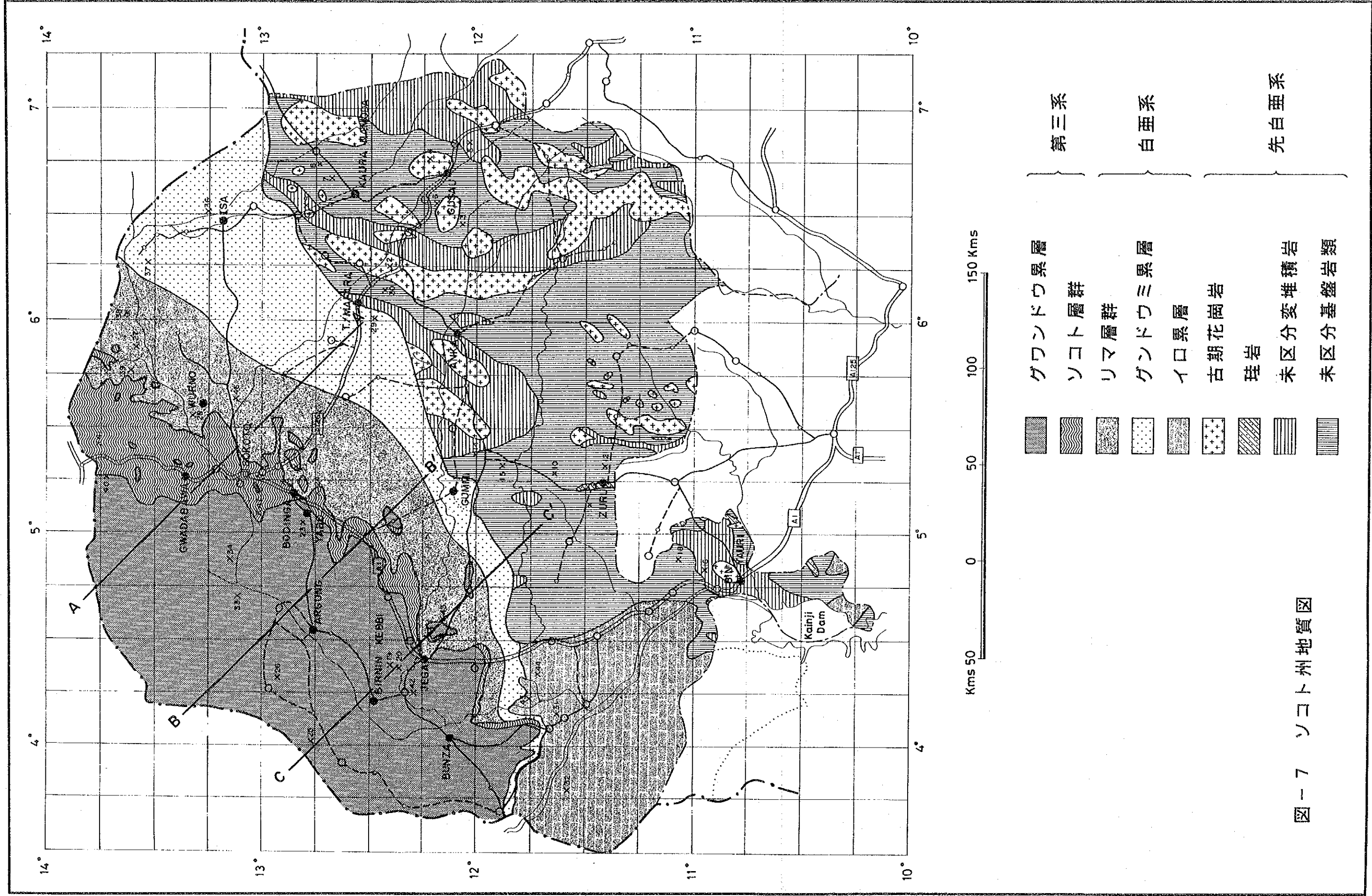


図-7 ソコト州地質図

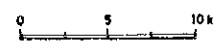
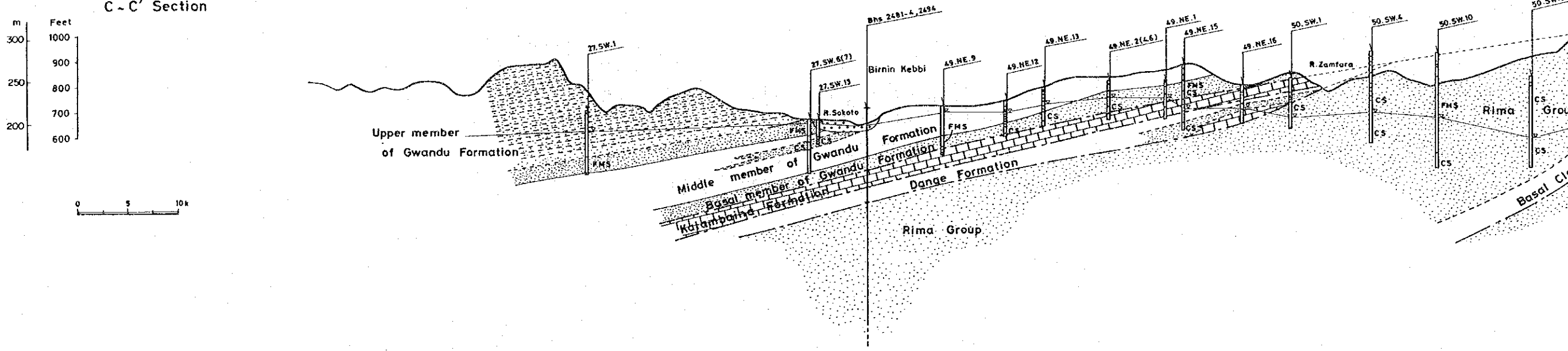
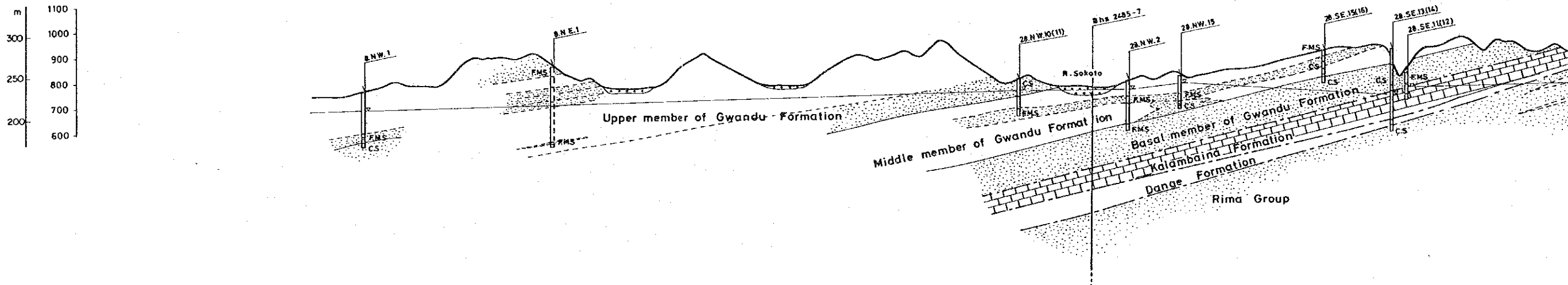
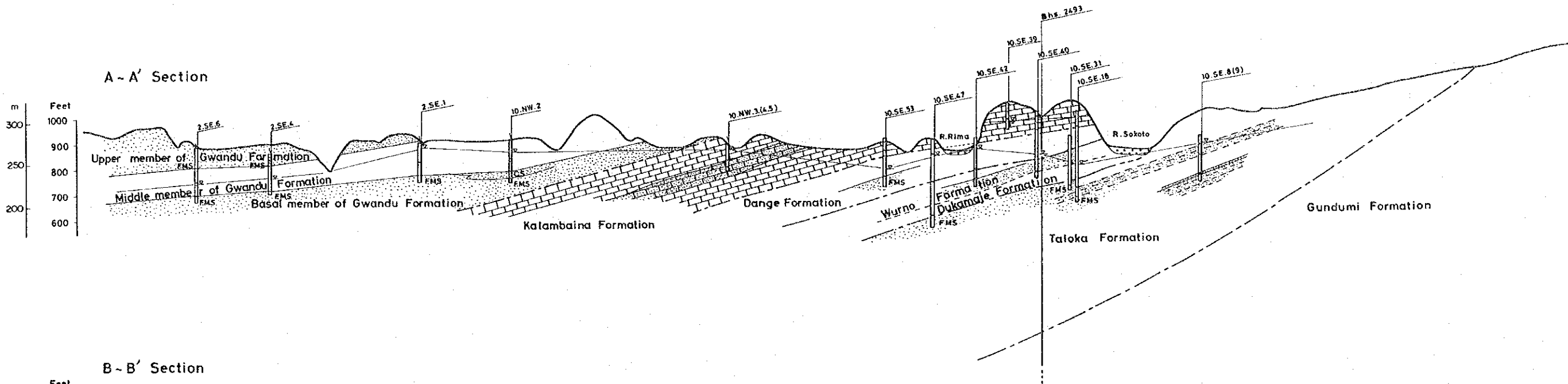
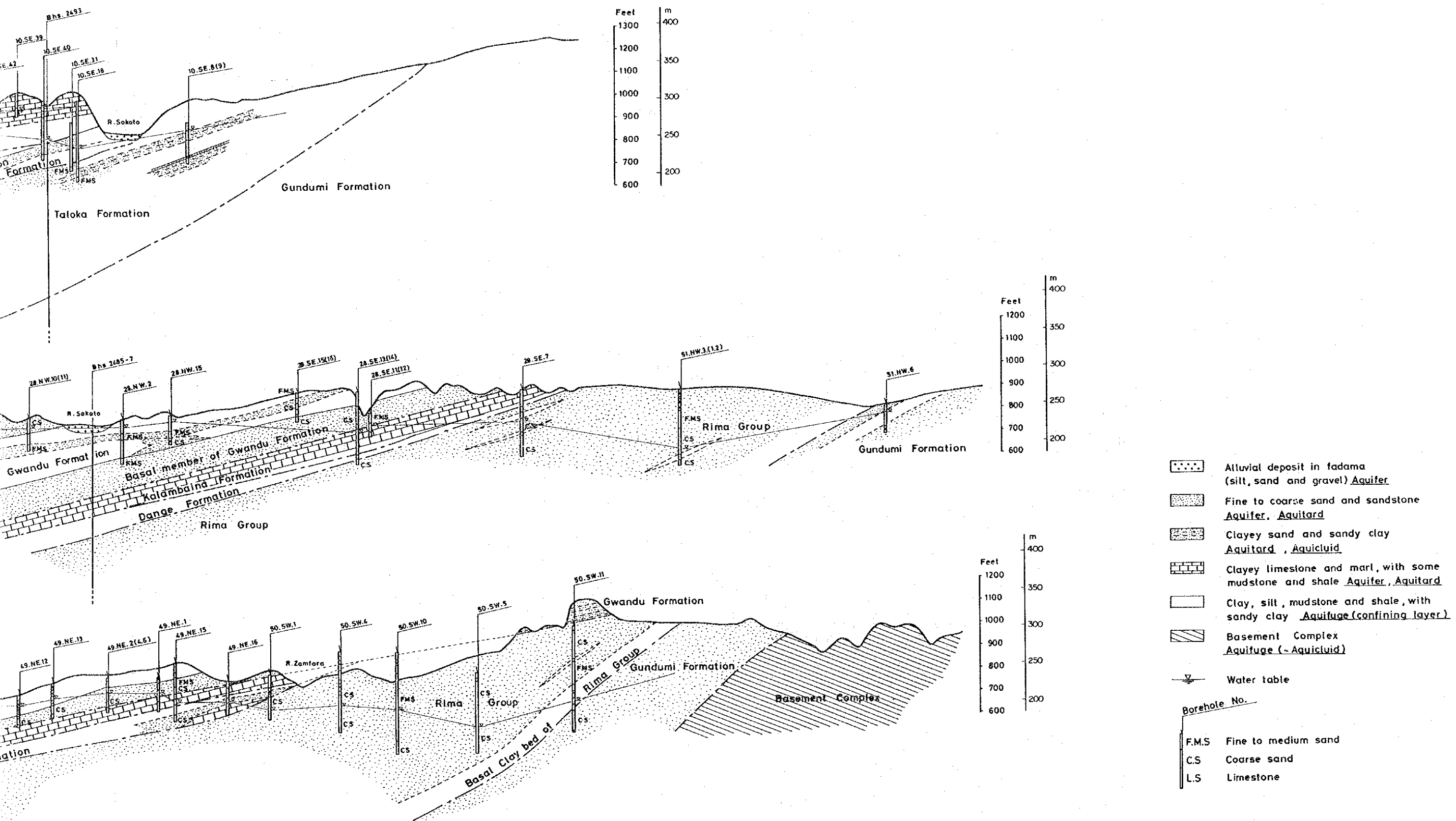


図-8 ソコト地下水盆断面図



- Alluvial deposit in fadama (silt, sand and gravel) Aquifer
  - Fine to coarse sand and sandstone Aquifer, Aquitard
  - Clayey sand and sandy clay Aquitard, Aquiclude
  - Clayey limestone and marl, with some mudstone and shale Aquifer, Aquitard
  - Clay, silt, mudstone and shale, with sandy clay Aquifuge (confining layer)
  - Basement Complex Aquifuge (- Aquiclude)
  - Water table
- Borehole No.
- F.M.S Fine to medium sand
  - C.S Coarse sand
  - L.S Limestone



ダンゲ層は主に海成粘土層からなり難透水層である。カランバイナ層は粘土質石灰岩、マールからなり、この地域では不圧地下水帯水層を構成している。カランバイナ層からなる丘陵ぞいには多数の湧泉や湖沼が分布する。

#### (6) グラウンドウ層

グラウンドウ層はソコト州面積の22%を占める第三紀堆積物で、州の北東から南西にかけ広く分布している。グラウンドウ層は上、中、下3層に区分され、上部砂層及び下部砂層がそれぞれ不圧地下水帯水層、被圧地下水帯水層をなす。中部粘土層は難透水層である。グラウンドウ層の比湧出量は50~100m<sup>3</sup>/day/mを示すが150m<sup>3</sup>/day/mを越す地域もあり、良好な帯水層である。

#### (7) 第四紀層

ソコト・リマ川の沖積低地（ファダマ）には、未固結の砂、礫、粘土が堆積し不圧地下水帯水層をなし、浅井戸により利用されている。

### 4. 2 水文地質構造

ソコト堆積盆の主帯水層は、上位よりグラウンドウ層上部（第一帯水層）、グラウンドウ層下部及びカランバイナ層（第二帯水層）、ウルノ層及びタロカ層（第三帯水層）、グンドウミ層・イロ層（第四帯水層）の4グループに区分できる。これらの帯水層系を総称しソコト地下水盆と呼ぶ。

ソコト地下水盆の水文地質構造は、南東部に広く分布する基盤岩類を覆って、下位より第一帯水層～第四帯水層が順に南東から北西にかけて配列する単斜構造をなしている（図-8）。

### 4. 3 ランドサットデータ解析

バンド7（赤外線）のランドサット映像（1/250,000）により、岩相と地質構造（断層、リニアメント）を判読し、水文地質予備調査に利用した。



基盤岩地域における花崗岩と変堆積岩のパターン

判読項目	花崗岩地域	変堆積岩地域
色調	一般に淡い色調（砂質物質に覆われた焼畑を除く）	一般に暗い色調（露出地域）
地形	緩傾斜地形によるぼんやりした影、斑点状に露出する花崗岩ドームにより特徴づけられる。	山稜は鮮明な影が優勢、特に珪岩よりなる南北性の山稜は顕著
リニアメント	N-SとENE-WSW方向のリニアメントが見られるが、明瞭ではない。	頻繁で明瞭なりニアメント N-S方向が優勢

堆積岩地域の岩相区分は、基盤岩地域と同様に色調と地形パターンにより判読できる。とくに、不圧地下水帯水層となるフアダマは暗い色調を呈し、その分布範囲が明瞭に判読できた。

基盤岩地域においては、地下水の賦存状況は断層、破碎帯あるいは亀裂の集中するゾーンに関係している。これらの構造はリニアメントの判読により推定できるが、ランドサット映像により、数十～数百kmの大規模なりニアメントが判読できた。また、数km～数百mの小規模なりニアメントの判読には航空写真が有効であった。

#### 4.4 地下水位

既存ボアホールの一斉観測結果から地下水位等高線図を作成し、各帯水層ごとの流動状況を検討した。

##### (1) グンドウミ層・イロ層

グンドウミ層の分布範囲の北東縁から、始めは西方に流れ、ソコト市の南方で南西方向に流れを転じ、指交関係にあるイロ層を流動したあと、ニジェール川へ流出する広域流動系を形成している。

## (2) リマ層群 (タロカ層)

タロカ層の地下水流動も基本的にグンドウミ層のそれと同様である。しかし、この層では、ゴロニヨダム下流付近で地下水位の高まりが認められる。また、ソコト市街周辺では地下水位の低下帯があり、揚水の影響が現れている (図-9)。

## (3) ソコト層群 (カランバイナ層)

カランバイナ層の分布範囲はソコト・イレラ道路ぞいに限られるが、地下水はソコト市街の東側を北西方向に流動している。既存観測記録と比較すると、カランバイナ層の地下水位は過去5年間に2.2~5.7mの低下が認められる。

## (4) グラウンドウ層

全体の流動は北東から南西へ流動する広域流動系を形成している。グラウンドウ層の南限はイロ層に接するため、地下水の流れはイロ層へ連続し、最終的にはニジュール川へ流出する。

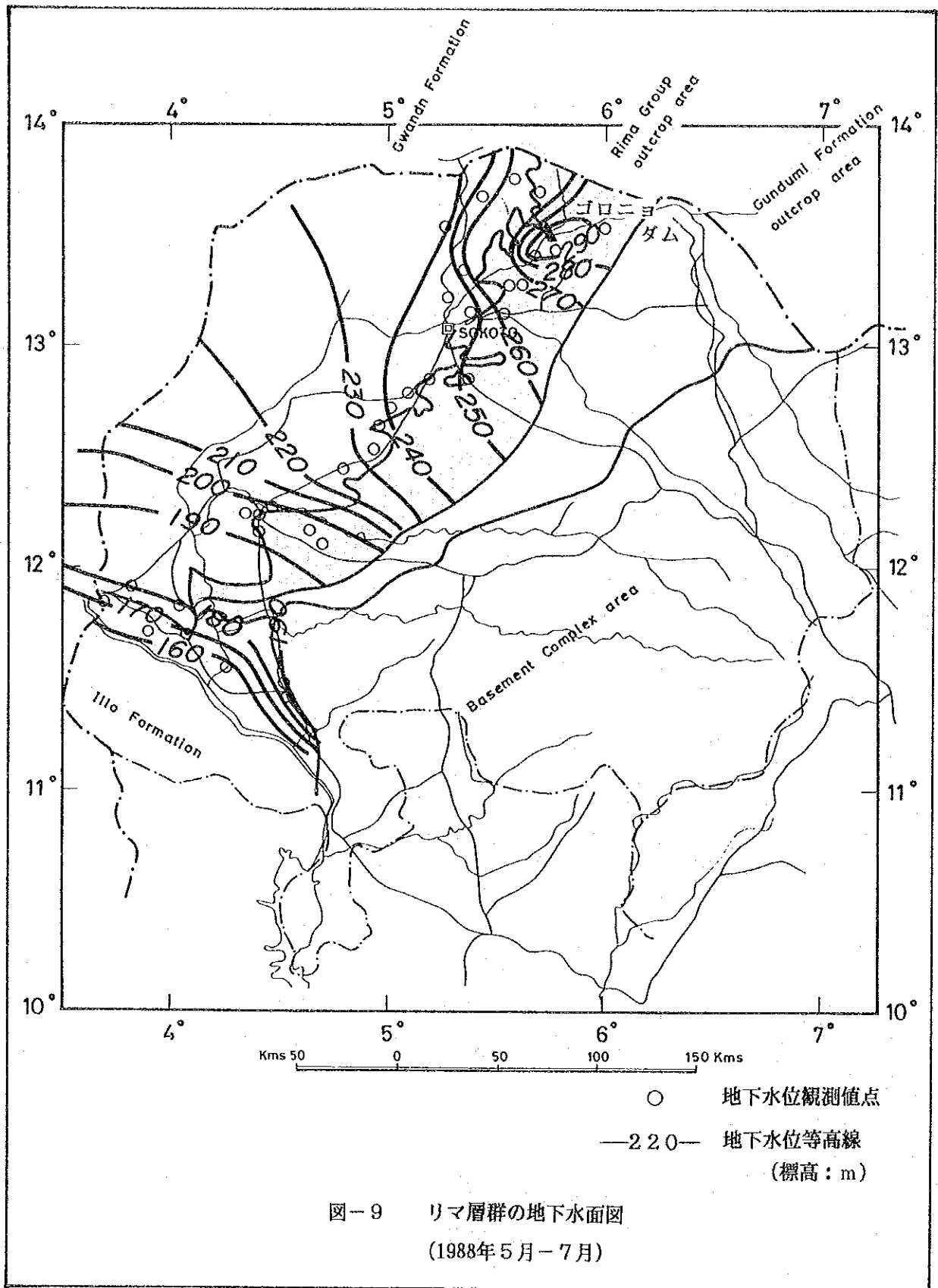
地下水は地形・地質の変化に応じて、中間および局所流動系を形成し、ソコト・リマ川、ザムファアラ川などに流出している。これらは、各河川の基底流量をなすものである。

## 4.5 地下水の水質

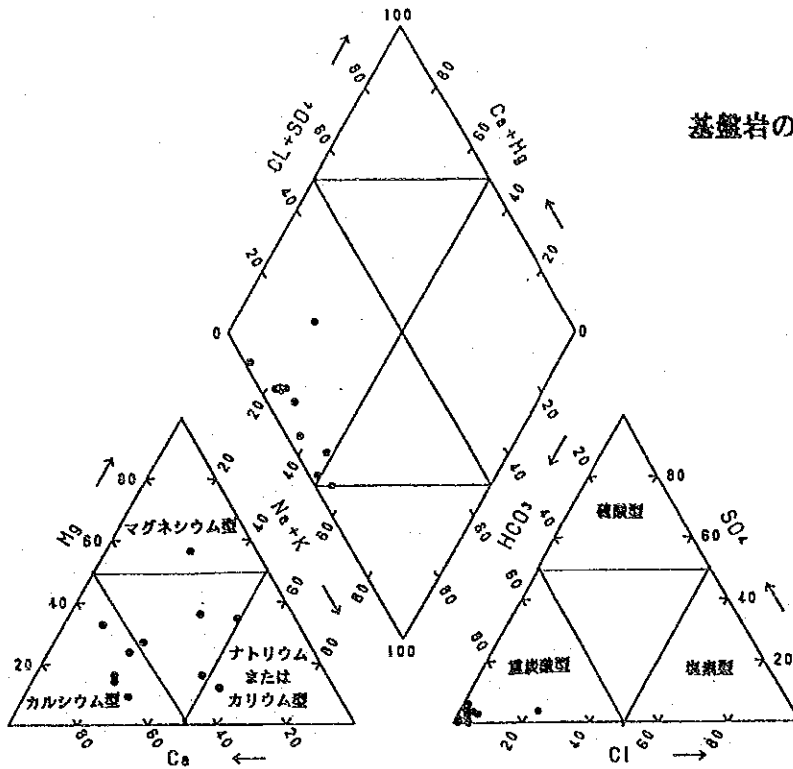
基盤岩地域の地下水の水質組成は、河川水とよく似ており、カルシウム重炭酸型を示している。一方、堆積岩地域の地下水の水質組成は、カルシウムまたはナトリウム重炭酸型のほかカルシウム硫酸型を示している (図-10)。

総硬度は一般に高く、どの層でも200~500mg/ℓを示すものが多いが、基盤岩地域、グンドウミ層、リマ層、ソコト層では1,000mg/ℓ以上の値を示す地点が認められる。また、グンドウミ層とリマ層の一部の井戸は鉄イオン濃度が15~32mg/ℓと高い。これらは、いずれもWHOの定めた最大許容基準 (1.0mg/ℓ) を越えている。また、村落の一部の浅井戸には、塩素イオン濃度が245~702mg/ℓ、硝酸性窒素濃度が1,000mg/ℓ以上を示し、明らかに人為的な汚染を受けているものが認められた。

試掘井のトリチウム濃度は、基盤岩地域では4.6~20.5TRを示し、水循環は比較的早いことを示唆している。一方、堆積岩地域では、基盤岩地域より低い2.5~3.5TRを示し、降雨かん養による新しい水と古い水が混合している様子がうかがえる。



基盤岩の地下水水質組成



リマ層群の地下水水質組成

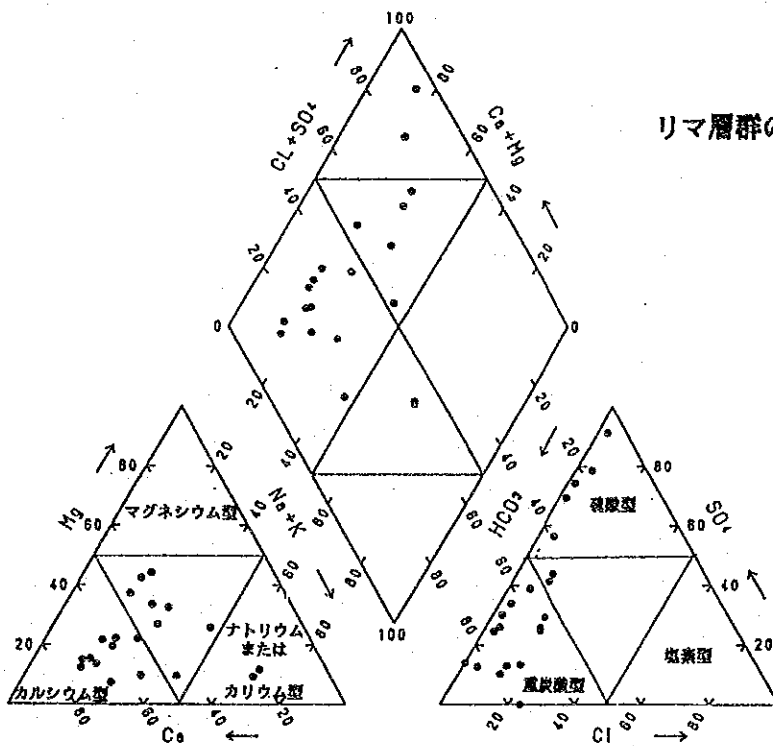


図-10 地下水の水質組成

## 5. データ・ベースの構築

ソコト州の水文資料、水文地質資料を保存・管理し、地下水開発計画にあたって資料を効果的に利用することが可能になるように、データベースを作成した。

データベースにおいて扱うデータは、水文気象資料、水文資料、水文地質資料、文献の4種である。

データベースの基本機能は、データ入力、ファイル管理、データ修正、データ出力の4機能である。

ハードウェアは、マイクロコンピューター、14インチ・カラーディスプレイ、プロッター、ディジタイザーより構成される。ソフトウェアはd-BaseⅢを用いた。

## 6. 候補村落の水文地質

### 6. 1 予備調査

#### 6. 1. 1 村落実態調査

地下水による給水計画を予定している優先開発候補村落47ヵ所の給水実態を調査した。

##### (1) 村落の人口

候補村落の人口は、中～大規模村落の場合3,000～20,000人とされているが現地調査時の聞き取りによると、1,000人以下の村落が3村落、また20,000人以上の大規模村落が5村落あった。村落の規模は基盤岩地域では大きく、5,000人以上の人口の村落が18村落のうち12村落を占めている。これに対し、堆積岩地域では、5,000人以上の人口の村落が29村落中10村落であり、1,000～5,000人の規模の村落が多い。

##### (2) 村落の形態と規模

候補村落の形態は、集中型と分散型に区分できる。集中型は5～50haの範囲に住居群が集中しているもので、47候補村落のうち35村落を占めている。分散型は、村落の中で住居群がお互いに数百m以上離れているもので、基盤岩地域に多く見られる。

##### (3) 既存の水源

47村落の内、3村落では準都市型給水施設（動力ポンプ付きボアホール）が建設されているが、保守が悪いため、機能していない。また、10村落では手動ポンプ付きボアホールが掘削されているが、ポンプの故障や濁水のため使用できない村があった。

他の34村落はボアホールはなく、そのうち18村落は手掘り浅井戸、11村落は表流水と浅井戸の併用、5村落は表流水のみに頼っている。浅井戸、表流水は乾季に枯れることが多いため、飲料水の供給は量、質とも最悪の状態にある。

年間を通して十分な水量を確保できている村落は47村落のうち2村落にすぎない。

##### (4) 保健環境

浅井戸や水路の水は汚染の防止対策がなされていないため、ほとんどの村落の衛生環境は劣悪である。湖、池、ダム貯水池などの表流水を利用している村落では、水に起因する疾病が発生しているが、47村落のうち5村落においてはとくに悲惨なギニア・ウォーム症が発生している（表-1参照）。

#### (5) 村落へのアクセス

村落へのアクセスをみると47村落のうち31村落は雨季を除けば一般車両が通行可能であるが、このうちアスファルト舗装道路によりアクセス可能な村落は7村落であり、舗装していないが良好な村落が6村落、雨季を除けばアクセスが比較的容易な村落が18村落である。

また、一般車両によるアクセスが困難な村落は16村落、四輪駆動車によっても困難な村落が2村落である。

#### 6. 1. 2 地形・地質調査

候補村落とその周辺地域についてランドサット映像と航空写真の判読を行い、既存資料により予備的に水文地質調査を行ったうえで、現地において地形地質調査を実施し、1/5,000水文地質予察図にとりまとめた。

水文地質図への記載事項は、特徴的な地形（河川、段丘、丘陵、崖線、池、湿地、フアダマなど）、地質構造、岩相、住居群の位置、既存水源（ボアホール、浅井戸など）の種類と位置、物理探査地点である。

#### 6. 1. 3 物理探査

候補村落の地下地質構造を把握するため、比抵抗法垂直電気探査（VES）および電磁探査（PLMTおよびELFMT）を行った結果、次の事項が明らかとなった。

- 1) 基盤岩地域では、主に風化変質部が帯水層となる。新鮮岩盤の比抵抗は一般に3,000 $\Omega$  m前後を示し、その深度（風化層の厚さ）は場所により数m～200mまで変化する。ボアホール掘削に先立って適切な探査を行うことにより、「困難な地域」といえども地下水開発が可能である。また、電気探査の測定点は格子状に配置するのが効果的である。
- 2) 堆積岩地域では比抵抗の深度変化は岩相変化と調和的で、一般に150～1,000 $\Omega$  mの比抵抗値を示す層は帯水層の可能性がある。しかし、地域によっては、不規則な堆積環境を反映し、比抵抗の深度変化は隣り合う測定点でも著しく異なるパターンを示すことがある。従って、電気探査の測線は地層の走向方向に交わるように配列するのが効果的である。

#### 6. 1. 4 詳細調査村落の選定

詳細調査を実施する村落を選び出すため、各候補村落の人口、面積、アクセス、保健環境、既存水源の状況、地下水開発可能性について基準を設定し、47村落から21村落を抽出した(図-11)。このうち、10村落は基盤岩地域、11村落は堆積岩地域にある(図-12)。

#### 6. 2 詳細調査

##### 6. 2. 1 水文地質

航空写真判読、地質踏査、物理探査により以下の事項が明らかになった。

##### (1) 基盤岩地域

一般に2,000  $\Omega$  m以上の高比抵抗層は新鮮岩盤を示し、難透水層または不透水基盤となっている。新鮮岩盤までの深度は場所により異なるが、深層風化の形態は次の5タイプに区分できる。

- ① 盆状の深層風化：断層、破碎帯、脈岩との接触部に規制された盆状の風化帯
- ② 谷状の深層風化：①と同様の地質構造に規制された谷状の風化帯
- ③ 河川ぞいの深層風化：破碎帯のリニアメントに伴う河川ぞいの風化
- ④ 浅層風化：20~30mの浅層風化、風化層の厚さは変化に乏しい
- ⑤ 超深層風化：広域の深層風化、破碎された断層粘土を伴う。深度は200mを越す。

ボアホール試掘地点は、50~100m間隔で格子状に測定点を配列して、比抵抗垂直電気探査を行い、その結果から新鮮岩盤の等深線図を描いて決定できる。

##### (2) 堆積岩地域

堆積岩地域での比抵抗と岩相の対比は次の通りであり、150  $\Omega$  m以上の比較的高い比抵抗層は帯水層となる可能性がある。

比抵抗  $\Omega$  m

10~50	粘土、シルト及び粘土・シルト互層
50~150	砂質粘土、砂・粘土互層またはシルト
150以上	砂または砂岩(帯水層)
1,000以上	粗岩または砂岩、礫質砂、石灰岩(帯水層)

主にランバイナ層の分布地域では、石灰岩・マールなどはレンズ状に挟まれている



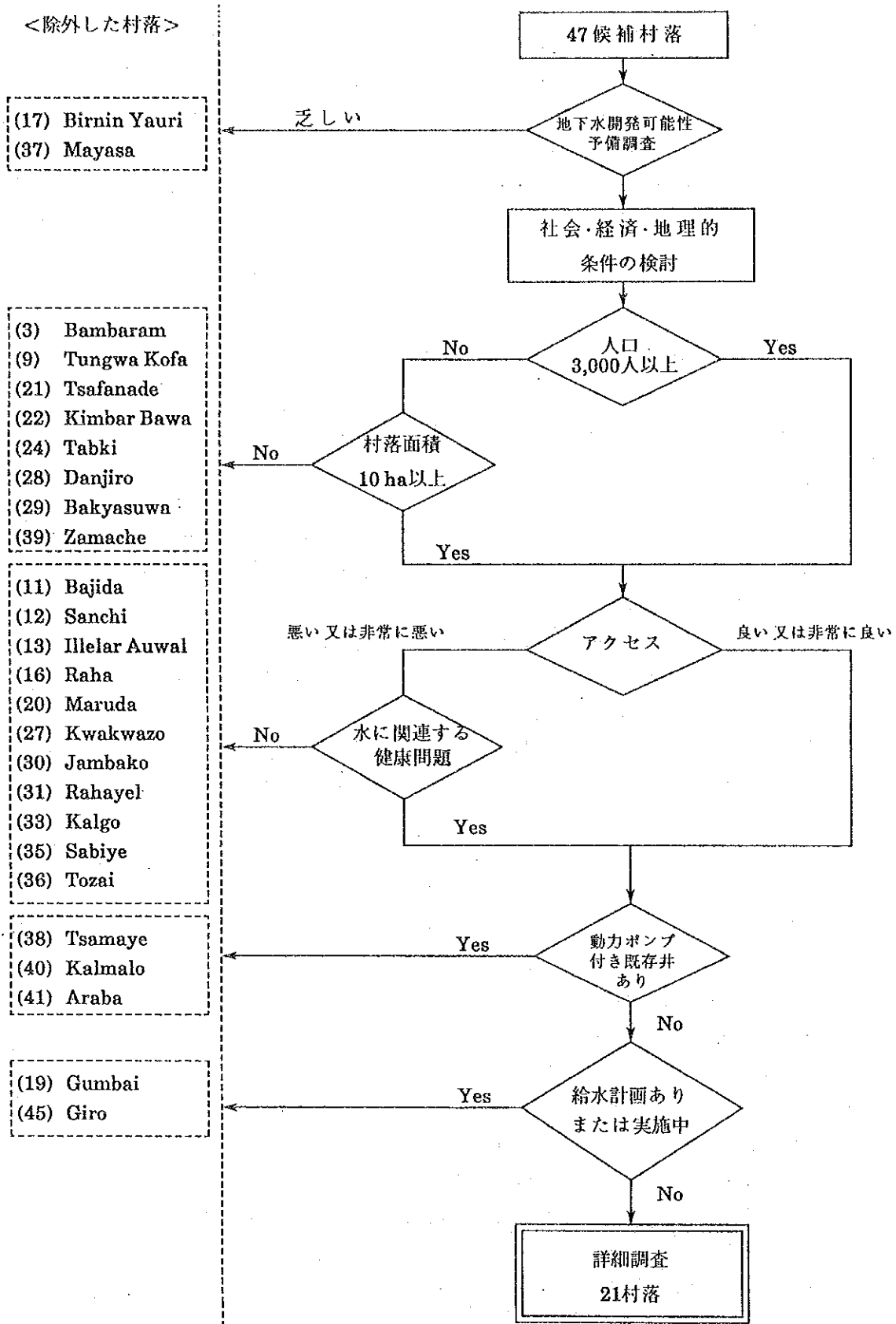


図-11 詳細調査村落の選定手順

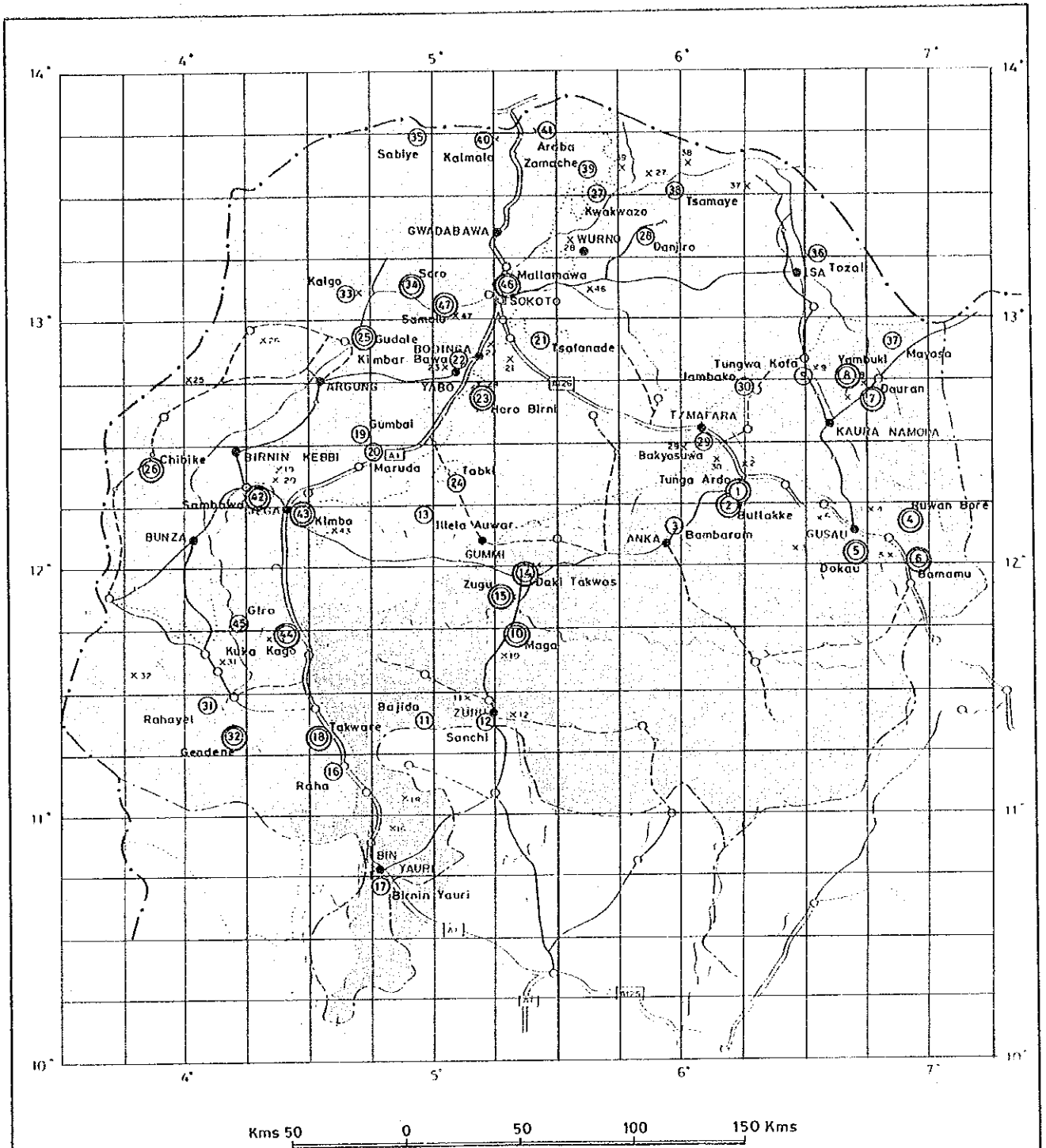


図-12 詳細調査及び給水村落位置

◎ 詳細調査村落

堆積岩地域

○ その他の候補村落

基盤岩地域



ので、比抵抗の深度変化パターンは、隣り合う測定点でも著しく異なることがある。

## 6. 2. 2 調査ボーリング及び試掘井掘削

帯水層の性状を把握するため、7村落において試掘井の掘削と揚水試験を行い、そのうち5村落においては試掘井の掘削に先立って、コア採取を目的とした調査ボーリングも実施した。

試掘井は全て成功し、エアールフトによる予備揚水試験では、基盤岩地域で80~400ℓ/min、堆積岩地域で380~900ℓ/minの揚水量を得た(表-2)。

調査ボーリングと試掘井掘削結果から明らかになった事項は次の通りである。

### (1) 基盤岩地域

50mを越す深層風化帯は一般に、褐色を呈する表層風化帯と、破砕帯やペグマタイト・珪岩岩脈などに規制された下部の部分風化帯に分けることができる。

地下水の水量は、下層の部分風化帯を掘進するにつれ増加する。水質も上部の表層風化帯より良好である。

試掘井の位置は、盆状深層風化の中心部を選定し、計画掘削深度は、おおむね新鮮岩盤までの深度とすべきである。

既存ボアホールの平均深度は約35mと浅く、表層風化帯を抜けていないため、地下水量は一般に10~20ℓ/min程度の少量にとどまっているものと考えられる。

基盤岩地域では孔内物理検層のほか、掘進途中の掘屑の観察と産出水量を把握することによりスクリーンの位置決定を行うことが重要である。この点で、ダウンザホールハンマー(DTH)を装着できる掘削機の使用が効果的であった。

### (2) 堆積岩地域

地下水開発地域は、広域の比湧出量分布図を参考に選定できる。既存資料の解析と地質踏査を行った後、物理探査地点を決定し、その結果にもとずき掘削地点を選定するのが効果的である。

孔内物理検層は帯水層、難透水層の確認、スクリーン位置の決定に当たって極めて有効である。ソコト堆積盆の場合、自然ガンマ検層により5 cps以下の強度を示し、

電気検層により150Ω m以上の比抵抗値を示す層は良好な帯水層を指示している。

表-2 試掘結果一覧表

村落名	地質	深度 m	口径 inch	スクリーン m	静水位 m	動水位 m	揚水量 ℓ/min
Ruwan Bore	基盤岩	90.0	4	52.4~62.0 73.1~74.7 80.2~83.9	6.11	44.96	70 (84~168)
Dauran	基盤岩	84.0	4	35.6~40.4 51.5~56.4 73.0~77.9	12.03	18.36	129 (120~210)
Yambuki	基盤岩	102.0	4	48.6~55.1 66.2~72.7 89.3~90.9	29.41	37.51	69 (80)
Maga	基盤岩	138.0	4	42.0~45.0 123.0~129.0	7.79	65.62	100 (120~200)
Zugu No.1	基盤岩	130.0	4	50.7~58.8 76.9~80.1	14.0	45.68	28 (30)
No.2	基盤岩	120.0	4	122.4~124.0 54.0~60.5 78.6~83.4	10.3	15.72	140 (400)
Horo Birni	堆積岩	120.0	6	95.5~100.4 72.0~80.5	45.73	53.99	300 (120~380)
Soro	堆積岩	150.0	6	64.6~76.0	1.71	5.93	316 (900)
Kuka Kogo	堆積岩	113.0	6	51.0~60.0	14.6	24.67	316 (800)

注：揚水量（ ）はエアリフトによる。

### 6. 2. 3 揚水試験

7カ所の試掘井において段階、一定および回復試験を行った。試験結果を非平衡式により解析し帯水層係数を求めた。

基盤岩地域の比湧出量は $2.6 \sim 32.5 \text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$ 、透水量係数は $1.1 \times 10^{-3} \sim 2.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{min}$  (THEIS法)であった。なお一定揚水試験時の揚水量は $60 \sim 120 \text{ l}/\text{min}$ である。

堆積岩地域の比湧出量は $46 \sim 108 \text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$ 、透水量係数は $3.1 \times 10^{-2} \sim 9.8 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{min}$ を示す。一定揚水試験時の揚水量は $300 \sim 316 \text{ l}/\text{min}$ である (表-2)。

### 6. 2. 4 試掘井の水質

基盤岩地域、堆積岩地域とも試掘井の水質組成は、カルシウムまたはマグネシウム重炭酸型である。基盤岩地域のルワンボレのみナトリウム重炭酸型を示した。基盤岩地域のクカゴゴとマガでは総硬度は $100 \text{ mg}/\text{l}$ 以下を示し少ないが、その他の地点では、 $260 \sim 440 \text{ mg}/\text{l}$ を示し、ダウランではとくに高く $1200 \text{ mg}/\text{l}$ を示す。

これに対し、堆積岩地域の3カ所では $40 \sim 70 \text{ mg}/\text{l}$ と低い値を示している。ダウランの総硬度はWHO最大許容基準 $1,500 \text{ mg}/\text{l}$ 以下である。従って飲料水としては利用可能である。

### 6. 2. 5 探査手法の確立

基盤岩地域における地下水探査手法を確立するため、ソコト州南部のズグにおいて追加的な現地調査を実施し、各探査手法の有効性を検証した。

調査では、ランドサット映像により広域の地質構造を判読したのち、航空写真判読により調査範囲を絞り込んだ。調査地域では地質踏査を行って岩相と地質構造を観察記載し水文地質図を作成した。

物理探査は、比抵抗垂直電気探査と電磁探査 (TEM) を行い、この結果と既存資料から盆状深層風化帯の分布深度 (新鮮岩盤上面の深度) を求め、試掘位置を決定した。

試掘井は2地点で深度 $130 \text{ m}$  (No. 1)、 $120 \text{ m}$  (No. 2) を掘削し、揚水量はそれぞれ $28 \text{ l}/\text{min}$ 及び $140 \text{ l}/\text{min}$ を得た。

調査地の盆状深層風化帯は南北性の断層に規制されており、新鮮岩盤の深度は最深部では200mを越えている。格子状に測点配置（間隔100m）した電気探査により、風化帯の分布形状が把握できた。また、電磁探査により得られた横断方向の比抵抗分布から断層の存在が推定された（図-13）。

一連の調査手法を適用して行った試掘結果は極めて良好であり、各調査手法の有効性が検証できたので、これらの調査手段を水文地質調査ガイドラインとしてとりまとめた。

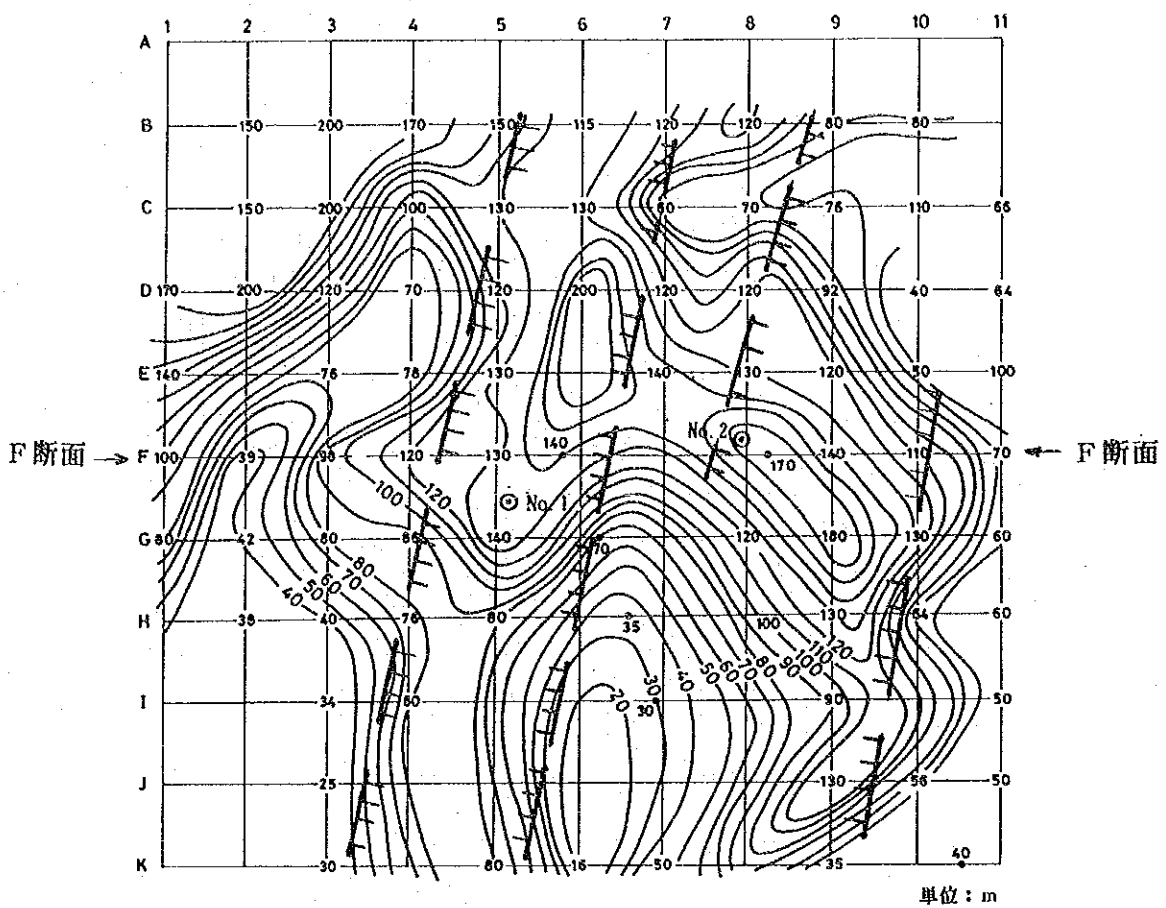
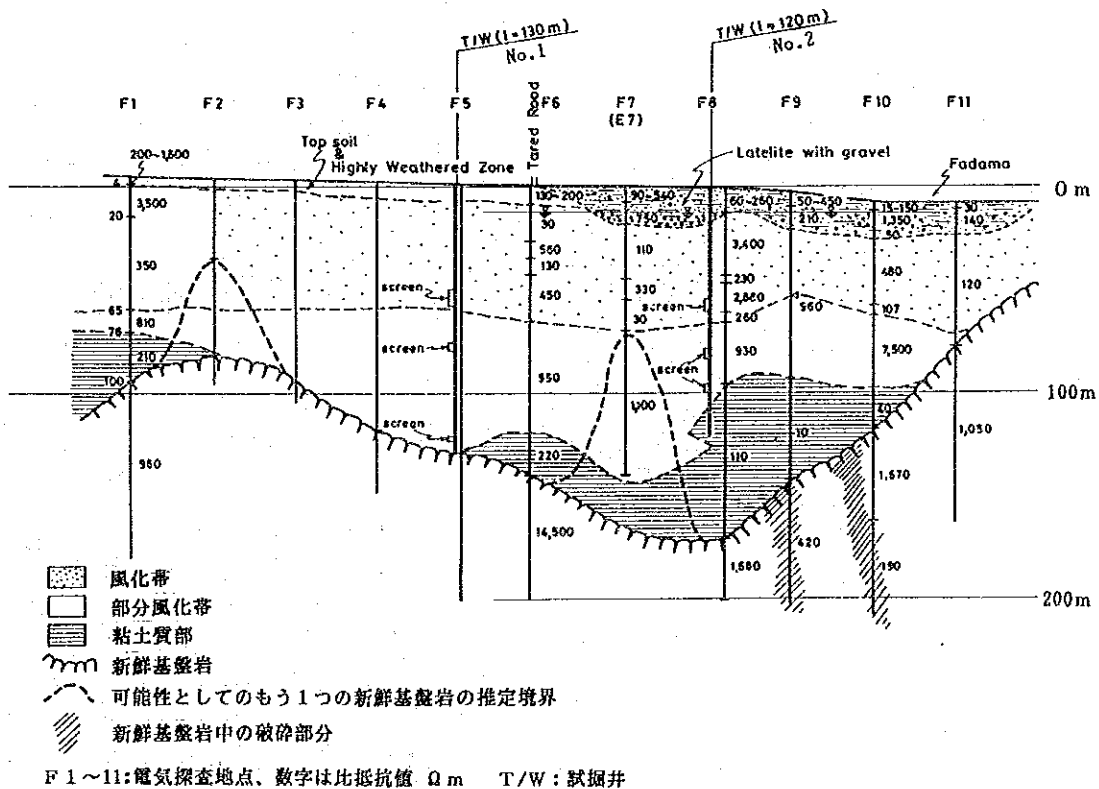


図-13 (1) 新鮮基盤岩の等深度線 (ズグ村)

◎ 掘削地点  
推定断層



F1~11: 電気探査地点、数字は比抵抗値  $\Omega m$  T/W: 試掘井

図-13 (2) 断面図 (Fライン)





## 7. 地下水開発可能量の評価

地下水開発可能量の評価の基礎として、ソコト州全体の水収支を検討し、地下水かん養量がどの程度になるかを解析した。また、堆積岩地域については地下水シミュレーションを行い、広域の地下水流動と水収支を詳細に検討した。

これらの、水収支計算結果をふまえ、基盤岩地域については主に水収支の観点から、堆積岩地域では地下水シミュレーションによる水位予測結果から、それぞれの可採水量を評価した。

### 7. 1 可採水量評価の考え方

調査地域の地下水の性状は、フアダマ、基盤岩風化部、カランバイナ石灰岩などに含まれる不圧地下水のように循環速度の早い更新性のものから、ソコト堆積盆中の被圧地下水のように循環速度の遅く、非更新性が強いものまで様々である。

更新性のある地下水の可採水量は永続性揚水量として評価できる。また、非更新性の地下水は涸渇性揚水量として評価しなければならない。本調査では、基盤岩地域の地下水は更新性があると考え、水収支の要件を適用して可採水量を評価した。また、堆積岩地域の被圧地下水は、やや非更新性と考えられるので、シミュレーションによる水位低下予測結果について、経済的要件を適用して可採水量を評価した。

### 7. 2 地下水の水収支解析

堆積岩地域のカランバイナ層およびグランドウ層分布地域の長期地下水位記録を用いて、不圧地下水の水収支計算を行った。水収支式は下記の通りである。

$$S \frac{dh}{dt} = (Q_1 - Q_2) / F + W$$

ここに、 $S \frac{dh}{dt}$  : 地下水貯留量の変化、 $S$  : 貯留係数、 $dh/dt$  : 地下水位変化量、 $(Q_1 - Q_2) / F$  : 地下水流去量、 $Q_1$  : 流入、 $Q_2$  : 流出、 $F$  : 水収支区の面積、 $W$  : 地下水かん養量 である。また、

$$W = P (1 - C) - E \pm M_d$$

であり、 $P$  : 降雨量、 $E$  : 蒸発散量、 $M_d$  : 土湿、 $C$  : 地表流出係数 である。

1943~1981年の平均降雨量をもとに年間水収支を計算すると、降雨量：674mm、地表流出量：34mm、蒸発散量および土湿：523mmとなり、地下水かん養量は117mmとなった。

また、基盤岩地域においても同様の手法を用い、グサウ上流域を対象にして水収支を計算した結果、降雨量：857mm、地表流出量：146mm、蒸発散量および土湿：576mm、かん養量：135mmが求められた。

### 7. 3 ソコト地下水盆のシミュレーション

地下水揚水に伴う地下水位低下量を予測するため、ソコト地下水盆のシミュレーションを行った。

#### (1) シミュレーションモデル

ソコト地下水盆の第一～第四帯水層、すなわちグロンドウ層、カランバイナ層、リマ層群（ウルノ～タロカ層）、グンドウミ・イロ層から成る多層帯水層系を模擬できる準三次元FEMモデルを作成した。

#### (2) モデルの入力パラメーター

水文地質調査結果から、モデルに入力するための帯水層層厚、透水量係数、貯留係数、初期地下水位などのパラメータを抽出し、境界条件を設定した。また、現況のソコト地下水盆からの揚水量はボアホール記録から42,200m<sup>3</sup>/dayと推定した。

#### (3) モデルの内挿検定

モデルによる地下水位計算結果と、一斉地下水位観測結果を比較し、モデルの適合性を検証した。

#### (4) 地下水位低下の将来予測

地下水揚水量は人口増加率と同じ2.5%で増加していくものと仮定し、30年後の揚水量を88,500m<sup>3</sup>/dayと推定した。内挿検定により固定されたモデルに、将来の揚水量を代入し、30年後の地下水位低下量を予測した。

予測結果によると、グンドウミ・イロ層およびグロンドウ層の地下水位は現況に比べ、全般的に1.0m以下の低下量である。一方、ソコト市周辺では、揚水量が多いので、カランバイナ層では最大2.0m、リマ層では最大6.8mの地下水位低下が発生する。

## 7. 4 可採水量の評価

### 7. 4. 1 基盤岩地域

基盤岩地域では風化や亀裂部に降雨が浸透し地下水となっている。とくに断層、破碎帯、脈岩などの分布と地質構造によって形成された盆状風化帯は基盤岩地域のいたるところに発達しており、小規模な地下水盆を作っている。

地下水の性格は更新性であり可採水量はかん養要件を考慮して評価できる。水収支計算結果を考慮すると、可採水量は約50mm/year、単位地下水盆面積1 ㎏当り140m<sup>3</sup>/day程度を一つの目安として小地下水盆ごとに適正な開発規模を設定することが重要である。

### 7. 4. 2 堆積岩地域

ソコト地下水盆では浅層の不圧地下水の循環は早い、深層の被圧地下水の循環はおそい。貯留量は莫大であるが、地下水は非更新性の要素が強いので可採水量の評価に当たっては、水収支の要件よりも、地下水位低下に伴う、揚水コストの増加など経済的リスクを重視しなければならない。

個々の井戸の水位低下量に、地下水シミュレーションにより求めた地下水位低下量を加えポンプ揚程を計算すると、その値は当初の設計で見込むべきポンプ能力およびその運転経費の範囲内に収まるものと判断される。従って、シミュレーションモデルに入力した揚水量約88,500m<sup>3</sup>/dayを暫定的に可採水量とすることが出来る。

しかしながら、ソコト市周辺ではリマ層の地下水は、現況でも地下水位が50m以下に低下している地域があり、中には80m以下となっている地域もある。今後も、地下水揚水量が増加すると、地下水位がさらに低下すると予想されるので、この地域でのリマ層及びカランバイナ層の地下水開発は慎重に進める必要がある。

## 7. 5 地下水盆管理の必要性

ソコト地下水盆はまだ処女条件下にあるとはいえ、無秩序な開発を進めると地下水位の低下に伴う取水量の減少、井戸の涸渇、水質悪化などの障害が発生するおそれがある。従って、当初から計画的な地下水盆管理を行い、貴重な水資源を保全していくことが必要である。



## 8. 地下水開発計画

ソコト州では地下水開発が「困難な地域」と言われる、基盤岩地域でも適確な地下水探査により、深度90～130m、口径100mm程度のボアホールにより70～140ℓ/min程度の地下水揚水が可能である。また、堆積岩地域では、深度100～150m、口径150mm程度のボアホールにより1井あたり300ℓ/min程度の地下水揚水が可能である。この量は飲料水を用途とするには十分な量と考えられる。

### 8. 1 基盤岩地域の地下水開発

#### (1) 対象となる帯水層

大規模な断層とそれに伴う破碎帯に沿って発達した盆状風化帯、谷状風化帯が帯水層となる。本調査で提案したガイドラインに従い、広域から局所域への調査範囲の絞り込みを行い、物理探査を行って帯水層の分布範囲と層厚を推定し、ボアホール位置を決定する。

#### (2) 開発規模

かん養量を考慮すると、可採水量は140m<sup>3</sup>/day/km<sup>2</sup>が一つの目安となる。しかし基盤岩地域では、帯水層の分布範囲と村落の範囲が一致するわけではない。村落への配水の場合、ボアホールを住居群から離すのは不経済である。従って、分散型の大規模村落の場合でも、水中ポンプ付きボアホールの数量は3ヵ所程度が限界と考えられ、それ以上はハンドポンプ付きボアホールを増設する。

#### (3) 標準井戸設計

風化帯の層厚を電気探査により求め深度を決定するが、予定深度はおおむね90～130mとする。ケーシング材料及び口径は、水中ポンプ付きボアホールでは6インチ鋼管、ハンドポンプ付きボアホールでは4インチPVCパイプとする。スクリーンは、ジョンソンタイプまたはそれと同程度のステンレス製スクリーンとし、開口率15%以上、スロットサイズ0.5～1.0mmを標準とする。なおスクリーン長は15m程度を見込み多層取水する。

### 8. 2 堆積岩地域の地下水開発

#### (1) 対象となる帯水層

ソコト市の北部から国境にかけての地域と、グンミ、ジェガ、ヤボを結ぶ線の内側の

地域では、グンドウミ層とリマ層群の帯水層の地下水位は局部的に70～80m以下となっており、これらの地域での地下水開発は、ポンプ揚程が大きくなり不経済である。これらの地域を除くと、グンドウ層、リマ層群のタロカ層、グンドウミ層及びイロ層は比湧出量分布からみて中程度の良好な帯水層となっており、地下水開発の対象となる。

## (2) 開発規模

1井当たりの揚水量は300ℓ/min以上を期待できる。村落給水計画では全てのボアホールを水中ポンプ付きとすることが可能である。従って、計画では必要水量に応じて井戸本数を定めることができるが、それらの井戸は、相互干渉による取水量の減少を避けるよう適切に配置するものとする。

## (3) 標準井戸設計

カランバイナ層石灰岩下部、タロカ層下部やイロ層の泥質部では、水質が悪化することが予想されるので、ボアホールの目標深度は100m程度が妥当と考えられる。

また、ケーシング口径及び材料は6インチ鋼管とし、基盤岩地域と同様に、ジョンソントイプまたはそれと同等のステンレス製、開口率15%、スロットサイズ0.25～0.5mmとする。スクリーン長は10～15mを見込み、単層取水とする。

## 8. 3 ホロビルニ村におけるモデル給水施設建設

ソコト市近郊のホロビルニ村において工事の実際面で遭遇する種々の問題点を把握し、将来の実施計画に反映させることを目的として試験施工を行った。また、現実的な設計基準を設定するためのデータを得ることを目的とし施設の完成後の水利用状況をモニタリングした。さらに、住民による管理組合の結成を提案し、村落住民の自主的な運営による給水施設の維持管理を試行した。

給水施設の概要は次の通りである。

(1) 計画給水人口：7,200人

(2) 取水施設

ボアホール	口径6インチ、深度150m
水中モーターポンプ2台(予備1台)	7.5KW、吐出量240ℓ/min、揚程75m
発電機	2台(予備1台) 17.5KVA

(3) 配水施設

高架水槽 有効容量：115<sup>m</sup>、材料は保守管理の容易なGRP（ガラス繊維強化プラスチック）パネルを用いた。

配水管 フォーセット管、サービス管、主配水管の材質は鋼管とした。主配水管とフォーセットには量水計を取り付けた。

(4) 付帯施設

発電機小屋

このモデル建設工事の経験をふまえると、一部の工事用資材は現地調達できるとしても大半は外国の建設業者が資材を調達して実施するのが、工期・品質の面からみて得策である。





## 9. 中～大規模村落給水計画

地下水資源の評価と開発計画にもとずき、人口3,000～20,000人の中～大規模村落を対象とした地下水による給水計画を作成した。

### 9. 1 基本計画

#### (1) 給水計画対象村落

給水計画は、詳細調査を行った21村落を対象とした。このうち堆積岩地域のホロビルニ村では、施設のモデル施工を行ったので、この計画では20村落を対象とした(図-12)。

#### (2) 計画給水人口

計画給水区域内人口は、村落実態調査時点の聞き取りによる人口とする。計画給水対象人口は、2,000年を計画対象年次として、現在人口をもとに人口増加率を2.5%として算定した。20村落の給水計画対象人口は147,700人である。

#### (3) 計画給水量

村落の規模と水利条件と水文地質条件によって、一人当たり15～30ℓ/dayの範囲で水消費量を設定した。

#### (4) 水質

地下水の水質はWHOの定めた基準を満たし、飲料水として使用可能である。

### 9. 2 施設計画

#### (1) 施設のデザイン

ソコト州の給水対象村落の規模、水利の現状、水文地質条件を勘案して3タイプの給水施設デザインを検討した(図-14)。

##### 1) 手押しポンプ・システム(Aタイプ)

このシステムは、帯水層の比湧出量が $10\text{m}^3/\text{day}/\text{m}$ 以下を示し、揚水量が $50\text{ℓ}/\text{min}$ 以下と予想される地域の村落に適用するものである。1か所の手押しポンプ付きボアホールで供給できる人数は使用水量とポンプ能力によって決まるが、使用水量を $15\text{ℓ}/\text{c}/\text{day}$ とすると約500人である。

図-14 施設のデザイン A, B, Cタイプ

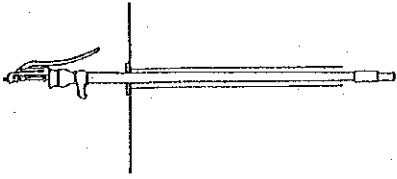
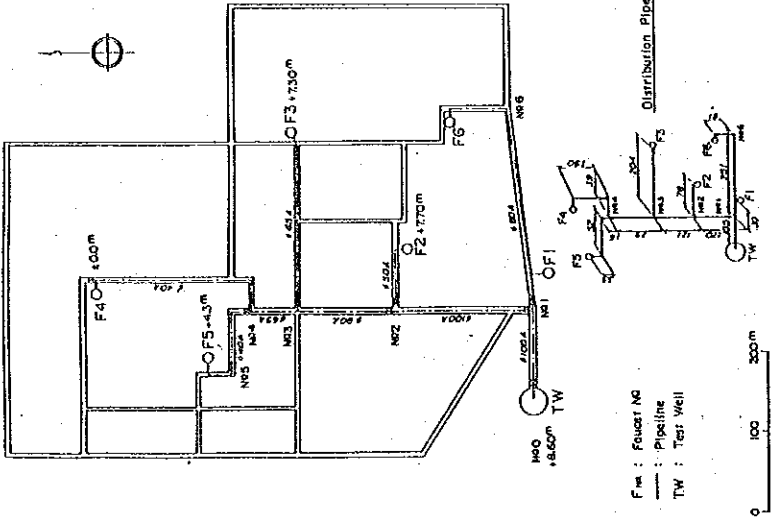
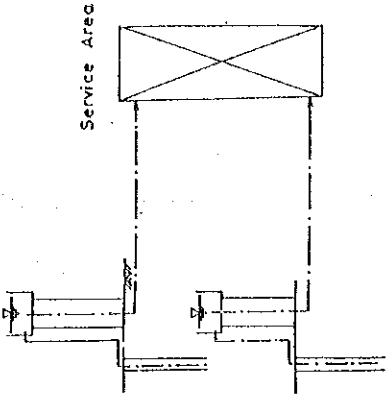
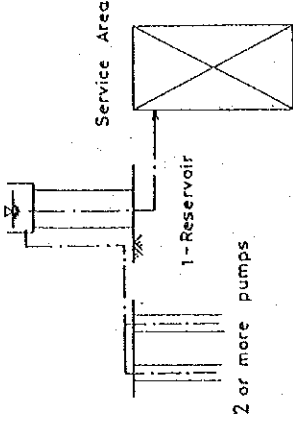
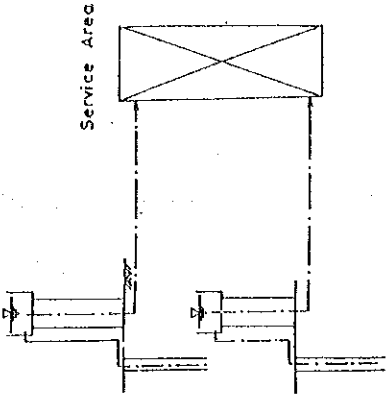
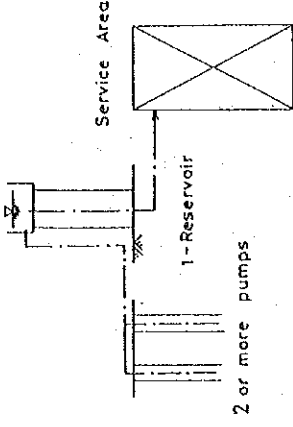
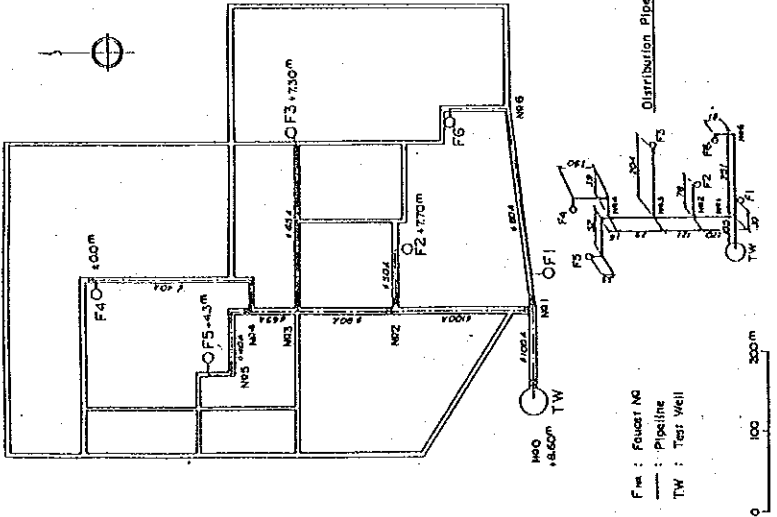
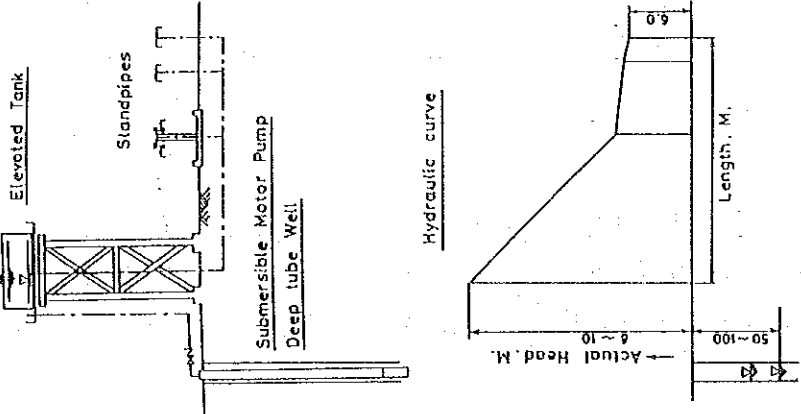
<p>ハンドポンプシステム</p> 	<p>農村地域のための配水管システム</p> <p>Distribution Pipeline</p> 	<p>準都市のための配水管システム</p> <p>Basic Design</p>  <p>2 or more Type "B"</p> <p>Alternative Design</p> 
<p>準都市のための配水管システム</p> <p>Basic Design</p>  <p>2 or more Type "B"</p> <p>Alternative Design</p> 	<p>農村地域のための配水管システム</p> <p>Distribution Pipeline</p> 	<p>農村地域のための配水管システム</p> 
<p>Type "A"</p> <p>(1) 設備 1 以上のハンドポンプ</p> <p>(2) 分類 A-B 基盤岩領域のためのハンドポンプ A-S 堆積岩領域のためのハンドポンプ</p>	<p>Type "B"</p> <p>(1) 設備 1) 深井戸 2) 水中ポンプ 3) 高架水槽 4) 配水管 5) 非水塔</p> <p>(2) 分類 B-B 農村部基盤岩領域のための配水管 B-S 農村部堆積岩領域のための配水管</p>	<p>Type "C"</p> <p>(1) 設備 タイプ "C" は2以上のタイプ "B" からなる。</p> <p>(2) 分類 C-B 準都市部基盤岩領域のための配水管 C-S 準都市部堆積岩領域のための配水管</p>

表-3 モデル建設のコスト

No.	村名	井戸	設置	取水			施設			高架架貯水			パイプライン		総計						
				深井戸	ポンプ	ポンプ小屋	合計	貯水槽	塔	合計	パイプ	合計	パイプ	合計							
4	ルワンボレ 基盤岩地域 給水人口 P=8,000 日最大供給量 Q=230m <sup>3</sup> /d (B)-B	Dia. 6" Depth 90m Quantity 160ℓ/min	50φ 5.5kw 17.5kVA	Brook Concrete 3.0x8.0x3.0	2 (1-spares)	7.0x7.0x2.0H 98m <sup>3</sup> 7.0x7.0x8.0H	392m <sup>3</sup> 7.0x7.0x8.0H	1	1	80A 50A 40A 25A Total 660m	120m 240 240 60 660m	②	③	④	\$						
																Cost	6,600	12,054	2,300	20,954	149.6
																¥	5,400	8,400	1,862	11,978	87.4
																×1000	2,160	3,360	744	4,268	35.0
																%	7,560	18,360	14,660	5,069	272.0
23	ホロピルニ 堆積岩地域 給水人口 P=8,000 日最大供給量 Q=345m <sup>3</sup> /d (B)-S	Dia. 6" Depth 110m Quantity 300ℓ/min	50φ 7.5kw 17.5kVA	Brook Concrete 3.0x8.0x3.0	2	8.0x8.0x2.0H 128m <sup>3</sup> 8.0x8.0x7.5H	480m <sup>3</sup> 8.0x8.0x7.5H	1	1	100A 80A 65A 40A 25A Total 1745m	330m 540 340 350 90 1745m	②	③	④	\$						
																Cost	8,281	15,250	3,360	26,881	192.1
																¥	6,600	9,685	2,403	14,985	107.0
																×1000	2,640	3,874	961	5,993	42.8
																%	9,240	21,840	18,614	7,415	341.9

注: ルワンボレ (B)-B 単価 38,089,000¥/230m<sup>3</sup>/d = 165,600¥/m<sup>3</sup>/d = 1,180\$/m<sup>3</sup>/d  
 ホロピルニ (B)-S 単価 47,869,000¥/345m<sup>3</sup>/d = 138,000¥/m<sup>3</sup>/d = 1,000\$/m<sup>3</sup>/d  
 深井戸 60,000¥/m depth ハンドポンプ 25,000¥/unit  
 貯水槽 54,000¥/volume m<sup>3</sup> ボアホールポンプ・ジェネレータ - 600,000¥/pump kw  
 塔 16,000¥/Air volume m<sup>3</sup>  
 パイプライン・栓 10,000¥/m<sup>3</sup>/d

## 2) パイプ給水システム (Bタイプ、Cタイプ)

Bタイプのシステムは一つの動力ポンプ付きボアホールと高架水槽、配水管および共用水栓からなる。Cタイプは複数のボアホールと高架水槽を組み合わせたシステムである。このシステムは帯水層の比湧出量が少なくとも $20\sim 50\text{m}^3/\text{day}/\text{m}$ を示し、ボアホールからの揚水量は $80\text{ l}/\text{min}$ 以上が期待される地域の村落に適用する。

### 9. 3 事業費

計画に要する事業費は、ホロビルニ村 (堆積岩地域) 及びルワンボレ村 (基盤岩地域) をモデルとして算定した (表-3)。この結果をもとにその他の19か村の工事費を概算した (表-4)。事業費は次のように見込まれる。

#### (1) 積算条件

- |            |                                     |
|------------|-------------------------------------|
| 1) 積算時点    | 1990年1月                             |
| 2) 外国為替交換率 | 1 US\$ = 140円<br>1 US\$ = 7.4 Naira |
| 3) 建設期間    | 30ヵ月                                |
| 4) 請負業者    | 外国法人である井戸掘削業者及び水道工事業者               |

#### (2) 事業費 (20村落)

建設工事費	868百万円	( \$ 6,200 ) $\times 10^3$
機材費	105	( 750 )
設計管理費	97	( 700 )
	1,070百万円	( \$ 7,650 ) $\times 10^3$

### 9. 4 事業実施計画

#### (1) 実施組織

本事業の実施主体はソコト州水道局 (SSWB) である。ソコト州水道局は、ナイジェリア国の給水計画に関する政策をふまえ、連邦水資源局 (FDWR)、ソコト・リマ河流域開発公団 (SRRBDA) と協力して本事業を推進する。

#### (2) 施工計画

本事業は地下水を水源とする給水計画であり、さく井の成否によって内容が著しく変化する。したがって、ボアホール掘削、揚水工事とその後に行う給水施設建設工事の

表-4 工費概算表 (1/3)

村落名 (地方自治体)	人口 (給水人口)	水文地質的 特徴	水消費量 ℓ/d	水供給量 m <sup>3</sup> /d		試験結果	施設のデザイン	工費の概算 (¥1000)				運転と維持 のための 概算	
				平均 (ℓ/min)	日最大 (ℓ/min)			取水口	高架タンク	配水管	合計		
1 Tunga Ardo (Anka)	30,000 (3,000)	Basement	15	54 (90)	65 (108)	T/W 80 m 17 ℓ/min	A	6 Deep Well 50 m, 18 ℓ/min 6 Hand Pumps	27,300	-	-	185,000	1,300 (0.43)
2 Bullabe (Anka)	10,500 (5,000)	Basement	15	90 (150)	108 (180)		A	10 Deep Well 50 m, 18 ℓ/min 10 Hand Pumps	45,500	-	-	325,000	2,160 (0.43)
4 Ruwan Bore (Gusau)	11,500 (8,000)	Basement	20	192 (133)	230 (160)	T/D 84 m 48 ℓ/min T/W 90 m 84 - 168 ℓ/min	B	1 Deep Well (90 m) 160 ℓ/min 1 Unit Water Supply System	18,360	14,660	5,069	272,064	1,500 (0.18)
5 Dokau (Gusau)	10,000 (10,000)	Basement	20	240 (166)	288 (200)		C	2 Deep Well 90 m, 100 ℓ/min 2 Unit Water Supply System	36,720	14,960	6,346	414,471	2,250 (0.22)
6 Bamamu (Gusau)	10,000 (4,000)	Basement	15	72 (120)	86 (144)		A	8 Deep Well 50 m, 18 ℓ/min 8 Hand Pump	36,400	-	-	260,000	1,728 (0.43)
7 Deuran (Kaura Namoda)	23,500 (23,500)	Basement	20	564 (391)	676 (470)	T/W 84 m 110 ℓ/min~ 210 ℓ/min	C	3 Deep Well 90 m, 160 ℓ/min 3 Unit Water Supply System	47,520	43,982	14,898	760,000	3,579 (0.15)
8 Yambuki (Kaura Namoda)	25,000 (12,000)	Basement	20	288 (200)	345 (200)	T/D 80 m 50 ℓ/min T/W 100 m 80 ℓ/min	C	3 Deep Well 100 m, 80 ℓ/min 3 Unit Water Supply System	49,200	22,440	9,884	582,314	3,579 (0.29)

表-4 工費概算表 (2/3)

村落名 (地方自治体)	人口 (給水人口)	水文地質的 特徴	水消費量 ℓ/d	水供給量: m <sup>3</sup> /d		試験結果	施設のデザイン		工費の概算 (¥1000)				運転と維持 のための 概算	
				平均 (ℓ/min)	日最大 (ℓ/min)		ノズルA	予備設計	取水口	高架タンク	配水管	合計		
								1000 ¥				\$		
10 Maga (Zuru)	4,000 (4,000)	Basement	20	96 (66)	115 (80)	T/D 80 m 5 ℓ/min-20 ℓ/min T/W 130 m 120 ~ 200 ℓ/min	B	1 Deep Well 100 = 80 ℓ/min 1 Unit	10,800	7,480	2,699	20,879	149,136	1,500 (0.37)
14 Daki Takwas (Gurumi)	20,000 (5,000)	Basement	15	90 (150)	108 (180)		A	10 Deep Well 50 = 18 ℓ/min 10 Hand Pumps	45,500	-	-	45,500	325,000	2160 (0.43)
15 Zugu (Gurumi)	4,000 (4,000)	Basement	20	96 (66)	115 (80)		B	1 Deep Well 120 = 80 ℓ/min 1 Unit	10,800	7,480	2,534	20,814	148,671	1,500 (0.37)
18 Takware (Yauri)	10,000 (10,000)	Sedimentary	30	350 (250)	432 (300)		B	1 Deep Well 90 = 300 ℓ/min 1 Unit	20,760	24,467	9,321	54,768	391,200	1,500 (0.15)
23 Horo Birni (Yabo)	8,000 (8,000)	Sedimentary	30	268 (200)	345 (240)	T/D 150 m 200 ℓ/min T/W 110 m 380 ℓ/min	B	1 Deep Well 110 = 240 ℓ/min 1 Unit						
25 Gudale (Argungu)	11,000 (11,000)	Sedimentary	30	395 (275)	475 (330)		B	1 Deep Well 110 = 330 ℓ/min 1 Unit	26,640	24,467	13,540	64,667	451,907	1,500 (0.13)
26 Chibike (Argungu)	5,000 (5,000)	Sedimentary	30	180 (125)	216 (150)		B	1 Deep Well 60 = 150 ℓ/min 1 Unit	15,840	14,660	4,790	35,290	252,071	1,500 (0.30)

表-4 工費概算表 (3/3)

村落名 (地方自治体)	人口 (給水人口)	水文地質的 特徴	水消費量 ℓ/c/d	水供給量 m <sup>3</sup> /d		試験結果	施設のデザイン		工費の概算 (千1000)				運転と維持 のための 概算	
				平均 (ℓ/min)	日最大 (ℓ/min)		タイプ	予備設計	取水口	高架タンク	配水管	合計		
													1000 ¥	\$
32 Gerdene (Bagudo)	3,500 (3,500)	Sedimentary	30	126 (37)	151 (105)		B	1 Deep Well 80 m, 105 ℓ/min 1 Unit	14,604	10,771	3,327	28,702	205,014	1,500 (0.42)
34 Soro (Silame)	4,500 (4,500)	Sedimentary	30	162 (112)	194 (135)	T/W 150 m 900 ℓ/min	B	1 Deep Well 60 m, 135 ℓ/min 1 Unit	7,884	10,771	4,275	22,930	163,786	1,500 (0.33)
42 Sambawa (Jega)	8,000 (8,000)	Sedimentary	30	238 (200)	345 (240)		B	1 Deep Well 130 m, 240 ℓ/min 1 Unit	21,720	19,148	7,503	48,471	346,221	1,500 (0.18)
43 Kimba (Jega)	6,200 (6,200)	Sedimentary	30	223 (155)	267 (186)		B	1 Deep Well 80 m, 190 ℓ/min 1 Unit	17,520	14,660	5,884	38,064	271,885	1,500 (0.24)
44 Kuka Kogo (Jega)	3,500 (3,500)	Sedimentary	30	126 (455)	151 (105)	T/W 110 m 800 ℓ/min	B	1 Deep Well 90 m, 105 ℓ/min 1 Unit	5,643	10,896	3,327	19,866	141,900	1,500 (0.42)
46 Malamawa (Sokoto)	10,000 (5,000)	Sedimentary	15	90 (450)	108 (480)		A	10 Deep Well 50 m, 18 ℓ/min 10 Hand Pump	45,500	-	-	45,500	325,000	2,160 (0.43)
47 Samalu (Sokoto)	4,500 (4,500)	Sedimentary	30	162 (112)	194 (135)		B	1 Deep Well 80 m, 135 ℓ/min 1 Unit	15,360	10,081	4,275	29,716	212,257	1,500 (0.33)
									519,571	250,963	97,572	868,406	6,202,897	



図-15 概略の施工手順

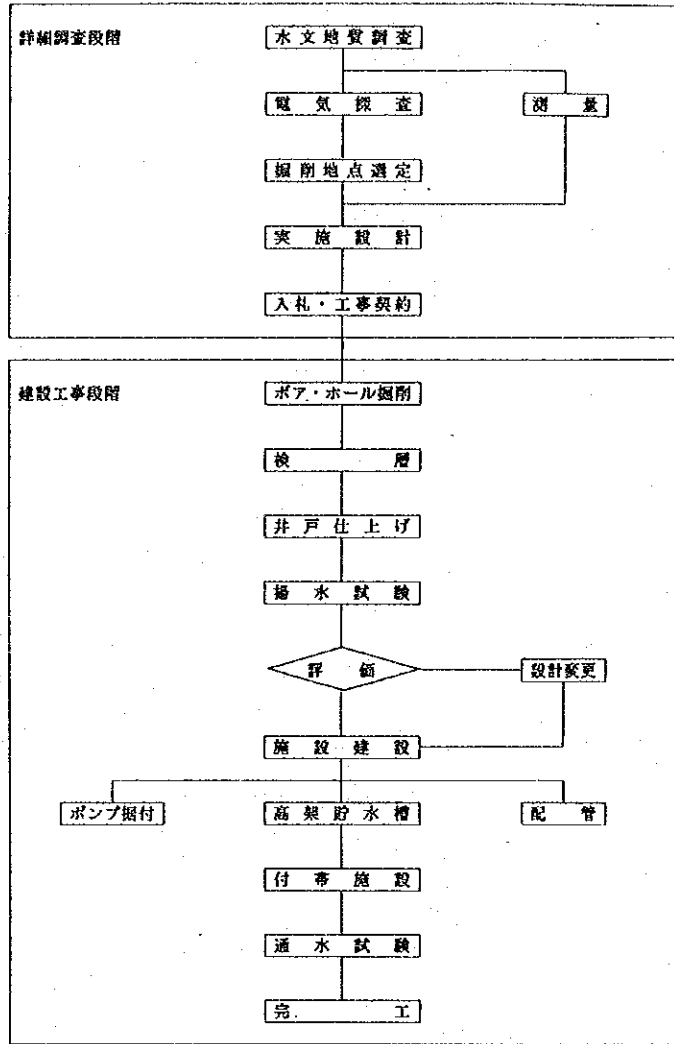


図-16 実施スケジュール

Item	Month														
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
コンサルタント契約	▲														
詳細設計と入札書類準備	■														
施工業者と機材の調達				■											
ボアホール掘削 給水施設建設	■									■					
検査															■

工程を考慮し、図-15に示すような手順を進めることとする。  
本事業の実施に要する期間は30ヵ月とした(図-16)。

### (3) 維持管理

給水施設の運営と維持管理は村落住民が結成する管理組合がこれにあたる。管理組合は燃料および部品代、管理人件費、バルブ、フォーセットなどの修繕積立金などに充当する費用を住民から徴収する。ソコト水道局は管理組合の指導、助言を行うとともにポンプ、ジェネレーターなど主要な施設の修理・補修を行う。

ホロビルニをモデルにしてシステムBの場合の運転管理費を計算すると以下の通りである。

燃料・部品代	511	Naira/月
管理人件費	725	
修繕積立金	247	
合計	1483	Naira/月

システム一基あたり月額約1500Nairaであり、人口8,000人、所帯数1,000を標準とすると、一家族あたり月額1.5Nairaとなる。住民の生活状況からみて、月額1.5~4 Naira程度の運転管理費用の支払いは十分可能と考えられる。

管理組合の監督指導とポンプ、ジェネレーター、配管など主要施設の補修・修繕はソコト水道局があたる予定である。高架貯水槽はほぼ半永久的に使用可能であるが、水中ポンプ・ジェネレーターについては5~7年で修理が必要となる。この費用としてシステム一基あたり年額3,700Nairaを維持管理費として見込む必要がある。

なお、モデル施設の試験施工の経過から判断して、ソコト水道局は維持管理の面で、十分対応できる体制と技術水準を持つと考えられる。

## 9. 5 事業評価

### 9. 5. 1 社会経済的評価

本事業の及ぼす効果を社会経済面から定性的に評価すると次の通りである。

#### (1) 住民の健康状態の改善

清潔で豊富な水の供給により、水に起因する疾病への罹病率は減少し、住民の健康状

態は急速に改善されるものと予想される。ソコト州では、赤痢などの伝染病のほかギニアウォーム症が発生しているが、本事業が生産に与える直接的な効果としては、雇病の危険性が減少することにより、とくに繁忙期における労働力が安定的に確保され、農業生産が増加することが考えられる。

#### (2) 時間の節約

住民の生活場所のごく近いところに給水施設が設けられることにより、水汲み労働に費やされる時間は著しく軽減される。ソコト州の農村部では、乾季には既存の浅井戸もすべて涸渇するため、住民は遠方にあるフアダマの伏流水を取水するために往復数時間を費やしている。節約された労働時間は、家畜の世話や農耕に振り向けられ、農業生産の増加による経済的効果をもたらすものと考えられる。

#### (3) 水利用に伴う地域の活性化

水は住民の飲料水として利用されるほか家畜の給水や、余裕のある場合は農園の灌水や農産物の洗浄などにも利用されるようになり、農産物の質の向上をもたらすことが期待できる。これは村落の生産拡大の基礎となるものである。

また、ホロビルニ村のモデル給水施設では、建設後に水を媒介として近在の村落・集落間の交流が活発になってきているのが観察された。今後は、給水施設を中心に集落が相互に接近し、新たな地域経済が構成され、地域の活性化が進むことが予想される。

#### (4) 事業投資の効果

本事業の経済的便宜の定量化は難しいが、期待される内部収益率（IRR）を3%に設定して、これを保証するに必要な水道料金を逆算すると一家族当たりの料金は30～40Naira/月がえられた。この費用と現実に支払われる費用（この場合、維持管理費）の差が事業投資によりナイジェリア国にもたらされる便益と考えると、所要の耐用年数では事業費の1.3倍に達すると試算される。

### 9. 5. 2 事業の運営と維持管理面の評価

#### (1) 運営体制

ソコト水道局は総務、会計、設計、水文、村落給水、維持管理の6部門からなり職員総数は1,200名を越す。財政難のため、これまで主として外国援助により、ソコト州内の都市を中心に給水施設の設計、施工管理を進めてきた。現地調査を通じて把握した範囲では、地下水技術者と給水関連技術者は、本計画に対応するに必要な技術水準と組織体制を供えている。

## (2) 維持管理

村落給水施設の運営管理は、住民の結成する管理組合がこれを行う計画であり、ソコト水道局はその運営指導と施設の修繕に関し責任を持つ。住民による運転管理費の支出額は現状の生活水準から見て無理のない範囲である。また、ソコト水道局は住民が主体となる運営管理の推進により、あらたに中～大規模村落（準都市部）における水供給計画を確立したいと考えており、維持管理上からみた本事業の妥当性は十分にあると考えられる。

## 9. 5. 3 総合評価

本事業による中～大規模村落の給水施設の完成後には、清潔・豊富な地下水利用により村落住民の健康状況は著しく改善され、地域の農業生産の増加と地域経済の活性化が期待される。ソコト州はナイジェリア国の北部にあり地理的条件から、経済的には一步遅れた地域であるが、地方住民の生活基盤の整備にあたる本事業が実施されれば被益するところは大きい。また、事業の維持管理面からも十分な妥当性を有している。事業対象の村落が過酷な自然環境にある事を考え合わせると、本事業の実施は緊急を要し、またその効果は極めて高いと判断される。



## 10. 結論と提言

### 10. 1 結論

#### 10. 1. 1 ソコト州の地下水開発可能性

##### (1) 帯水層の分布と性状

ソコト州の地下水は、基盤岩地域と堆積岩地域の両地域に賦存する。基盤岩地域では、地下水は主に断層や破碎帯に由来する変成岩の風化部に賦存する。また堆積岩地域では、白亜紀から第三紀の砂岩、石灰岩やフアダマぞいの沖積層に賦存している。

帯水層の性状を比湧出量を指標として見ると、基盤岩地域では $5\sim 40\text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$ 、堆積岩地域では $50\sim 150\text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$ であり、優秀な帯水層とは言えないまでも、飲料水の供給を目的とした地下水開発は十分可能である。

##### (2) 基盤岩地域の地下水開発

基盤岩地域は、従来より地下水開発が困難な地域とされてきたが、適切な水文地質調査により、帯水層となる基盤の風化部の分布層厚を把握したうえでさく井すれば、成功の確率は極めて高い。試掘結果によれば、ボアホールの深度 $90\sim 100\text{ m}$ 、口径 $100\text{ mm}$ 程度では、一井当たり $70\sim 140\text{ l}/\text{min}$ の地下水揚水量が可能である。

基盤岩地域の風化帯の分布範囲は不規則で、地下水盆の規模も数 $\text{km}^2$ 程度と小さい。地下水盆からの永続性揚水量は、地下水かん養量から推定すると、 $140\text{ m}^3/\text{day}/\text{km}^2$ 程度である。地下水開発計画の作成に当たっては、この値を上限の目安とする必要がある。

##### (3) 堆積岩地域の地下水開発

堆積岩地域では、一部の地下水位が低い地域を除くとほぼ地下水盆の全域で地下水開発が可能である。試掘結果によれば、深度 $100\sim 150\text{ m}$ 、口径 $150\text{ mm}$ 程度のボアホールにより1井当たり $300\text{ l}/\text{min}$ を揚水することができる。

地下水盆の可採水量は、潤渇性揚水量の観点から評価する必要があるが、現在は、地下水はまだ処女条件下にあるので、揚水に伴う地下水位低下を評価し、適切に井戸を配置することで、とくに著しい障害を発生させることなく地下水揚水が可能である。

## 10. 1. 2 中～大規模村落給水計画

### (1) 20村落の給水計画

47候補村落について、地下水開発可能性、水需給の逼迫度、水に起因する疾病の程度、道路のアクセスなどを検討した結果、21村落を選定して地下水開発による給水事業計画を策定した。モデル給水施設を建設したホロビルニ村を除く20村落についての給水事業の総事業費は10.7億円、建設期間は30か月である。

### (2) 事業評価

この事業は、ソコト州の中～大規模村落住民の生活基盤となる水供給をおこなうもので事業実施により、住民の健康状態の改善、労働時間節約、地域の活性化が期待でき、長期的に社会・経済に与える効果は大きい。また、事業の運営体制・維持管理面からも本事業の実施は十分に妥当性を持つものである。

### (3) その他の26村落の給水計画

本調査で精査の対象外とした残り26村落について、予備調査資料にもとずき、今後必要な調査と概算事業費および実施期間を求めた（巻末別表参照）。これらの村落の給水計画については、村落へのアクセスなど、周辺条件の整備を行った上で実施する必要がある。

## 10. 2 提言

### 10. 2. 1 地下水開発と管理に関して

#### (1) 資料の整備

気象、水文資料、地下水位観測記録、ボアホール資料（地質柱状図、検層図、揚水試験記録、水質データ）などは地下水資源評価の基礎資料となるものである。これらの資料について、当面は、連邦水資源局ソコト支所に設置されたデータベースシステムに資料の蓄積をはかるべく、関係期間の努力を望みたい。また、将来的には、全国的なレベルでの地下水管理について、法律・制度の両面からの検討を行うことが望ましい。

#### (2) 流量観測・水位観測の継続

本調査で実施した、流量観測、地下水位観測を今後も継続させることが必要である。流量観測については施設の老朽化が激しく、正常に機能していないものもある。上記

の観測を継続するとしても、一方で根本的にソコト・リマ河流域全体としての観測施設の見直しと評価を行うことが必要であろう。

### (3) 地下水探査

地下水探査の方法・解析結果により、さく井結果が左右される。とくに基盤岩地域については、綿密な水文地質調査、物理探査を行い、掘削地点を選定することが、結果的には低コストで大きな効果を上げることにつながる。関係機関は、本調査で確立した基盤岩地域の水文地質調査ガイドラインを活用し、さらに実践し経験を深めることが望まれる。

### (4) オンザジョブトレーニング

地下水の開発は総合技術であり、しかもそれぞれの要素技術の奥行きは深く、幅広い知識と経験が必要である。従って地下水技術者は地下水探査、井戸掘削、揚水試験、定量化評価、開発、監視の全過程について、それぞれの専門領域に対応した技術の取得が必須条件である。今後、関係機関では、プロジェクトの詳細設計段階、実施段階で計画的かつ適切な人員配置をおこない、オンザジョブトレーニングにより、技術者のレベルを向上させることが必要である。

## 10. 2. 2 給水計画の実施に関して

### (1) 給水計画の実施

提案された20村落の地下水開発による給水計画事業は、技術的、社会経済的に妥当であると判断された。ソコト州の過酷な自然環境の中で、立ち遅れた社会基盤を整備する一環として、本事業は特に緊急性が高いと判断され、村落住民が良質・豊富な水供給を受けられるよう早期に実施することを提言する。

また、その他の26村落についても、本事業に引き続き実施することが望まれる。

### (2) 施設の維持管理

給水施設については、モデル施工を行ったホロビルニと同様に、村落住民に管理組合を結成させて自らの費用で運転管理を行うよう提案する。また、ソコト州水道局はこれら中～大規模村落での施設の維持管理に関して技術的及び財政的基盤を強化することが望まれる。

### (3) 地下水資源の自主管理

地下水は特にその土地の自然を構成する要素であり、その土地に住む人々が自らの経験と知識により開発・管理して行くべき資源である。本事業を実施する過程で、地下



水資源の利用と管理のありかたについてさらに議論し、より良い方策を検討していくことが望ましい。

〔付表〕 その他の26村落の事業実施計画

(単位：百万円)

事業年次 事業費		設計	建設				合計
			1年次	2年次	3年次	4年次	
基盤岩地域 (8村落)	1. 取水施設(A:1,B:2,C:5 村落)	—	488	112	—	600	
	2. 高架貯水槽 (36基)	—	120	32	—	152	
	3. 配水施設 (7ヵ所)	—	41	16	—	57	
	4. リハビリテーション(1村落)	—	—	—	—	—	
	小計(1~4)	—	649	160	—	809	
	5. 技術費(設計, 管理)	50	10	—	—	60	
	建設費 百万円	50	659	160	—	869	
堆積岩地域 (18村落)	1. 取水施設(A:2,B:4,C:6 村落)	—	—	103	194	297	
	2. 高架貯水槽 (18基)	—	—	53	92	145	
	3. 配水施設 (10ヵ所)	—	—	18	28	46	
	4. リハビリテーション(6村落)	—	—	20	20	40	
	小計(1~4)	—	—	194	334	528	
	5. 技術費(設計, 管理)	—	40	20	20	80	
	建設費 百万円	—	40	214	354	608	
総事業費 百万円	50	699	374	354	1,477		
1. 上記表諸値は1990年価格 2. 1 U \$ = 140円, 7.4Naira 3. エスカレーションは考慮しない。 4. 第3年次の基盤岩地域はBirnin Yauri							









JICA

1