

第1章 事前調査の概要

1-1 要請の背景

- (1) ナミビア共和国(以下、「ナ」国)(人口;162万人(1996年)、総面積;82万4,269平方キロメートル)は、アフリカ南西部に位置する国であり、半乾燥亜熱帯性気候に属している(首都ウィントフックの年平均降雨量350ミリメートル/年)。「ナ」国はウラン、ダイヤモンド、金、銅などの鉱物資源に富んでおり、1人当たりG N Pは2000ドル(1995年)に達している。「ナ」国は高原の地域もあるもののナミブ砂漠をはじめ砂漠が広がっており、砂漠地域のため降水量も少なく主に地下水に水源を依存せざるを得ない状況にある。
- (2) 「ナ」国中部からボツワナの国境にかけてのオマヘケ、コーマス、ハーダップ、カラスの各県にまたがる地域には、スタンプリート帯水層と呼ばれる「ナ」国最大の帯水層があることが知られている。同帯水層はカラハリ、アウオブ及びノソブの3つの帯水層から成り立ち、広さは推定6万5,000平方キロメートルと見積もられるが、局所的かつ散発的な調査はされているものの、その全容についてはこれまで一度も詳細に調査されたことがない。
- (3) 本調査対象地域は19世紀末より西欧の入植者により、商業農場として整備されたものであるが、実態は数千ヘクタールの放牧地の中で数ヘクタールの灌漑農業を行っているものである。南アの牧畜業から見ればとうてい競争力は持ち得ないもののE Uへの牛肉輸出枠もあり一定の産業としては成立している。
- (4) 1986～1988年にかけて農業・水資源・地方開発省水資源局は、灌漑利用が同帯水層に与える影響について調査したが、その後この地域の灌漑農業は順調に成長し、現在の消費量は先の調査当時の2倍になっている。したがって農業・水資源・地方開発省としてはこの帯水層を枯渇させないようにするため、正確な賦存量を把握し、水管理を行う必要性に迫られている。
- (5) 同地域はこれまで渇水年といった変動要素以外にも長期的に水位低下がみられる地域であり、南アの調査機関、独の調査など地下水帯水層のメカニズム解明が試みられたものの、それらは局所的、散発的なものであり、また水資源局の観測システムも不十分で地域全体の水資源の把握をするにいたっていない。これらの事情により地下水盆全体のメカニズムを解明し、もって将来の水資源管理・土地利用計画に資する必要がある。

(6) 独立後政府としても商業農場への補助は廃止し、白人農家の放棄した農場は政府が優先的に買い上げ、当初は国営農場を運営し、数年後にはコミュニティー農業とするといった方法を部分的には行っており、旧白人農家のみならず黒人を含めた農業政策を実施する意向は有しているものの、局所的には水位枯渇の地域もあり同地域の水資源賦存が明確でない状況のため、新たな土地利用計画も策定することができないといった状況に陥っている。したがってコミュニティー農業の拡大をめざす「ナ」国政府にとって、将来的な「ナ」国の水資源政策、農業政策の策定をする調査を必要がある。

(7) かかる背景から「ナ」国は、1997年に日本政府に対して、本件開発調査の実施を要請した。これを受けて日本国政府は本件調査の実施を決定し、1999年1月に事前調査団を派遣し、現地の実状を調査したうえで、本格調査に係るS/W、M/Mを署名・交換した。

1-2 事前調査の目的

今回は以下の点に留意しつつ、本格調査のためのS/Wを協議・署名することを目的として事前調査団を派遣した。

- ①我が国の開発調査のスキームについて、先方の理解を得る。
- ②上位計画との関係で、本件調査の位置づけと意義を明確にする。
- ③他の援助機関による活動内容と範囲を確認し、本件調査の対象となる地域を明確にする。
- ④地下水資源にかかわるデータ整備状況を調査する。
- ⑤水供給・衛生セクターの現状、関係の組織、制度を調査する。
- ⑥既存資料及び現地踏査により、既存の水資源利用の問題点を抽出する。
- ⑦本格調査にあたって必要となる既存資料・データ類の賦存状況と利用可能性を確認し、その収集方法を明確にする。
- ⑧先方所有機材の状況を調査するとともに、水質分析業者など、現地再委託業者の存在状況、及びその能力・価格について調査する。
- ⑨関係機関に対するヒアリングと現地調査の結果に基づき、物理探査・試掘探査の仕様を検討する。
- ⑩対象地域での調査環境について調査する。
- ⑪以上の項目に基づき、本格調査の実施方針（基本方針、内容、要員計画、機材計画など）を策定する。
- ⑫以上の内容を踏まえて、S/W協議・署名を行う。

1－3 調査団の構成

	<u>団員氏名</u>	<u>担当業務</u>	<u>所 属</u>	<u>派遣期間</u>
1)	松浦 正三	総 括	国際協力事業団 社会開発調査部次長	1／17～1／30
2)	丸尾 祐治	地下水開発	国際協力事業団 国際協力専門員	1／11～1／23
3)	磯辺 良介	調 査 企 画	国際協力事業団 社会開発調査部社会開発調査第二課	1／17～1／30
4)	村上 敏雄	水 文 地 質	八千代エンジニアリング(株)	1／11～1／30
5)	安城 康平	ボーリング計画	(株)アースアンドヒューマン コーポレーション	1／11～1／30

1-4 調査日程

官 団 員；平成11年1月17日～1月30日(14日間)

役務提供団員；平成11年1月11日～1月30日(20日間)

日順	月日	曜日	行 程
1	1/11	月	東京発(役務提供団員、丸尾団員)
2	12	火	ウィントフック着、DWA(水資源局)表敬、打合せ
3	13	水	現地踏査
4	14	木	現地踏査
5	15	金	現地踏査、ローカルコンサルタントとの打合せ
6	16	土	資料整理
7	17	日	東京発(官団員) 物価調査、資料整理(役務提供団員、丸尾団員)
8	18	月	ヨハネスブルク着、日本大使館、JICA事務所表敬(官団員) コンサルタントとのインタビュー、物価調査、資料収集、DWA(水資源局)技術打合せ(役務提供団員、丸尾団員)
9	19	火	ヨハネスブルク発、ウィントフック着(官団員) 物理探査業者と打合せ、資料収集(役務提供団員、丸尾団員) 農業・水資源・地方開発省表敬(全員)
10	20	水	S/W協議、国家計画中央委員会表敬
11	21	木	ウィントフック発ヨハネスブルク着(丸尾団員) 現地踏査
12	22	金	ヨハネスブルク発(丸尾団員) 現地踏査
13	23	土	東京着(丸尾団員) 現地踏査
14	24	日	資料整理
15	25	月	S/W協議
16	26	火	S/W、M/M協議
17	27	水	S/W署名 ウィントフック発ヨハネスブルク着(役務提供団員)
18	28	木	ウィントフック発ヨハネスブルク着、JICA南アフリカ事務所及び日本大使館報告(官団員) 資料収集(役務提供団員)
19	29	金	ヨハネスブルク発
20	30	土	東京着

1-5 協議概要

予備調査団は、1997年1月17日より「ナ」国における現地調査を開始し、国家計画中央委員会、農業・水資源・地方開発省、地質研究所、NAMWATERを訪問した。これら関係者から関連情報を収集するとともに、現地踏査を実施し調査対象地域の現状の把握を行った。農業・水資源・地方開発省などの協力を得てこれらの作業は順調に進捗し、予定どおり1999年1月27日に、農業・水資源・地方開発省次官（署名者は副次官）、農業・水資源・地方開発省水資源局次長及び事前調査団長の三者間で、本件S/W及びM/Mに署名をした。

(1) 現状調査の重要性について

1920年代より整備された現状の約5,000本以上の生産井（既存井）の利用状況を明確にし、データベース化することなしには、メカニズムの解明はおろか水資源の管理、規制も不可能であり、したがって調査第1ステージの現状調査の重要性を指摘し、同調査の実施については利害も関係する農家の協力が不可欠との指摘を再三、再四行った。

(2) 本調査の進め方について

先方は今回の調査が同地域の地下水盆の包括的かつ種々の調査技術を駆使した調査を要望したが、当方としては本調査は調査のステップごとに最も有効かつ現実的な方法を模索しつつ行うことが必要と指摘し、先方の理解を得た。

(3) 「ナ」国側が本調査に期待する点について

本件調査に関して、「ナ」国側が我が方の協力を求めたところは、主として(1)「ナ」国側が独自に実施することが技術的及び資金的に困難であるカラハリ、アウオブ、ノソブの三層からなる帯水層のメカニズム、涵養機構及び相互作用の解明、(2)地下水ポテンシャルの評価を中心とする地下水管理計画の策定、(3)調査期間を通じての「ナ」国側カウンターパートに対する技術移転の3点である。

(4) 本件調査の留意点について

調査団より、本件調査を実施するうえでの留意点として(1)本格調査開始までに、調査対象地域の大規模農家に対して、本調査の内容を周知させ、協力を仰ぎ、円滑に本格調査を実施できるようにする点、及び(2)本件調査はステージごとに段階的に行い、次ステージ調査内容を前ステージ調査結果に応じて詰める点を指摘したのに対し、「ナ」国側も上記2点の重要性を充分認識しており、日本側の協力を得つつ、調査広報など必要な措置を講じていきたい旨表明があった。

(5) 水文地質調査の実施状況について

南アフリカ共和国のコンサルタント C S I R やその他の機関による調査が、独立以前から現在にいたるまで行われている。しかしながら、これらの調査は局地的、限定的なものであるため、スタンプリート帯水層の全容を調査するものではなかった。したがって、まずは、これまでに実施した調査の結果などの既存データの整理から取り組む必要がある。

(6) 水利用実態について

対象地域では数千ヘクタールの土地で放牧をし、そのうち数ヘクタールを灌漑し農業を行っているのが大部分の農家の様子である。しかし、一部には大規模に灌漑農業をしている農家もあり、そういった農家の付近では水位低下が顕著に現れている。農業・水資源・地方開発省は一定の制限値を各農家ごとに定めているが、農家では水量計をつけていなかったり、つけていても壊すなどして守られていない現状にある。本調査では、水資源賦存量を評価することとともに地下水管理計画として水量規制の方法など提示する必要も出る可能性がある。

(7) 上記を踏まえ「ナ」国側と協議を行った結果、当初の S/W 案は一部修正の上、署名を行った。S/W 案の主要な変更点及び M/M の要点は以下のとおり。

ア. 調査名称

先方の意向を受けて、名称としてのスタンプリート地域はカラハリ南東部を並記することとした。具体的には“The Study on the Groundwater Potential Evaluation and Management Plan in the Southeast Kalahari (Stampriet) Artesian Basin in the Republic of Namibia”とした。

イ. 調査対象地域

当初要請では調査対象地域は地図上でスタンプリートを含む長方形の約 6 万 5,000 平方キロメートルであったが、自然条件に即したものに変更した。

ウ. 実施機関

対処方針どおり農業・水資源・地方開発省水資源局とした。

エ. 本格調査の調査項目

協議において先方が環境問題への対処の必要性を表明し、ステージ 1：1. 既存資料の収集、解析において g. 環境配慮を、2. 現地踏査において e. 予備的環境調査を、ス

ページ 3 : 5. 地下水管理計画の作成において a) 適正揚水量、d) 環境管理計画を先方の要請により追加した。

また、協議において、物理探査の結果を見てより効率的な試掘井戸本数及び場所を決定することからステージ 2 にあった物理探査を、ステージ 1 に変更することとした。

オ. 調査期間

対処方針どおり 30 か月とした。

(8) 観測井の設置

「ナ」国業者、南アフリカ国業者への現地再委託の方向で調整することとした。

(9) レポート

レポートは公開とすることで合意した。

(10) 「ナ」国側の便宜供与事項

若干の文言の修正はあったものの当方案にて合意した。

(11) スキーム説明

本件調査は農業・水資源・地方開発省を C/P とする初めての開発調査であるため、その流れを中心に、スキームの説明を行った。

第2章 対象地域の概要

2-1 一般・社会・経済・組織・制度

ナミビア国旗：青

赤



緑

2-1-1 一般

(1) 「ナ」国一般概要は以下のとおりである。

正式国名：ナミビア共和国 (Republic of Namibia)

独立年月日：1990年3月21日

位置・面積：南緯23.0度、東経17.0度（首都の位置）

82万4,292平方キロメートル（日本の約2.2倍）

アンゴラ、ザンビア、ボツワナ、南アフリカと国境を接する

海岸線 1,572キロメートル

首都：ウィントフック (Windhoek)

行政区分：13地域 (Region)

政体：共和制

元首：サム・ヌジョマ大統領 (Dr. Sam Nujoma、1995年3月2期目就任、任期5年)

国会：二院政

国民議会 (National Assembly) 72議席、国民評議会 (National Council) 26議席

人口：162万2,328人 (1998年7月／米国CIA factbook* 予測人口より)、

140万9,920人 (1991年センサス)

人口密度1.5人／平方キロメートル、人口増加率2.7% (ただし米国資料では1.6%)

人種構成：オバンボ族50%、カバンゴ族9%、白人7% (南ア、ドイツ系が主)、ヘレロ族7%、ほかにダマラ族、ナマ族などと混血

言語：英語、アフリカーンス語 (以上公用語)

ドイツ語 (32%)、オシバンボ語など多数の部族語もある

宗教：キリスト教80～90%、原始宗教 10～20%、

通貨：ナミビアドル 1.00 USドル = 5.85 Nドル (1999年1月25日現在)

*<http://www.odci.gov/cia/publications/factbook> より

(2) 主な南部アフリカ開発共同体 (SADC*) 諸国におけるナミビアの位置づけ

「ナ」国は南部アフリカ開発共同体 (SADC) の加盟国であるが、主な SADC 諸国の中では次表のような位置づけにある。

表 2-1 主な南部アフリカ開発共同体 (SADC) 諸国における「ナ」国の位置づけ

	ナミビア	アンゴラ	ボツワナ	タンザニア	南アフリカ
面積 (1,000km ²)	824.3	1,247.0	581.0	945.1	1,219.0
人口 (100万人)	1.55	10.77	1.45	29.65	41.46
人口増加率 (%)	2.7	3.0	3.0	3.1	2.3
幼児死亡率 (%)	62	124	56	82	50
識字率 (%)	38	58	30	32	50
安全な水へのアクセス可能人口割合 (%)	57	32	93	38	na
1人当たり GNP	2,000	410	3020	120	3,160
GNP 成長率 (%)	2.8	-6.1	6.0	0.9	-1.0
商業輸出総額 (100万 U S ドル)	1,244	2,989	1,853	349	27,886
商業輸入総額 (100万 U S ドル)	1,167	1,140	1,946	1,127	27,141

出典：Secondary School Atlas / LONGMAN より抜粋 (データは 1995 年)

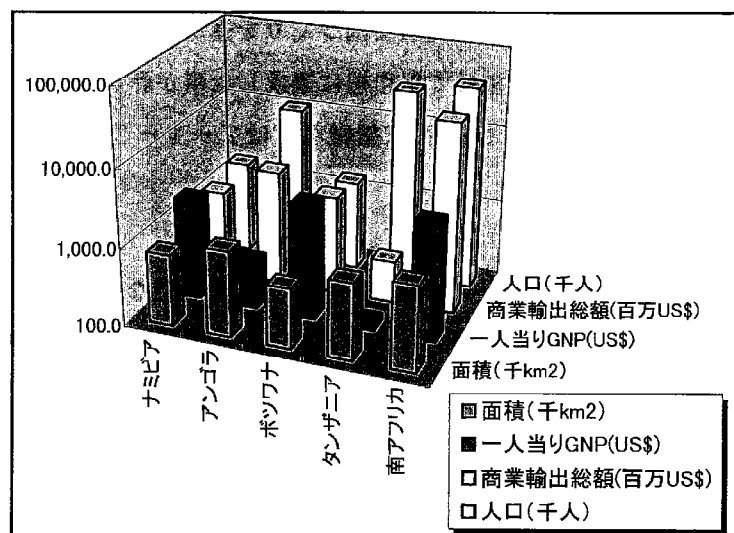


図 2-1 主な南部アフリカ開発共同体 (SADC) 諸国における「ナ」国の位置づけ (1)

出典：上表をベースとして作成

*Southern African Development Community (formerly SADC C)

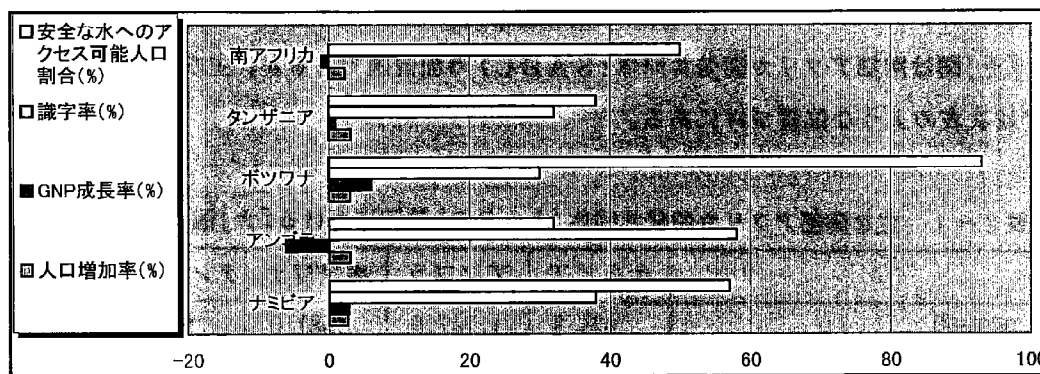


図2-2 主な南部アフリカ開発共同体(SADC)諸国における「ナ」国の位置づけ(2)

2-1-2 社会・経済

(1) 政治

1990年3月、南アフリカからの独立直前(2月)に制定された「ナ」国憲法は基本的人権の尊重、複数政党の保障を含んだ、きわめて民主的なものであり、独立後には国民議会選挙が実施され、大統領を元首とした二院制議会が進められている。

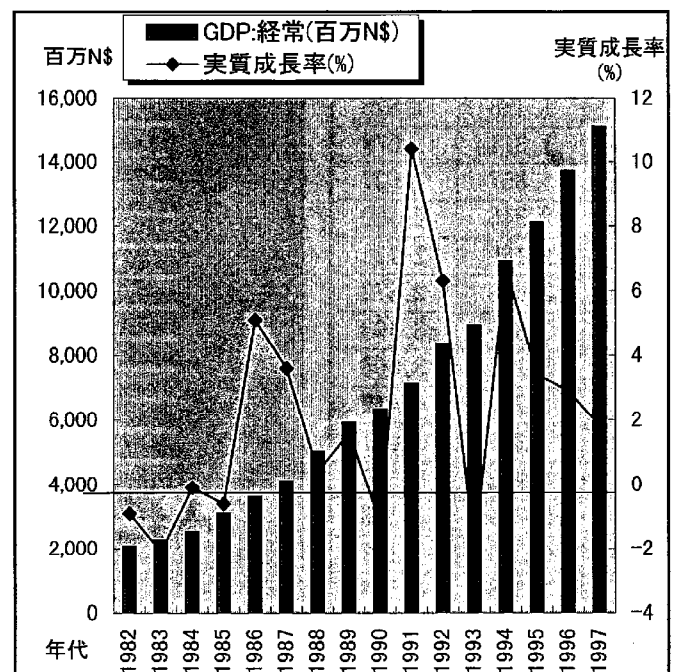
初代サム・ヌジョマ大統領率いるSWAPO(南西アフリカ人民機構)政権は独立後も穏健な現実的政策を推進しており、土地を所有しない農民に対し土地を保有させるための土地制度の改革、雇用条件の改善、鉱山採掘権の改善また教育、住居の充実など、人口の約6割が居住する北部地域を中心に積極的な国づくりを進めてきた。独立から5年後には難問を抱えながらも、国民和解を極めて平和裡に達成した事が評価され、95年3月には第二期目の大統領就任を果たしている。(国家組織などは2-1-3組織・制度参照)

(2) 経済

独立後の「ナ」国経済は南アフリカの経済不振の影響を受けながらも、1980年代よりは比較的安定した成長を続けている。1993年にはダイヤモンドの輸出が大きく低下した事もあり、経済成長率がマイナスになっている。「ナ」国経済にとっての南アフリカ経済と鉱物は、大きな影響力を持っている。

表 2-2 / 図 2-3 国民総生産 (100 万 N \$) と経済成長率

年代	GDP: 経常 (百万 N \$)	実質成長率 (%)
1982	2,072	-0.9
1983	2,265	-2.1
1984	2,510	-0.1
1985	3,114	-0.6
1986	3,616	5.1
1987	4,100	3.6
1988	5,014	0.4
1989	5,909	1.6
1990	6,323	-1.2
1991	7,119	10.4
1992	8,358	6.3
1993	8,921	-2.0
1994	10,919	6.7
1995	12,099	3.4
1996	13,712	2.9
1997	15,115	1.8



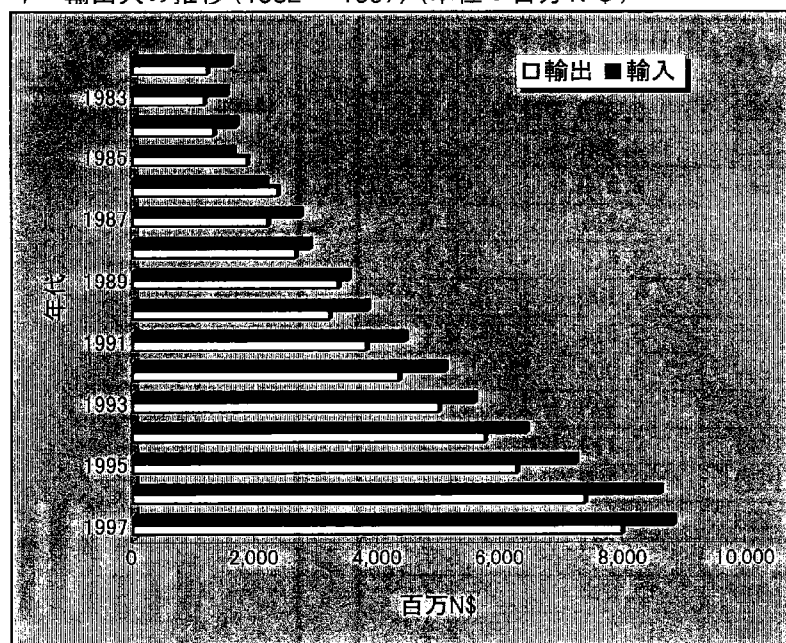
出典: National Accounts 1982-1977 をベースとして作成

ヌジョマ大統領は積極的な自由経済を基調とした経済政策を進め、私有財産の保障と外国からの投資を導入するための制度整備も進めている。また近隣諸国との貿易も重要視しており、南アフリカ諸国 14 カ国による南部アフリカ開発共同体 (SADC) 及び更に拡大した東・南部アフリカ共同市場 (COMESA: Common Market for Eastern and Southern Africa) に加盟しており、その貿易が年を追って増加しつづけている。

次に 1982 ~ 1997 年輸出入の推移を表と図で示す。

表 2-3 / 図 2-4 輸出入の推移(1982～1997)(単位:百万N\$)

年代	輸出	輸入
1982	1,209	1,587
1983	1,158	1,525
1984	1,311	1,679
1985	1,857	1,627
1986	2,346	2,160
1987	2,185	2,722
1988	2,635	2,872
1989	3,329	3,498
1990	3,188	3,808
1991	3,787	4,419
1992	4,317	5,071
1993	4,972	5,556
1994	5,724	6,398
1995	6,244	7,197
1996	7,348	8,578
1997	7,954	8,793



出典: National Accounts 1982-1977 をベースとして作成

政府は民間セクターの振興こそが経済成長の活力であると信じ、貿易と産業育成に力を入れ 1992 年からは産業・貿易委員会を通産省の下に設置しプロモーションや制度の改善整備を行っている。実際、首都ウイントフックには投資センター (Investment Center) が設置され、税制面でも当初 5 年間の 50% 免税、輸出収入分に対する 80% 免税などが適用され、ウイントフック郊外には産業特別地区が既に整地されている。

(3) 産業

「ナ」国の産業としてはウラン、ダイヤモンドなどの鉱業と農業(牧畜)が中心となり、これらに関連した生産額は全 GDP の 30%、全輸出総額の 60% を占めている。

次に GDP に占める各産業の割合を図で示す。

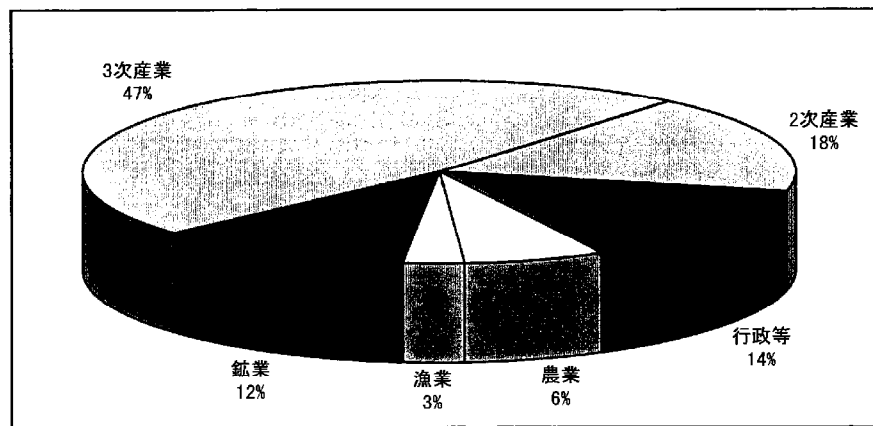


図 2-5 GDPに占める産業の割合(1997年)

出典：National Accounts 1982-1997をベースとして作成

農業は輸出向けの牧畜が中心であり、穀物の自給率は低く国内需要の4割程度で、南アへの食料依存度が高くなっている。自然条件の厳しい「ナ」国においては、農業セクターの成長も重要であるが、持続可能な農業生産を前提としており、水資源の把握が重要な鍵となっている。

1993年は農業、鉱業がマイナスの中で漁業が大きく伸び、その後も成長を続けている。80年代において漁業の成長率は年度により大きく変動していたものの、近年は安定した産業としての重要な位置を占めるにいたっている。鉱業においては93年にダイヤモンドの輸出低下があったものの、その後は復活して安定した伸びを見せている。

次に産業部門別経済成長率の図表を示す。

表 2 - 4 産業部門別経済成長率

年代	GDP合計	1次産業計	農 業	漁 業	鉱 業	2次産業計	3次産業計
1982	-0.9	-6.2	-4.7	30.0	-8.6	-2.8	6.9
1983	2.1	-1.7	-3.1	2.9	-1.7	-6.1	1.8
1984	-0.1	-2.8	4.2	-29.2	-2.6	-3.4	3.0
1985	-0.6	-0.4	5.3	9.1	-2.7	2.0	1.5
1986	5.1	5.6	0.5	-9.6	8.3	-0.1	3.0
1987	3.6	3.7	5.9	23.7	1.9	4.2	3.6
1988	0.4	-1.0	0.2	-5.6	-1.0	5.4	2.3
1989	1.6	-3.2	6.6	-4.1	-6.2	3.5	3.3
1990	-1.2	-11.3	5.7	42.4	-20.9	5.7	2.8
1991	10.4	26.2	7.4	18.3	36.2	-5.2	8.4
1992	6.3	1.3	-17.6	36.5	4.9	16.3	6.2
1993	-2.0	-12.7	-5.7	29.2	-20.4	2.8	3.2
1994	6.7	12.6	21.8	5.0	11.0	7.1	3.3
1995	3.4	4.1	0.6	6.1	5.1	4.3	3.0
1996	2.9	5.4	7.4	0.4	5.7	-2.8	2.7
1997	1.8	0.3	-10.0	-2.8	4.9	1.4	4.1

出典：National Accounts 1982-1997 をベースとして作成

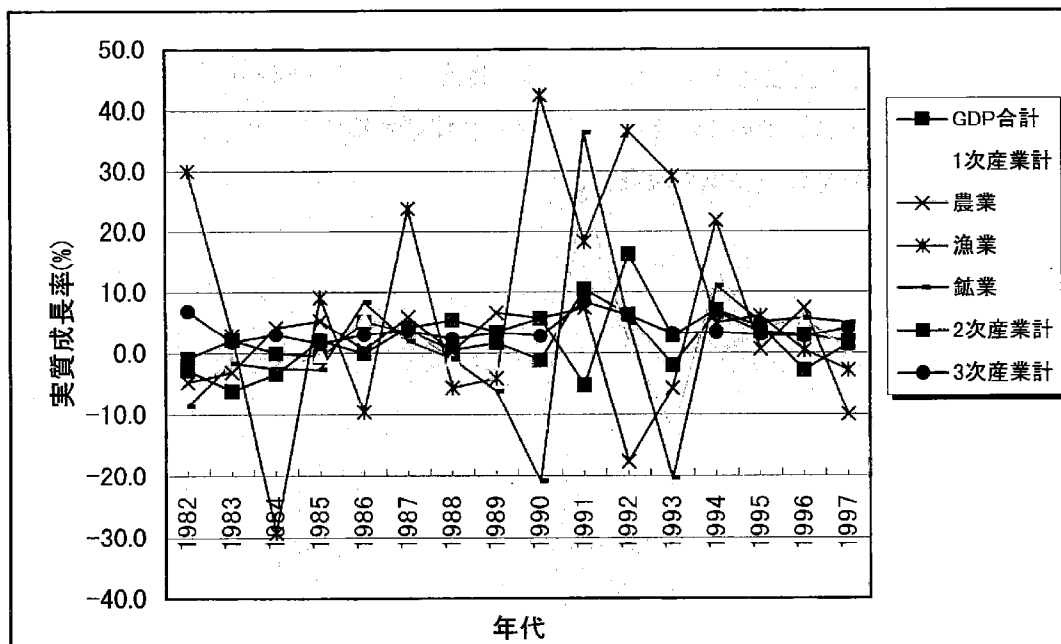


図 2 - 6 産業部門別経済成長率

出典：National Accounts 1982-1997 をベースとして作成

2-1-3 組織・制度

(1) 国家組織

「ナ」国には下記 20 の省があり、水セクターに関しては農業・水資源・地方開発省(MA WR D : Ministry of Agriculture, Water and Rural Development)の水資源局(DWA : Department of Water Affairs)が管轄する。

MAWRD	: Ministry of Agriculture, Water and Rural Development (農業・水資源・地方開発省)
MBEC	: Ministry of Basic Education and Culture (基礎教育・文化省)
MFA	: Ministry of Foreign Affairs (外務省)
MET	: Ministry of Environment and Tourism (環境・観光省)
MFRM	: Ministry of Fisheries and Marine Resources (漁業・水産省)
MHA	: Ministry of Home Affairs (家事省)
MHSS	: Ministry of the Health and Social Services (保健・厚生省)
MIB	: Ministry of Information and Broadcasting (情報・放送省)
MoL	: Ministry of Labour (労働省)
MLRR	: Ministry of Land, Resettlement and Rehabilitation (国土・移住・社会復帰省)
MME	: Ministry of Mines and Energy (鉱山・エネルギー省)
MoD	: Ministry of Defence (国防省)
MoF	: Ministry of Finance (財務省)
MHEVTS	: Ministry of higher Education, Vocational Training, Science and Technology (高等教育・職業訓練・科学・技術省)
MoJ	: Ministry of Justice (司法省)
MPCS	: Ministry of Prison and Correctional Services (刑務・更正省)
MLGH	: Ministry of Regional and Local Government and Housing (地方自治・住宅省)
MTI	: Ministry of Trade and Industry (通産省)
MWTC	: Ministry of Works, Transport and Communication (建設・運輸・通信省)
MY S	: Ministry of Youth and Sport (青年スポーツ省)

(2) 水関連セクターの組織

農業・水資源・地方開発省はD A R D（農業地域開発局）とD W A（水資源局）2つの局（Department）からなり、長官（Permanent Secretary）が本省を統括する。各局には各々1名の次官が長としてつかさどると同時に、次官につぐ地位に1名の局長がおり、プロモーション及び管理を行っている。

D W Aには資源管理局長と地域開発局長2名の局長がおり、資源管理局長の傘下に水理地質部、水理部、水環境部、計画部及び法行政部5つの部（Division）が組織され各部には副局長がその長にあたっている。（図2－7参照）

1) 背景

D W A（水資源局）は本局（Department）水供給部門の商業化フィージビリティ調査後（98年）に再編成され、経済的自立の可能な政府水供給施設が水供給会社 Namwater へと組織編成された。

局の再編成以降も、水セクターの全体管理が政府に残っている事は明確であり、D W A（水資源局）が水資源に関して政府を代表する維持管理者（custodian and manager）といえる。更にD W Aは「ナ」国において地理的社会的不利な条件の下にある地域社会に対し、地方給水施設の設置・運営が受益者による自主運営に移管するまでの便宜を図る事（facilitator）となっている。

2) D W Aの主な任務

D W Aの主な任務及び水資源管理に関する事項は以下の項目があげられる。

- ・「ナ」国における表流水、地下水及びそのほかの水資源可能性に関する調査と評価。
- ・ 国際的、国内及び地域レベルの水資源開発に関する政策計画。
- ・ 環境面での持続的水利用と水公害の掌握。
- ・ 国家水法の行政、水セクターの規則と水資源の公正な配分。

これらの任務に対し、資源管理局（Directorate）は5つの部（Division）を必要としている（図2－7参照）。しかしながら水セクター再編成時に予想されなかった業務が将来増えた場合には、現在資源管理局の構造を再考する必要があるとされている。

3) D W Aの目的と機能

D W A（水資源局）再編成時の資料によると、以下の目的と機能が局（Directorate：Resources Management）に課せられている。（抜粋）

次のような国際的、国家的あるいは地域的水資源管理事項について支援を行う：

- ・「ナ」国の水資源保全の実施；
- ・国内水資源の安全と持続的使用に関する責務と対策の実施；
- ・水利用（abstraction control）統制とすべての水資源利用者への公平且正当な分配の便宜を図る；
- ・水セクター活動における実施、政策計画及び規則と統制。

次に農業・水資源・地方開発省及び水資源局の組織図を示す。

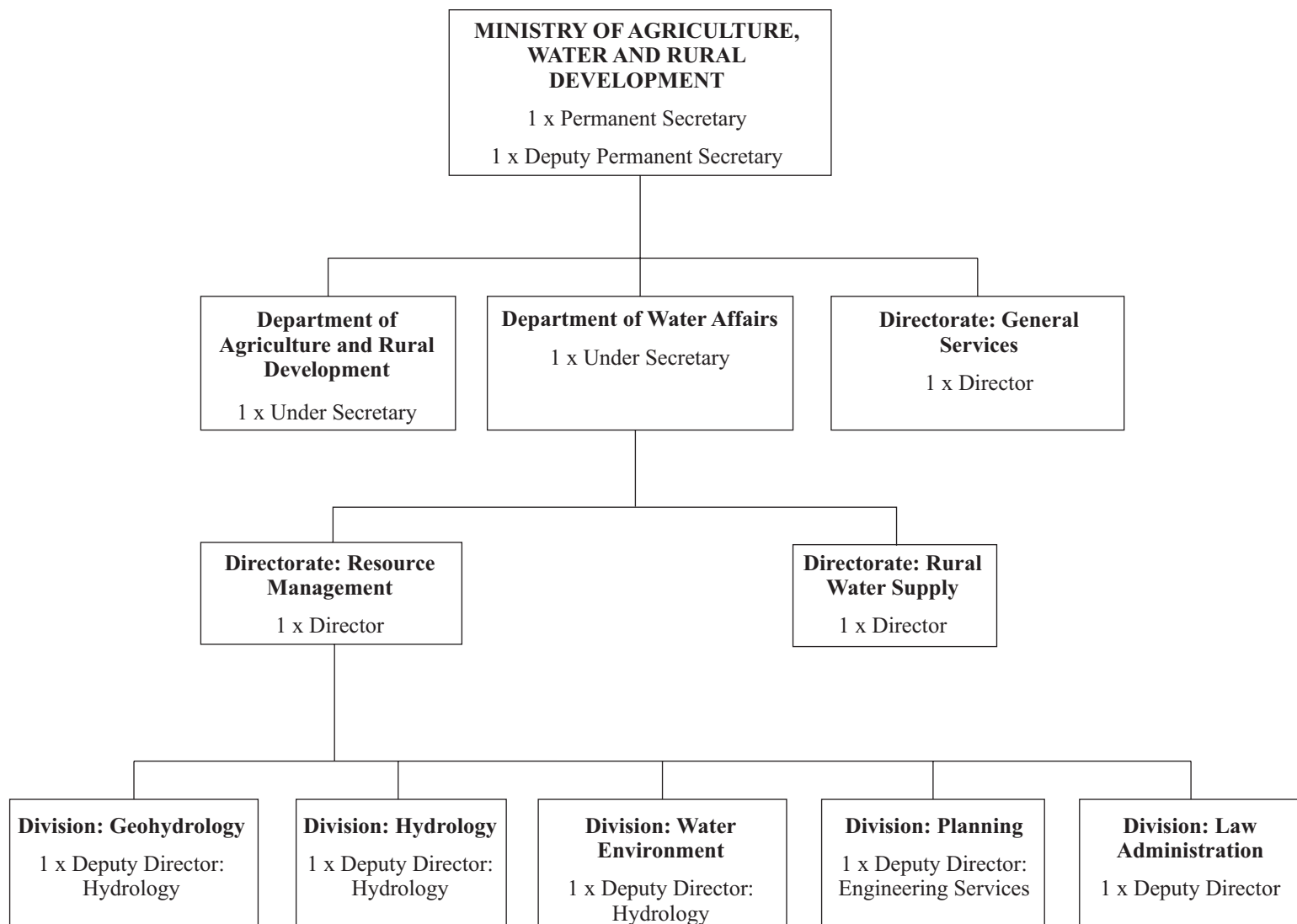


図 2 - 7 農業・水資源・地方開発省組織図

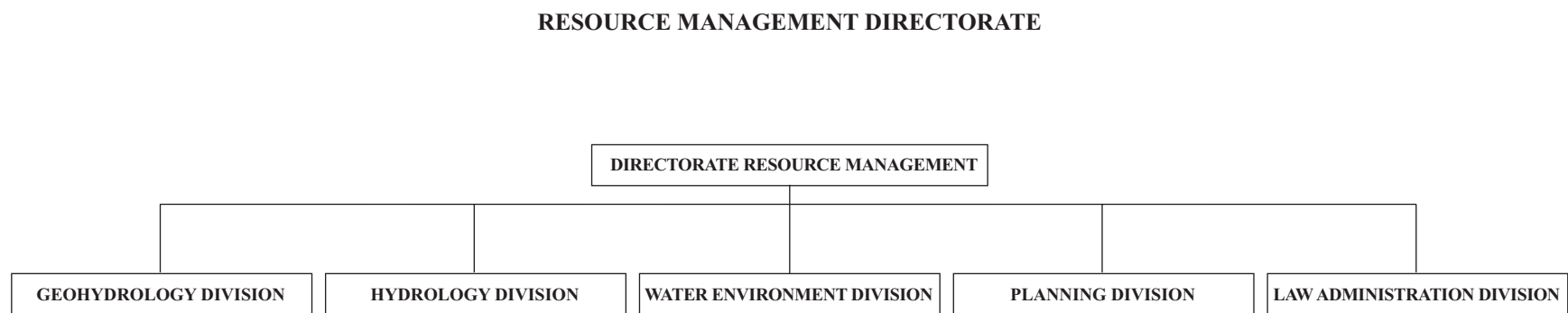


图 2 - 8 資源管理局組織図

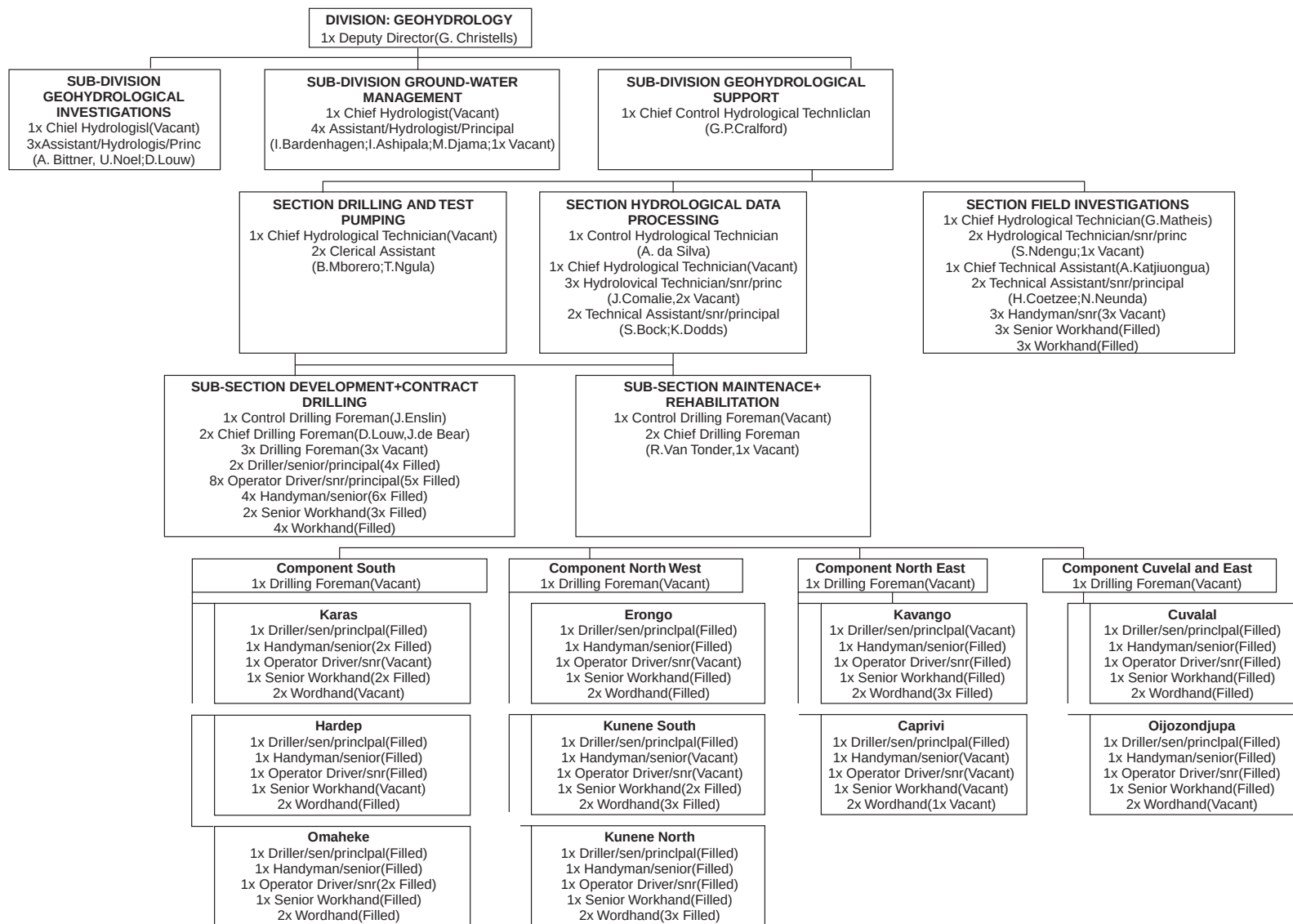


图 2－9 水理地質部組織図

(3) 水関連の制度

1) Water Act*

「ナ」国の水に関する法律は1956年に発布された南アフリカの“Water Act”が使われており、現在においても水の基本法としてこの法律が用いられている。しかしながらこの“Water Act”は近いうちに(1～2年内)全面的な改正も予定されている。この背景としてはこれまで「ナ」国の自然・社会条件に合致させ部分的改正を重ねてきたものの、度重なる改正に最新改訂版がどのような状態になっているのか、非常に分かりにくくなっていることがあげられる。主な変更事項としては、80年代まで政策的に取られていた土地所有者に対する比較的寛大な水使用権が、現在は政府の許可を要すること、公共事業として行われてきた水供給事業のうち自立可能なスキームはすべて会社組織にて管理されることなどがあげられる。

このような背景から、水資源局の技術者でさえも“Water Act”に対する評価は低く、早急に改正の必要があると認識されている。一方農業経営者に対して、“Water Act”の周知が徹底しているとは考えられないものの、農業経営者は何らかの法律により、井戸の水使用に許可が必要な事を知っており、ほとんどの経営者は水使用許可証を保有し、その内容をほぼ把握している。

このような地下水の規制地域における水使用の許可をはじめ、“Water Act”は表流水、地下水(家事、農業、都市及び工業目的利用)の監督と保全、更には海水利用、あるいは水上・水中での活動及び降水量に何らかの変化を生じさせるような行為などに対する監督を行うための法律であり、181条から構成されている。

2) 水使用許可証

調査対象地域はStampriet Artesian Areaの地下水規制地域にあたり、農業・水資源・地方開発省(MAWRD)は井戸の新設、改造及び拡張の際、所有者或は利用者に対して長官(Permanent Secretary)名で水の使用許可証を発行している。この許可証には井戸の位置やボアホール番号及び使用目的などと揚水試験から算定された年間最大水使用量が明示され5年の期限が付されている。

同様に本許可証にはいくつかの注意や条件が記載されており、とりわけメーターによる揚水量の測定と毎月の使用量の報告を義務付けている。

現在、農家が所有する井戸の水使用料金は徴収されておらず無料であるが、現地調査時の情報では、メーターのスクリーを取り除いている農家がいるとか、許可証どおりフェアに水を利用していない経営者もいるとのことであった。また政府主導の農園を

*Water Act (Act No.54 of 1956) [Data of Commencement : 13 July, 1956]

訪れた際には量水計の設置されていない井戸がありここでの写真撮影を拒否されたこともあった。

なお、本許可証を新規に発行するにあたっては井戸掘削の際に、必ずDWA監視員(Inspector)の立会いが義務付けられている。

3) 井戸の構造に対するDWAの指導

DWA(水資源局)は農業経営者などが自噴地下水の地域において、新たな井戸を掘削する際に、以下のような指導を行っている。

- ・ 自噴地下水地域(Artesian area)において井戸を掘削する際には上層(一般的にはカラハリ堆積層)に自噴水が流入するのを避けるため、また上層の水が自噴帯水層へ浸入するのを防ぐために最上層のシール(セメンテーション)を行わなければならない。

シールはセメントにより行うがこの際には必ずDWAの監督員が立会う事となっている。

また、監督員の立会いなしに掘削された井戸に対しては使用許可が発行されないことになっている。

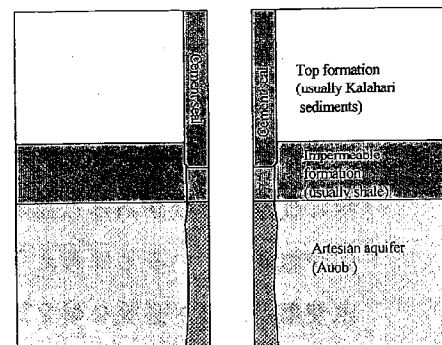


図2-10 セメントシーリング

2-2 地形・地質

(1) 地形

「ナ」国の国土は、南緯約17度から約29度、東経約12度から21度の範囲に位置し、南回帰線が同国の中央部を通る。面積は、約82.4万平方キロメートルで、日本の面積の約2.2倍にあたる。「ナ」国の西部は大西洋に面し、海岸地域は砂漠地域(ナミブ砂漠)となっている。海岸から約80～150キロメートルにいたると、標高は約800メートルに達し、更に東に向かい急傾斜の山岳地帯となる。山岳地帯から東側にボツワナの国境にいたる地帯は、なだらかな高原地帯となっており、灌木の茂るサバンナを形成している。

スタンプリート地下水盆地は「ナ」国最大の地下水盆地で、「ナ」国南東部に位置し、面積約6万5,000平方キロメートルで、さらにボツワナ国に広がっている。

調査対象地域は、北西―南東方向に緩やかに傾斜した平原からなり、標高は北部で1,300

メートル～1,400メートル南東部で950メートルである。図2－11に示すように、この地表の傾斜に沿ってほぼ平行に、西部のアウオブ(Auob)川、中部のオリファンツ(Olifants)川及び東部のノソブ(Nossob)川が、南東方向に流下している。これらの河川は、1月から4月の降雨時のみ流れるワジである。オリファンツ川は南東部でアウオブ川に合流している。

アウオブ川とノソブ川には、河川の浸食により標高差50メートル程度の谷が発達している。谷壁は急傾斜であり特に表層のカラハリ層が固結している地域では崖を形成している。これら谷部の井戸の多くは自噴しているものが多い。オリファンツ川は、河川の浸食があまり行われておらず、現地踏査において、砂丘間の窪地との区別が困難であった。

調査地域中央部のアウオブ川とノソブ川間には、北西－南東方向に延びた砂丘が、平行に多数分布している。砂丘は、赤褐色細粒の石英砂よりなり、高低差は20メートル程度のものが多い。これらの砂丘は、植生、道路や電柱などの状況から判断して、固定砂丘である。

(2) 地質

1) 「ナ」国の地質

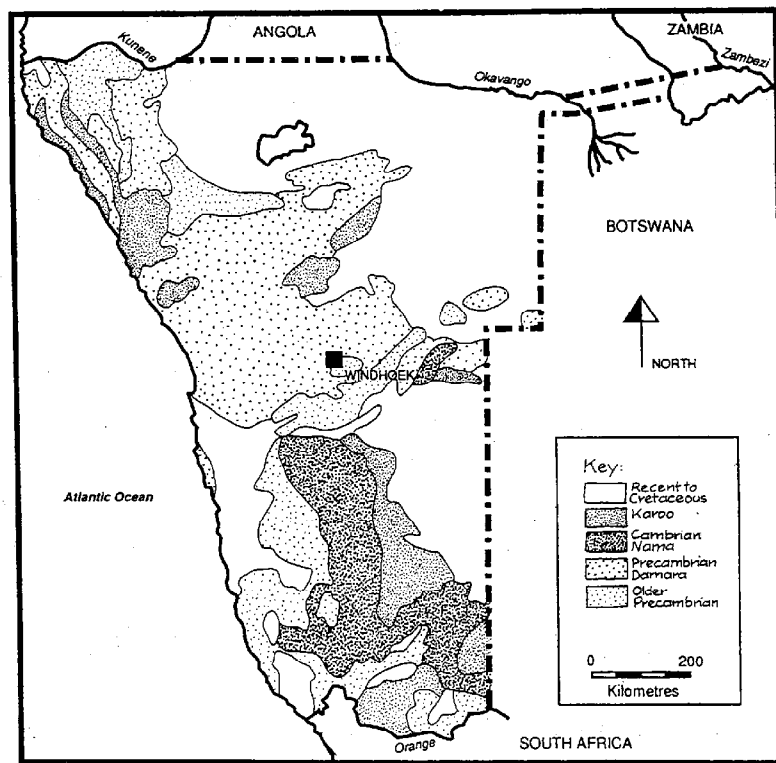
「ナ」国の中部地域には、先カンブリア時代の地層からなる基盤岩が広く分布する。

北東部及び東部地域には、現世から白亜紀にいたるカラハリ(Karahari)界が広く分布している。カラハリ層は、砂・レキや石灰質砂岩よりなる。

カラハリ層と先カンブリア層の間には、カルー(Karoo)界が存在する。カルー界(系)はアフリカ南部の内陸地帯における、古生代後期～中生代初期の陸成堆積物を主とする特異な地層である。カルー界の始まりは氷河ステージで、終わりは火山活動ステージで特徴づけられ、その間に泥質・砂質岩を主体とした堆積ステージが挟まれる。「ナ」国の概略地質図を図2－12に、概略地質層序を表2－5に示す。

表 2-5 「ナ」国の地質概要

地質年代	推定年(百万年)	年代層序区分	記載
現世～白亜紀	0 120	カラハリ (Karahari)	風成・河成砂、レキ、石灰質砂岩
白亜紀～石炭紀	(350)	カルー (Karoo)	玄武岩溶岩、砂岩、泥岩、頁岩、石炭、漂レキ岩
	470		大きな不整合
カンブリア紀	570	ナマ (Nama)	砂岩、頁岩、石灰岩
先カンブリア時代 ナミビアン(Namibian)	900	ダマラ (Damara)	変成した堆積岩類、火成岩類、花崗岩
先カンブリア時代 モッコリアン(Mokolian) ～バーリアン(Vaalian)	2100		珪岩、片岩、片麻岩、変成した火成岩、花崗岩質貫入岩



出典：Geography of Namibia (1990)

図 2-12 「ナ」国の概略地質図

2) 調査対象地域の地質

スタンプリート地下水盆地の表層の大部分は第三紀から第四紀のカラハリ界の砂レキよりなる。これらはしばしば岩石化しており、特に地表浅部には硬質の石灰質砂岩が広く分布している。層厚は数10メートルから200メートル程度で東方ほど厚い傾向がある。

カラハリ界の下部は、石炭紀からジュラ紀のカルー界よりなる。カルー界は、砂岩層と頁岩層が互層しており、層厚の変化があまりないほぼ水平な地層で、南東方向に緩やかに傾斜している。北西部においてはカルー界最上部の玄武岩層が砂岩・頁岩層を覆っており、また、しばしば(特に東部において)流紋岩または粗粒玄武岩のシルやダイクなどの貫入岩が見られる。アウオブ砂岩やノソブ砂岩を含む Prince Albert 累層の層厚は150メートル程度で、水平方向の変化はあまりない。

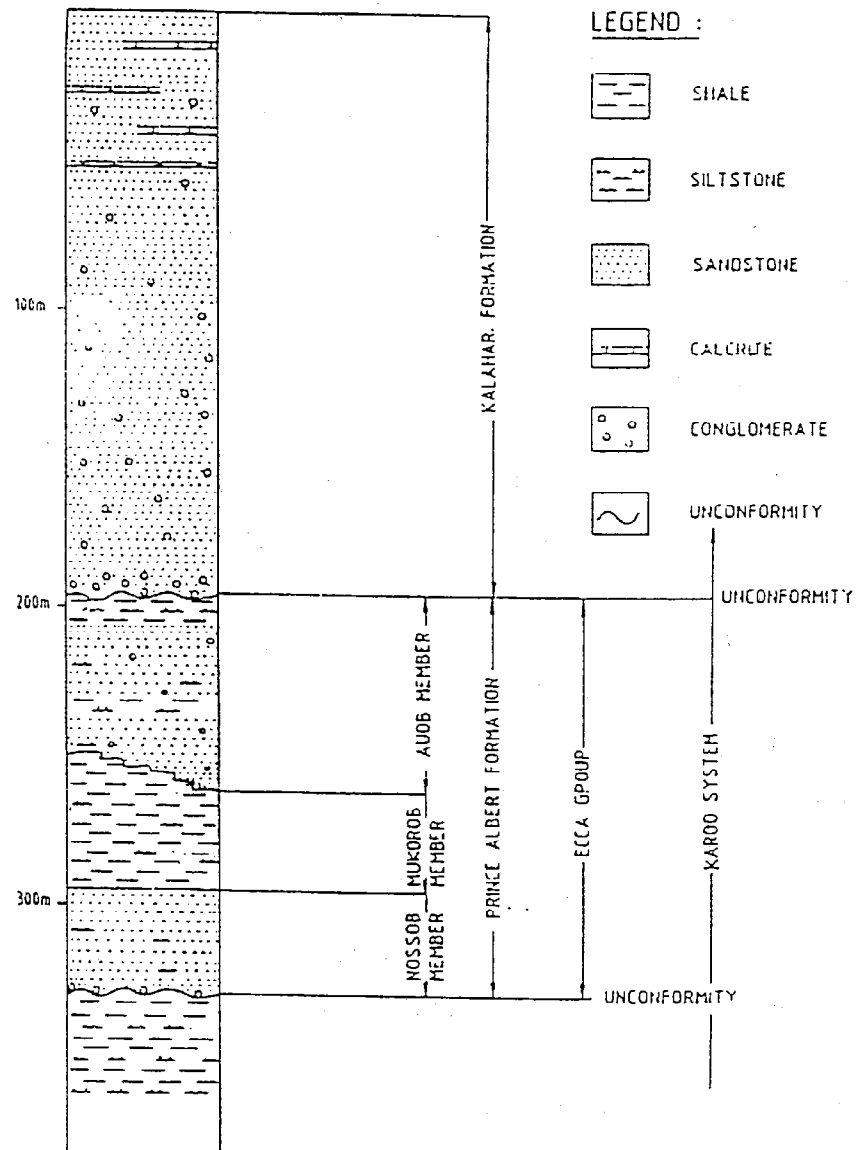
これら、調査対象地域の地質をまとめると、表2-6のようになる。

表2-6 スタンプリート地下水盆地地域の地質層序

地質年代	地質界 (Group)	累 層 (Formation)	部 層 (Member)	貫入岩	岩 質
第四紀 ～ 第三紀	Kalahari				沖積層、固定砂丘、石灰質砂岩・砂岩、シルト・砂・レキ (砂質部が帯水層)
ジュラ紀 ～ 石炭紀	Karoo	Kalkrand			玄武岩
		Prince Albert	Rietmond 頁岩	粗粒玄武岩と	頁岩
			Auob 砂岩	流紋岩	砂岩(帯水層)
			Mukorob 頁岩	(シル及び	頁岩
			Nossob 砂岩	ダイク状)	砂岩(帯水層)
		Dwyka			漂レキ岩

調査地域中央部付近に位置するアラノス(Aranos)地域の模式地質柱状図を図2-13に示す。

カラハリ界とカルー界の境界及び、ノソブ砂岩とドゥイカ(Dwyka)漂レキ岩の境界は不整合である。注目すべきは、カラハリ層とアウオブ砂岩の境界をなすリートモンド(Rietmond)頁岩層が層厚10～30メートル程度と非常に薄いことである。



出典 : Aranos State Water Scheme, DWA (1995)

図 2-13 アラノス (Aranos) 地域の模式地質柱状図

2-3 気象・水文

(1) 「ナ」国の気象

図2-14に「ナ」国の主要気象観測所の気象データを示す。降雨は、気温の低い冬期の6月～9月にはほとんど認められず、11月～4月に集中している。また、図2-15に「ナ」国の等雨量線―等蒸発散量線図を示す。降雨量は、寒流であるベンゲラ海流の影響で、大西洋沿岸部においてはほとんどなく、北東に向かって増加する傾向が見られるが最大でも年間降雨量が600ミリメートルに過ぎない。

「ナ」国は極めて乾燥した気候で特徴づけられ、乾燥気候とサバンナ気候の大きく2種に分類される。

乾燥気候は低温砂漠気候帯、高温砂漠気候帯、ステップ気候帯の3つに分かれる。沿岸部の砂漠地帯が低温砂漠帯に属し、これより内陸側に高温砂漠気候帯、続いてステップ気候帯が分布する。

サバンナ気候には内陸の高原地帯が属し、まばらな樹木、灌木と草類の植生を維持する程度の降雨量がある。サバンナ気候帯は、降雨量により乾燥サバンナ気候帯と森林サバンナ気候帯に区分される。

低温砂漠気候帯は、海岸沿いの幅数キロメートルの狭い地域で、ベンゲラ寒流の影響によって気温が低い。海水温は非常に冷たく、冬期に約13～16℃、夏期に約15～19℃である。月平均最高気温は約16～22℃、月平均最低気温は約9～15℃である。

高温砂漠気候帯は、低温砂漠気候帯の内陸側の年間平均降雨量50ミリメートル以下の地域で、ナミブ砂漠が位置している。地形的にはほぼ山岳地帯より海岸側にある。降雨量の変化が激しく、全く降雨のない年もある。

ステップ気候帯は、砂漠気候帯の内陸側と南部地域の山岳地帯東側に分布する降雨量が250ミリメートル以下での地帯で、一般に夏期にのみ約100～200ミリメートルの降雨が見られる。本地域は、雲が少なく晴天の日が長いこと、日中気温が上がり夜間に冷却し、気温の日格差が15℃以上と季節を問わず大きい。

乾燥サバンナ気候帯は、「ナ」国中央部から北西部に分布する年間降雨量約250～400ミリメートルの地域である。降雨は夏期に集中している。気温は高温であるが、中央高原地帯などの標高1,000メートル以上の地域では、冬期には0℃以下に下がることもある。

森林サバンナ気候帯は、乾燥サバンナ帯北側の「ナ」国北東部に位置する年平均気温400～600ミリメートルの地帯で、比較的降雨量が多い。また、雨期には北部から東部地域において湿度が高くなり、特に年間降雨量が600ミリメートルを超える北東部のCaprivi地区は湿潤サバンナ気候と呼ばれている。

(2) 調査対象地域の降雨量

図 2 - 16 に示すように、本地域には約 70 箇所の降雨量計が設置されており、これらの観測値は DWA の水文部に保管されているとともに、DWA の水文データベースに登録されている。中には 1900 年当初からの観測値もあるが、多くの地点において観測値にしばしばデータの欠損が見られる。また、1998 年 1 月からの観測値がデータベースに登録されていなかった。水文年は 10 ～ 9 月となっている。

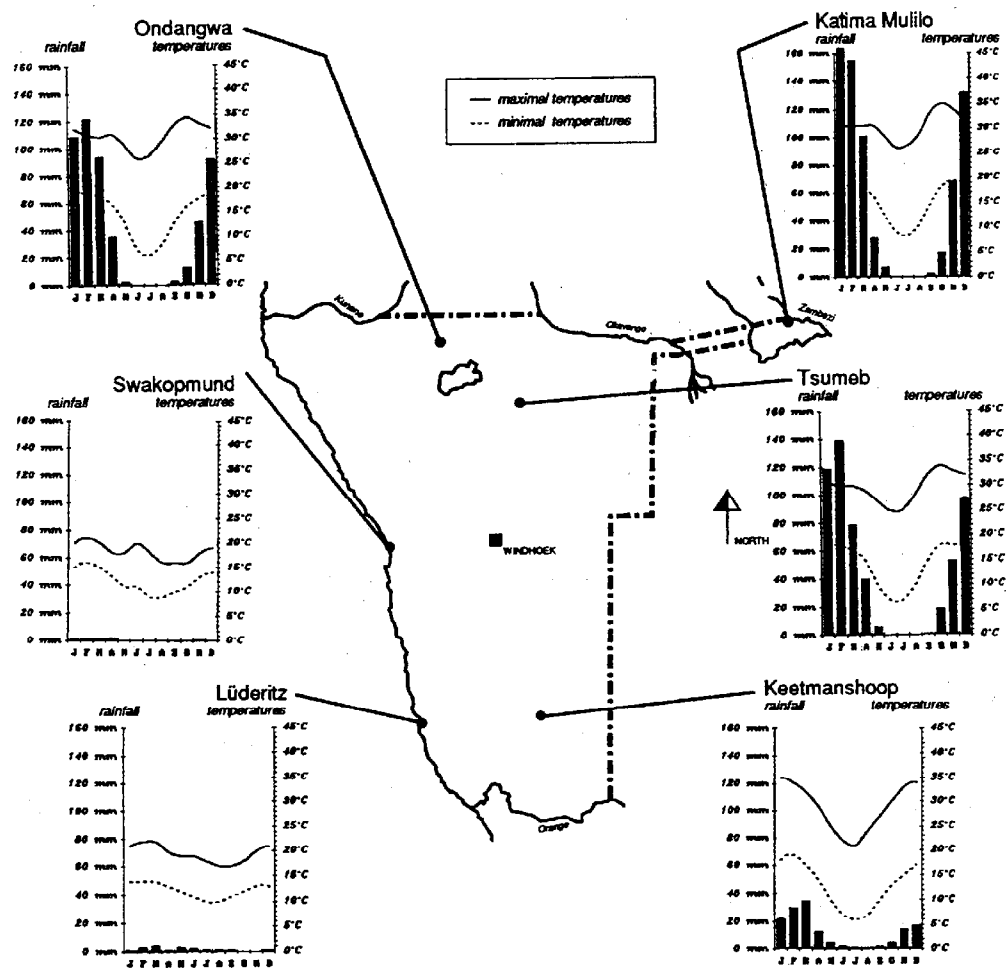
本地域の降雨量は少なく、図 2 - 15 に示すように、北部で約 300 ミリメートル／年、南部で約 150 ミリメートル／年と、北部ほど多い傾向がある。図 2 - 17 の月刊降雨量グラフに示すように、降雨時期は 10 月～ 4 月で特に 1 月～ 3 月に多く、そのほかの月にはほとんど降雨が見られない。図 2 - 18 に、北部、中部及び南部の個所の観測所における年間降雨量の長期変化を示す。この図から北方の観測所ほど降雨量が多いことが分かるとともに、約 12 年周期の長年変化があることが分かる。

一方、蒸発散量は非常に多く、北部で約 3,000 ミリメートル／年、南部で約 3,800 ミリメートル／年と南部ほど多い。

(3) 調査対象地域の河川流出量

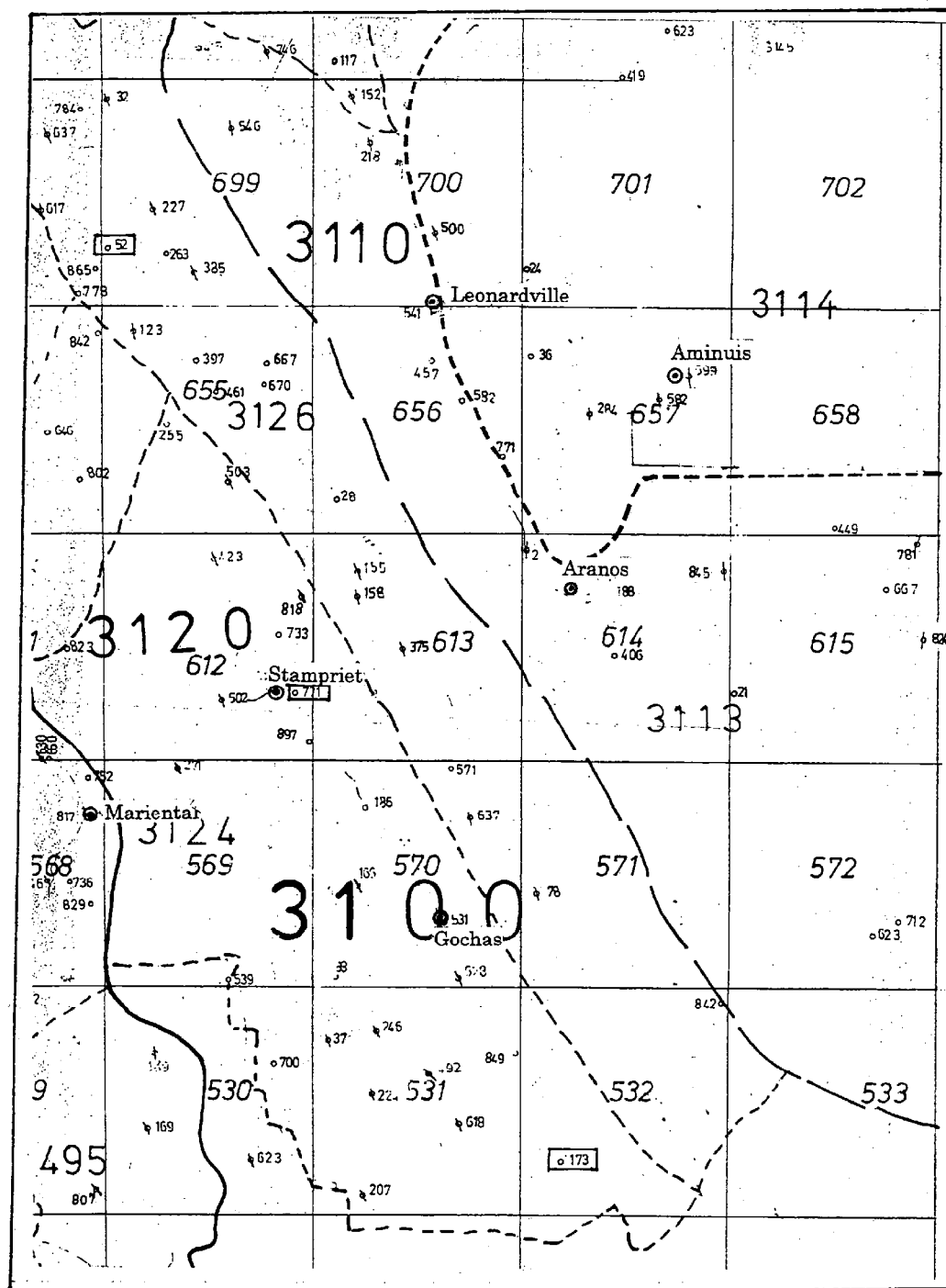
図 2 - 19 に示すように、アウオブ川に 2 箇所とノソブ川に 2 箇所の計 4 箇所に、自記水位計が設置されている。これらの河川は、普段は枯れており、まとまった降雨があった時だけ流れるワジである。特に 1 月～ 3 月に集中して流出が観測される。

これらの観測値は DWA の水文部に保管されているとともに、DWA の水文データベースに登録されているが、1997 年後半からの観測値がデータベースに登録されていなかった。図 2 - 20 にアウオブ川とノソブ川の観測所における年間流出量の長年変化を示すが、年による差が非常に大きく、さらにデータが欠損している月や年がしばしばあるため十分なデータとはいえない。



出典：Geography of Namibia (1990)

図 2 - 14 「ナ」国の主要気象観測所の気象データ



°733 : 降雨量観測所位置及び番号

173 : 本報告書で観測データをグラフ化

出典 : DWA 水文部

図 2 - 16 降雨量観測所位置図

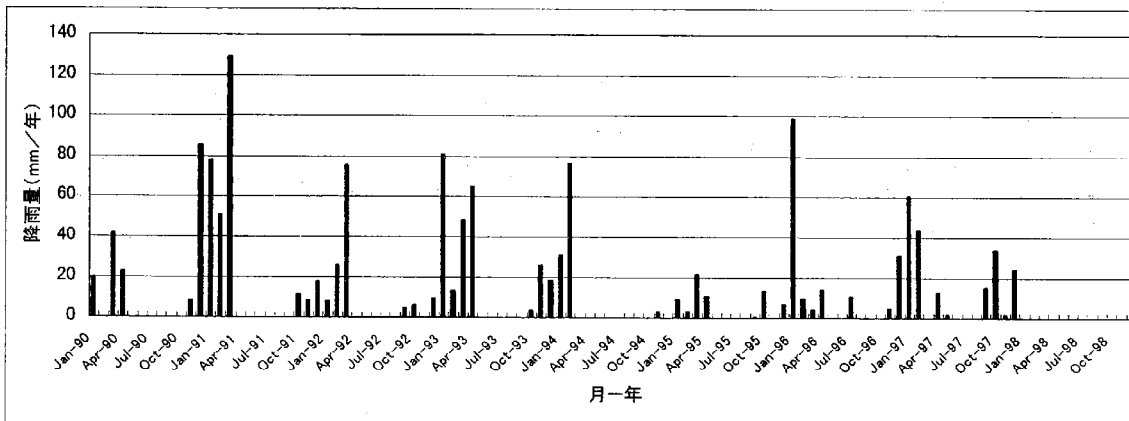
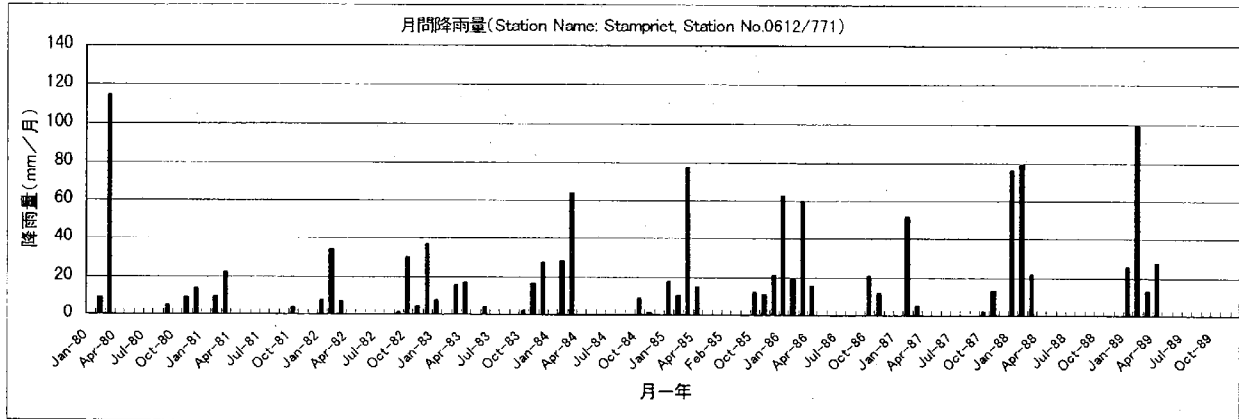


図 2 - 17 スタンプリートにおける月間降雨量の長期観測結果

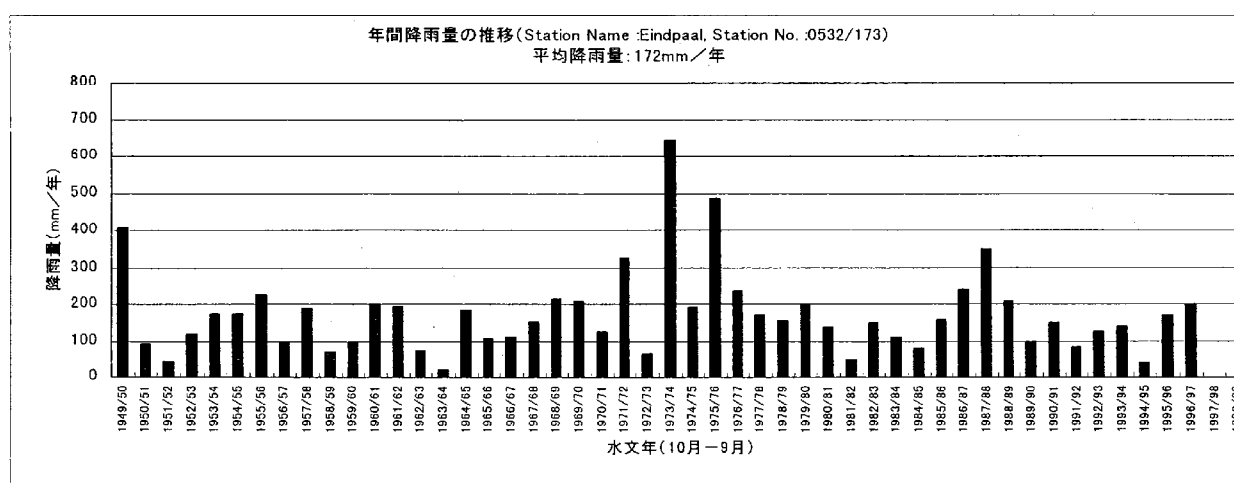
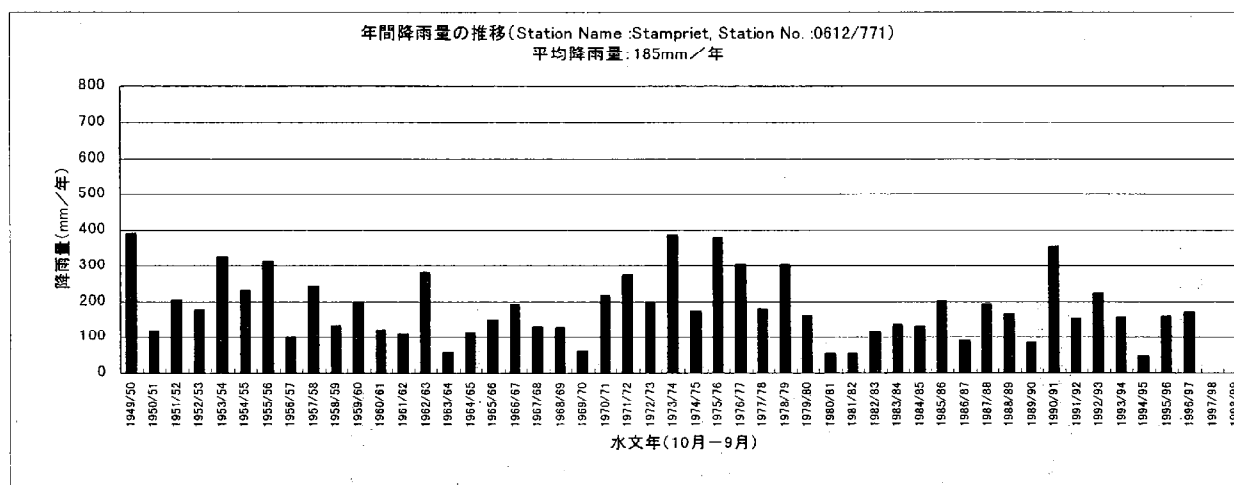
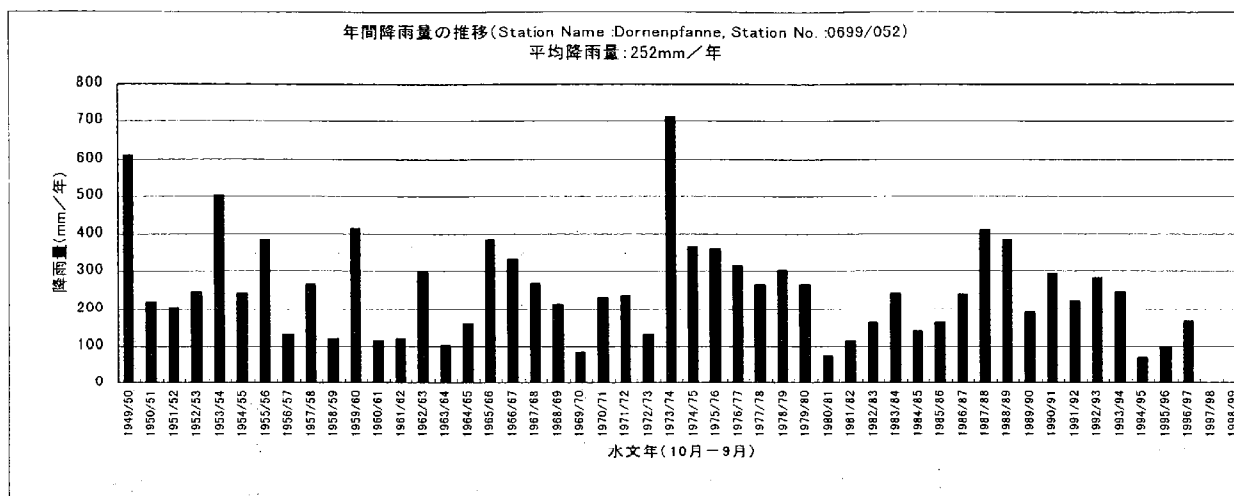


図 2 - 18 年間降雨量の長期変化

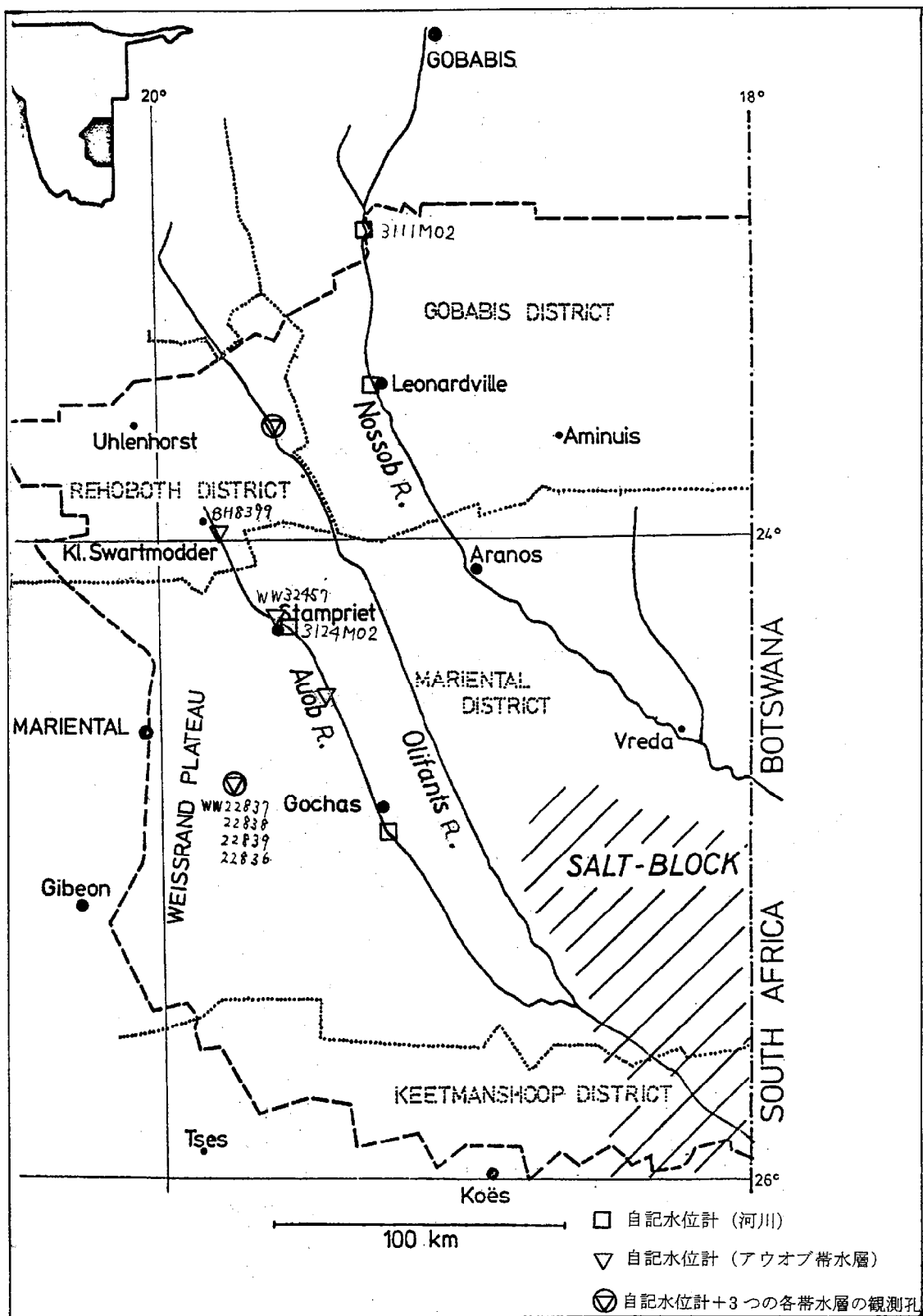


図 2 - 19 表流水自記水位計及び地下水自記水位計の位置図

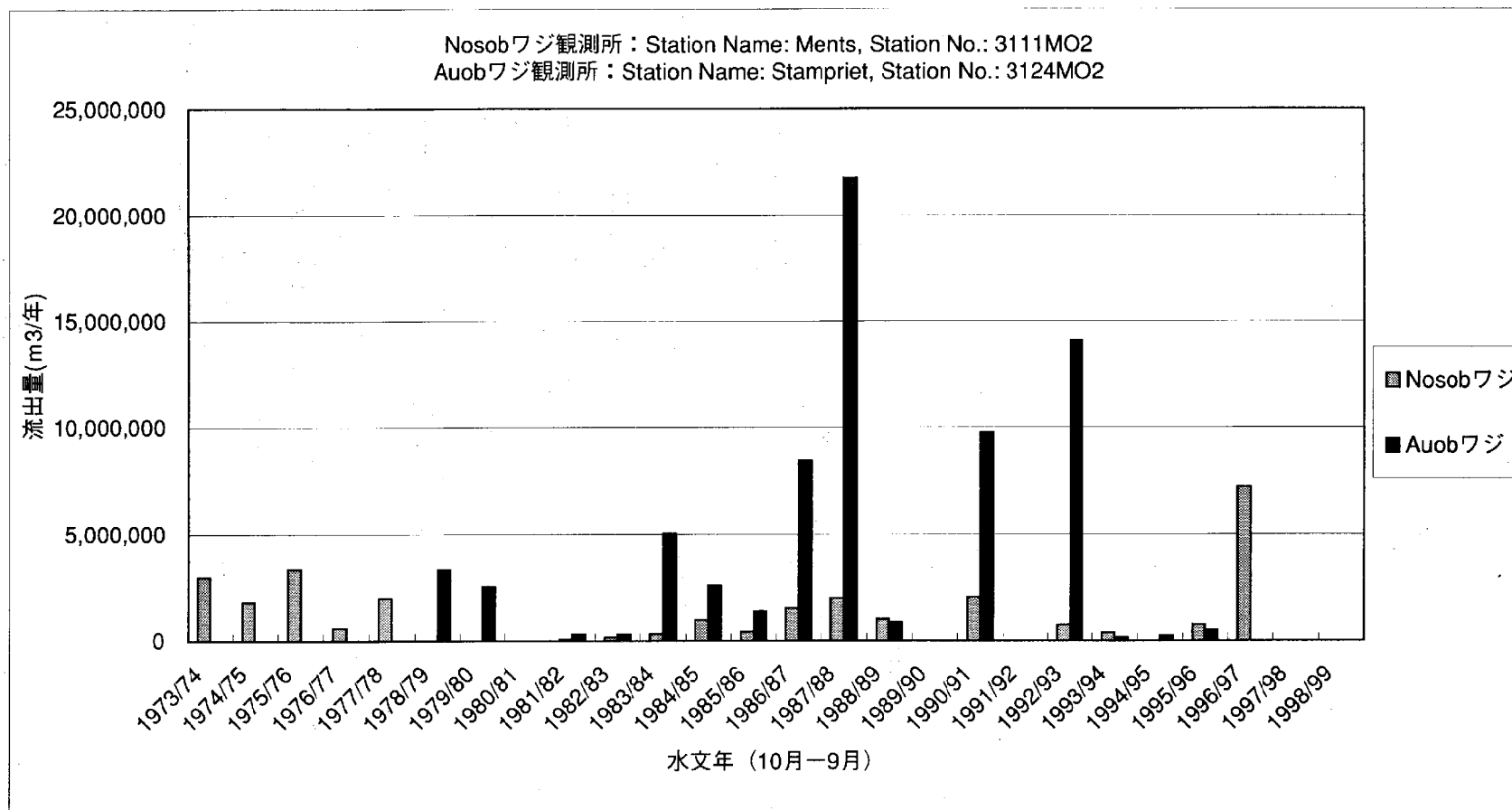


図 2 - 20 ワジの年間流出量

2-4 水文地質

(1) 調査対象地域の水文地質

本地域には、上部よりカラハリ層、アウオブ砂岩層及びノソブ砂岩層の3つの帯水層が分布する。これら3つの帯水層からなる本地域の地下水盆の模式図を図2-21に示す。

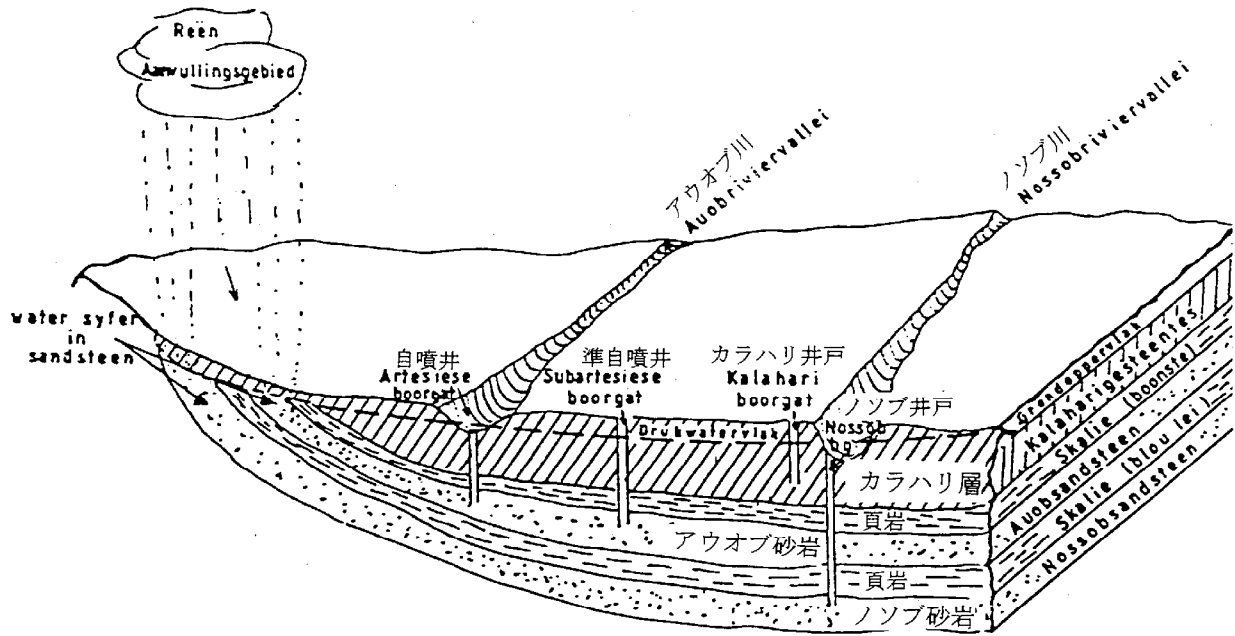


図2-21 スタンプリート地下水盆の模式図

1) カラハリ帯水層

カラハリ層は、砂層部、砂岩部及び石灰質砂岩部において、帯水層となっている。層厚は、地下水盆の周辺部では約50メートル程度であるが、調査地域東部ほど厚い傾向にあり、アラノス (Aranos) から東方では200メートル以上になり、最大250メートルにいたる。井戸深度は40～120メートル程度のものが多い。

カラハリ帯水層の地下水は、ほぼ地形に沿って流れているものと思われる。また、砂丘が発達している地域では、砂丘中に宙水があるものと思われる。

地下水は、付近の降雨によって涵養されている自由地下水と思われるが、降雨量が少ないためにさほど涵養量はなく被圧しているアウオブ帯水層からの漏水によって涵養している可能性もある。カラハリ帯水層の地下水位観測データがないために、現時点ではこのことの断定はできない。

2) アウオブ砂岩帯水層

アウオブ砂岩は、空隙の多い固結した細粒の砂岩で、しばしばシルト岩と互層をなす。層厚は通常 30 ～ 60 メートルであり、最大でも 100 メートル程度である。井戸深度は、40 ～ 330 メートルと幅広い。空隙率は、室内試験で平均約 23% という値が報告されている。図 2-22 に示すように、地下水は地層の傾斜に沿い南東方向に流動している。地下水の流動速度は図 2-28 ～ 29 に示すように、14C 年代測定によりスタンプリート地域で 2.17 メートル／年、アラノス地域で 2 メートル／年と推定されている。この結果が正しいとすれば、アウオブ帯水層の地下水は非常にゆっくりと流動している数千年から数万年前の化石水ということになる。スタンプリート地域において、この流速から推定される地下水流量は 34 立方メートル／日／キロメートルとなり、揚水試験の結果と動水勾配から推定される地下水流量は 11.3 立方メートル／日／キロメートルとなる。

アウオブ帯水層は被圧しており、図 2-21 の模式図のように、特に河川の付近では自噴している。自噴井の多いスタンプリート周辺とアウオブ川上流地域の井戸のほとんどは、アウオブ層から取水しているものと思われる。

アウオブ砂岩とカラハリ層の間には、約 10 ～ 30 メートルと薄い頁岩の不透水層があるが、図 2-13 の模式地質柱状図に示すように非常に薄いか欠落している地域があり、下部の被圧したアウオブから上部のカラハリへ漏水している可能性がある。また、断層や貫入岩周辺の破碎帯を通して被圧地下水が上位のカラハリ層に漏水している可能性がある。

3) ノソブ砂岩帯水層

アウオブ砂岩層の下部約 100 メートルにノソブ砂岩層が分布する。アウオブ砂岩とノソブ砂岩の間には 50 ～ 100 メートル程度の厚い頁岩層を挟んでいる。ノソブ砂岩の層厚は通常 20 ～ 50 メートル程度と薄い。井戸深度は、140 ～ 450 メートルと幅がある。ノソブ砂岩は、アウオブ砂岩同様、空隙の多い固結した細粒の砂岩で、しばしばシルト岩と互層をなす。空隙率は、室内試験で平均約 26% という値が報告されている。ノソブ砂岩帯水層から取水している井戸は、ノソブ川上流に多く見られると思われるが、井戸の柱状図が残されているものが少なく、確かではない。

地下水は地層の傾斜に沿い南東方向に流動しているものと思われるが、観測値が少ないために明らかではない。

(2) 地下水位観測

「ナ」国全国には、110 箇所の井戸にフロート式の自記水位計が設置されており、また、約 900 の井戸が観測井として登録されている。これらのうち、本調査対象地域内には、図 2-19

に示すようにスタンプリート町周辺の5箇所の井戸に自記水位計が設置されている。自記水位計の記録用紙は、DWAにより毎月1回交換されている。これらのほかに、観測井として登録されている井戸が多数あるものと思われるが、それら観測井については、実際には定期的な水位観測は行われておらず、それらの位置すらも現在把握している人はいない状況にある。

これら5箇所の自記水位計設置井戸に関しては、地質柱状図、スクリーンの位置を示した井戸構造図などの取水している帯水層を特定できる資料がみつからなかったが、最も水位の高いアウオブ砂岩帯水層をターゲットにしているものと思われる。これら5箇所の自記水位計設置井戸の内、図2-19に示した2箇所については、自記水位計設置井戸付近に図2-23に示した特殊な井戸構造の観測井が設置されている。つまり、1本の井戸にカラハリ、アウオブ及びノソブの3つの各帯水層にそれぞれ観測孔を設置し、それぞれの帯水層間をセメント・シーリングしている。

本事前調査で入手した地下水位観測データを図2-24、図2-25及び図2-26にグラフ化した。

図2-24は、スタンプリートの灌漑地域に位置する自噴井(アウオブ)の地下水位変化を示している。地下水位は、1月に最も低く7～8月に最も高いという規則的な周期で季節変化を示しており、年間の水位変動は6メートル程度と非常に大きい。図2-27に示すように、この地下水位変化とスタンプリートの降雨量データを合わせると、降雨の多い1月から水位が急回復していることが分かる。この季節変化の理由としては、次の2つの説明が可能である。

- ・ 同観測井は、最も灌漑農業が盛んなスタンプリートの中心部に位置するために、地下水の影響範囲内に灌漑用揚水井戸があることが考えられる。降雨が多くなる1月から数か月は、灌漑用の取水が激減するため水位が回復する。
- ・ 遠方で涵養した化石水ではなく、近くで少なくとも数年前の降雨が涵養したものであるために季節変化を示す。

図2-25及び図2-26は、スタンプリート南方約60キロメートルのTUGELA Farmに位置し、図2-23に井戸構造を示した観測井WW22839(3つの帯水層に観測孔を設置)における観測データである。3つの帯水層とも季節変動が見られず、12年間で約50センチメートルの割合で緩やかに水位降下しており、一般的な化石水の水位変化を示している。カラハリ層の地下水位は、被圧帯水層であるアウオブ砂岩帯水層の水位と非常に似た変動を示しており、場所によっては被圧している所や下部のアウオブ層と繋がっている所がある可能性がある。また、下位のノソブ層の地下水位は上位のカラハリ層の水位より明らかに低く、揚水効率の観点からノソブ層にまで掘削している井戸は少ないことが推定される。

いずれにしても、これらの地下水位観測データを見る限りは、地下水位は非常に不可解な動きをしており、本格調査において詳細に調査・解明する必要がある。

(3) 水質

図 2－19 に示すように、調査対象地域の南東部には、Salt-Block と呼ばれている塩分濃度の高い地域が知られている。同地域における既存調査としては、J.Kirchner and G. Tredoux による水質調査(The Stampriet Artesian Basin, with Special Reference to the Salt-Block)がある。同報告書によれば、表 2－7 に示すようにどの帯水層の T D S 濃度も飲用に適さない程度に高く、特にアウオブ層で高いことがわかる。同地域におけるアウオブ層からの地下水の平均塩分濃度は、T D S 濃度で 2,357 ミリグラム／リットルとかなり高い。同報告書では、各帯水層ごとの主要イオン濃度を比較し、それぞれの帯水層の地下水成分の特徴を求め、帯水層間での地下水の混合を検討している。しかし、詳細な塩水化の傾向や、塩水化のメカニズムはいまだ解明されていない。そのほかの地域の地下水については、今回の予備調査の現地踏査において頻繁に現場測定したところ、T D S 濃度で 270～590 ミリグラム／リットルの範囲にあり、塩分濃度が低く飲用に適している。そのほかにも、調査対象地域北西部などのいくつかの限られた狭い地域で塩分濃度の高い井戸が知られているが、これらはカラハリ層の浅い地下水であると推定され、乾燥地域の浅層地下水にしばしば見られる現象である。

表 2－7 Salt-Block 地域における各帯水層の塩分濃度

帯水層	採水井戸数	T D S 濃度の頻度分布		
		25%	50%	75%
カラハリ	195	1,172 mg/l	1,690 mg/l	3,140 mg/l
アウオブ	45	1,677 mg/l	2,375 mg/l	3,843 mg/l
ノ ソ ブ	35	1,297 mg/l	1,730 mg/l	3,813 mg/l
不 明	335	-	-	-

出典：The Stampriet Artesian Basin, with Special Reference to the Salt-Block から編集

G. Tredoux (1981) の博士論文の調査では、本調査対象地域において約 1,500 本の井戸の地下水の主要イオンの分析を行っており、カラハリ、アウオブ及びノソブの各帯水層ごとに各種イオンの濃度分布図を作成している。また、南アの C S I R による The evolution of the chemical composition of artesian water in the Auob sandstone にも多数の化学分析値が掲載されている。これらの成果は、本調査に非常に役立つものと思われる。

南ア C S I R の J.C.Vogel, A.S.Talma and T.H.E Heaton による The age and isotopic composition of groundwater in the Stampriet Artesian Basin (1982) では、本地域において約 100 本の井戸について各種アイソトープ、主要イオン、溶存ガスの分析を行っており、以下の結論が得られている。

- ・ ^{18}O / ^{16}O により 3 つの帯水層を区分することができる。
- ・ 溶存酸素濃度が地下水年代と強い関係があり、新しい地下水の特定に利用できる。(図 2 - 30 参照)
- ・ ヘリウム濃度が地下水年代と強い関係があり、 ^{14}C で測定できない古い地下水の流動方向の推定に利用できる。(図 2 - 31 参照)

NAMWATER による飲料水水質ガイドラインを巻末の付属資料に添付した。

(4) 既存井戸及び DWA の井戸データベース

DWA は 1985 ～ 1988 年にスタンプリート地下水盆における既存井戸調査を実施している。この既存井戸調査の対象地域は、図 2 - 32 に示ように、Area 1 (Stampriet-Gochas 地域)、Area 2 (Aranos-Leonardville 地域) 及び Area 3 の 3 つの地域からなる。Area 1 における調査は、1985 年から行われ Progress Report No.1 (1986) にその結果が報告されている。Area 2 における調査は、1986 年から行われ Progress Report No.2 (1987) にその結果が報告されている。Area 3 における調査は、1987 年から行われ 1988 年にその結果が報告されているものと思われるが、今回その報告書を入手できなかった。スタンプリート地下水盆地域には、当時約 1,500 の農場に 5,000 以上の井戸があるといわれており、上記調査ではこれらの内 278 農場で 1,838 の既存井戸を調査したにすぎない。面積的にも 3 分の 1 以下しかカバーしていない。

Area 1 と Area 2 における既存井戸の概要をまとめると表 2 - 8 のようになる。

表 2 - 8 既存井戸の概要

地域区分	農場数	総既存井戸数	カラハリ帯水層	アウオブ帯水層	ノソブ帯水層	自噴井	漏水井	非自噴被圧井	許可・登録井戸	灌漑面積(ha)	推定使用量(m^3/y)
Area1	62	563	416			64	33	83	486	332	6,654,409
Area2	92	439	251	93	95	27	17		280	30.6	1,824,100
Area3		(836)									

DWA はこれら既存井戸調査の結果を 90 年代当初に地下水情報システム (Groundwater Information System) としてデータベース化した。本地下水情報システムは大きく以下の 8 つの項目からなり、入力すべきデータとしては本件本格調査に必要な情報をすべて含んでいる。

1. 井戸情報

- ・井戸統計情報(井戸番号、設置日、緯度・経度、標高、井戸深度、口径、揚水量、ポンプ設置深度など)
- ・地層(各地層の深度ごとに、岩石の型、色、状態、地層名などをコード表示)
- ・揚水試験(揚水試験方法・結果、透水量係数、貯留係数、推薦揚水深度・揚水量など)
- ・揚水データ(動水位、揚水時間、総揚水量など)
- ・地下水位
- ・出水位置
- ・ケーシング(ケーシング・スクリーンの位置と径)

2. 井戸履歴

- ・井戸揚水記録
- ・ポンプ設置深度

3. 維持コード

- ・井戸機能コード
- ・地質参照地域
- ・ケーシング
- ・岩石型
- ・岩石状態
- ・地層
- ・岩石の色
- ・揚水試験評価法

4. 出力装置の選択

5. 標準報告

- ・生産井
- ・危機的な生産井
- ・地域井戸情報
- ・水質分析報告
- ・地形図区分ごとの井戸統計値
- ・地域の地下水位
- ・そのほか

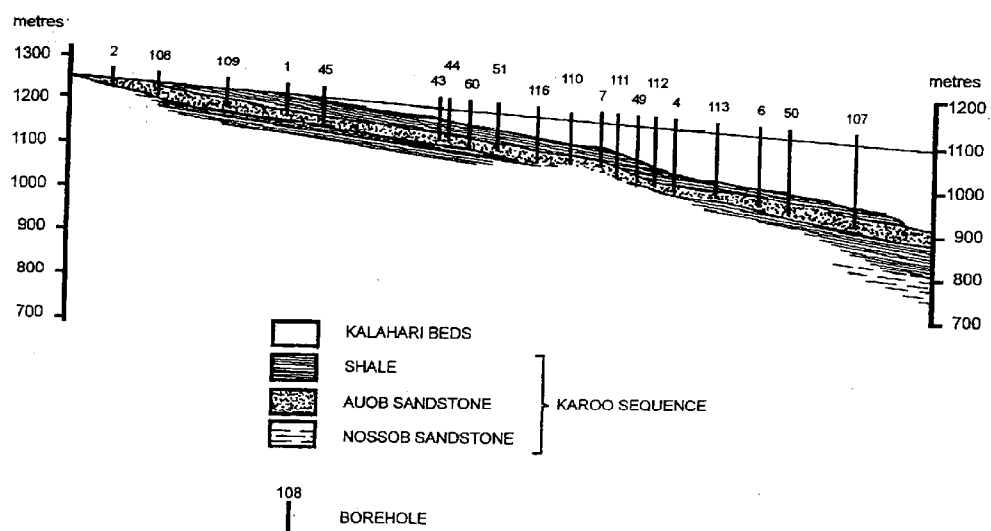
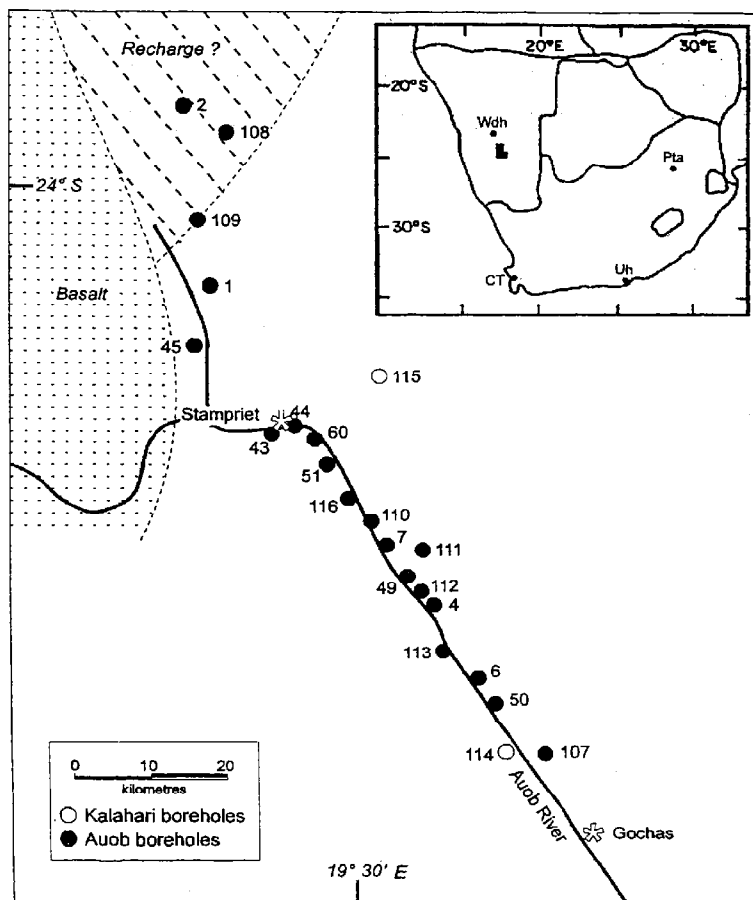
6. そのほかの資料

7. データ通信

8. データ更新プログラム

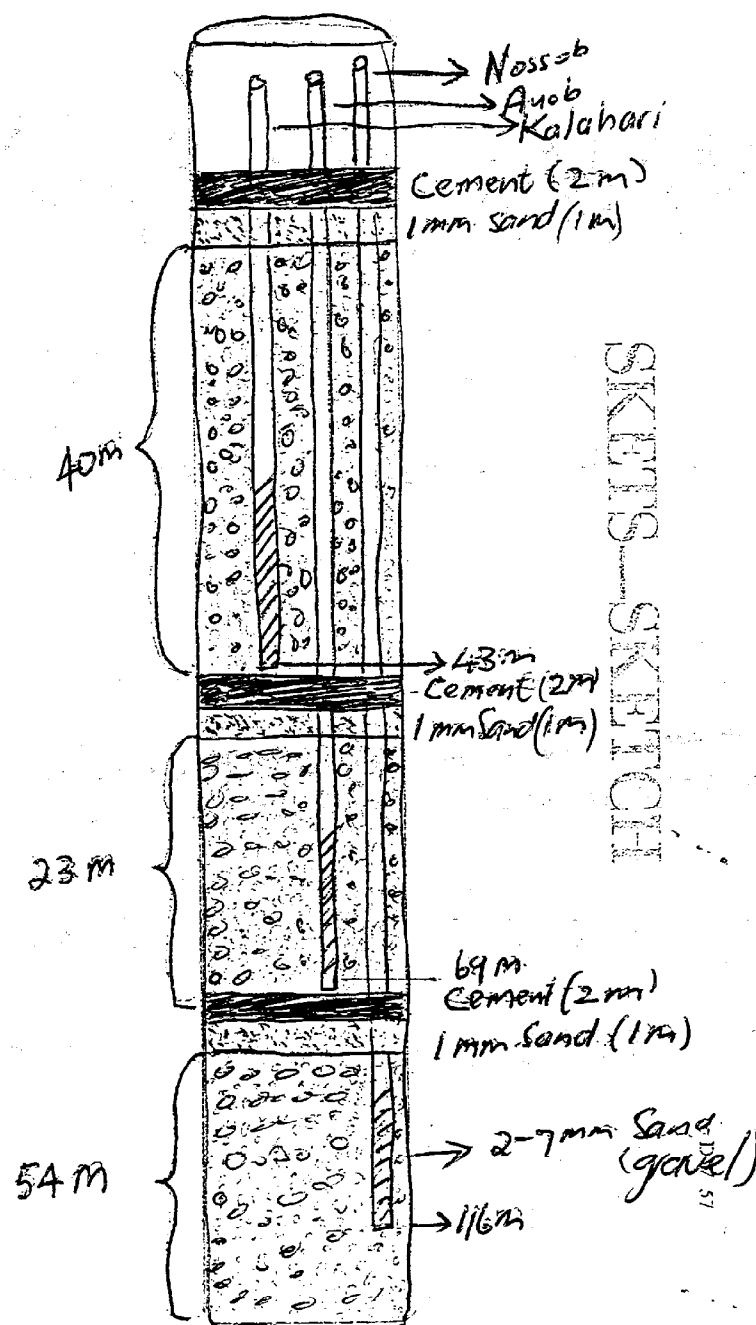
しかし、今回の予備調査で当データベースを確認したところ、すべての収集データが登録されているわけではなく記入漏れが多く、さらにこれ以後の入力も行われていない。特に、地質情報やケーシング・スクリーンの位置など、取水している帯水層を特定するための情報が記入されていないものがほとんどである。

DWAとNAMWATERは、近々同井戸データベースを更新する予定で、このデータベース更新作業に関する入札を本年1月末に行っている。この更新の目的は、現データベースをより使いやすいシステムにし、これにDWAとNAMWATERが今後それぞれが管轄する井戸の毎月の揚水データを入力して行き、互いに同データベースを有効利用して行くことにある。本件本格調査の結果も、この新しいデータベースに入力されることが望ましい。



出典: Glacial Temperatures and Moisture Transport Regimes Reconstructed from Noble Gases and $\delta^{18}\text{O}$ Stampriet Aquifer Namibia, M.Stute and A.S.Talam (1997)

図 2-22 スタンプリート地域におけるアウオブ川沿いの地質断面図



出典：DWA 資料

図 2 - 23 観測井 (井戸番号 WW22839) の井戸構造図

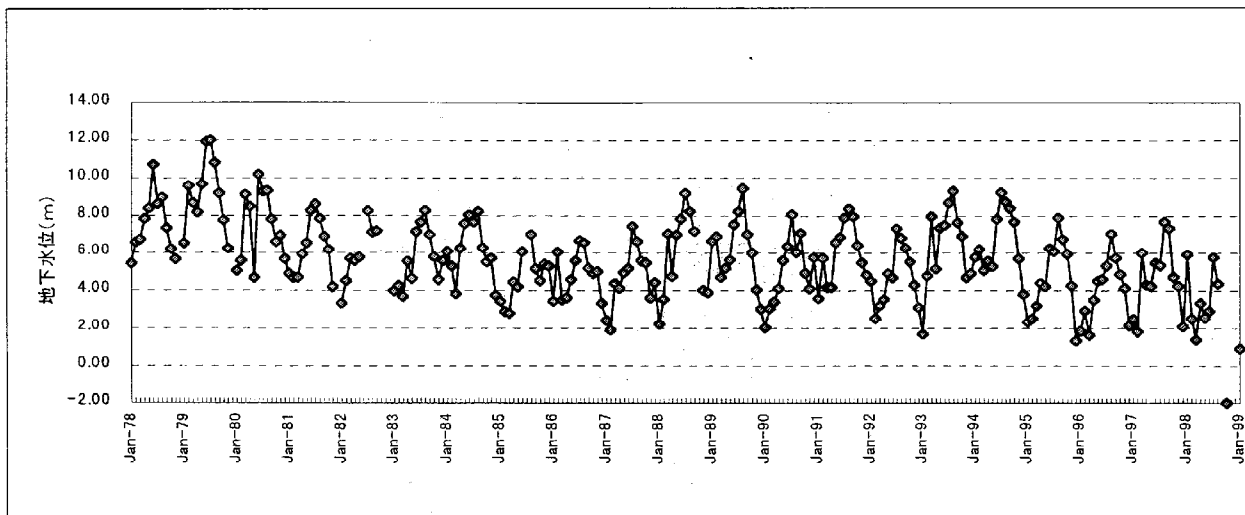


図 2 - 24 アウオブ層の地下水位変動：Borehole No. WW32457 (Stampriet)

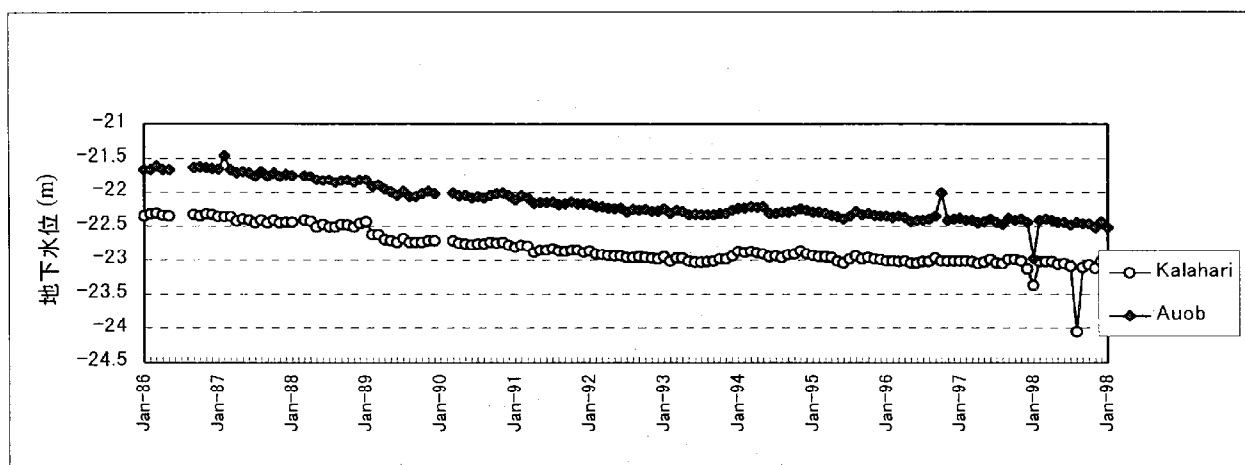


図 2 - 25 カラハリ層とアウオブ層の地下水位変化：Borehole No. WW22839 (Tugela Farm)

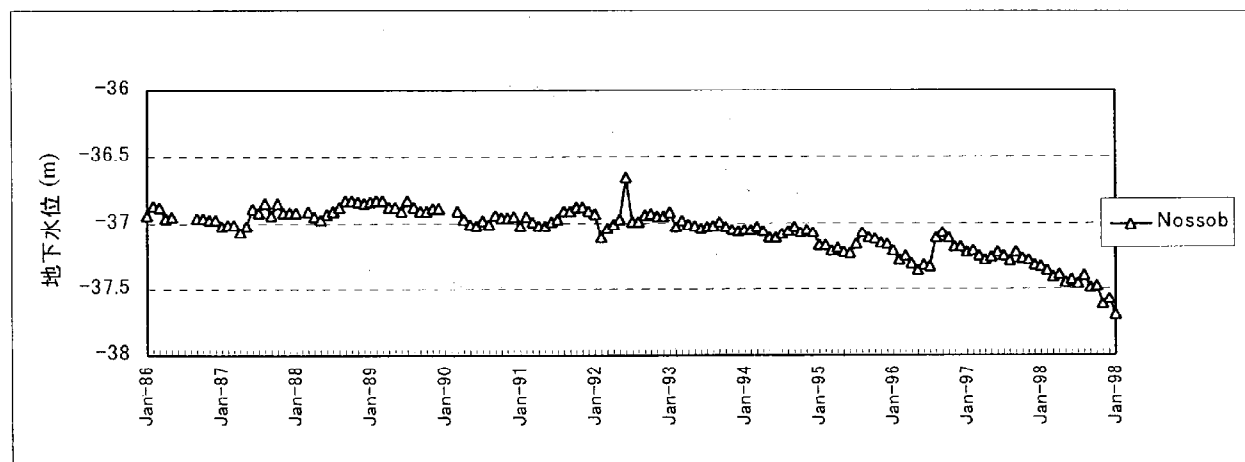


図 2 - 26 ノソブ層の地下水位長期変化：Borehole No. WW22839 (Tugela Farm)

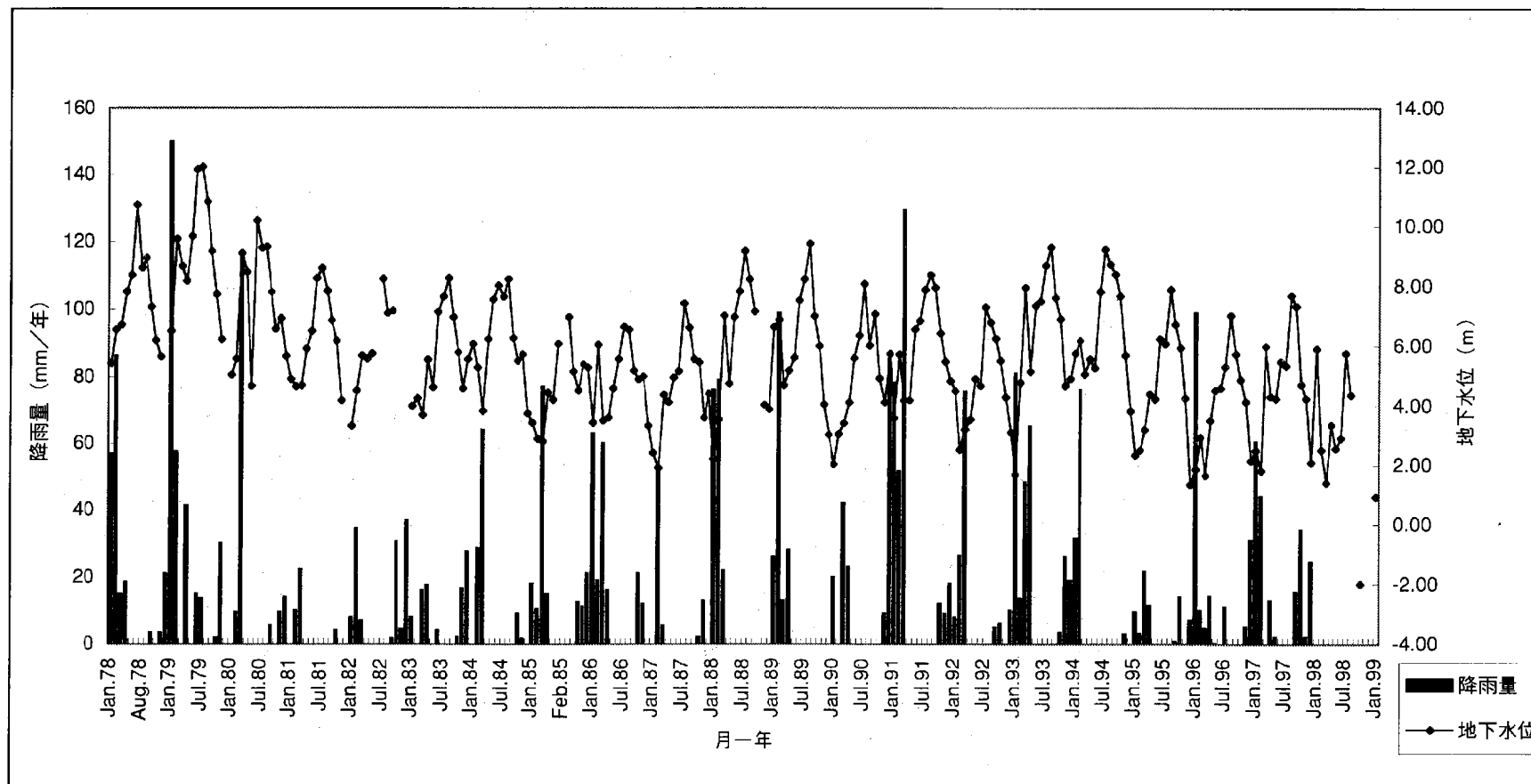


図 2 - 27 地下水位と降雨量の関係 (Stampriet)

(21290)

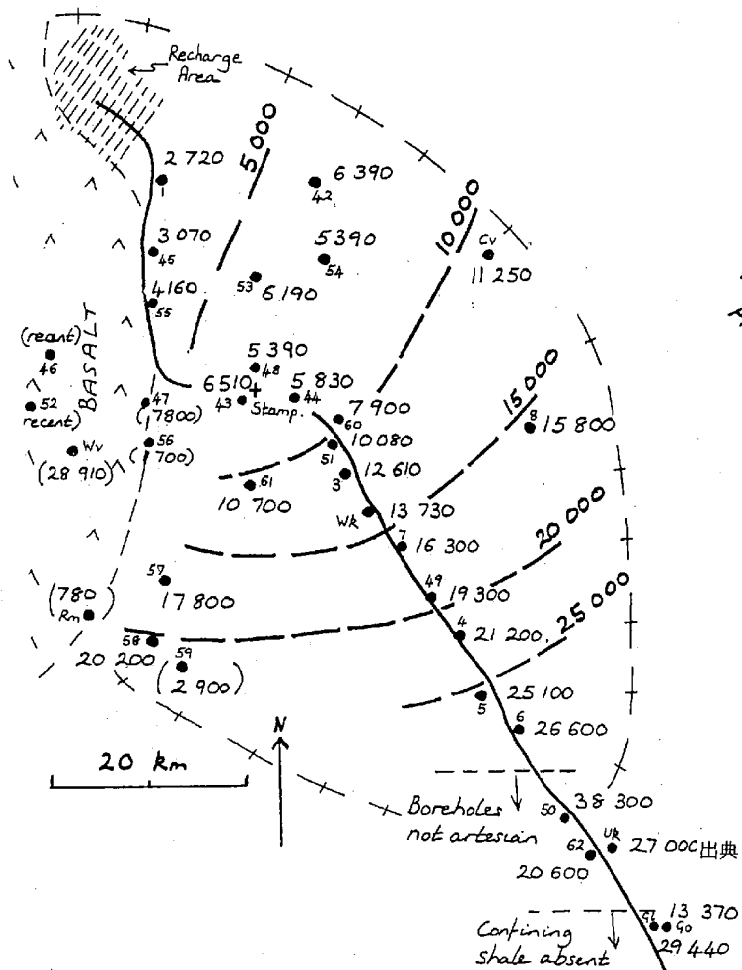


図2-28 アウオブ川(スタンプリート)周辺地域のアウオブ地下水の ^{14}C 年代分布

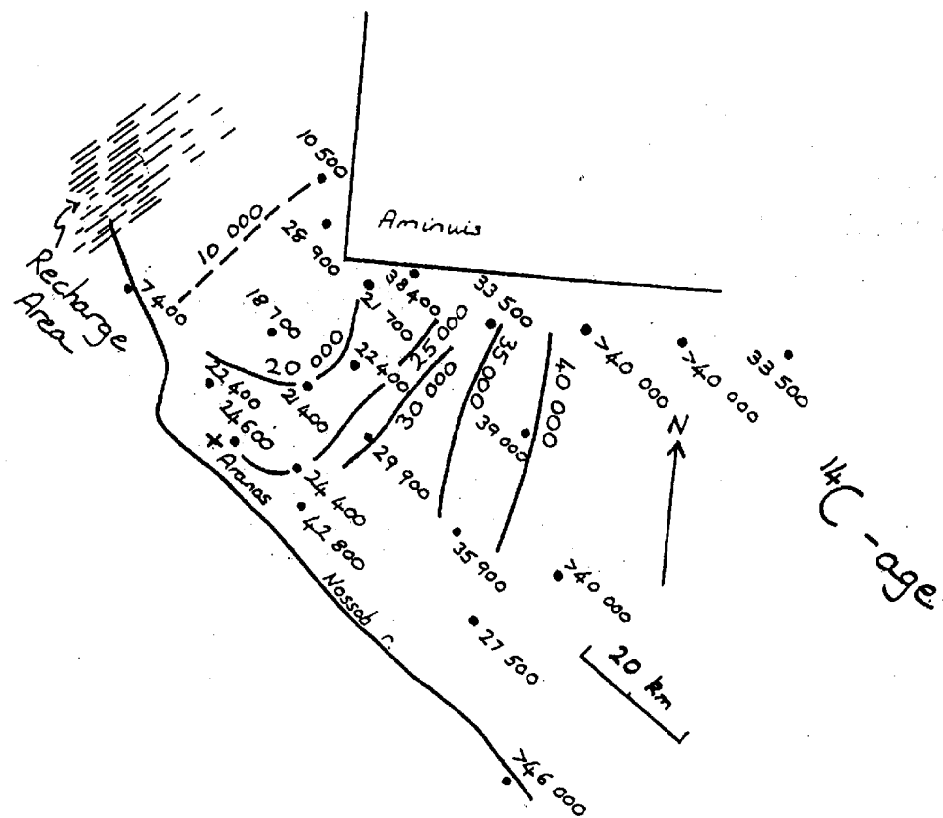
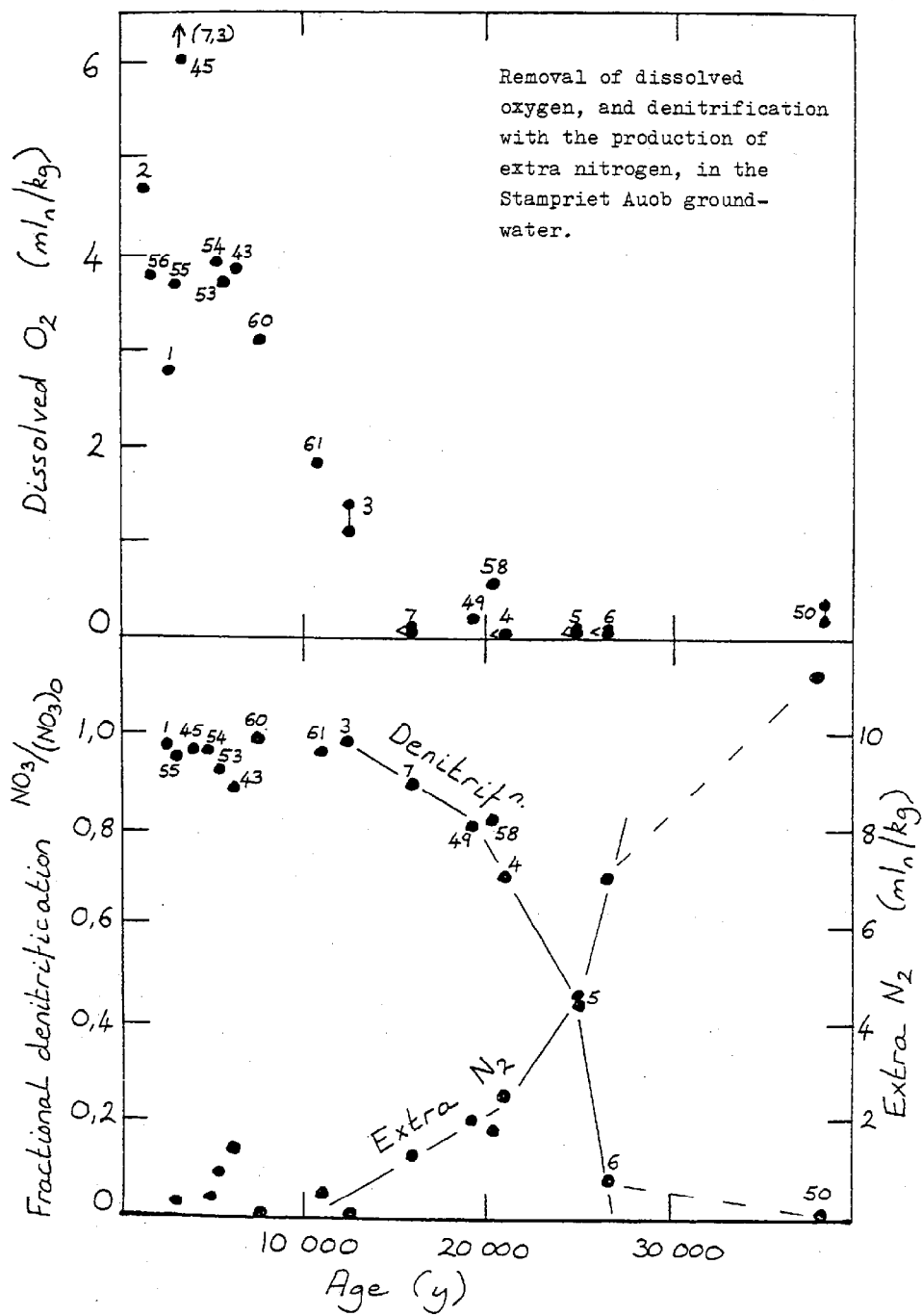


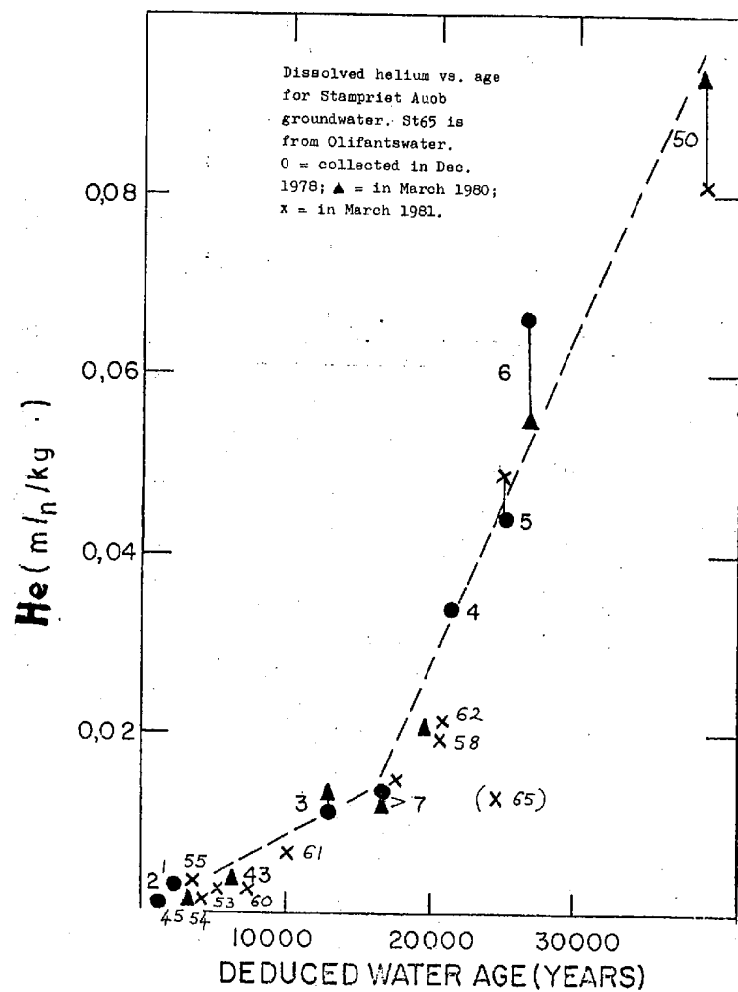
図2-29 ノソブ川東方(アラノス周辺)地域のアウオブ地下水の ^{14}C 年代分布

出典: The Age and Isotopic composition of Groundwater in the Stampriet Artesian Basin, CSIR (1982)



出典: The Age and Isotopic composition of Groundwater in the Stampriet Artesian Basin, CSIR (1982)

図 2-30 アウオブ地下水の ^{14}C 年代と溶存酸素濃度との関係



出典: The Age and Isotopic composition of Groundwater
in the Stampriet Artesian Basin, CSIR (1982)

図 2 - 31 14C 年代と He 濃度との関係

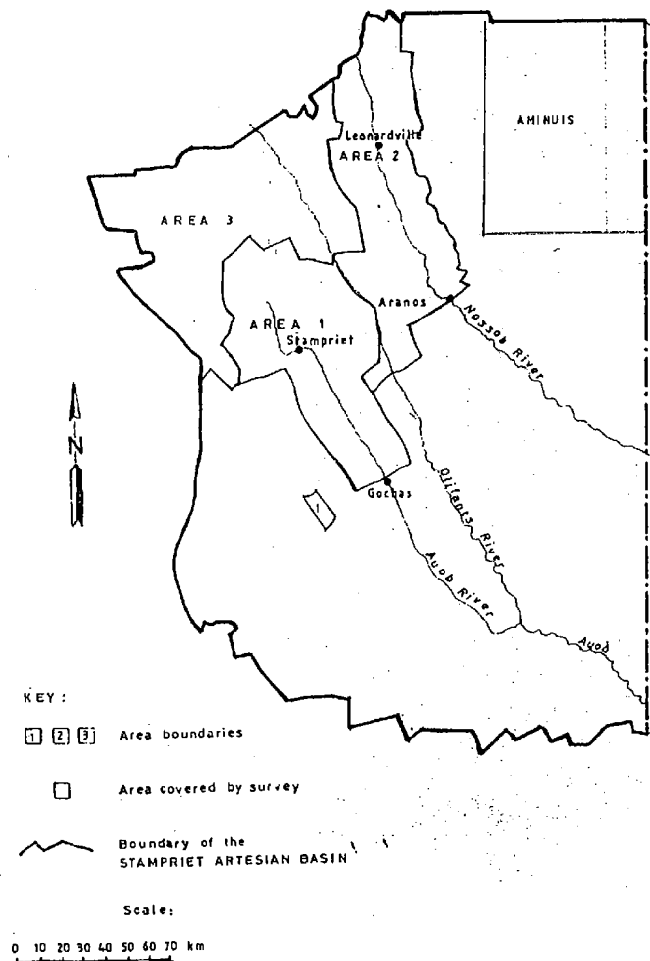


図 2 - 32 DWA により既存井戸調査が実施された地域

2-5 農業

2-5-1 「ナ」国の農業の特徴

鉱物資源に恵まれた「ナ」国の国土であるが、農業の観点からはやせた土壌と限られた水資源・降雨量が「ナ」国農業の主な特徴であり、生態学上からは次のような4つの地域に分けられる。

① 砂漠地帯 (22%)

年間降雨量が100ミリメートル以下の地域で、ナミブ砂漠(14%)とその周辺地域(8%)からなり、牧畜も不可能な地帯である。

② 乾燥地帯 (33%)

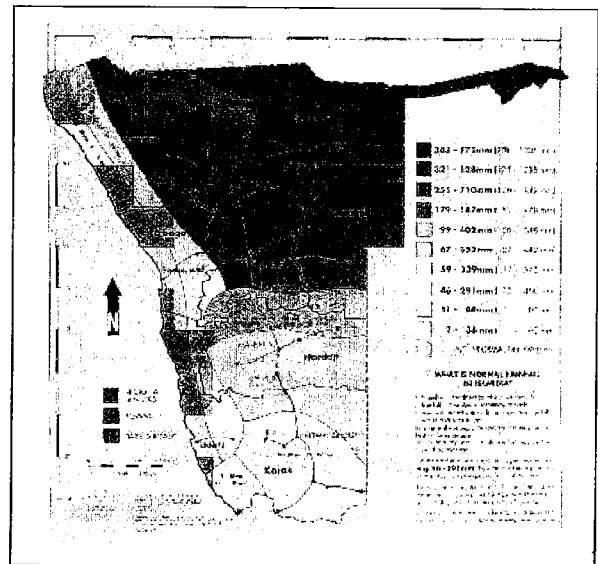
年間降雨量が100～300ミリメートルの地域で、北部は砂漠地帯から約100キロメートル内陸に帯状に広がり、内陸部の首都ウィントフック以南はほぼこの地帯に属し、天水による農作物は期待できなく牧畜を主とした農業が営まれている。一部に灌漑による農業も行われているものの規模は小さい。

③ 半乾燥地帯 (37%)

年間降雨量が301～500ミリメートルの地域で、首都ウィントフックより北にあたる。この地域の90%以上はやせた土壌であり農耕に適さず、牧畜以外の農業生産にはほとんど利用されていない。

④ 半湿潤・亜熱帯 (8%)

年間降雨量が501～700ミリメートルの地域で北部アンゴラ国境からツメブ周辺を含む地域である。この地帯にはコミユナル地区が多く存在しており、27万4,000ヘクタールで天水農業が営まれ、約13万7,000戸の農家が従事している。またツメブ周辺にはコマーシャル農場によるメイズが多く生産されており、Ovati-Grootfontein-Tsumebのメイズ三角地帯とも呼ばれている。



域には自噴地下水が以前より知られており、多くの白人農家に移り住み主に放牧を営んでいる。

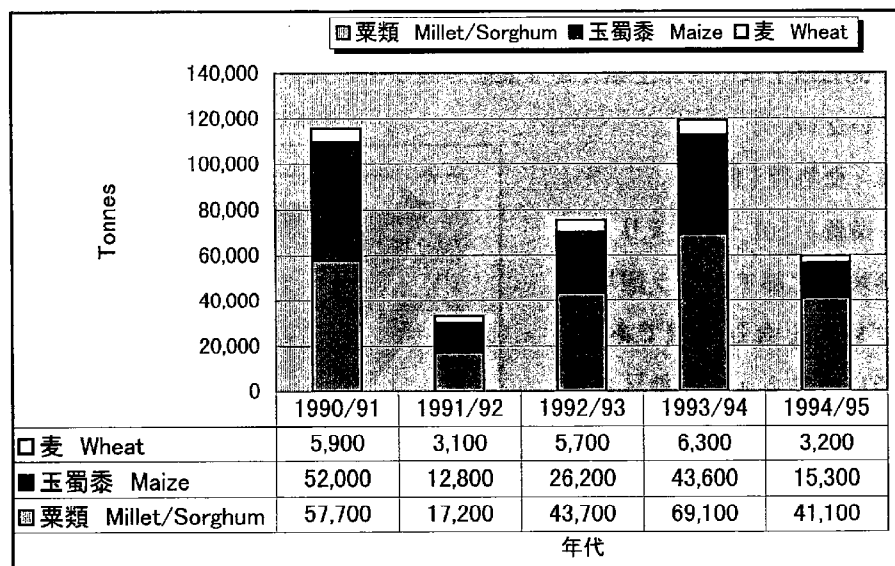
「ナ」国におけるもう一つの特徴は歴史的・社会的背景のもとに生まれた2形態の農業様式が存在する事である。

北部を中心とした農用地は共同自治区 (Communal Land) と呼ばれる農用地が多くこれらが3,350万ヘクタール (全農用地の48%) 存在しているが、ここには国の農業人口の95%が集中している。一方商業農家 (Commercial Farm) としては3,620万ヘクタールの農用地自由地籍取得証 (Freehold title deed) が6,337件存在し、これらが4,200戸の大規模農家により運営されている。実に1戸当たり平均面積は8,620ヘクタールである。

本調査対象地域は一部 Aminuis 地区を除いて大規模農家の多く存在する地域であり、現地調査の際にも大規模農家何件かを訪問したが当地域の平均面積は約6,000ヘクタールとのことであった。

2-5-2 農産物

「ナ」国における農作物としてはメイズ (玉蜀黍)、小麦、ひまわり、ヒエ及びソルガムといった作物があげられる。次に主な作物の1990/91～1994/95年、生産高を図に示す。



出典：First National Development Plan (NDP1) Volume 1

図 2-34 穀物生産量 1990/91～1994/95

図に示された3種類の作物はすべて主食であり自国で消費されると考えられ、農作物の輸出は数字上表れてこない。統計上の輸出農産物としてはほとんどが家畜とそれらの加工品といえる。

家畜としては、牛、羊が中心であり、これらの加工製品も輸出されている。最近ではダチョ

ウの飼育も増えており年々生産を増している。

次に年度別農産物輸出額を表にて示す。

表 2－9 年度別農産物輸出額 1990～94

(単位：100 万 N \$)

	1990	1991	1992	1993	1994
牛 Cattle(live)	102.9	106.0	110.2	140.3	211.3
羊 山羊 Small stock	96.5	100.5	146.8	128.5	181.1
羊毛 毛皮 Wool and pelts	16.8	16.7	12.4	7.6	10.0
その他 Other	27.1	32.0	39.0	55.7	85.3
食肉 加工品 Meat & meat products	175.0	272.0	292.8	294.0	380.0
農産物輸出計 Total agri. Exports	418.3	527.2	601.2	626.1	867.7
全輸出額 All exports of goods	2809.0	3350.6	3826.0	4214.0	4692.0
農産物の輸出割合 Agriculture as % of all	14.9	15.7	15.7	14.9	18.5

出典：CSO National Accounts(1995, unpublished)

表 2－10 年度別家畜頭数 1990～94

(単位：1,000 頭)

	1990	1991	1992	1993	1994
牛 Cattle	2086.6	2211.6	2206.4	2073.5	2036.0
羊 Sheep	3328.3	3295.4	2863.4	2651.8	2619.5
山羊 Goats	1859.7	1991.6	1750.2	1579.9	1639.2
ロバ Donkeys	172.7	166.0	76.7	49.4	169.8
馬 Horses	52.1	47.9	54.5	57.4	58.8
ダチョウ Ostriches	na	6.5	13.8	15.2	23.2

出典：Namibia Stock Census, Directorate of Veterinary Service, Windhoek

2－5－3 農業政策

「ナ」国においては 1990 年の独立以来、農業に対する確固たる政策が必ずしも明確にされておらず、経済の安定成長を優先的に考える必要があったことや、多くの分野の機構・規模の縮小も影響して農業への画期的変革はとられなかった。しかしこの間、急激な政策はとられなかったものの慎重で現実的な戦略が検討され、長い間植民地政策の下で放置されてきた多くの問題に対して、ようやく農業セクター内のポリシーギャップが緩和され、次なる段階へと進むにいたったところといえる。

基本的には農家収入の向上と安定を進め、人口増加率よりも高いレベルの農産物生産を達成する事にあり、以下の事柄が政策としてあげられている。

- ・食料の保証と食生活の改善を進める。
- ・持続可能な生活環境と地域雇用を創設する。
- ・農業収益を追求し投資家を募る。
- ・バランスの取れた労働賃金の改善を行う。
- ・差別廃止の拡大と農産物の価値向上に努める。
- ・農家及び農業従事者の生活向上を図る。
- ・国土と自然資源の持続的利用を普及させる。
- ・均衡の取れた地域開発に努める。

またこれら政策の達成と農業の繁栄のために、政府は農民及び関連組織の協力を要請すると共に、次の事を公約している。

問題解決のための相談と参加手法実施促進。

地域開発における地方組織参加の承認と奨励。

地域開発実現に向けた共存地区拡大化への熱意ある指導グループへの委任

農業開発における財務的技術的支援。

調査対象地域においても新たな政策にそった例がいくつか見られ、大規模農場を政府が買い受け政府農場として黒人に農業指導を行うなど、緩やかではあるものの変化が生じている。

また農業灌漑に関しては、生産価値の高いもので経済的にも見合ったものに限り奨励されるべきとの見解が一般化しており、メロン栽培を点滴灌漑で行ったり、北と南半球の季節差を利用したヨーロッパ向け果物栽培などが現地で認められた。しかしながら多くの農業灌漑は穀物や牧草にも利用されており、このことが水に対して適切な価格を設定していないからとの声にもつながっている。現在この点に関しては明確な規制もないところから、今後整備すべき事項のひとつと考えられている。

第3章 本格調査への提言

3-1 調査の基本方針

本格調査の目的は、以下のとおりとする。

- (1) カラハリ、アウオブ、ノソブの三層からなる帯水層のメカニズム、涵養機構及び相互作用の解明をする。
- (2) スタンプリート帯水層の地下水ポテンシャルの評価を中心とする地下水管理計画を策定する。
- (3) 本件調査を通じて、「ナ」国側C／Pに技術移転を行う。

現地踏査6日間を含む今回調査では、現地の水文地質調査の実施状況・井戸台帳整備状況・給水状況・水利用実態などを把握した。調査の基本方針と留意点として、以下の2点を確認した。

- (1) 本調査を実施するにあたり、その後の調査の基本となるため、既存井のデータ整備、データベース化は非常に重要であり、早急に整備を実施すること
- (2) 本件調査を実施するためには農家の協力が不可欠であり、「ナ」国側は事前に対象地域農家に広報を行い協力を仰ぐこと

また、本格調査の留意事項として以下の項目があげられる。

- ① 本件開発調査が農業・水資源・地方開発省にとって初めてのものであるため、予備調査団としても説明を行ったが、今後とも繰り返し説明を行う必要があること。特に、C／P機関が主体性を持つべきことを強調して伝えることが重要である。
- ② 農業・水資源・地方開発省以外の NAMWATER、地質研究所などの関係機関の参画も得ていくこと。

3-2 調査対象範囲

本調査の調査対象地域は、以下のとおり。

- ・ 水文地質調査、井戸台帳のデータベース整備、物理探査等の調査については「ナ」国南東部のカラハリ（スタンプリート）地域、約6万5,000平方キロメートルとする。詳細は別添S／Wの図参照。
- ・ 地下水モデル、シミュレーションについては上記対象地域の中から、一部を本格調査中に選定し実施する。

3-3 調査項目とその内容・範囲

(1) 調査項目

本調査において必要と考えられる調査項目は、次のとおりである。

[第1段階：資料収集・分析]

1) 既存資料の収集・レビュー・分析

：自然条件、社会・経済条件、衛星画像及び空中写真、地図類、既存井戸、組織・制度、環境、その他関連資料

2) 衛星画像解析及び空中写真解析

3) 現地踏査

：地形・地質・水文地質、既存井戸調査、水利用実態調査、予備的環境調査、その他関連調査

4) 物理探査

5) 水利用現況と水消費量予測

[第2段階：地下水調査]

1) 試掘調査（試掘、孔内検層、揚水試験）

2) 地下水位観測

3) 水質調査（主要イオン、溶存ガス、アイソトープ）

4) 井戸標高の測定

5) 気象・水文調査

[第3段階：地下水解析、地下水管理計画]

1) 水文地質解析

2) 水収支解析

3) 地下水モデルの構築

4) 地下水シミュレーション

5) 地下水賦存量の評価

6) 地下水管理計画の策定（地下水揚水管理、地下水モニタリング計画、組織・制度、環境管理計画）

(2) 調査内容

1. 国内準備作業

1) 関連資料の整理・検討

2) 調査業務内容の分析・把握及び詳細調査計画の立案

3) インセプションレポートの作成

1)と2)の結果をもとに、調査の基本方針、調査方法、作業計画等をインセプションレポートにとりまとめる。

4) 現地持ち込み資機材の調達及び発送準備

2. 第1次現地調査

1) インセプションレポートの「ナ」国側への提出及び説明・協議

インセプションレポートを「ナ」国側に説明・協議し、調査の基本方針及び調査方法について合意を得る。

2) 既存資料の収集・レビュー・分析

次に示す項目について、本調査に関連する資料を収集し、それらの検討・分析を行う。

a. 自然条件(気象・水文データ、地形・地質、水文地質、水質)

b. 社会・経済条件(人口、文化・習慣、社会グループ、経済統計、産業、畜産、灌漑農業、開発計画、社会インフラなど)

c. 衛星画像・空中写真

d. 地図(地形図、地質図、土地利用図など)

e. 既存井戸・既存給水施設

f. 組織・制度

g. 環境

h. その他関連資料

3) 衛星画像解析

ランドサットTM画像(写真製品、25万分の1、6シーン)を使用し、地形分類、水文流域(水系)区分、岩層の区分(色や明度による)、水文地質構造(リニアメント、褶曲構造)、植生などについて解析を行い、水文地質構造把握のための基礎資料とする。なお、雲量の少ない乾期の6～9月に観測されたものを使用する。

4) 空中写真判読

上記衛星画像解析において水理地質構造上重要と判断された地域の航空写真(5万分の1)を400枚程度入手し、地形分類、水系分布、湿地や窪地の分布、露頭分布、水理地質構造(リニアメント、褶曲構造)などを判読し、水文地質構造把握のための基礎資料とする。

5) 現地踏査

①地形・地質・水文地質踏査

既存の水文地質資料、地質図、衛星画像解析、空中写真判読の結果をもとに現地踏査を行う。なお、踏査においては、地形要素、湧泉、岩層、地質構造(断層、褶曲)、層

序、層厚、帯水層の特性（亀裂の発達状況、岩石の風化状況、岩石の粒度）などについて現地確認を行う。

②既存井戸調査

a. 農家訪問アンケート調査

井戸データベース作成するため、調査対象地域内にあるすべての農家（約1,500戸あると推定される）を訪問し、所有するすべての既存井戸（5,000本以上あると推定されている）に関するアンケート調査を実施する。アンケート項目には、調査結果を既存のDWAの地下水情報システムへ入力することを考慮して同システムへの登録項目に準ずることとするが、以下のものを含む。アンケート調査時に、現場確認できる井戸については、緯度・経度、地下水位、水質（電気伝導度）を測定する。なお、アンケート調査は現地再委託により実施する。

- ・農家名
- ・位置（可能な場合はGPSにより測定）
- ・設置年
- ・許可・登録の有無
- ・井戸構造
- ・設備（揚水ポンプ、水量メータなど）
- ・地下水位（静水位、動水位、可能な場合は現場測定）
- ・水質（可能な場合は電気伝導度を現場測定）
- ・水利用状況（用途別使用量、灌漑面積、家畜数、使用頻度など）

b. 既存井戸現地踏査

「2）既存資料の収集・レビュー・分析」において既存の井戸台帳、地下水データベース及び水文地質資料をもとに、取水している帯水層を特定しうる井戸をすべてリストアップする。これらの選定された井戸において現地踏査を実施し、各井戸の現況を把握する。なお、調査項目については、以下のものを含む。

- ・緯度・経度（GPSによる測定）
- ・井戸構造（口径、深度、口元高、観測孔の有無など）
- ・設備・施設（揚水ポンプ、水量計、貯水槽など）
- ・地下水位（現場測定）
- ・水質（電気伝導度、温度、pH、溶存酸素の現場測定）
- ・水利用状況（用途別使用量、灌漑面積、家畜数、使用頻度など）

③水利用実態調査

既存のNAMWATERによる水道事業資料、井戸台帳、関連資料をもとに、既存給水施設

の使用状況の現地調査を行う。また、既存井戸調査での農家の水利用状況調査結果とあわせて、水利用の実体を把握する。

④予備的環境調査

既存資料の収集・分析の結果、地下水開発に関する環境影響の可能性のある項目及び地域について、現地踏査を行いその現況を確認する。

6) 物理探査

水文地質構造の解明、及び試掘地点と深度の決定及び試掘の詳細な仕様書作成に資するために時間領域法電磁探査を行う。

探査手法：電磁探査（TEM法）

探査深度：500メートル程度

測定点数：200点程度

測点間隔：10キロメートル程度

また、物理探査の結果を解析し、比抵抗断面図にとりまとめる。

7) 第2次及び第3次現地調査計画の作成

①観測井の選定

「5) ②b 既存井戸現地踏査」を実施した取水している帯水層が明らかな既存井のうち、井戸構造的に水位観測可能なもの、揚水量が少なく静水位を測定できるものを選定し、地下水位観測及び水質調査用に300程度の観測井を選定する。選定にあたっては、3つの各帯水層の地下水盆全体にわたる地下水位・水質分布を把握できるよう、観測井の地域的分布を考慮する。

②地下水位観測計画の策定

a. 一斉観測

上記のすべての観測井（300本程度）における地下水位の一斉観測計画を策定する。地下水位が最も低い時期（1～2月、夏期・雨期）と地下水位が最も高い時期（7～8月、冬期・乾期）の計2回実施することとする。

b. 連続観測

上記の地下水位一斉観測井から20本程度の地下水位連続観測用の観測井を選定する。選定にあたっては、3つの帯水層の変動を観測できるよう考慮する。これらの観測井の内、圧力式デジタル自記水位計を設置可能な井戸をいくつか（10箇所を限度とする）選定する。自記水位計を設置しない観測井については、測定頻度を月1回とし、1年間以上観測を継続する。

なお、最初の観測はカウンターパートを指導して行い、2回目以降の観測はカウンターパートにより継続されるものとする。

③水質調査計画の策定

既存の水質データを整理し、地域別及び帯水層別の水質特性の把握、水理地質解析、地下水流動機構の解明に必要な水質調査を計画する。

現時点で、想定される水質調査内容は次のとおり。

a. 現場測定

地下水位一斉観測及び連続観測実施時に、水位とあわせて水質の現場測定を行う。
分析項目は次のとおり。

- ・電気伝導度
- ・pH
- ・水温
- ・溶存酸素

b. 主要イオン分析

「7)②a地下水位一斉観測」実施時に、上記のすべての観測井(300本程度)において、水質の室内分析用の資料を採水する。分析回数は1回とする。なお、主要イオンの室内分析は、現地の分析所に現地再委託して実施する。分析項目は次のとおり。

- ・ナトリウムイオン
- ・カリウムイオン
- ・カルシウムイオン
- ・マグネシウムイオン
- ・重炭酸イオン
- ・塩素イオン
- ・硫酸イオン
- ・硝酸イオン
- ・フッ素イオン
- ・二酸化炭素
- ・二酸化珪素

c. アイソトープ分析

地下水の涵養機構及び流動機構解明のため、地下水の同位体分析(^{18}O ／ ^{16}O 法、 ^{14}C 法)により、地下水の年代測定と帯水層の区分を行うものとする。分析対象井戸は、第3次現地作業での試掘井を含むこととし、各50試料程度とする。分析は、南アのC S I Rの国家物理研究分析所に再委託して行う。

d. 試掘井の水質分析

試掘井については、揚水試験時に採水を行い、これについて水質分析を行う。分

析項目は、上記「a. 現場測定」及び「b. 主要イオン分析」と同じとする。

③試掘調査計画の策定

既存資料の検討、衛星画像解析、航空写真判読、地形・地質・水文地質踏査、既存井調査、物理探査の結果にもとづき、3つの帯水層の水文地質構造と地下水ポテンシャルを把握するための試掘地点、試掘予定深度、井戸構造などを決定するとともに、試掘調査に付随する孔内検層と揚水試験の詳細な仕様についても検討する。なお、試掘井の本数の設定にあたっては、できるだけ既存井を観測井に利用するよう留意し、必要な本数を決定する。

④現地さく井業者への委託準備

立案された試掘調査計画をもとに、試掘、孔内検層、揚水試験の現地業者への発注仕様書を準備するとともに、業者選定のために必要な資料を収集しておく。

8) プログレスレポート(1)の作成・提出・説明協議

第1次現地調査の結果をプログレスレポート(1)に取りまとめて「ナ」国側に説明し、試掘地点及び試掘深度などの試掘調査計画、同位体分析を含む水質調査の分析項目・数量・試料採取地点、地下水位観測井の設定など、第2次及び3次現地調査の調査計画について「ナ」国側の合意を得る。

3. 第2次現地調査

1) 試掘調査

第1次現地調査で策定された試掘調査計画にもとづき、試掘、孔内検層、揚水試験を現地業者に委託して行う。現時点で想定される仕様は、以下のとおり。

①試掘

掘削本数：20本程度

掘削総延長：4,000メートル程度

掘削工法：泥水ロータリー方式

最小掘削口径：ビット径φ9-5/8”(カラハリ層、アウオブ層)

ビット径φ5-5/8”(ノソブ層)―図3-1参照

永久ケーシングパイプ仕様：口径φ6”程度、SGP(亜鉛引き鋼)製

スクリーンパイプ仕様：口径φ6”程度(カラハリ層、アウオブ層)、口径φ4”程度(ノソブ層)、SGP(亜鉛引き鋼)製、スリット型

②孔内検層

上記の試掘井について、帯水層の位置を把握し、開孔管(スクリーン)の設置位置を決定するために、孔内電気検層を行う。

検層項目：比抵抗、自然電位、自然ガンマ線

数 量：すべての試掘井、ただし、孔壁が不安定なものや、作業用ケーシングが
抜き取れない場合は、実施しなくて良い。

③揚水試験

上記試掘井について、帯水層の水理定数を把握するため、揚水試験として段階揚水
試験、連続揚水試験、回復試験を行う。なお、試掘井には別に観測井をもうけないた
め、単井揚水試験とする。

2) 地下水位観測

第1次現地調査で策定された地下水位観測計画にもとづき、地下水位の一斉観測と連
続観測を実施する。

a. 一斉観測(その1)

地下水位が最も低い1～2月の夏期(雨期)に1回、地下水位の一斉観測を行う。

b. 連続観測

第1次現地調査で選定された連続観測井において、月1回の連続観測を開始する。

3) 水質調査

第1次現地調査で策定された水質調査計画にもとづき、次の水質調査を実施する。

a. 現場測定

地下水位一斉観測及び連続観測実施時に、電気伝導度、pH、水温、溶存酸素の現場
測定を行う。

b. 主要イオン分析

地下水位一斉観測時にすべての観測井(300本程度)において、水質の室内分析用の資
料を採水し、現地の分析所にて地下水の主要イオンの分析を行う。なお、分析は現地
再委託にて実施する。

4) 井戸データベースの更新

既存井戸調査において収集した井戸データを、現在DWAにある既存のデータベース
(地下水情報システム)に入力・整理する。

5) 水利用現況及び水消費量予測

既存資料、既存井戸調査及び水利用実態調査結果をもとに、各用途別の水消費量の現況
を把握する。また、調査対象地域における人口動態、民族分布、宗教・習慣・文化、産業
動向(畜産と農業を含む)、地域産品、公共サービス(電力、通信、上下水道)、物価など
を把握し、水消費量の将来予測を行う。

6) 進捗状況報告書の作成

第2次現地調査の結果を進捗状況報告書に取りまとめJICAに提出する。

4. 第3次現地調査

1) 試掘調査

第2次現地調査で現地再委託した試掘調査を継続実施する。

2) 地下水位観測

第1次現地調査で策定された地下水位観測計画にもとづき、地下水位の一斉観測と連続観測を実施する。

a. 一斉観測(その2)

地下水位が最も高い7～8月の冬期(乾期)に1回、地下水位の一斉観測を行う。

b. 連続観測

第1次現地調査で選定された自記水位計が設置されていない連続観測井において、月1回の連続観測を継続実施する。

c. 自記水位計による地下水位連続観測

掘削したすべての試掘調査井(20本程度)と既存観測井(10本程度)に、圧力式デジタル自記水位計を設置し、連続的に地下水位の変動を記録する。本調査終了後も、スタンプリット地下水盆の地下水モニタリングシステムとして継続使用されるよう、データ回収・解析はカウンターパートを指導して行い、2回目以降の回収はカウンターパートにより継続されるものとする。なお、自記水位計の設置は、井戸掘削会社への現地再委託により行う。

3) 水質調査

第1次現地調査で策定された水質調査計画にもとづき、次の水質調査を実施する。

a. 現場測定

地下水位一斉観測及び連続観測実施時に、電気伝導度、pH、水温、溶存酸素の現場測定を行う。

b. 試掘井の水質分析

試掘井については、揚水試験時に採水を行い、これについて水質分析を行う。分析項目は、「現場測定」及び「主要イオン分析」と同じとする。

c. アイソトープ分析

地下水の涵養機構及び流動機構解明のため、地下水の同位体分析($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 法、 ^{14}C 法)により、地下水の年代測定と帯水層の区分を行うものとする。分析対象井戸は、第3次現地作業での試掘井を含むこととし、各50試料程度とする。分析は、南アのCSIRに再委託して行う。

4) 井戸標高の測定

すべての自記水位計設置井戸30本程度(試掘井20本を含む)とすべての地下水位一斉

観測井 300 本程度における井戸標高を測定する。測定は、測量用精密高度計（目盛り間隔 0.5）4 台を使用し、気圧変化による補正を行うものとする。

5) 気象・水文調査

水収支解析及び地下水シミュレーションのために、降雨量、蒸発散量及び河川流出量の観測データを収集・解析し、調査対象地域の気象・水文特性を把握する。

6) 水文地質予備解析

揚水試験の結果を解析し、帯水層の水理定数（比湧出量、透水係数、透水量係数、貯留係数）を求める。既存の揚水試験結果とあわせて、各帯水層の水文地質特性を把握する。

第 1 次現地調査で実施した既存資料の収集・分析、現地踏査、既存井戸調査、衛星画像解析及び航空写真判読、物理探査等の結果、第 2 次及び第 3 次現地調査で実施した試掘調査、水位観測、水質調査などの途中結果から、調査地域に分布する帯水層の構造と分布状況を把握する。

また、地下水位観測、水質分析などの途中結果をとりまとめ、地下水の涵養機構と流動機構を検討する。

これらの結果をもとに、水理地質図予察図及び同断面図を作成し、地下水モデル構築の基本資料とする。縮尺は 25 万～100 万とするが、地下水シミュレーションの対象地域と合わせて「ナ」国側との協議によって決めることとする。

7) 地下水モデルの構築（その 1）

上記の水文地質予備解析の結果をもとに、（米国地質調査所）作成の 3 次元地下水浸透流解析プログラム MODFLOW を使用し、地下水モデルを作成する。

なお、シミュレーションの対象地域は、上記水文地質予備解析をもとに、必要なデータ・資料の量、水位分布や水質分布に留意すべき地域、地下水開発が想定される地域などを考慮し、「ナ」国側の合意を得て決める。

また、技術移転をスムーズに行うために、カウンターパートと共同作業で実施する。

8) プロGRESSレポート（2）の作成及び説明・協議

第 3 次現地作業の結果を PROGRESS レポート（2）に取りまとめて「ナ」国側に説明する。

5. 第 1 次国内作業

1) 水文地質解析

水文地質予備解析の結果に第 3 次現地調査の最終結果を加え、調査地域に分布する各帯水層の特性、構造及び分布状況を把握する。

また、地下水位観測、アイソトープ分析を含む水質調査の結果をとりまとめ、地下水

の涵養機構と流動機構を検討する。

これらのの結果をもとに、水理地質図及び同断面図を作成し、地下水モデル構築の基本資料とする。

2) 水収支解析

上記水文地質解析の結果をもとに、概略の降雨地下浸透量(地下水涵養量)を推定する。これと「4. 5) 気象・水文調査」の結果から水収支を算定する。

3) 地下水モデルの構築(その2)

上記の水文地質解析の結果をもとに、第3次現地調査で作成した地下水モデルを修正する。また、同モデルの構築にあたっては、地下水位の観測値とシミュレーションによる値が近似されるよう地下水涵養量を逆解析し、水文地質解析で求めた涵養量と比較検討する。

6. 第2次国内作業

1) 地下水シミュレーション(予備)

地下水シミュレーション対象地域において、「3. 5) 水利用現況及び水消費量予測」をもとに将来の地下水開発により発生する広域的な地下水降下を、地下水浸透流解析により予測する。

また、広域的に塩分濃度の高い地下水を引き込む事が予想される場合には、密度依存型移流拡散モデルにより、その将来予測を行う。

2) 地下水賦存量の予備評価

上記地下水シミュレーションにより、各帯水層に対しどの程度の地下水位の低下や水質の変化が許容されるかについて検討し、適正開発可能量を算定することにより、地下水賦存量の予備評価を行う。

3) インテリムレポートの作成

第1次国内作業の結果をインテリムレポートに取りまとめる。

7. 第4次現地調査

1) インテリムレポートの説明・協議

インテリムレポートを「ナ」国側に説明・協議し、地下水シミュレーションと地下水賦存量の評価に関する基本方針について合意を得る。

2) 地下水シミュレーション

本調査で設置した圧力式デジタル自記水位計による各帯水層の地下水位長期観測結果により、地下水モデルを更新し、第3次国内作業において実施した地下水シミュレーショ

ンをカウンターパートとの共同作業により行う。

3) 地下水賦存量の評価

上記地下水シミュレーションにより、各帯水層に対しどの程度の地下水位の低下や水質の変化が許容されるかについて検討し、適正開発可能量を算定することにより、地下水賦存量の評価を行う。

4) 地下水管理計画の策定

①地下水揚水管理

上記の地下水シミュレーションにより、地下水位低下の激しい地域や塩分濃度の増加が予想される地域を特定し、適正揚水量を維持するための地下水揚水規制を検討する。

②モニタリング計画

本調査において設置した自記水位計を利用した水位観測と水質の定期観測の実施などによる、地下水位と水質の変化のモニタリング計画を策定する。また、地下水揚水量を把握するためのモニタリング計画を策定する。

③組織・制度

上記の地下水モニタリングと揚水規制を適正かつ効率的に実施するために必要となる、関連する組織と法制度を検討する。また、そのための人材育成について検討する。

④環境管理

地下水開発が環境に与える影響に関し、管理する方策を検討する。

8. 第3次国内作業

1) ドラフトファイナルレポートの作成

地下水管理計画の結果含めた調査結果のすべてを取りまとめたドラフトファイナルレポートを作成する。

9. 第5次現地調査

1) ドラフトファイナルレポートの説明・協議

ドラフトファイナルレポートを「ナ」国側に説明・協議する。

10. 第4次国内作業

1) ファイナルレポートの作成

「ナ」国側からのドラフトファイナルレポートに対するコメントを検討の上、必要に応じて修正し、ファイナルレポートを印刷・製本する。

(3) 試掘井構造と掘削方法

本地域には、カラハリ帯水層、アウオブ砂岩帯水層及びノソブ砂岩帯水層の3つの帯水層が広く分布している。同一地点において独立した各帯水層の水文地質情報を得る必要があるために、基本的には各サイトで3本の試掘を行うことになる。また、最上部の帯水層であるカラハリ層の大部分が未固結な砂礫層であり孔壁崩壊対策の必要があること、中間の帯水層であるアウオブ砂岩層が自噴している地域では掘削時に自噴を押さえる必要があること、各帯水層が連絡しないようにシーリングを行う必要があるなどの理由から、井戸構造と掘削方法は、以下に述べるように各帯水層ごとに異なる。各帯水層別の観測井基本構造概念図を図3-1に示す。なお、この図では、口元部保護用の構造を書いていないが、口元部が崩壊する場合には、仮の口元ケーシングを設置することになる。それぞれの帯水層に対する試掘井掘削方法は、次のとおりである。

a. カラハリ帯水層

この層の掘削は、自噴の可能性があるアウオブ層に到達する前に止めることが重要である。具体的には、カラハリ層の砂礫層が頁岩層に到達した時点で掘止めとする。孔壁の崩壊を防止するために泥水ロータリー掘りにて $9\frac{5}{8}$ インチのビットで掘削する。泥水で孔壁の崩壊を押さえられる場合には作業用ケーシングを用いない。掘削終了後、速やかに6インチのスクリーンとケーシングを挿入する。スクリーン周りにはグラベルパッキングを行う。

b. アウオブ帯水層

第1帯水層であるカラハリ層部の掘削は、泥水で孔壁を押さえながら $13\frac{3}{4}$ インチのビットで掘削する。第1不透水層である頁岩層中で1度掘り止め、10インチのケーシングを挿入し、孔壁とケーシング間のフルセメンティングを行う。これ以前にもし自噴層に突入した場合は、直ぐに掘削を停止し、セメンティングにより自噴を止め、同様に、10インチケーシングを設置し、フルセメンティングを行う。

次に掘削径を $9\frac{5}{8}$ インチに落とし頁岩層の残り第2帯水層であるアウオブ砂岩層を掘削する。自噴が発生する場合は、自噴させながら泥水を使わないで掘削する。自噴した場合でも、孔壁の崩壊が起きた場合や自噴量が少なくスライムが除去されない場合には、泥水比重をコントロールしながら自噴を押さえて掘削する。第2不透水層である頁岩層に到達すれば、掘り止めとする。

掘削終了後、速やかに6インチのスクリーンとケーシングを挿入する。アウオブ帯水層とカラハリ帯水層間をシーリングするために、ケーシング周りはフルセメンティングを行う。可能であれば、スクリーン周りにはグラベルパッキングを行う。

c. ノソブ帯水層

第1帯水層であるカラハリ層部の掘削を、同様に、泥水で孔壁を押さえながら13³/₄インチのビットで掘削する。第1不透水層である頁岩層中で1度掘り止め、10インチのケーシングを挿入し、孔壁とケーシング間のフルセメンティングを行う。

次に掘削径を9⁵/₈インチに落とし第2帯水層であるアウオブ層部を掘削する。アウオブ層の掘削は、自噴井である可能性があるため、自噴を止めながら掘削する必要がある。自噴が発生する場合は、泥水比重をコントロールしながら自噴を押さえつけて掘削する。第2不透水層である頁岩層に到達後、掘り止めとする。アウオブ層を遮水する必要があるが、1回でアウオブ層のセメンティングを実施しようとする、自噴層から地表面にセメントが逃げってしまう。そこで、ある程度泥水比重コントロールによるバランス掘削で掘削した後、セメンティングを実施しセメントの壁を作る。その後、その下部を掘削する方法を何回か繰り返し、自噴層を掘りぬく。その後、第2不透水層である頁岩層中で第2段目の6インチのケーシングを挿入し、フルホールセメンティングを行い、孔口までセメントを充填する。

更に、掘削径を8⁵/₈インチに落とし頁岩層の残りと第3帯水層であるノソブ砂岩層を掘削する。ノソブ層においては自噴が発生する可能性が低いので泥水ロータリー方式により掘削する。自噴する場合には、自噴させながら泥水を使わないで掘削する。自噴した場合でも、孔壁の崩壊が起きた場合や自噴量が少なくスライムが除去されない場合には、泥水比重をコントロールしながら自噴を押さえつけて掘削する。ノソブ層下部の頁岩～漂礫岩層に到達すれば、掘り止めとする。掘削終了後、4インチスクリーンと3段目のインチケーシングを挿入する。なお、スクリーンと孔壁の隙間があまりとれないうえ、孔径に段差があるため、スクリーン周りのグラベルパッキングは行わない。

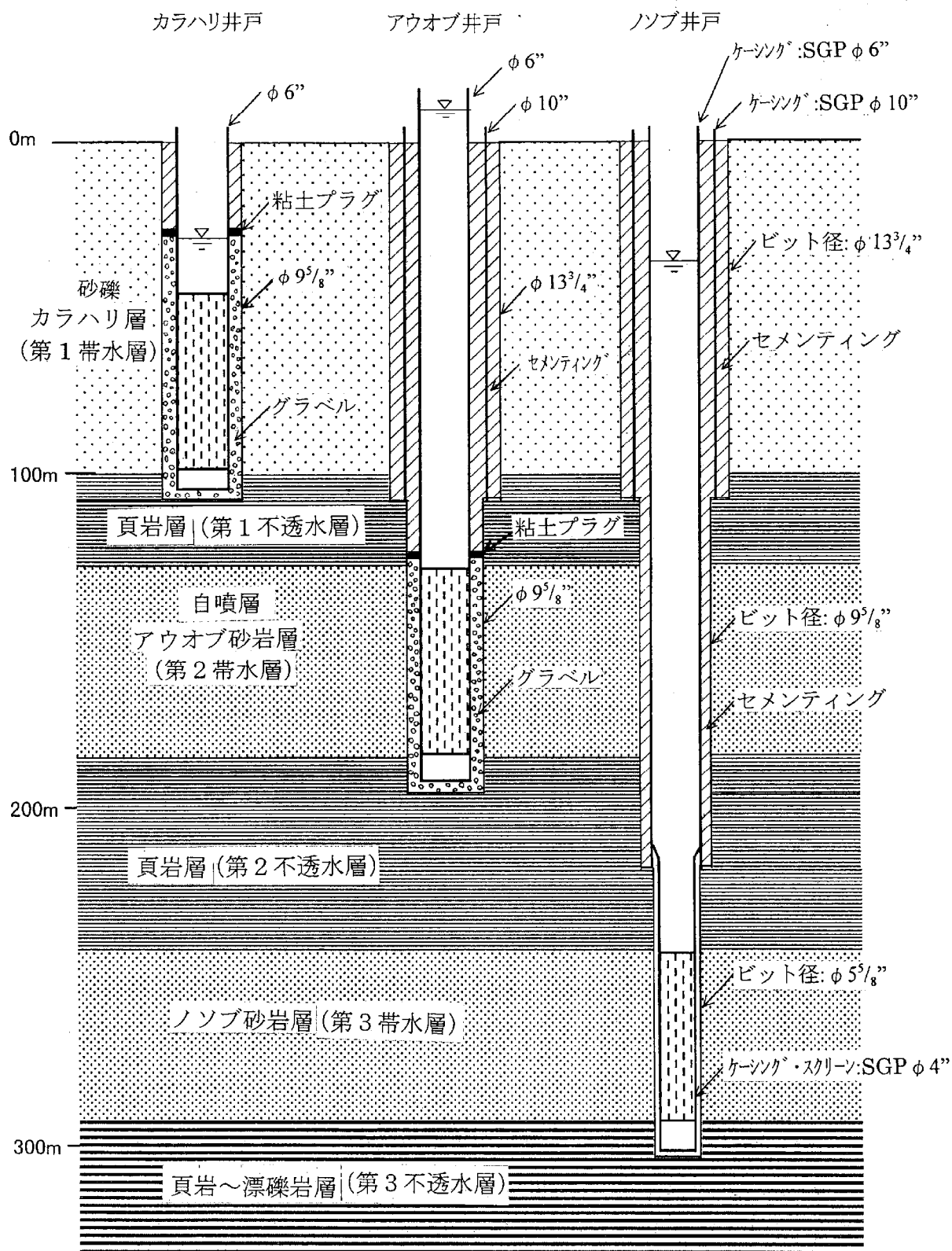


図3-1 各帯水層別の観測井基本構造概念図

3-4 調査工程及び主要要員

(1) 調査工程

本調査の調査工程を表3-1に示す。

表3-1 「ナ」国スタンプリット地下水開発・管理計画調査＜本格調査工程案＞

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
現地作業																															
国内作業																															
ポート提出	▲					▲												▲								▲				▲	
	IC/R				P/R(1)												P/R(2)								IT/R		DF/R		F/R		

(2) 主要要員

本調査に必要な要員は、以下のとおりである。

1. 総括／地下水管理計画
2. 水文地質
3. 地形・地質／リモートセンシング
4. 水文／水収支
5. 水質／環境
6. 物理探査
7. さく井指導
8. 地下水シミュレーション
9. 社会・経済

なお、試掘調査は工期を短縮するため掘削部隊を2班編成して実施する必要がある。各試掘地点には3つの帯水層が分布するが、各帯水層に独立した観測井を掘削しなければならない。このため、水文地質技師が、掘削現場にてカッティング地質サンプルを常時鑑定しながら詳細な地質柱状図を作成し、各試掘井の掘り止め位置と井戸仕上げ構造を指示する必要がある。しかし、離れた2箇所ですべて同時に試掘が行われるために、これに上記の調査団員だけでは対応できない。したがって、本調査対象地域で経験のある現地の水文地質技師1名を水文地質補助員として現地雇用し、水文地質団員の指導のもと、2つの試掘調査班のうち一方を同補助員に担当させる必要がある。また、第1次現地調査での既存井戸現地踏査においては、約500の既存井を現地踏査しなければならないが、正確な位置情報がほとんどないため、調査団員だけでは調査期間内に終わらすことができない。そこで、同補助員には、既存井戸現

地踏査の補助も行なわせる。

水質調査においては、約 300 箇所以上の井戸において、水質の現場測定と室内分析用の試料採水を行わなければならない。また、アイソトープ分析用試料の採水にあたっては、特殊な手法で 1 試料約 60 リットルと多量に採水しなければならない。これらを、水質／環境団員だけでは実施できないため、水質調査補助員 2 名程度を現地雇用し、これらにあたらせる必要がある。

3-5 調査用資機材

本格調査に必要な調査用資機材とその調達先や使用目的を表 3-2 と表 3-3 に示す。表 3-2 には購入の必要性があるものを、表 3-3 には損料による携行機材を示した。

なお、表 3-4 に現地再委託業務をとりまとめたように、農家訪問アンケート調査、水質分析（主要イオン分析とアイソトープ分析）、物理探査、試掘調査は現地業者への再委託により実施する。これら現地再委託に関する資機材の調達は、物理探査用機材や試掘調査用資機材等を含むすべての資機材について現地または南アフリカ国からの調達が可能であり、日本から調達・輸送するより安価と判断されるため、基本的に再委託契約の中に含むものとする。

表 3 - 2 調査用機材

機材名	数量	仕 様	調達先	調達時期	用 途
電気伝導度計	3	携帯用、東亜電波CM-14P相当	日本	第1次現地調査	既存井戸調査と水質調査用
DOメーター (溶存酸素計)	3	携帯用、セントラル科学UC-101相当	日本	第1次現地調査	既存井戸調査と水質調査用
pH計	3	携帯用、東亜電波HM-12P相当	日本	第1次現地調査	既存井戸調査と水質調査用
採水器	3	テフロン製、1000ml程度、 S-Lon50mロープ	日本	第1次現地調査	既存井戸調査と水質調査用
GPS	5	Magellan Model : 315相当	日本	第1次現地調査	既存井戸調査と水質調査用及びその他現地踏査用
水位検知器 (100m)	3	ロープ式水位計、電子音またはランプ点灯、ALFA TYPE1相当	日本	第1次現地調査	既存井戸調査と水位観測用
水位検知器 (150m)	2	ロープ式水位計、電子音またはランプ点灯、ALFA TYPE1相当	日本	第1次現地調査	既存井戸調査と水位観測用
圧力式デジタル自記水位計	30	OYO INTELLIGENT S&DL 相当、水位変動測定範囲とケーブル長については第1次現地調査によって決定	日本	第3次現地調査	観測井用
同上用ハンディターミナル	2	OYO Hady Viewer Model4500相当	日本	第3次現地調査	観測井用、デジタル水位計の設定・データ収集
パソコン (デスクトップ)	1	CPU : PentiumII300MHz、HDD : 3.2GB、メモリ : 64MB以上、Windows	現地	第1次現地調査	地下水シミュレーション、既存井調査用
パソコン (ノートブック)	1	CPU : PentiumII233MHz、HDD : 2.1GB、メモリ : 32MB以上	現地	第1次現地調査	デジタル式水位計、水位・水質調査用
プリンター	1	A3、カラー	現地	第1次現地調査	地下水シミュレーション、既存井調査用
アプリケーションソフト	1	MS Office 97 (Word, Excel, Power point)	現地	第1次現地調査	地下水シミュレーション、既存井調査用
地下水シミュレーションソフト	1	3次元地下水浸透流解析プログラム、カナダWaterloo hydrogeologic社 Visual MODFLOW for Windows95相当	日本 (代理店)	第3次現地調査	地下水シミュレーション用
3次元地形図・等高線作成プログラム	1	カナダWaterloo hydrogeologic社 Surfer for Windows相当	日本 (代理店)	第3次現地調査	地下水シミュレーション用
コピーマシン	1	A3、白黒	現地	第1次現地調査	現地事務所用
FAX	1	電話/FAX兼用型	現地	第1次現地調査	現地事務所用
空中写真	400	5万分の1モノクロ	現地	第1次現地調査	空中写真判読
衛星画像25万分の1	6	ランドサットTM画像、フルシーン、25万分の1、写真製品(フィルムとカラープリント)	日本 (代理店)	第1次現地調査	衛星画像解析
車両	車両運行表を作成し決定	ウイントフック市内：セダン車、調査対象地域内：4WDピックアップ車、(購入とレンタカー借上げを費用により比較する)	現地	現地調査期間	すべての現地調査

表 3－3 その他携行機材(損料扱い)

機材名	数量	仕様	用途
実体鏡	1	反射式	空中写真判読
測量用高度計	4	目盛り幅 0.5m	井戸標高測定
パソコン	2	ノートブック型	データ整理、レポート作成
プリンター	1	携帯型	データ整理、レポート作成
トランシーバ	4		物理探査、サイト間通信

表 3－4 現地再委託リスト

項 目	内 容	備 考
物理探査	電磁気探査 200 点、探査・解析深度 500m、 測点間隔 10km 程度	現地業者(南アを含める)
井戸掘削	井戸掘削、検層、揚水試験試掘井 20 本、 総掘削延長 4,000m、自記水位計の設置 30 箇所	現地業者(南アを含める)
水質分析	主要イオン 11 種 330 試料	NAMWATER
アイソトープ分析	¹⁴ C、 ¹⁸ O / ¹⁶ O 各 50 試料	南ア C S I R
農家訪問アンケート調査	すべての農家約 1,500 戸、既存井戸約 5,000 本	現地コンサルタント

3－6 調査実施上の留意点

3－6－1 開始に際して

(1) 「ナ」国における我が国の政府開発援助は「ナ」国の独立以来実施され、94 年月には無償資金協力及び技術協力に関する経済協力調査団が派遣されるなど、両国の関係は深まりつつある。地下水開発分野においてはこれまでに掘削機械(リグ)の供与も実施されている。しかしながらそのほかの多くは食糧援助などの無償資金協力であり、これまでの開発調査としては「オタヴィ・マウンテンランド地域資源開発協力基礎調査」と「全国電力開発計画」の 2 案件のみである。このような背景から、水資源局においては日本の開発調査を経験する人がおらず、日本の援助スキームを正しく理解している人も非常に少ない。今回の事前調査においても、限られた時間内ではあるが日本の開発援助システムについて説明してきたが、今後も水資源局担当者、あるいはカウンターパートの側からプロジェクト実施に際しての疑問・不明点なども出てくると予想される。プロジェクトの実施に際しては協力システムの正確な伝達とともに、誤解のないプログラムの理解と持続可能な協力活動を前提として対応するよう心がける必要がある。

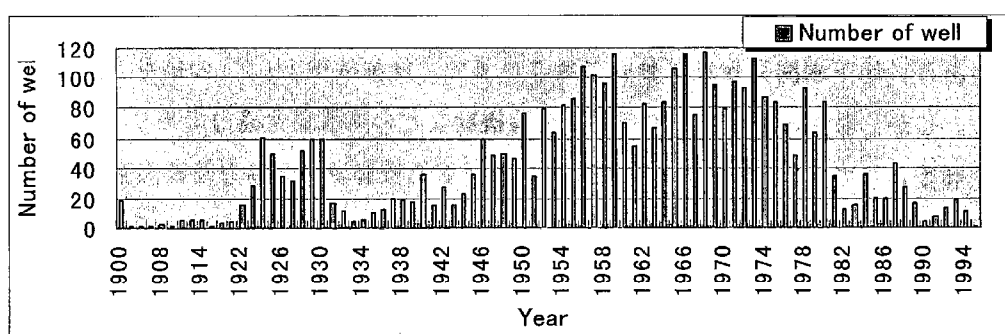
- (2) 本調査は地下水管理計画策定を目的として、カラハリ、アウオブ、ノソプの三層からなる帯水層のメカニズムを解明するものであることから、目的にそったアウトプットを常に念頭に置くことが重要である。一定のアウトプットを想定したうえで、調査の精度についても十分に検討する必要がある。調査の精度と程度を明確なコンセプトで示し、研究のための調査とならぬよう留意する必要がある。

3-6-2 既存資料

- (1) これまでに水資源局や南アの調査機関により実施された調査は確かに局所的、散発的なもので全体のメカニズムを解明しているとはいえず、それゆえに「ナ」国政府としては農民の納得が得られ、政府が将来の水資源管理を策定するに足る、当地域帯水層メカニズムの把握を必要としているが、これらの既存資料から得る事のできる情報と調査の際に使われた既存井戸を利用する事により、既存資料の検証による調査精度の向上及び調査の効率を高める事が可能となる事から、既存資料を十分に把握したうえでこれらを考慮した調査計画を策定する必要がある。

3-6-3 既存井調査

- (1) 1900年代から作られた井戸は水資源局がデータベース化して保有しており、調査対象地域の中心となる Hardap 地域には 3,810 の既存井戸が記録されている。調査対象全域では Hardap 地域以外の既存井戸を含めて 5,000 本以上存在するともいわれている。調査を行うにあたっては、このような既に存在する資料の有効活用と、将来の管理計画策定の点からも既存生産井の状態や利用状況を明確にする事が重要である。次に Hardap 地域の掘削年度別井戸の本数をグラフにて示す。



出典：水資源局データベース資料をベースに作成

図 3-5 Hardap 地域の掘削年度別井戸本数

上図によれば調査対象地域では 1920 年代から井戸の整備が盛んとなり、1950 年代後半か

ら 1970 年代にかけてそのピークをむかえていることが判る。

これらの井戸の多くは南アの業者により掘られたものと考えられ、地層及び井戸の詳細な構造(スクリーンの位置)が記録されているものは少ないと予想されるが、水資源局との協力により最大の利用に心がける必要がある。

- (2) 一方、既存井調査(Hydrocensus)の成否は地下水の利用状況を把握する意味からもきわめて重要なことである。実施方法についてはカウンターパートである水資源局や再委託のローカルコンサルタントにまかせるだけでなく、調査団が監督しつつ調査目的に合致し、効果的かつ誤差の少ない調査手法にて行う必要がある。
- (3) 既存井調査の際には農家などの私有地へ立ち入ることになる。“Water Act”32条によれば、地下水に係る調査の際には総局長(Director General)からの委任書面をもって、その作業員と機材の立ち入りは認められるとなっているものの、立ち入りの際にはトラブルを発生しないよう配慮する必要がある。また立ち入りの段取り、手順は調査の進捗に大きく影響する事から、水資源局を通じて農家組合など地元に影響のある団体などの協力を得るのが好ましい。また各農家自身における将来のための調査であることを理解してもらえよう十分な周知も必要である事から、水資源局との綿密な調整が必要である。尚調査対象地域の農場はほぼ全域に鉄線フェンスが張り巡らされているが、電流の流れている場合もあることから注意が必要である。

3-6-4 物理探査

- (1) 本調査の特徴でもあるカラハリ、アウオブ、ノソブ三層の帯水層を物理的諸量により解明するとともに観測井掘削前の情報を得る点からも探査への期待は大きいものがあり、事前調査の際にもこの点が重要視され、現地に適した探査法とその実績を検証することに注力された。しかしながら特定の探査法による効果的なアウトプットを検証するまでにはいたらなかった。探査法の選択については現地の条件を十分に把握したうえで調査目的に対し効果的であるとともに調査の妥当性と効率性を考慮したものでなければならない。

3-6-5 観測井

- (1) 観測井の予定位置は地形的なアクセス条件のみならず、ステージ1の既存資料、物理探査などの結果を踏まえた効果的位置に設定することが肝要である。

- (2) ステージ1における既存井戸調査の際には観測井として使えるか否かの観点からも観察のうえ、井戸構造資料の有無、揚水試験、水位観測の可能性についてもチェックし既存井戸の最大利用に努める必要がある。今回の事前調査によればカラハリ及びアウオブの2層については比較的資料が集まるとの印象を得た。
- (3) 新設観測井の掘削は再委託により地元もしくは南アの業者が実施することになると考えられるが、業者の選定に際しては対象地域の実施経験と自噴井戸におけるシーリング／セメンテーションの経験を重視する必要がある。
- (4) 各帯水層ごとの独立した特性を把握するためにも他層からの漏水が生じないよう細心の注意を配る必要がある。あらかじめいくつかの案を計画のうえ水資源局、実施業者との協議のうえで掘削を開始するものとし、再委託業者に一任することは避けるべきである。また掘削位置の決定はもとより掘削時には調査団のボーリング計画担当者が監督する必要がある。
- (5) 「ナ」国内における井戸掘削業者の多くは家内業的規模であることから、現地業者の規模と能力を十分に把握したボーリング計画を作成する必要がある。南ア業者の可能性も考慮のうえ、適切な業者の選択により、目的にそった観測井の質を高めるとともに無理のない実施計画を策定する必要がある。

3-6-6 資機材・計器

- (1) 水位観測などのモニターは水資源局と協力のもとで実施するケースが考えられ、また新設の観測井には自記水位計を設置される予定であるが、これらの資機材・計器を選定する際には現地での使い易さとメンテナンスを考慮するのはもちろんのこと、観測実施者の技術レベルに合った資機材を設置するよう留意する必要がある。

3-6-7 政策動向

- (1) 基礎的調査とはいえ、同国の水資源政策、農業政策、土地制度改革の動向には十分留意する必要がある。

具体的な例としては現在のデータベース化されている地下水情報システムは、今年(99年)1月末に新システム構築へ向けての国際入札がNAMWATERの主導のより行われることになっており、今後の進捗状況などに留意する必要がある。また本システムは2000年初めには利用できるとのスケジュールになっていることから、これらを配慮した作業工程

を立てる必要がある。

また技術の移転についても今後の水資源局の組織編成を見通した協力が必要である。

3-6-8 社会配慮

- (1) 水資源管理マネジメント計画策定においては十分な社会条件を把握したうえで行う必要がある。
- (2) 急激な土地政策、農業政策の今後実行される可能性は低いと考えられるが、この事は水資源管理計画などを策定する際に、具体的な提言を行うための規則、見通しなどが明確でなく、これらの政策により水資源管理計画が大きく左右されることも予想される。このため管理計画策定にあたっては、コンセプトを明確にする必要がある。またこの際には社会配慮に留意する必要がある。

3-6-9 環境

- (1) カラハリ砂漠特有のパン(Pan)と呼ばれる湿地帯があるところから、これらの生態系に配慮した調査、計画策定なども当地域の現状把握のためには重要な調査と考えられる。しかしながら本格調査の際の環境調査実施に際しては、その目的とコンセプトを明確にしたうえで、むやみにスコープを広げることなく、本来の調査目的を念頭に置いた環境調査を心がける必要がある。

