

## 2-4 技術移転の現状と作業実施上の問題点

昭和54年度

本格調査第1年度(昭和54年度)におけるカウンターパートの参加は、終了間近のG-3孔での1名であり、見学程度に止まった。

掘さく：

G-1孔掘さくにトリコンビット(軟岩用)を使用した。カッタングスがビットに張り付きその効果が出なかったため掘進長57.00mでドラッグビットに切替えた。G-2、G-3孔ではドラッグビットを使用した。ガオ市を中心とした地域では40~50m位まではドラッグビットが掘進速度も早く有効である。

掘さく中にカッタングスが団子状となって孔径一杯になって押し上がってくるが、今後はガイドロッドの使用や、濃い泥水を一時的に送入して一気にカッタングスを排出するなどの試みが必要と思われる。

検層及びストレーナ挿入：

孔内検層については孔壁の張り出しや、残留カッタングスのために孔底までセンサーが降下しないことも起ったので、孔内の洗滌は勿論であるが、センサー先端部を重くするなどの対策が必要である。

ストレーナの挿入は単一帯水層からの採水の場合は問題ないが、複数層からの多層採水については位置、設置数、特にグラベルスクリーンを使用する場合には外周砂利入れに十分に留意する必要がある。

揚水試験：

G-2孔では、水中ポンプ位置を最初25.6mにし、その後41.6mまで下げ、それぞれの揚水でストレーナ位置とポンプ位置の違いによる影響が現われないか試みたが、温度(31℃)、導電率(120 $\mu$ S/cm)、揚水量ともに変化は認められなかった。連続定量揚水テストでは揚水量を80l/minにして、15時間の測定を行なったが、その水位降下は約0.8mであり、また段階揚水試験でもその量で水位はほぼ安定を示した。

G-3孔のポンプ位置は、種々問題が起って3回位置を変えてみたが、適当な水量が把握出来なかった。その時の記録から判断して80~90l/minの連続定量揚水を行なったが、これも安定した水位と水量は得られなかった。止むを得ず、バルブを全開にしてポンプ位置まで水位を降し、そこで揚水を停止して回復試験を行なった。

測定のゾンデを降下させるために用いているポリエチレンパイプの改良と、着水測定値を

はっきりと読みとれるテスター用のものゝ応用が必要である。

#### 回復試験：

揚水を停止した12時04分に水位は49.417mであり、10分後の12時14分には静水位(8.362m)に近い9.094mまで回復している。重要な帯水層を上部の一層にあるとして単純に管内容積から試算すると、この回復長は $49.419 - 9.094 = 40.323$  mであり $0.0713 \text{ m}^3/\text{min}$  (70l/min)となる。

#### 昭和55年度

前年度に参加したNouman Diakiteと若干おくれて派遣されたMamadou Porogoの2名が、カウンターパートとして本プロジェクトに参加した。

実操作、観察、討議および講義等によって基本的な技術につき全コースを通じてガイダンスを行なった。2交代制も交えて作業を実施したが、未だ基礎的段階の技術修得であって、対象岩質の変化に応じた臨機の対処をはじめ、全体的な管理技術、あるいは機材の保全、部品補給等については次年度の指導計画に予定した。

本年度実施した主な事項をあげると次のとおりである。

#### 作業・操作・手法について：

- 機械・材料配置パターン
- 機械・器具の操作
- リグの据付、マストの起倒
- リグの運転操作(始動、給圧、掘さく、バランス掘進、ゲージの見方等)
- 泥水操作
- 部品交換(送水ポンプ部品、コントロールバルブ等)
- 付帯作業(ガス溶接・溶断、メタルの植込み、電気溶接等)
- ケーシングパイプ・ストレーナ挿入
- 揚水試験

#### 判断業務、作業管理について：

- 岩質や掘進状況に応じた適切なビットの選定
- 2交代制勤務
- カッピングスの除去方法
- ストレーナの位置決定方法
- 崩壊し易い砂層での洗滌方法とフィルター砂利の充填

アンソング市一区（G-3孔付近）のように、地表面からすぐに硬質な地層に入る地点での掘さくには沈澱槽、泥水槽を掘るのが難かしいので代りに水槽を用い循環用ポンプを使用する個所もあると考えなければならない。

A-2孔ではドラッグビットにメタルを植えて使用したが、地層の似ているA-1孔に較べて掘さく長が大巾にのびて大変に効果があった。

A-3孔では74.70mから孔径を8 $\frac{1}{2}$ "に下げて、ボタンビットで掘さくしたが、掘進時間は90.7mまで平均45分/mであり、所によってはm当り2時間近い個所もあった。アンソングの基盤露出個所の掘さくにはエアーハンマーの使用が必要である。

交代番制：

A-1孔で4日、A-2孔で6日、A-3孔で5日と掘さく作業の時だけ交代番制を採用した。7:30~20:30の間を2方（かた）で掘進したもので、工程日数を短縮する目的もあったが、二人のカウンターパートへの技術移転の面から、各自の主導で2~3人の作業員を率いて作業を行わせたものである。

前年度にも問題となったがガオ市の第四紀層の掘さくでは、泥土が孔中に残留して検層ソングが孔底まで降らないケースがあるが、その解決には掘さく時にビットスタビライザーを使用することと掘さく終了後にトリコンビットで再度孔底まで下すのも一つの良い方法であることを確認した。

昭和56年度

当年度で調査は終了し、技術移転は実質的に2年目であるので、ボーリングの実技に関する基本的な範囲の技術移転を完了し、カウンターパートによる自主的、自立的実施を可能ならしめることを目標とした。能率の向上、機械管理の充実、特別状況に対する臨機応用能力等についてはあとまわしにした。上記の観点から、日本人専門家は助言を主として、直接的な作業への指揮に止め、カウンターパートの指示、命令により作業は進行した。

基地および生活物資調達場所のあるガオ市から各々約40kmはなれているジェボック（D-1孔）地区とハマクラジ（Ha-1孔）地区で、初めてのキャンプ設営を伴うさく井作業を行なったが、設営とボーリングとも円滑に進行し彼等が相当の実力を獲得していることを示していた。機械の操作、作業員の指揮、記録および書類の作成と、その他にガス溶接と溶断、電気溶接等の集作業も含めた全範囲に亘って実績をあげることができた。

全調査期間を通じて、16孔井を仕上げ、地質・岩質的には、第四紀および第三紀の地層を対象とし、ニジェール川沿岸、内陸部とアンソング地域との3様の異質地域の経験を積み

重ねたことにより本プロジェクトの技術移転の目標は略々達成されたものと言える。

本年度、特に注意して行った技術、作業は次のとおりである。

- ガス溶接・溶断・電接技術の向上と安全教育
- 掘進状況に応じた適切なビット選択
- エヤーリフトによる孔内洗滌
  - 所要エヤー量
  - 浸水率と揚水量
  - リフトパイプ径と揚水量
- 図面と照合しながらの部品交換
- ワイヤー編みの技法
- リグの機構
- 砂利充填容積計算
- ロッド内の水流速に関連する手法
- 三角ノッチ取扱法
- 充填砂利の適切粒径の算出（粒径加積曲線使用の技法）
- 揚水試験方法
- 孔井内水止めバッカー使用法
- ボーリング作業日報の記録
- 在庫管理方法

## 2-5 今後の展望

一応の自主的さく井ボーリング能力を修得し、日本人不在でも実施することが出来るが、今後については実技では、本調査期間中はその使用機会がなかったエア－ハンマー掘さく方法の修得と、切断などにより孔中に残留したパイプ等の回収など事故回復作業の経験修得がある。技術要員の追加養成も引続き行なうことが重要項目である。というのは、交代制勤務によって工事量の増加を狙うことと、無償資金協力によるさく井機材1系列(リグ1台と必要付帯車輛、機材)の増加に対応せねばならないからである。かくして無償資金協力期間中にはこれらの人員の養成と、応用面での技術、技能を確実に獲得することがマリ国側の当面の目標となろう。

今後のマリ国側自主的開発実施にあたっての組織の運営および職務分担については、少くも当面の間、言い換えれば第7経済区水利局体制の育成期間中は次のような考慮が必要だと思われる。

- (1) ガオ地域の実際の体制・技術能力に応じた現実的な目標・計画をつくり、開発実施が継続され、確実に自主体制として定着できることを主眼とする。
- (2) カウンターパートばかりではなく、作業員全般についても、技能的なレベル向上を図り、さく井ボーリング作業範囲全体の幅広い技能を習熟させるようにする。1人や2人が欠勤しても作業が円滑に進行するようにすることである。
- (3) カウンターパートの職務分担については、掘さくやキャンプ設営、揚水テスト等について同じチームメンバーが一括して分担し、各作業の相関性を生かしてゆくことが望ましい。すなわち、ボーリングチームと揚水試験チームを別系列のメンバーにすると、状況把握や認識の疎漏、連絡の不備等によって確実性を欠き、能率の良い成果は得難いことが多いからである。



表Ⅲ・2・3 さく井作業資材原単位表

井名	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	A-1	A-2	A-3	G-6	G-7	G-8	G-9	G-10	B-1	D-1	Hs-1	備考
実測年	54	54	54	55	55	55	55	55	56	56	56	56	56	56	56	56	
掘さく径(m)	1050	800	1505	600	602	1240	1240	907	406	453	445	400	403	400	1215	1200	1284
ワイヤロケット	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	
トリオンロケット	11%			11%	11%	11%	11%	11%							11%	11%	
ドラッグロケット	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	
ボランロケット																	
用水使用量(m <sup>3</sup> )									22	40	19	17	18	20	80	96	
リジエンジン探鉱(回)					69	121	123	92	31	54	37	31	29	26	77	111	
掘				1500	1735	3025	3075	2300	775	1390	925	775	725	650	1925	2775	21525
タービン油(l)	40	20	20	150		30							50				
エンジンオイル(l)		10	5			2	23	20	40						10		
グリース(kg)																	
砂				3.5	3.5	6.2	6.8	7.0	0.9	20	1.2	20	1.0	2.0	3.0	5.0	44
セメント		5	4			1	1	1	1						1	1	
鋼			(54-6)					(55-6)								(56-6)	
アモルレン			(54-3)					(55-3)								(56-3)	
炭			(54-50)					(55-25)								(56-50)	125
電線棒B・104mm <sup>2</sup>			(54-5)					(55-30)								(56-15)	76
3.2mm <sup>2</sup>			(54-1)					(55-25)								(56-15)	76
トリウムラント						1	1										2
12x12x30mm <sup>2</sup>						30	30	10								8	56
ベントナイト		75	250	350	275	300	250	385	370	345	230	345	400	650	4225		
レキ		200		80	120	100	70	70	40	35	25	35	70	75	920		
C M C		5	65	7	7	3											
ウエルリーナー				2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	12
ターニングパイプ	16	85	228	35	15	22	8	3	5	5	45	5	45	20	18	164	
スクリューWR				4	4	6	5		4	6	3	5	4	5		1	50
スクリューC	6	5	9		8	3	5				3				4	3	46
モンタライザー	5	3	5	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	4	4	47
12mm <sup>2</sup> 電管									1								1
ウエルキャップ				1		1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	11

### 3 既存井戸の改良工事

#### 3-1 既存井戸の技術的問題

前記現状についての項に述べたように修理と改善が行なえない最大の原因は資金不足にあり、工事に必要な機械器具および材料は勿論、人件費も一般会計としては殆んど無いわけで、たまたま外国援助で入手した機械や器具もその修理・保全による繰り返し使用ができず、使い捨ての状態である。

当面第一に構すべき措置は資金援助と機械の修理保守体制確立のための対策実施にあると考える。

一方、マリ国側の井戸掘り技術は人力と簡単なウインチや道具の使用によるものとはいえ、自力で確実に井戸をつくる、それなりの能力を有し、深さ90mまでの立派な手掘りのコンクリート壁井戸をつくっていることは相応に評価される。

工期の短縮なり、能率向上のための所謂機械化については相当の時間を要するもので、従来のマリ式を基本とすることができるだけ漸進的な計画を以って実績を積み上げるべきであろう。

現在マリ国で行なわれている手掘り工法は手動ウインチ またはエンジン付きウインチと三脚柱によるバケット捲上により人間と材料を運搬し、内壁は鉄筋コンクリートまきとするもので、時には火薬やさく岩機を使用する。

これら現状に対する工法上の改善としての機械化は、先にふれたように機械の操作・修理・保全等の技術の欠如と、全般的管理上の組織および社会的未熟性を背景に有していることから、それを直ちに実施することは不適當である。

現在の工法における彼らの装備で最も弱いところは井戸底で使用するサンドポンプにあるので、このサンドポンプの選択について改善するのが良いと思う。

手掘り井戸工事はポンプと一緒に井戸底に作業者がいるので、電気上の危険がなく、圧気の放出による新鮮な空気の補給ができることの両面から圧気ポンプが使用されるが、従来のポンプでは騒音・故障・揚水能力等種々の点で問題があった。

#### 3-2 具体的改良方策

基本的には彼等の改良計画に必要な資金援助が求められているものであるが、重要な具体的方策としてはできる限りR-C化することが必要であろう。

手掘り井戸については50～80mの深いものとなると、掘り下りはもとより井戸の改修についても日数と費用が多くかかり、結局は現状のようにその実施時期を失って欠陥井戸としてしまうわけである。

この対策として現状で最も現実的で実施し易い方法をあげればピュイ シテルヌ(P-C)に改造することである。



Puits からの揚水方法は従来と変わらないし、この型式の井戸をつくるにはボーリング機械とその技術があれば現在でも導入可能であるので、できるところからのP-C化は極めて有効な現実的対策といえよう。

### 3-3 筒井戸改修工事調査

昭和55年度においてマリ国側の緊急要請のあった、ガオサークル内ティン オーケル(Tin-Aoukert)とイン ファルダン(In-Fardan)の2ヶ所においてマリ国井戸開発局(Operation Puits)に工事を外注して実施した。

両井戸とも50~60mの井戸浚らい、井戸内壁、井戸口およびその周辺の修理を行なったが、汲み水は澄み、水汲み作業もし易くなり、遊牧民ならびに附近住民に嬉ばれた。結果の要点を述べれば次のとおりである。

工事の実施時期；

当該地区の溜池(Mare)は雨期に水がたまり、あと乾期中にはなくなるのであるが、家畜が溜池を利用できる時期に実施することが望ましい。これは6月~10月に当る。

今回は当調査時期に合わせたため1月~2月になったので、最も井戸への依頼度の高いときで、家畜の井戸使用によって工事は中断されることが度々であった。

排水用ポンプの選択；

タイプとしては圧気式が望ましいが、揚程60~80m・揚水量100~150 l/minの仕様を必要とする場合が普通で適切なものの調達が仲々むずかしい。

工事内容実績；

井戸名	ティン オーケル	イン ファルダン
位置	ガオより北北東65km	ガオより北方50km
工事期間	81.1.2~1.30	81.2.2~2.28
工事内容	井戸浚い6m 井戸周辺地ならし(5m径) " 舗装(5m径) 井戸口修理(高さ50cm)	井戸浚い6m 左 同 左 同 左 同 井戸内壁亀裂修理
工事費	997,415 FM	921,915 FM
費用内訳	セメント 3t 軽油 620 l ガソリン 240 l 人員 210 工	セメント 3t 軽油 400 l ガソリン 200 l 人員 230 工

### 3-4 P-C建設工事調査

前述の如く、P-Cは将来の地下水開発計画に、最も主要な位置を占めるもので、ボーリング孔井すなわち管井を実際に生かすための現在では唯一の方式である。P-Cの性能を向上させ、工事の能率化とコストの面の改善は緊急・必須の問題なので、これらに関する実施上の問題点を検討するため調査を行なった。

工事はオペレーション ピュイ（井戸開発局）ガオ支部が請負い、マリ国の伝統的方法と装備によって実施された。但し、コンプレッサー、ゼネレーター、エヤリフト用機材、キャンピング テント等は日本のものが貸与された。

建設位置と管井の仕様；

ガオサークル、ジェボック地区に属するアルガベッシュで、既存の管井（以前、風車装置によって揚水していたもの）の横に筒井（Puits）をつくって、P-Cを完成しようとするものである。ガオ市より道路距離4.5km。

本井戸はティレムン澗れ谷の中にあり、静水位は4.0m、耐水層は8.2m～9.7.7m、揚水可能量は $1.1 \text{ m}^3 / \text{h}$ という、試験記録は表Ⅲ・3・1のとおりである。

筒井戸の仕様；

直径	1.8 m
深さ	6.0 m
管井との連結	5.5 mレベルで行う
根太	地表に1つ、中間の4ヶ所に設置
コンクリート壁	10 cm厚みを基準とする
地上井戸口	5 m半径に亘ってコンクリート床をつくる

管井との連結部；

パイプとバルブ付けは行なわず、孔あけのみをし、管井の水を止める場合はパッカーの使用によることとする。

工事の工程・原単位・金額；

全工期中の工数	1 9 5 3 工
m 当り金額	2 0 8, 3 3 3 F M / m
内訳—人件費	2 0 %
—材料費	4 0 %
—燃料費	6 %
—外注輸送費	2 %
—償却費	8 %
—諸経費	2 4 %

作業方法；

主な内容については既に記述してあるが、若干補足する。

セメント・材料・食糧等の物資はガオから運搬するが、水は将来P-Cの一部となる既存の管井からエアリフトで揚水している。このためのゼネレーター、コンプレッサー、ターボリン水槽、ホース等附属物は日本から貸与した。現地近くにキャンプを張り生活する。

作業人員は、地表にバケツ取扱い2名、ウインチ係2名、孔底の掘さく要員2名、キャンプ雑用1名、係員1名の合計8名が通常のメンバーである。

ワイヤーは10 m/φ、バケツはφ40 cm×50 cm深さ、滑車はφ25 cm、手動ウインチはドラム巾1.2 m、φ40 cm、高さ60 cmのもの。シャックルは16 m/丸製。

コンクリート型枠は4枚枠ボルト締め式のもので、巾は60 cmものを使用。コンクリート壁の厚みは堅いところで10～15 cm柔い砂部では20 cmとする。

管井の孔あけはコンクリート防壁の終了後、ロープ中吊りの姿勢で、エアドリルで小孔の輪をつくり最後にハンマーで打ち抜く方法をとっている。

工事の工程、原単位等に関する資料を次表にまとめた。

工法および費用については現状も止むを得ないと考えられるが、小さい材料、工具、機器につき新しいものを補給し、仕様を再検討することで、特に安全への配慮が必要であろう。

アルガベッシュ (Argabeche) P-C 工事の作業工程・原単位

1. 人 件 費

井戸掘り工	1 (名)	5 2,5 0 0 (FM/月)	7ヶ月	3 6 7,5 0 0 (FM)
井戸掘り助手	1	4 5,0 0 0	"	3 1 5,0 0 0
ウ イ ン チ 係	1	4 5,0 0 0	"	3 1 5,0 0 0
人 夫	6	2 6,2 7 5	"	1,1 0 3,5 5 0
経 費		2 3,5 3 0	"	1 6 4,7 1 0
手 当		3 6,0 1 5	"	2 5 2,1 0 5
計				2 5 1 7,8 6 5 .....①

2. 工 程

1 - 地上の井戸口の根太	2 (方)
2 - 中間の根太 (4ヶ)	4
3 - 掘さくと壁付け, 普通の地層, 0 ~ 6 m	1 0
4 - " , 少々固い地層, 6 ~ 2 0 m	3 0
5 - " , " , 2 0 ~ 3 0 m	2 8
6 - " , " , 3 0 ~ 4 0 m	3 0

7-掘さくと壁付け, 少々固い地層,	40~50 m	44
8- " , " ,	50~55 m	20
9- " , " ,	55~60 m	25
10-井底の補強工事		2
11-管井との連結		1
12-井戸口工事		1
13-地表5 m範囲のコンクリート床		12
14-井戸口附属設備		8
計		217(方)

※ うちコンプレッサー稼動は153(方)である。

3. 工事用工具・道具等損料

新品価格の27%を当てる。

$$380,000(\text{FM}) \times 0.27 = 102,600 \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

4. 固定資産機材の損料

機 材	(単位)	(数量)	(単価)	(金額)	備考
5tトラック	km	4,000	118.00	472,000	
ランドローバー	km	1,360	66.00	89,760	
コンプレッサー	時間	191	1,412.00	269,692	
デリック	時間	-	-	-	
ポンプ	時間	-	-	-	
ウインチ	日	207	537.80	111,325	
圧気機器	時間	765	34.37	26,293	
コンクリート型枠	m	60	1,000.00	60,000	
計				1,029,07(FM)...	③

5. 使用材料

項目	単位	地表根太	中間根太	井戸内コンクリート工事	地表コンクリート床	井戸口付属設	計	単価	金額(FM)	備考
砂利	m <sup>3</sup>	1.84	0.64	302.4	120.6	1.92	* 467.0	—	—	* 運搬費と人件費だけで調達できる。
砂1~2.5	m <sup>3</sup>	0.30	0.12	45.9	20.1	0.32	* 73.4	—	—	
砂2.5~5	m <sup>3</sup>	0.62	0.20	9.18	40.2	0.68	* 147.0	—	—	
セメント	t	0.70	0.30	130.7	30.3	0.90	180.0	100,000	180,000	
水	m <sup>3</sup>	0.80	0.60	168.0	36.2	144.0	* 362.2	—	—	
鉄筋φ6	kg	29.	48.	756.	448.	22.	1303.	470	612,410	
" φ8	kg	40.	132.	1,218.	—	148.	1,538.	550	845,900	
結束線	kg	1.	2.	31.5	2.5	6.	43.	800	34,400	
軽油	l	—	716.8	435.2	—	—	4,423.68	365	1,614,644	
材木	m <sup>3</sup>	—	—	—	—	0.5	0.5	65,000	32,500	
計									493,985.4	④

6. 使用材料外注輸送費

(税・ニジェール川輸送費含む)	264,810	⑤
-----------------	---------	---

7. 車両用燃料費

○ 5tトラック

目的	片道距離	走行回数	走行距離	記事
砂利, 砂運搬	50 km	往復33回	3300 km	
セメント, 鉄筋運搬	"	" 4回	400 km	
動員, 徴収	"	" 3回	300 km	
	5tトラック計		4,000 km	

○ ランドローバー

目的	片道距離	走行回数	走行距離	備考
動員，徴収	4.5 km	往復 2回	180 km	基地からの距離
監理	"	" 13回	1,170 km	基地からの距離
ガオ市内	5 m	" 1回	10 km	市内走行
	ランドローバー計		1,360 km	

○ 燃料費；

軽油	$\frac{4,000 \times 40 \times 365 \text{ FM}}{100} = 584,000 \text{ FM}$	
ガソリン	$\frac{1,360 \times 25 \times 520 \text{ FM}}{100} = 176,800 \text{ FM}$	
燃料費計	760,800 FM	⑥

現場工事費 ①～⑥ 計 9,615,000 FM ..... ⑦

プロジェクト諸経費；⑦×20% 1,923,000 FM

技術料 ⑦×10% 962,000 FM

工事請負費合計 12,500,000 FM

#### 4. 基地の建設と機械の整備

##### 4-1 基地の建設

年内・日中の気温の変化，高温，乾燥，砂塵，極端な悪路，粗雑な操縦等々，多くの条件が重なって，機械や車輛の故障多発や保全の難しさを招いている。更にこれらに対する修理・整備の技術と，作業のための設備や部品の充足が伴わないことから，機械・車輛は2～3年で使用出来なくなるケースが多いと言う。

本プロジェクトの場合は，調査に使用された機械と車輛はすべてマリ国側に譲渡され，調査終了のあとはマリ国の自主的開発にゆだねられる。

このため，必要設備を具える基地の建設と，機械・車輛の整備に関する人的・物的対応力の存在がプロジェクト成功のための決定的キーポイントとなると考える。

年次がたつに従って使用時間が増加し，車輛については走行地区が砂地から岩盤地帯をも含むに到って最近ではタイヤの損傷が多くなり，当初と違って比較的激しい損耗状況を示すようになった。

調査期間中は倉庫ならびに修理場とも現状のコンクリートフロアと中古コンテナで済んだが，今後の開発工事においては，やはり最小限ではあっても正式の修理工場・倉庫が必要であろう。

##### 4-2 機械の整備

整備班の人員編成：

カウンターパート	技 師	1 名
"	技 手	1 名
作 業 員	工 員	7 名
運 転 手		7 名

施 設：	コンクリートフロア	ピット付	9.0 (m) × 8.2 (m)
	中型テント		5.5 (m) × 5.0 (m) × 3 (m)
	中古コンテナ		3 棟
	プレハブハウス		1 棟

主な故障事例および整備内容：

調査期間中の累計で，日産車6台の平均走行は約28,000 km，うち多いものは39,000 km，少いもので22,000 kmとなったが，エンジンよりはジャンシステムの故障が目立った。日野車ではクラッチ アジャストが大きくなり，また，両車共通して，振動による各部の亀裂発生を起こしている。その他の機械では，ゼネレータのオルタネーターの故障，水中ポンプ

の早期損耗が注目される。

部品・工具・物品の保管：

現在、部品は約1000点あり、部品庫(中古コンテナを利用)の容量では不足で、今後の車輛・機械の増加に当っては倉庫の増設と部品・工具・物品の管理方法とが重要な問題点となる。

現状では、各作業班(さく井、電気探査、整備、基地等)の工具・物品(土木作業道具等)の貸し借りの際、紛失や所在不明の事態を生じ、また、各班の所有重複などの無駄も多く見受けられる。

ものによっては個人責任制の工具函貸与が効果的であるが、例へば使用頻度の少ないもの、或は工具・土木作業道具などの共通的なもの(ショベル、ツルハシ、バケツ、一輪車、ロープ等)は集中した一括保管をとることが望ましい。また、この為の専任の倉庫管理要員を配置することが必要である。

部品の在庫管理方法については下記のような点を指摘したい。

現在の倉庫は、中古コンテナ3棟とプレハブ事務所の半分を部品用に使っているが、コンテナ内部は高温になるので換気対策を施す必要がある。

部品管理の方法としては、部品の内容を記載した棚カードの作成使用とこのカードを整理保管するカードデスクの設置によって部品の出し入れを管理する事が提案される。

燃料消費量：

(1) 機械・車輛別燃料消費量

○ NISSAN PATROL hard top	1	1-4	km
○ NISSAN PATROL pic-up	1	1-4.3	km
○ HINO WA211	1	1-2.3	km
○ HINO HH440	1	1-1.7	km
○ AS-35MD & MDS	1	h-17	l
○ AS-20MD & MDS	1	h-15	l
○ RIG F6L413FR	1	h-30	l
○ DCA-15S (Denyo)	1	h-4	l
○ DCA-20SS (Denyo)	1	h-7	l
○ DCD-270S (Denyo)	1	h-4	l
○ DPV-80S (Denyo)	1	h-5	l
○ DPV-175SS (Denyo)	1	h-15	l
○ PDSH-500	1	h-45	l



## (2) ガオ基地の燃料消費量

Essence : 168 l/d

Gatolil : 260 l/d

(JAN~MAR, 1982, GAO)

### 4-3 技術移転の現状と今後の進め方

基本的にはカウンターパートの自立努力を支援することが要点であるが、特に重きを置く方針としては“安全作業”と“確実な作業”をあげ、能率や高度性は次とした。また、故障箇所の修理を通じた指導に止まらず、これを源として関連範囲についての現場教育を加味してゆくことが肝心と考える。

昭和54年度までの車輛および機械に実施した整備内容は、アビジャン(Abidjan)より陸送中の振動による部品の脱落、断線、破損等についての修理、機械内部への補油、給油およびメンテナンスが主であった。同55年度からはさく井地点が基地から離れたことで車輛の走行距離が増大し、種々な故障が見られるようになった。

整備班の作業範囲は機械・車輛の修理とメンテナンス、燃料管理と給油、各班への配車と運転手の管理、さく井キャンピングのための諸運搬と電気配線や給排水工事、ガオ市内の宿舎の維持、基地の管理などの広汎な内容を持って居る。これに対して設備も十分に建設されては居らず、人員的にも不足して居り、同57年度の無償による機械・車輛の増加とさく井地点の内陸への移行にともなう整備内容の増大を考えると幾つかの対策が必要と考える。

第一には修理工場の建設とカウンターパートの2名の増員、整備班内の職務分担編成等の問題である。

人員については、修理、メンテナンス、設備管理、配車とキャンピング輸送等について夫々分担できるだけの編成とする要があり、カウンターパート技手を2名、作業員および運転手につき適当数の増員を考慮すべきである。一方現状の指導方法としては、多くをオンザジョブトレーニングに頼っているが、概して、これでは多くの時間を要し、修得体験が部分的になり勝ちで、対象システムの理解がむずかしい。従って現在のカウンターパートの共通的欠陥でもある、“勘にたよった作業”になってしまうことが多い。

この対策の一法として、カウンターパートの日本での研修が有効と考える。

また、現地雇傭の整備班作業員の育成については、各人の性格に応じた指導をするため、適当な作業を与えて実施しているが、マリ人共通の素直さ、温和な真面目さによって技能の習得もよく行なわれ、今後の継続的な体験の横上げにより、成長する見込みは十分うかがえる。

調査に使用した主要機材のマリ国への譲渡：

調査期間中に日本から輸送し、使用した主要機械・車輛・設備はすべてマリ国に譲渡された。3月13日、ガオ基地においてマリ国水利局次長 Karim Dembélé 氏およびマリ国側カウンターパート主任技術者 Amadou Guindo 氏立ち合いの下で行なわれ、3月17日水利局長 Sitapha Traore' との間で譲渡手続の文書を交換した。（付録 8、調査主要機材一覧表参照）

## IV 調査の結果と考察



## IV 調査の結果と考察

### 1 地勢と地質

#### 1-1 地勢 (図Ⅳ・1・1)

第7経済区で地質構造上重要なものはアドラル デ イフォラス・ティレムシ谷・マリーニジェール盆地・スーダン海峡<sup>※1</sup>・グルマ山塊である(図Ⅳ・1・1)。

アドラル デ イフォラスは先カンブリア紀の変成岩と花崗岩類から成り、面積は約10万km<sup>2</sup>に達する。アハガル(又はホガル, オガル)<sup>※2.1</sup>山塊から分岐して第7経済区のほぼ中央を北から南に延び、南端はスーダン海峡でより新期の堆積岩類に、西翼はティレムシ谷の堆積岩類に、東翼はマリーニジェール盆地の堆積岩類に被われる。

ティレムシ谷は直線状に南流する広大な涸れ川<sup>※3</sup>である。上流はアスラー<sup>※2.2</sup>向斜と呼ばれる向斜構造の地域にほぼ一致する。

マリーニジェール盆地はイウルムデン<sup>※2.3</sup>陸向斜と呼ばれる地域にほぼ相当し、マリ共和国に属するのはアザール<sup>※2.4</sup>谷(アザウアック谷の支流)北西で、同盆地の西半分に相当する。この盆地の堆積岩類には銅・ウラン鉱床が賦存し、現在マリ共和国とニジェール共和国でウランの探鉱あるいは採掘が行なわれている。

スーダン海峡の中には南北の2断層が存在あるいは推定されており、両断層に挟まれた地域はガオ地溝と呼ばれ、35~100kmの幅で北西-南東方向に約400km連続している。

グルマ山塊はインフラカンブリア紀の変成岩類から成り、ニジェール川の右岸に位置する。この変成岩類はアンソング以南では同川の左岸に連続して分布し、マリーニジェール盆地の西壁の一部を構成する。

#### 1-2 地質 (図Ⅳ・1・2~3, 表Ⅳ・1・1)

第7経済区には、アドラル デ イフォラスとグルマ山塊の基盤岩を被ってコンチネンタルインターカライル<sup>※4.1</sup>上部白亜紀層・Tertiaire<sup>※4.2</sup>コンチネンタルターミナル<sup>※4.3</sup>第四系が分布する。これらは下位から上記の順序で累重し、南に緩く傾斜するが、ティレムシ谷北西のテルシェール以深の地層は褶曲作用を受け、複雑な構造を呈し、これをC・Tが覆っている。

※1. スーダン海峡は北アフリカの白亜紀の海がアドラル デ イフォラスの南を通りニジェール・チャド・ナイジェリアに広がる海と連絡された「海峡」に当る地域である。

※2. 1 Ahaggar (又はHoggar), 2 Asselar  
.3 Iullemeden, 4 Ahzar

※3. ワジ(oued), 以後涸れ川と記す。

※4. 1 Continental Intercalaire(以後C・Iと記す)。

.2 以後、テルシェールと記す。

J・M・CARRERE(1975)のC・T以外の第三系を本項ではこのように記す。本項以外で使用されている第三紀層とは定義を異にする。

.3 この名称は第三系の中で、中部始新世以後の陸成層に対して用いられている(以後C・Tと記す)。

(1) 基盤岩類

アドラル デ イフォラス山地の基盤岩類は先カンブリア 紀の花崗岩類・変成岩類・噴出岩類で構成され、グルマ山塊の基盤岩類はインラカンブリア紀<sup>※1</sup> の変成岩類で構成される。

(2) コンチネンタル インターカライル ( C . I ) <sup>※2</sup>

本層はアドラル デ イフォラス山地の基盤岩を直接被い、層厚は 5 0 ~ 1 0 0 m であるが、マリーニジェール盆地では、1,5 0 0 ~ 2,1 0 0 m に達するところがある ( ニジェール側 ) 。

本層は下位から次のように大別される。

- a アガデス <sup>※3.1</sup> 砂岩層群
- b イルハゼール <sup>※3.2</sup> 泥岩層群
- c テガマ <sup>※3.3</sup> 層群

a アガデス砂岩層群

下部は有色のアルコース層で、その上位に礫岩を介して砂岩が分布する。本層群は銅とウランの存在で知られている。

b イルハゼール泥岩層群

砂岩質または泥灰質の泥岩で赤色を呈する。アガデス砂岩層群を不整合に被い、銅の存在で知られる。PNC <sup>※4</sup> のウラン探鉱によって、本層の下限付近に地下水の存在が知られている。

e テガマ層群

下部は中～粗粒砂岩・泥岩、上部は石英質砂岩と石灰岩の薄層を挟有するシルト岩・泥岩から構成され、層厚は 2 5 0 m に達する。PNCによって、地下水の存在が確認されている。

(3) 上部白亜紀層

下位から次のように区分される。

- a C . I と岩相が類似する海成層 <sup>※5.1</sup>
  - b C . I と岩相が類似する白色石灰質の地層 <sup>※5.2</sup>
  - c クレタセ ターミナル ( Cr . T ) <sup>※5.3, ※6</sup>
- } 上部白亜系

a C . I と岩相が類似する海成層

本層の下部は C . I と整合的に累重する石灰岩・砂岩、上部は泥岩・砂岩・泥灰岩か

---

※ 1. カンブリア系に覆われるが、諸性質がカンブリア紀の地層に非常によく似た地質系統に対して用いられる名称。  
 ※ 2. C . KillianはC . Iをサハラのもスクワ期からセノマン期に形成されたすべての陸成層と定義している。  
 ※ 3. .1 Agades, .2 Irhazer, .3 Tegama  
 ※ 4. Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, Japan  
 ※ 5. .1 上部セノマン階～下部チャーロン階, .2 上部チャーロン階～下部セノン階  
 .3 マエストリッシュ階～ダン・モン階  
 ※ 6. Crétace Terminal(以後Cr.Tと記す)

ら成る。全層厚はマリニジェール盆地のマリ側に属する部分で30mである。

b C.Iと岩相が類似する白色石灰質の地層

本層の下部は泥質・含石膏質の石灰岩・泥灰岩・石灰岩質礫岩から成り、タマカス<sup>※1.1</sup>、アグエブン<sup>※1.2</sup>の西で陸成層（砂質泥岩と石英質砂岩）に漸移する。層厚は一般に35～80mで、テネカート<sup>※1.3</sup>・グエルジェット<sup>※1.4</sup>では約10m、タハボナットでは118mに達する。

上部は砂質の有色泥岩で、局部的に石膏質・泥灰岩質を呈し、基底部に石灰岩・泥灰岩を含む。層厚はタララ<sup>※1.6</sup>の東で100m、タハボナットで57m、イサグザジャン<sup>※1.7</sup>で29mである。

c クレタセ ターミナル (Cr.T)

本層の基底は陸成砂～泥質岩、上部は海成石灰岩～泥質岩から成る。K.F.Saadのダン階<sup>※2.1</sup>～マエストリッシュ階<sup>※2.2</sup>は本層の上部に相当すると考えられ、マリニジェール盆地では帯水層として知られている。

マリニジェール盆地では下位から次のように4つに区分されている。

- a) 下部砂岩と泥岩
- b) 泥灰岩と石灰岩 (ムサンリュ頁岩<sup>※3</sup>)
- c) 上部砂岩と泥岩
- d) 泥灰岩と石灰岩

d)は古第三紀暁新世の地層を含み、層厚は2～20m程度でマリ国側だけに分布する。

Cr.Tの全層厚は160mに達する。

スーダン海峡の上部白亜紀層は、ガオ地溝の北方(外側)では基底部の岩相を呈し、マリニジェール盆地～スーダン海峡～ティレムシ谷に連続して分布する。地溝に近づくると堆積物の粒度はより粗くなり、下底部は鉄分を含む。

地溝の中のCr.Tは海成と陸成の岩相を呈する。ティンベルギウス<sup>※4</sup>のボーリングによって下位から次のように区分されている。これらの全層厚は60mに達する。

- e) 細粒砂岩・泥質岩・石灰質砂岩…礫岩を伴い褐炭・黄鉄鉱を含む
- f) 細粒砂岩……………有色泥質漸移層を含む
- g) 黒色泥質岩・細粒砂……………褐炭とタールに富む

---

※1 .1 Tamakas, .2 Agueboun, .3 Tenekert, .4 Gueljet  
.5 Tahabonate, .6 Tarara, .7 Isaxagen,  
※2 .1 Danien, .2 MaëstrichienまたはMaastrichtien  
※3 Schiteuse de Msasaurus  
※4 Tin Bérguious

(4) テルシエール

本層は次のように区分される。

- a 下部暁新統
  - b 上部暁新統～ユプル階<sup>※1</sup>
- a 下部暁新統

本層と Cr. T の d) の関係は明らかではない。

マリーニシエール盆地では

- a) 海成砂質泥灰岩または陸成泥灰岩 (基底)
- b) 灰色頁岩と黄色石灰岩 (上部)

で構成され、a) が欠ける地区がある。

スーダン海峡では

- c) 陸成砂質泥灰岩・細粒～微粒砂・砂質泥灰岩 (基底)
- d) 同上、局部的に泥質石灰岩を含む (上部)

で構成され、層厚は数 m ～ 10 数 m である。

- b 上部暁新統～ユプル階

本層は海成層である。

マリーニシエール盆地では、下位から次のように構成される。

- a) 石灰岩・泥質石灰岩
- b) 黄色泥質石灰岩…石膏・塩を含む
- c) 泥岩……………石膏・塩を含む
- d) 灰色頁岩……………磷酸塩を含む
- e) 黄色頁岩……………磷酸塩・鉄質オーライトを含む
- f) 赤色頁岩……………細粒砂・オーライト・鉄質ピソライト・磷酸塩を含む

本層の層厚は 40 ～ 50 m に達し、このうち基底部の石灰岩が 18 ～ 48 m を占め、上部の泥岩あるいは頁岩層は最高 10 m 程度である。

スーダン海峡では、本層はガオ地溝内には分布せず地溝の北側 (外側) に分布する。下部石灰岩と上部泥質岩から成り、下部石灰岩は a) に相当すると考えられるが、上部泥質岩は磷酸塩を含むことから d), e), f) のいずれかに相当するということ以外明らかではない。下部石灰岩の層厚は数 m ～ 20 数 m、泥質岩は 10 ～ 50 m 程度であるが、サミット<sup>※2.1</sup> やインウアレン<sup>※2.2</sup> では全く認められない。

※1 Ypresien,

※2 .1 Samit, .2 In Ouallen



(5) コンチネンタル ターミナル (C.T)<sup>※1</sup>

本層はマリニジェール盆地・スーダン海峽・ティレムシ谷に広く分布する。

マリニジェール盆地では次の3つに区分される。

- a 泥岩・細粒砂・砂岩…鉄質オーライトを含む
- b 粗粒～細粒砂・カオリン質または砂質泥岩と灰色～黒色の泥<sup>※2</sup>
- c 砂岩・シルト・赤色味を帯びた泥岩

aはbに漸移し、層厚は50～80mである。盆地のマリに属する地域のC.Tは全てbで占められている。層厚はニジェールのディグディガ<sup>※3.1</sup>のボーリングで180mが確認されているが、マリ国側の露頭では20m以下である。

cは基盤岩の上にアバットし、盆地の南縁で高いケスタ地形を呈している。層厚は100～200mである。

スーダン海峽では下位から次の2層に区分される。

- d 雑色の泥質岩…局部的に石膏を含む
- e 砂岩……泥岩・カオリン質泥質岩を伴い、鉄質オーライトが厚く堆積することがある。

層厚は、ガオ地溝の中で30～130m、地溝の北側(外側)で5～10mである。さらに北側で層厚は35～50m程度になるが、そこからティレムシ谷へは減少して15m程度になり、西側では増加してアザウアッド<sup>※3.2</sup>で少なくとも100mに達する。

(6) 第四系

第四系は下位から次のように区分される。

- a 明るい色の砂層
- b やや砂質で鉄質物質を含むカオリン質泥

aは粒径2mm以下の砂で構成され、層厚は2～45m程度である。低部あるいは中間部に褐色粘土を伴う石英礫を挟有する。本層はニジェール川沿岸に分布し、重要な帯水層となっている。

bはバンコ(banko)と呼ばれる泥レンガの材料に使用され、層厚は0.4～2.0mである。このほか2層の間に、ティレムシ谷の古い段丘とされる砂礫層が報告されている。これは

---

※1 C.KillanはC.Tをサハラの最後の海進以後のすべての陸成層とし、第四紀層を含まないと定義

※2 Vases

※3 .1 Digdiga, .2 Azaouad,

鉄酸化物で礫を膠結した砂礫層で、層厚は0.2～1 mとされているが、詳細は不明である。

以上の他、アドラル デイフォラスに樹枝状に発達する涸れ川に堆積する砂礫層や、スーダン海峡の約半分を被う砂丘等がある。

## 2 電 気 探 査

この調査で地表電気探査およびボーリングを実施した地区を図Ⅳ・2・1に示す。各項目では原則として、それぞれの調査箇所に関して北から南，西から東の順序で述べる。

### 2-1 地表電気探査（図Ⅳ・2・2～21，表Ⅳ・2・1～6）

第7経済区の地下水は，ニジェール（Niger）川沿岸地域，およびキダル岩盤地帯の所謂自由面地下水と，ジェボック等内陸部に代表される被圧地下水とに大別できる。以下，この地下水の型別に電気探査結果をまとめた。

#### (1) 測 定 結 果

##### 1) 自由面地下水帯（ガオ，バグンジェ，キダル）（図Ⅳ・2・2～5，表Ⅳ・2・1）

ニジェール川沿岸に位置するガオ，バグンジェ地区測定結果を図Ⅳ・2・2～5に示す。

見掛比抵抗の分布は，浅部から深部に向けて比抵抗の低下が著しく，上位の高比抵抗層と下位に広く分布する低比抵抗層が鮮明に識別される。また，ガオの自由面地下水の等高線図（図Ⅳ・4・1）と比較すると，静水位の低い地域Alzana-Bandiaは低比抵抗異常帯と対応する。これは卓越した粘土層の上限の位置に関係するものと考えられる。

ガオ，バグンジェ地区の見掛比抵抗の最大値および最小値を表Ⅳ・2・1に示す。

表Ⅳ・2・1 見掛比抵抗値の最大・最小（自由面地下水帯）

地 区		見掛比抵抗値 ( $\Omega \cdot m$ )	測点 No	AB / 2 (m)	川からの距離(m)
ガ オ	最大	4,022	K-3	6	800
	最小	3.9	N-12	80	1,500
バグンジェ	最大	4,898	F-10	10	350
	最小	14	A-6	250	180

一方，キダル基盤岩地帯に於ける測定結果は，深部で見掛比抵抗値が急激に増す傾向を示す。このことは基盤岩の抵抗値がこれを被覆する水分を含んだ砂層に比べて極めて大きいことを示すものとみられる。当地区で測定された見掛比抵抗の最大値は1,129  $\Omega \cdot m$ で，最大AB / 2 = 375 mの時に観測され，最小値は25.2  $\Omega \cdot m$ でAB / 2 = 9 mの時に観測された。

##### 2) 被圧地下水帯（ハマクラジュ，アンソング，ジェボック）（表Ⅳ・2・2）

上記の被圧地下水帯では前述のガオ地区ほど急激な比抵抗の低下が検出されないが，粘土質の地層を反映して，全般的に低比抵抗を呈する。当地区の見掛比抵抗値の最大，最小を表Ⅳ・2・2に示す。

表Ⅳ・2・2 見掛比抵抗値の最大・最小（被圧地下水帯）

地 区		見掛比抵抗値 ( $\Omega \cdot m$ )	測点No	深度 A B / 2 (m)
ハマクラジュ	最大	160	HA-3	3
	最小	4.4	HD-2	20
アンソング	最大	468	F-11	3
	最小	8.6	E-9	6
ジェボック	最大	171	DB-5	3
	最小	5.8	DB-6	8

(2) 解析結果（図Ⅳ・2・6～19, 表Ⅳ・2・3～6）

1) 自由面地下水帯（ガオ, バグンジェ, キダル）（図Ⅳ・2・8～14・図Ⅳ・2・19, 表Ⅳ・2・3）

ガオおよびバグンジェに於ける地下構造は電氣的に4層から成る比抵抗層として解析できる。これら4層の比抵抗区分を表Ⅳ・2・3に示し、各比抵抗層毎に説明する。

表Ⅳ・2・3 ガオの解析結果

比抵抗層	境界面深度 (m)	厚さ (m)	比抵抗値 ( $\Omega \cdot m$ )	地 質	
第1比抵抗層	0	0～10	10～5,000	砂	第紀
第2比抵抗層	0～10	5～50	100～2,000	礫又は細礫	四層
第3比抵抗層	5～50	70～150	3～40	粘土, 砂まじり粘土	第紀
第4比抵抗層	>75		50以上	砂岩	三層

これらの層の内、第1および第2比抵抗層は透水性の砂層や礫層から形成され、第四紀層に対比される。このうち、第1比抵抗層は比抵抗値の変化が大きい特徴を有する（10～5,000  $\Omega \cdot m$ ）。これは水分の変化に富んだ砂層に対比されるのであろう。すなわち比抵抗値の大きい部分は乾燥した砂層、小さい部分は水分を含みかつ、残留塩分を多く含んだ砂層に相当すると思われる。また、第2比抵抗層は5～50mの厚さを有し、砂礫、あるいは細砂から構成される、比較的透水性の良い地層で、この比抵抗層の下部が帯水層となっていることがある。これまでの調査で掘さくしたG-1～G-10およびB-1孔井に於ける電気検層結果によると、本層中の帯水層の比抵抗は80～250  $\Omega \cdot m$ であることが判明している。当地区の手掘り井戸では、ほとんどこの地層から自由面地下水を採水している。

第3比抵抗層は、厚さ70～150mで比抵抗値が低い(3～40Ω・m)ことから粘土層に対比され、難透水性の地層と考えることができる。従って、本層と第2比抵抗層との境界付近には地下水の賦存が期待できる。

第4比抵抗層は地表から75m以深に分布し、比抵抗値がやや高いことから砂岩に対比できるが、ボーリングでは確認されていない。

以上の結果から、ニジェール川沿岸の帯水層は第2比抵抗層に賦存する可能性が大きく、第3比抵抗層の上面が帯水層の底部に相当すると思われる。従って、ガオ・バグンジェの第2比抵抗層下面深度図(図Ⅳ・2・5)は第四紀層の層厚を反映するものと考えられる。同図によると、全体的にはニジェール川から離れるに従って第2比抵抗層の下面は上昇しているが、局部的には静水位の高いブルグンジェ(Boulgoundje)南部、北部のG-4孔井付近、およびガデイエ(Gadeye)に深度30m以上の異常域が見られ、またアルザナバンジャ(Alzana-Bandia)とソソコイラ(Sosso-Koira)を覆うように深度10m以浅の異常域が分布している。

初年度にテスト測定を行ったキダルサークルのインテデニット(In-Tédénit)の調査調果(図Ⅳ・2・19)は概略三層構造として解析できる。即ち、比較的高い比抵抗を示し乾燥した砂層に対比される第1比抵抗層；低比抵抗を示し水分を含んだ砂層に対比される第2比抵抗層；極めて高い比抵抗を示して当地区の基盤岩(花崗岩)に対比される第3比抵抗層から構成されている。

調査測点を、涸れ川を横断する方向に配置した結果、地下谷の形状および当地区の地質構造を把握することができた。

## 2) 被圧地下水帯(ハマクラジュ、アンソソゴ、ジェボック) (図Ⅳ・2・6～7, 図Ⅳ・2・15～18, 表Ⅳ・2・4～6)

調査地区の地下構造は電氣的に4層あるいは5層構造として解析できる。次表にハマクラジュ、アンソソゴ、ジェボックの解析結果を示し、各比抵抗層について説明する。

表Ⅳ・2・4 ハマクラジの解析結果

比抵抗層	境界面 深度 (m)	厚さ (m)	比抵抗値 ( $\Omega \cdot m$ )	地質	第三紀層
第1比抵抗層	0	0~15	20~130	砂, 粘土質砂	
第2比抵抗層	0~15	25~35	4~8	粘土	
第3比抵抗層	25~50	50~75	12~18	粘土, 一部帯水層	
第4比抵抗層	80~100	80±	3~5	粘土	
第5比抵抗層	170以深		50以上	砂岩	

表Ⅳ・2・5 アンソングの解析結果

比抵抗層	境界面 深度 (m)	厚さ (m)	比抵抗値 ( $\Omega \cdot m$ )	地質	第四紀層
第1比抵抗層	0	0~25	10~100	砂	
第2比抵抗層	0~25	20~100	40~300	シルト質砂岩, 一部帯水層	
第3比抵抗層	10~100	50~80	30~100	シルト質砂岩, 難 透水層	
第4比抵抗層	100		15~50		

表Ⅳ・2・6 ジェボックの解析結果

比抵抗層	境界面 深度 (m)	厚さ (m)	比抵抗値 ( $\Omega \cdot m$ )	地質	第三紀層
第1比抵抗層	0	3~25	4~15	粘土質砂礫	
第2比抵抗層	3~25	10~40	25~50	粘土質, 砂	
第3比抵抗層	25~60	50~80	10~16	粘土, 一部帯水層	
第4比抵抗層	100±	50~100	3~9	粘土	
第5比抵抗層	150以深		20~90	砂岩, 石灰岩	

1) ハマクラジュ地区 (図Ⅳ・2・6～7, 表Ⅳ・2・4)

当地区の調査結果を、表Ⅳ・2・4に示す。こゝではガオの第2比抵抗層に相当するものは見られない。これは第三紀層中の粘土、粘土質の地層が地表から深部まで続くため、ニジェール川の沿岸であるにも拘らず、川からの水の補給がさえぎられるためであろう。

第1比抵抗層の比抵抗値は20～130Ω・mである。比抵抗値の幅が広いのは粘土層中の砂の含有量の多少に関係していると考えられる。

第2比抵抗層は当地区特有の粘土層を反映して4～8Ω・mの低比抵抗を呈している。

第3比抵抗層は第2比抵抗層と同様の粘土層であるが、12～18Ω・mと、若干高い比抵抗値を示す。これは当地区で行なわれた孔内電気検層(Ha-1)結果と一致し、第2層との境界付近(65～88m)に帯水層が存在している可能性がある。

第4比抵抗層は3～5Ω・mと低比抵抗値を示し、粘土層に相当すると考えられるが、上述の検層で、この比抵抗層の上部に相当する深度102～112mに高比抵抗異常が検出されているので、第3比抵抗層と第4比抵抗層の境界には帯水層が存在する可能性がある。

第5比抵抗層は50Ω・m以上の高比抵抗を示し、本層の上限は深度170m以深に存在する。地質的には上部白亜紀層の砂岩や石灰岩の可能性が考えられるが、ボーリングでは確認されていない。

2) アンソング地区 (図Ⅳ・2・15～17, 表Ⅳ・2・5)

当地区の地表下150mまでの比抵抗値による地下構造は、4層からなる。これらを表Ⅳ・2・5にまとめた。

第1比抵抗層は、地表に分布する砂層に対比され、一部で低比抵抗値を示す。この変化は含水の程度によると考えられる。

第2比抵抗層は、40～300Ω・mを示し、本地区では最も比抵抗値が高い。本層は砂質粘土に対比されるが、恐らく砂との有律な互層から成り、一部帯水層を形成しているものと考えられる。A-1, A-2孔井の孔内電気検層で捕足した帯水層は本層の一部に相当し、比抵抗値は100Ω・m前後であった。

第3比抵抗層は30～100Ω・mを示し、上記と同様、砂質粘土に対比されるが、比抵抗値がやや小さいことから、砂質部が第2比抵抗層に比較して少いと考えられる。

第4比抵抗層は地表下約100mに分布し、本地区で最も低い15～50Ω・mの比抵抗を示す。本層の地質的な対比は今回の調査では明らかにすることはできなかった。しかしA-1, A-2孔井の孔内電気検層結果によると、第3比抵抗層と本層の境界

付近には、 $50 \Omega \cdot m$ 前後の帯水層の分布がみられることから本層の上限付近は地下水探査上極めて重要である。

### 3) ジェボック地区 (図Ⅳ・2・18, 表Ⅳ・2・6)

表Ⅳ・2・6の示す通り、当地区(被圧地下水帯)は、ガオ地域(自由面地下水帯)と比較して各層の比抵抗値が小さいが、安定した水平構造を呈していると云える。これらの比抵抗層のうち第1および第2比抵抗層は第三紀層上部に対比され、難透水性の粘土質砂礫および粘土質砂層から形成されている。第1比抵抗層が第2比抵抗層より比抵抗値が低いのは前者の方が残留塩分を多く含んでいるためと考えられる。

第3比抵抗層は第三紀層下部の粘土層に対比され、厚さ $50 \sim 80 m$ を有し、比抵抗値は $10 \sim 16 \Omega \cdot m$ である。当地区のボーリング孔井D-1の電気検層結果から、この層の下部に2ヶ所で高比抵抗( $20 \sim 40 \Omega \cdot m$ )異常を捕捉したので、一部に被圧地下水が賦存している可能性がある。

第4比抵抗層は上記同様、難透水性の粘土層と対比できる。本層は、この地区で最も比抵抗値が小さく、 $3 \sim 9 \Omega \cdot m$ である。地下水探査上、この層と前記第3比抵抗層の境界は、被圧地下水帯に関する重要な手がかりになると考えられる。

第5比抵抗層は $20 \sim 90 \Omega \cdot m$ と、この地区で最も比抵抗値が高い地層であるところから上部白亜紀の砂岩、石灰岩に対比されると思われるが、ボーリングでは確認されていない。

### (3) 当該調査地域における効果的手法の検討 (図Ⅳ・2・20~21)

#### ① ガオ周辺に於ける探査深度

自由面地下水帯、とくにニジェール川沿岸での測定の際、当面は測定深度 $AB/2 = 150 m$ までで充分と考える。これは、所謂、ガオ地区の難透水層(第3比抵抗層)の上面深度が $50 m$ 以浅になることが判明したためである。

#### ② ニジェール川沿岸の水平電気探査

今回のテスト測定の結果、ニジェール川沿岸地域のWenner型水平電気探査は複雑な解析を必要とせず、地下水探査法として効果的であることがわかった(図Ⅳ・2・20)。

昭和56年度調査において使用した測定装置(YEW3244)による垂直電気探査は、当地区が全体的に低比抵抗の地層で構成されているために、 $a = 50 m$ 以深のデータにおいては精度が低下する。しかしより高性能の横浜電子製の測定器(G-5003A・B, および7505VSP)を用いてWenner型配置で実施すれば、機器操作は複雑になるが、充分精度の高いデータを得ることができよう。



### ③ 被圧地下水帯に於ける探査深度および測点間隔

被圧地下水帯に於ける測定によって得られた結果から、安定した地下構造を呈していることが判明しているので、従来の測点間隔50~100mを500~1,000mに拡げて、より広域的なデータを収集し、その上で必要に応じて従来の狭い測点間隔で精査を行う方が能率的である。また、最大電流電極間隔も400から800~1,000mに拡げた方が当該地域の地下構造解析により有効である。

### ④ キダル(Kidal)基盤岩地帯に於ける調査方法の一例

当該地域の地下水は、基盤岩(花崗岩)の窪みに帯水することが初年度のテスト測定で判明しているので、基盤岩の形状を電気探査によって把握することが肝要である。

初年度にテスト測定したインテデニットの実測から下部に高比抵抗基盤が存在する特有のVES曲線を得た。この曲線を利用してシュランベルジャ型水平探査を行ない、基盤岩の最深部を把握することができる。図IV・2・21の曲線Xは基本探査測点に於ける実測VES曲線である。この測点を中心に $AB/2 = 40\text{m}$ と $AB/2 = 100\text{m}$ の2種類の電極間隔で測線上を水平探査する。この時、同曲線図中のA側の測定値を得た場合は、基本測点より基盤上面深度が深く、B側の測定値を得た場合は浅いと言える。従来の水平探査Wenner型では地層の深度が決定できないので1~2km毎に基本探査測点を設け、地層の深度を決めておき、基本測点間は20~50m間隔で水平探査を行い、基盤岩の凹部を検出する。

## 2-2 孔内電気検層 (図IV・3・1参照, 表IV・2・7~8)

これまでの孔内電気検層結果を自由面地下水帯と被圧地下水帯に分類してまとめた。ただし、アンソング地区に於けるA-1孔井, A-2孔井は、2種の地下水の賦存が認められたが被圧地下水帯として記述した。また、A-3孔井は自由面地下水の可能性が強いが、被圧地下水帯の項に記載した。

### (1) 自由面地下水帯(G-1~G-10, B-1孔井) (図IV・3・1参照, 表IV・2・7)

全孔井の検層結果を図IV・3・1(総合柱状図)に示し、そのうち自由面地下水帯の解析結果を表IV・2・7にまとめた。

G-1, G-6孔井を除くと、他の孔井(G-2~5, G-7~10およびB-1)は、高比抵抗異常(50~250 $\Omega \cdot \text{m}$ )が13~35mまで続き、低比抵抗異常がそれ以深に検出された。前者は当地区の地表電気探査の第2比抵抗層に相当し、比較的透水性の良い砂、砂礫層に対比され、一部帯水層の可能性がある。また、後者は当地区の地表電気探査結果の第3比抵抗層に対応し難透水性の粘土層に対比される。

高比抵抗異常のうちG-7~G-10孔井では、いずれも地表付近(上部)と15~25 m(下部)に2ヶ所のピークを有するが、ニジェール川の水位が低下する時期には、この上部のピークより下位まで静水位が低下する可能性があり、下部のピークの方がより重要であると考えられる。

一方、G-6孔井は、8~40 mまで20 Ω・m前後の安定した低比抵抗値を示し、難透水性の粘土層が地表付近まで分布していることがわかる。また当孔井の地下水の比抵抗値が8 Ω・mと低いことから、この地域は水の収支が緩慢な地域と考えられる。

また、G-1孔井は、比抵抗値が16~28 Ω・mと全体的に低い、11~22 m間は比較的高く25~28 Ω・mを呈する。この比較的高い比抵抗値が帯水層を示していると思われる、欠測した11 m以浅にも、この程度の比抵抗値を呈する部分があると思われる。G-1孔井もG-6孔井同様、難透水性の粘土層と粘土質砂層の地域と云える。但し、G-6孔井の水の比抵抗値が8 Ω・mと低く水質が悪いのに対し、G-1孔井は40 Ω・mと高く水質も良い。

## (2) 被圧地下水帯 (Ha-1, A-1~A-3, D-1) (図Ⅳ・3・1参照, 表Ⅳ・2・8)

被圧地下水帯の解析結果を表Ⅳ・2・8にまとめた。

自由面地下水帯と比較して当地区の検層結果は全般的に低比抵抗値を呈する。これは、地下水の塩濃度と粘土、粘土質等の地層を反映しているためと思われる。

### 1) ハマクラジュ (Ha-1孔井)

45~50 m間、75~87 m間および102~111 m間の3ヶ所にSP負異常を伴う高比抵抗異常(20~50 Ω・m)が検出された。

45~50 m間の高比抵抗異常はボーリング結果から砂質粘土に対応する。同地区唯一の筒井戸の孔底は、この深度に達しているが、全く使用されていない事実や、その溜り水の比抵抗値が2 Ω・mと低いことから、帯水層としては量的にも質的にもあまり期待できない。

次に、75~87 m間はボーリング結果から礫まじり粘土に相当し、若干の地下水が期待できる。

102~111 m間の高比抵抗異常は、ボーリング結果から砂礫層に対応し、有望な帯水層の可能性はある。

なお、当地区で行なわれた地表電気探査結果と比較すれば、前述の3ヶ所の異常を鮮明に捉えているとは云えないが、第2比抵抗層と第3比抵抗層の境界付近に、それぞれの異常が位置している。

## 2) アンソング (A-1~A-3 孔井)

A-1 孔井は、11~45 mに70~190  $\Omega \cdot m$ 、89~112 mに40~80  $\Omega \cdot m$ の高比抵抗帯、45~89 mに35~40  $\Omega \cdot m$ の低比抵抗帯が検出された。11~45 mの高比抵抗帯のうち、自然電位の正のピークと比抵抗の低下がみられる23 m付近は有機物を含んだ暗灰色砂質粘土に対比される。45~89 mにある低比抵抗帯は難透水性の砂質粘土や粘土質砂、89~112 mの高比抵抗帯は透水性の良い礫層や砂層に対応し、被圧地下水が賦存する帯水層と考えられる。

A-2 孔井は17~52 mに80~180  $\Omega \cdot m$ 、115~133 mに50~120  $\Omega \cdot m$ の高比抵抗帯、52~115 mに40  $\Omega \cdot m$ 低比抵抗帯が検出された。高比抵抗帯はA-1 孔井の高比抵抗帯と同様、被圧地下水の存在を示している。52~115 mの低比抵抗帯はA-1 孔井の低比抵抗帯に、また39 m付近の自然電位正異常もA-1 孔井の23 m付近のものに対応している。

### A-3 孔井

本孔井の地下水はどちらかと言えば自由面地下水に属するのかもしれないが、ニジェール川からの補給がほとんど見られず、溶存成分が他地区の自由面地下水に比べて多いなど種々の点で性質を異にしている。従って、前項の自由面地下水帯で述べるよりも、本項でA-1 孔井、A-2 孔井と併記する方が、アンソング地区の電気的特性を確めるためには有効と思われるので、ここで述べる。

A-3 孔井ではA-1、A-2 孔井と比較して全体に高い100~1,100  $\Omega \cdot m$ の高比抵抗帯が検出された。

45 m以浅の低比抵抗帯は礫を伴う砂状基盤岩の風化帯に対応し、45 m以深の高比抵抗帯は、この地区の主な基盤である黒雲母片岩に、80 m以深の300  $\Omega \cdot m$ を越える極めて高い比抵抗帯は珪岩に対応する。

## 3) ジェボック D-1 孔井

22~38 m間、79~89 m間、および94~97 m間の三カ所にSP負異常を伴う高比抵抗異常(10~40  $\Omega \cdot m$ )が検出された。

22~38 m間の高比抵抗異常はボーリング結果から粘土質砂層に対応するが、滞水していない。79~89 m間および94~97 m間の高比抵抗異常は、ボーリング結果および、当孔井から約200 m離れた既存井戸の情報等を考え合わせると被圧地下水が期待できる。

一方、当地で行われた地表電気探査結果と比較すると、22 m~38 m間の異常は第2比抵抗層に相当し、下部2ヶ所の高比抵抗異常は、第3比抵抗層の下部に位置するものと

思われる。同じ粘土層を分けた第3，第4比抵抗層の比較でも，第3比抵抗層の方が若干高い値（10～15Ω・m）を示している。

(3) 今後の実施上の問題点と進め方

粘土層の張り出しによってセンサーがつかえるため，測定途中で孔井を洗い直すのでSPのデータの質が低下している。

これについては，センサーの重錐を電線の抗張力の限界近くまで重くして測定しているが，未だ問題が解決されていない。

更に，使用泥水や孔内洗浄等，ボーリング関係者との協力による対処が必要と考える。

### 3 さく井ボーリング

#### 3-1 位置 (図Ⅳ・2・1, 表Ⅳ・3・1)

16本のボーリングが, 東西40km, 南北120kmの範囲で行われた。表Ⅳ・3・1にそれらのボーリングを北から南, 西から東の順序で示す。

表Ⅳ・3・1 ボーリング位置と深度

ボーリング名	位 置					掘さく深度 m	
	サークル	区	X	Y	Z(m)		場 所
Ha - 1	GAO	Hamakouladji	0° 06' W	16° 36' N	257.0*	Hamakouladji	120.0
G - 1	GAO	Gao	0° 03' W	16° 15' N	253.8	Hydraulique Gao	105.0
G - 2	GAO	Gao	0° 03' W	16° 15' N	249.7	Tiely - Coiré	60.0
G - 3	GAO	Gao	0° 03' W	16° 18' N	251.8	Teney - Cora	150.6
G - 4	GAO	Gao	0° 03' W	16° 15' N	256.6	Gao - Chatéan d' eau	60.0
G - 5	GAO	Gao	0° 03' W	16° 15' N	250.5	Gao-Centrale électrique	60.2
G - 6	GAO	Gao	0° 03' W	16° 16' N	252.4	Sosso-Koira	40.6
G - 7	GAO	Gao	0° 03' W	16° 15' N	252.0	Boulgoundié - Abaltoire	45.3
G - 8	GAO	Gao	0° 03' W	16° 15' N	252.0	Boulgoundié - Abaltoire	44.5
G - 9	GAO	Gao	0° 03' W	16° 15' N	250.5	Boulgoundié	40.0
G - 10	GAO	Gao	0° 03' W	16° 15' N	252.0	Boulgoundié	40.3
B - 1	GAO	Bagoundie	0° 01' W	16° 13' N	254.0	Bagoundje または Bagoundie	40.0
A - 1	ANSONGO	Ansongo	0° 30' E	15° 40' N	254.5	Badji - Haoussa	124.0
A - 2	ANSONGO	Ansongo	0° 30' E	15° 40' N	249.5	2 <sup>ème</sup> quartier	142.0
A - 3	ANSONGO	Ansongo	0° 30' E	15° 40' N	247.0	1 <sup>ère</sup> quartier	90.7
D - 1	GAO	Djebok	0° 17' E	15° 20' N	279.0	Djebok	120.0

(注) \*: ハマクラジの南北2ヶ所の既知点を基に比例配分された推定値

X: 経度, Y: 緯度, Z: 標高

### 3-2 ボーリング記録および結果

#### (I) 孔井別記録および結果の概要 (図Ⅳ・3・1~2, 表Ⅳ・3・2)

掘さくはドラッグビット・トリコンビットで行なわれたため、地質状況はスライムによって判断した。地質の境界はスライムサンプル採取時の孔底深度をそのまま使用した。サンプルは原則として、G-1~G-5・A-1~A-3孔井では3m毎、その他は2m毎に採取した。

テルシェールとC・T<sup>\*1</sup>をスライム観察で区別することは困難なので、本報告書では両者を区別せず第三紀層とした<sup>\*2</sup>。またニジェール川の沖積層と風成層との区別も不可能なために、両者を第四紀層と記載した。これは本章1-2項の第四系に相当する。

##### 1) Ha-1 孔井

0~120.0mの全てが第三紀層である。下位から緻密粘土(8.5m)、わずかに粘土質の砂(10m)、石英質砂岩(1m)、粘土(1.3m)、粘土およびラテライト質礫(12.5m)、緻密粘土(2.5m)——以上は主に灰色を呈する——、粘土質砂(4.5m)、砂質粘土(4.5m)、粘土(34.5m)、ラテライト質粘土(6.5m)——以上は褐色を呈する——から成る。

帯水層は、褐色を呈する砂質粘土および粘土質砂(深度41~50m)、灰色を呈する粘土およびラテライト質礫(深度75~87.5m)、灰色を呈する地層中に挟在し、褐色を呈するわずかに粘土質の砂(深度101.5~111.5m)である。このうち最良の帯水層は深度101.5~111.5mのものである。

静水位は29.0m、地下水は被圧水である。

##### 2) G-1 孔井

0~19.5mは第四紀層、19.5~105.0mは第三紀層である。第四紀層は下位から礫(6.35m)、灰色粗粒砂(2.53m)、細礫(1.07m)、灰色粗粒砂(1.52m)、粗粒砂(8.03m)から成る。第四紀層の下底の礫は直径2~3cmで白色の石英礫が大部分を占め、黒色又は褐色の砂岩を少量含む。第三紀層は下位から淡緑色及び褐色細粒砂岩~粘土(7.5m)、細礫まじり褐色粘土(6m)、褐色粘土(3m)、細礫まじり褐色粘土(3m)、淡緑色および褐色細粒砂岩~粘土(21m)、褐色粘土(12m)、淡緑色および褐色細粒砂岩~粘土(3m)、褐色粘土(6m)、淡緑色および褐色細粒砂岩~粘土(9m)、褐色緻密粘土(6m)、淡緑色および褐色細粒砂岩(9m)から成る。

帯水層は第四紀層で静水位は11.0m、地下水は自由面地下水で、飽和層の厚さは8.5mである。

\*1 C.T : Continental Terminal  
Cr.T : Cretaceous Terminal (以上Ⅳ章1-2項参照)

\*2 D-1孔井の記載事項で詳細に述べる(P89)。

### 3) G-2 孔 井

0～49.5 mは第四紀層，49.5～60.0 mは第三紀層である。第四紀層は下位から礫（3 m），細礫まじり褐色粘土（3 m），細礫（18 m），粗粒砂（25.5 m）から成る。本層中の礫は直径0.5～2 cmで，白色石英が大部分を占め，わずかに黒色砂岩を伴う。第三紀層は淡緑色～褐色細粒砂岩から成り，褐色の粘土物質を伴う。

帯水層は第四紀層で静水位は4.5 m，地下水は自由面地下水で，飽和層の厚さは4.5 mである（検層の結果ではこれより薄い）。第四紀層中の深度17.00 mでボーリング中に逸水が確認されている。

### 4) G-3 孔 井

ボーリング実施年度の報告書では第四紀層を0～55.5 mと判断し，19.5～37.5 mに粘土を挟有するとしたが，その後得られたデータを基に再解析し，0～19.5 mが第四紀層，19.5～150.6 mが第三紀層と結論した。第四紀層は下位から礫（6 m），細礫まじり粗粒砂（3 m），粗粒砂（10.5 m）で構成される。下底の礫層は粒径5～7mmの石英礫から成り，上部の砂層は粒径1～2mmの石英粒で構成されている。第三紀層は下位から淡緑色および褐色細粒砂岩（17.1 m），褐色粘土（30 m），褐色および灰青色粘土（21 m），褐色粘土（63 m）で構成される。下底の砂岩層は褐色粘土を伴う。最上部の褐色粘土（深度19.5～82.50 m）中には粗粒砂（18 m）と石英礫（3 m）が報告されたが，これらは検層と揚水試験の結果から，第四紀層の崩壊物と考えられるので，上述のように変更する。

帯水層は第四紀層で静水位は8.2 m，地下水は自由面地下水で，飽和層の厚さは11.3 mである。

### 5) G-4 孔 井

0～18 mは第四紀層，18～60 mは第三紀層（恐らく Continental Terminal と称されているもの）である。第四紀層は下位から褐色細粒砂（層厚3 m），粗粒砂および黄色礫（9 m），灰色泥質細粒砂（6 m）から成る。これらのうち中間層の礫はほとんど全て石英で，粒径はガオの井戸の資料，広域の地質状況から2～3 cm以下と思われ，上部層の深度0～3 mではより泥質である。第三紀層は砂質粘土を主とし，褐色を呈するがやゝ灰色味を帯びる部分があり，36～39 mに帯緑色砂岩，51～60 mに灰色・帯緑色の極細粒砂～粘土が見られる。砂質粘土は軟弱で孔内張り出しを生じて，しばしば掘さく作業を困難にする。

帯水層は第四紀層の砂層で，静水位は13.3 m，地下水は自由面地下水で，飽和層の厚さは4.7 mである。

#### 6) G-5 孔井

0～2.4 mは第四紀層，2.4～6.0.2 mは第三紀層（恐らく Continental Terminal）から成る。第四紀層は下位からラテライト質細礫（層厚6 m），帯赤色粘土を伴うラテライト質細礫（3 m），黄色～淡褐色細粒砂（6 m），細礫および濃褐色砂（3 m），白色細粒砂（6 m）が累重し，下位の礫質部と上位の砂質部の境界は地表下1.5 mである。第三紀層は下位から少量のラテライト質細礫を含む帯赤色粘土（1.2 m），帯灰色粘土（6 m），褐色砂質粘土およびラテライト質細礫（1.8 m）から成る。

帯水層は第四紀の砂礫層である。G-5孔井の半径4.5 m以内には現在揚水中の管井2本と筒井戸1眼があり，正確な静水位は求められないが，揚水試験時の静水位（6.2 m）を本報告書では使用する。しかし本来は昭和54年度に掘さくされたG-2孔井の静水位（4.5 m）と同程度と考えられる。地下水は自由面地下水で，飽和層の厚さは17.8 mである。

#### 7) G-6 孔井

0～2.0 mは第四紀層，2.0～4.0.6 mは第三紀層である。第四紀層は下位から粘土質粗粒砂（4 m），細礫を伴う粘土質砂（4 m），粘土質砂（2 m），粘土質中粒砂（2 m），中粒砂（4 m），細粒砂（2.5 m），粘土まじり砂（1.5 m）から成り，黄色～褐色を呈する。砂の大部分は石英粒から成り，深度1.2～2.0 mにはラテライト質細礫を伴う。第三紀層は下位から粘土（8.6 m），砂を伴う粘土（2 m），粘土（4 m），砂質粘土（6 m）で構成され，褐色を呈する。砂質粘土は深度2.0～2.6 mにあり，このうち深度2.2～2.4 mで砂がわずかに増加している。

ガオ市の一般的な地質構造は，軟質の褐色粘土（第三紀層）の上位に砂礫層（第四紀層）が累重し，砂礫層の一部が地下水の飽和帯となっているが，本孔井では第三紀層，第四紀層共に粘土質である。

本孔井には明瞭な帯水層は認められない。わずかに存在する地下水の静水位は13.5 mである。これについてはⅣ章・4・1項（P106）で述べる。

#### 8) G-7 孔井

0～3.5.5 mは第四紀層，3.5.5～4.5.3 mは第三紀層である。第四紀層は下位から，中粒の石英礫とラテライトを伴う粘土（9.5 m），石英礫とラテライト礫を伴う細粒砂（7 m），中粒砂およびラテライト質細礫（3.5 m），砂質粘土（2 m），細粒砂（3.5 m），中粒砂（4 m），粗粒砂および泥質砂（6 m）から成り，褐色を呈する。中粒の石英礫とラテライトを伴う粘土は，ガオ市の第四紀層の下底あるいは下底付近に，ほとんど規則的に分布している。砂質粘土は深土13.5～15.5 mにあり，周辺の他の孔井には，これに対比される



ものは存在しない。第三紀層は下位から、褐色粘土（7.3 m）、灰色粘土（2.5 m）である。

帯水層は第四紀層の砂層で、静水位は4.9 m、地下水は自由面地下水で、飽和帯の厚さは2.1 mである。

#### 9) G-8 孔 井

0～3.6 mは第四紀層、3.6～4.4.5 mは第三紀層である。第四紀層は下位から、細粒～極細粒砂（1.0 m）、中粒砂（2 m）、礫（1.0 m）、細粒～極細粒砂（6 m）、中粒砂（6 m）、粘土質砂（2 m）から成り、褐色～帯赤色を呈し、底部で灰色味を帯びる。ガオ市で、第四紀層の下底あるいは下底付近に規則的に分布する石英礫を伴う褐色粘土は、本孔井では認められない。第三紀層は粘土（8.5 m）から成り、深度3.6.0～4.2.5 mは帯赤色、4.2.5～4.4.5 mは暗灰色を呈する。

帯水層は第四紀の砂礫層で、静水位は4.2 m、地下水は自由面地下水、飽和帯の厚さは3.2 mである。

#### 10) G-9 孔 井

0～2.7 mは第四紀層、2.7～4.0 mは第三紀層である。第四紀層は下位から、ラテライト質細礫を伴う粘土（3 m）、粗粒砂（7 m）、ラテライト細礫を伴う石英礫（8 m）、中粒砂（2 m）、粗粒砂（3 m）、粘土質砂（2 m）、わずかしき砂を含まない粘土（2 m）から成り、褐色または桃色を呈する。第三紀層は、黄褐色粘土（1.3 m）から成る。

帯水層は第四紀の砂礫から成り、静水位は4.3 m、飽和層の厚さは2.0 mである。

#### 11) G-10 孔 井

0～2.0 mは第四紀層、2.0～4.0.3 mは第三紀層である。第四紀層は下位から、石英およびラテライト質礫（4 m）、中粒砂（2 m）、石英およびラテライト礫（8 m）、石英礫（2 m）、中粒砂（2 m）、細粒砂（2 m）で構成され、褐色～黄色を呈する。第三紀層は粘土（2.0.3 m）から成り、下位から灰色、帯赤色、褐色を呈する。

帯水層は第四紀の砂礫層で、静水位は4.3 m、飽和層の厚さは1.6 mである。

#### 12) B-1 孔 井

0～2.8 mは第四紀層、2.8～4.0.0 mは第三紀層である。第四紀層は下位から、石英礫および粘土（2 m）、粗粒砂およびラテライト質細礫（8 m）、粗粒砂（6 m）、細粒砂（2 m）、粗粒砂（8 m）、砂（2 m）で構成される。第三紀層は緻密粘土（1.1.8 m）から成る。

帯水層は第四紀の砂礫層で、静水位 4.3 m 飽和帯の厚さは 2.2 m である。

### 13) A-1 孔井

0～9 m は第四紀層，9～12.4 m は第三紀層（恐らく Continental Terminal）である。第四紀層は褐色細粒～中粒砂から成り，3～6 m はやや暗色を呈する。アンソングの筒井戸のうちニジュール川に近いものゝ静水位は約 9 m であり，第四紀の砂層の底部付近から地下水を得ているものと思われる。従って A-1 孔井の静水位は第四紀層の下限より低いが，帯水層として第四紀層の下底付近も考慮した。第三紀層は下位から細粒～粗粒砂（層厚 1.9 m），礫層（1.5 m），粘土質砂層（9 m），砂質粘土層（6.0 m），含石英礫粘土層（1.1 m），砂質粘土層（2 m）から成る。8.1 m 深度を境にこれより浅部を主として帯白色，深部は帯赤色を呈することは明瞭な特徴である。また帯白色部の中で 2.1～2.7 m は暗灰色を呈する含有機物帯で，これを境に地質時代が区別される可能性が残る。アンソングで「粘土」と呼ばれるものは白色を呈して，孔壁の保持が良いことや，砂質粘土と判断された地層中に検層の結果帯水層が推定されることから，シルト質砂岩あるいはシルトと，砂または砂岩の互層と思われる。

帯水層は 2.7～4.2 m（恐らく砂とシルトの有律な互層），9.0～12.3 m（礫および砂）および前記理由から 8～2.1 m である。このうち 8～2.1 m は第四紀の砂層と第三紀層を含んでいるが，それぞれの地層中から採水している 2 つの筒井戸の水質が類似することや，両地層に掘られた筒井戸の地下水等高線が乱れることなく描かれるために一括した。しかし本孔の静水位は 12.1 m であり第三紀層中にある。これは第三紀層中の被圧水の圧力が小さいためである。

### 14) A-2 孔井

0～3 m は第四紀層，3～14.2 m は第三紀層である。第四紀層には下位の白色粘土質砂岩の礫や風化物がかなり含まれている。第三紀層は下位から赤色粘土質砂層（層厚 1.0 m），石英（1.0 m），石英礫および粗粒～中粒砂層（9 m），石英礫層（6 m），粘土質砂または砂質粘土層（3.6 m），細粒砂層（6 m），砂質粘土層（6.3 m）から成る。13.2 m 深度を境にそれより浅部は主として帯白色，それより深部は帯赤色を呈する点は A-1 孔井の場合と同様であるが，本孔井の礫層部は帯白色部の最下底にあり，A-1 孔井では帯赤色部に属する。本孔井の帯白色部中，3.6～4.2 m は白色と灰色の雑色および暗灰色を呈する。本孔井では揚水中に多量の気泡が確認されており，揚水試験後の排泥の臭気やケーシングパイプ切断時に破裂音を生じたと言う報告等から，上記の暗灰色部は有機物に富むものと判断され，気泡はメタンガスと思われる。この暗灰色部は，A-1 孔井の暗灰色部に對比される

ものであるがA-1孔井では多量の気泡は気付かれなかった。本孔井で砂質粘土とされたものの大部分は周辺に露出する白色シルト質砂岩に対比されるものであろう。A-1, A-2孔井の第三紀層の上部の色の詳細な変化は、本プロジェクトの事前調査報告書中に記載された「アンソング～ガオ幹線道路沿い東北側崖」のスケッチから推定される色の変化に合致し、少なくとも上記暗灰色部以浅はContinental Terminalに対比される。礫層部は石英礫を主とするが、結晶片岩源の礫が認められる。

帯水層は4.2～6.5 m (恐らく砂とシルトの有律な互層), 11.7～13.2 m (礫および砂) およびA-1孔井と同じ理由で1.7～3.6 m (砂とシルト有律な互層) である。しかし本孔井から約7.0 mの位置にある筒井戸の静水位が15.3 mであるのに対して、本孔井のそれは19.6 mであり、下位の被圧水の圧力が小さいことが知られる。

#### 15) A-3 孔 井

0～4.6 mは主として基盤岩の風化帯, 4.6～9.0.7 mは黒雲母片岩および珪岩から成る基盤岩類である。基盤岩はインフラカンブリア系とされている。風化帯と風化していない基盤岩との境界の決定は困難であるが、掘さく記録と電気検層の結果を総合して4.6 mとした。これらのうち0～4 mは新期の崖錐であろう。3.1～4.6 mは暗緑色黒雲母片岩からなり、1.8～3.1 mは同岩質で褐色汚染されている。1.8 m以浅は全て褐色または黄色の泥土を伴い、砂礫も同色に汚染されている。基盤岩類のうち8.7～9.0.7 mは白色硬質珪岩, 4.6～8.7 mは均一な暗緑色黒雲母片岩から成る。暗緑色黒雲母片岩には部分的に黄鉄鉱の鉱染が認められ、掘さく時に硬度および脆性の変化が頻繁に感じられたことが報告されている。

帯水部は2.6.5～4.6 mであるが、湧水量はわずかで、水質は劣る。

#### 16) D-1 孔 井

0～2 mは第四紀層, 2～12.0 mは第三紀層である。第四紀層は、スライムでは粘土、径2～3 cmの粘土質礫とラテライト礫として観察される。第三紀層は下位から砂質粘土(3.6 m), 粘土質砂およびオーライト(4 m), 粘土(1.4 m), 砂岩質粘土(6 m), 粘土(1.4 m), —— 以上は緑色味を帯びた黒色～灰色を呈する —— 黒色オーライトを伴う粘土(6 m), 白色砂岩と黒色オーライト(恐らくそれらの互層: 6 m), オーライトを多量に伴う粘土質砂(1.2 m), オーライトを伴う粘土(1.4 m), 層理の発達した粘土(6 m) —— 以上は黄色～白色を呈する —— からなる。

帯水層は、第三紀層の緑色味を帯びた黒色～灰色を呈する粘土質砂およびオーライト(深度8.0～8.4 m)と砂質粘土(深度9.3～9.7 m)の2層である。検層で深度2.2～3.4 m

付近に異常が見られるが帯水していない。静水位は57.5m, 地下水は被圧地下水である。既存の文献ではジェボック<sup>※1</sup>の第三紀層と上部白亜紀層の境界は深度80m付近とされ、帯水層は深度80m付近直下の上部白亜紀層の石灰岩とされていることが多いが、“オペレーション・ピュイ<sup>※2</sup>”(1975)は深度約80mの筒井戸を掘さくして、10~80m間をC.T(第三紀層)とし、帯水層は70~80mとしている。本報告書は下記の理由で、オペレーション・ピュイに類似した判断を下した。

- a) D-1孔井の深度80m付近の上下に、時代区分するほどの地質的な差が認められない。
- b) 上部白亜紀層のCr.Tの岩相に該当するのは泥質岩・黒色泥質岩であるが<sup>※3</sup>、これらは他の地層中にも認められ、時代決定の決め手としては弱い。
- c) これに対して、テルシェール「b 上部暁新統~ユプル階」のeおよびf)に記載したオーライト<sup>※4</sup>が、D-1孔井で多量に認められた。これらはマリーニェール盆地に関する記載のため、そのまま対比することはできないが、ガオ地溝の北側(外側)にもこれらに対比される地層が分布することから、ジェボック(地溝の内側)にこの時代の地層が存在することは、有り得ることである。
- d) C.Tの記載事項のaおよびeにもオーライトの存在を述べたが、そこではC.Tの岩質を比較的砂質であるとした。

D-1孔井の深度2~120mの地層は、オーライト<sup>※4</sup>を含み、粘土質であることから、本報告書のテルシェールに対比される可能性が強い。しかしスライム観察のために、詳細な地層区分は困難であるから、テルシェールとC.Tを区分せず、両者を第三紀層として一括した。本報告書でⅣ章1・2項以外では全てこの呼称に従っている。

以上の結果の概略を図Ⅳ・3・2, 表Ⅳ・3・2に示す。

---

※1 Djebok

※2 Operation puits, 1980年までDirection de l'hydraulique et de l'énergieに含められていたが、1981年から独立してこれと同格の機関となった。

※3 P77参照

※4 P78参照

表Ⅳ・3・2 調査実施地区の地質概略

地 層	地 質	特 徴	層 厚 m
第 四 紀 層	砂 礫 層	底部またはその付近に石英礫および褐色粘土を伴う。	0 ~ 4 9.5
第 三 紀 層	褐色粘土  シルト質砂岩と砂礫	Gaoに特有の粘土 一部で淡緑色の砂岩を挟有する。  白色～灰色～淡褐色  石英礫	8.5 ~ 13.9
インフラカンブリア系	変 成 岩 類	黒雲母片岩, 珪岩,  風化帯を伴う	7 1.7

基盤岩類のうちグルマ山塊から連続するインフラカンブリア系の変成岩類が、アンソングに露出している。A-3孔井では、上位4mの崖錐を除き深度31mまで連続する風化帯の下位で、44.7mが掘さくされた。なお、同孔井では風化帯へのニジェール川からの水の補給は認められず、変成岩類中に裂隙水も存在しない。

C.Iはアドラル デイフォラスの東側に分布するために、この調査では確認されていない。

上部白亜紀層の上部を占め帯水層として知られるCr.Tをはじめ、上部白亜紀層に属するものは、これまでの調査で確認されていない。

第三紀層は、ハマクラジ<sup>\*1.1</sup>で120m、ガオで8.5~13.1.1m、バグンジェ<sup>\*1.2</sup>で12.2m、アンソングで11.5~13.9m、ジェボックで11.8mが確認された。ボーリングは第三紀層の下底を貫いていないので、層厚はこれ以上である。本層はハマクラジ・アンソング・ジェボックの主要な帯水層である。

第四紀層は、ガオで1.8~4.9.5m、バグンジェで2.8m、アンソングで3~9m、ジェボックで2mが確認された。本層はガオとバグンジェの主要な帯水層である。

(2) 帯水層の水理定数 (図Ⅳ・3・3~4, 表Ⅳ・3・3~4)

この調査によって確認された帯水層には、第三紀層に属するものと、第四紀層に属するも

\*1 .1 Amakouladji 又は Hamakouladji

\* .2 Bagoundje 又は Bagoundie

のがあり、その他インフラカンブリア系の風化帯を確認した。しかし後者からの湧水はわずかなので本項では前2者について述べる。

### 1 第三紀層の帯水層

第三紀層に属する帯水層は粘土質の砂あるいは粘土質の礫で構成される他、電気検層によって砂質粘土層の一部にも微候が得られている。またアンソングでは粘土を伴わない（あるいは粘土が非常に少ない）礫層と砂層が合計33mに達している。この帯水層の地下水は被圧水である。

第三紀層には、地質的に帯水層と成り得る地層が少なくとも3層存在する（表Ⅳ・3・3、図Ⅳ・3・2）が、最上位のもの（帯水層1）は地下水が存在しないか、存在しても少ないと推定される。

表Ⅳ・3・3 第三紀層の帯水層<sup>\*1</sup>とその標高

帯水層	調査地区			その他の類似した地区	
	ハマクラジ	アンソング	ジェボック	※4.1 アルガベッシュ	※4.2 ティンテネラン
(ボーリング地点の標高)	257.0 m	251.8 m	279.0 m	261.6 m	290.0 m
帯水層 1 <sup>*1</sup>	※※ 209	※※※ 229	※※ 251	—	※2 242
帯水層 2	178	206	197	※3 194	208
帯水層 3	151	141	184	171	—

※1 正確には、「帯水層に成り得る地層」の意

※2 帯水層の底部

※3 帯水層のどの部分か不明

※2および※3以外は全て帯水層の中間点の標高

※4 .1 Argabeche 又は Ag Arbech

.2 Tin Ténéran

※※ 地下水が存在しない

※※※ 地下水が少ないと推定される

従ってこの地下水は遠方で涵養されるのではなく、局所的な地下水と考えられる。地域的な地下水開発計画では帯水層1も考慮されることは当然だが、広域的地下水開発計画では帯水層2あるいは帯水層3を対象にしなければならない。

\*1 各地区の同一番号の帯水層がお互いに対比されるとは限らないので注意

帯水層 2 と帯水層 3 はそれぞれ深度 40～90 m, 90～110 m にあり, 両帯水層からの同時採水による限界揚水量は合計 2～12 m<sup>3</sup>/h が期待され, この時の比湧水量は 0.1～0.5 m<sup>3</sup>/h/m, アルガベッシュでは 2 m<sup>3</sup>/h/m である。

## ii 第四紀層の帯水層

第四紀層に属する帯水層は細粒～粗粒砂と礫で構成され, 帯水層の底部あるいはその直上付近にレンズ状の褐色粘土を伴うことがある。この帯水層の地下水は, ニジェール川から補給を受ける自由面地下水である。

砂礫層の底部は, これまでのボーリング結果ではニジェール川側で低く, 内陸側で高くなる傾向を示す。静水位はこれと逆の傾向を示すので, 飽和帯の厚さはニジェール川付近で厚く, 内陸側で薄い。

砂礫層の底部はニジェール川付近で深度 19～50 m, 川から 450～800 m 内陸側で 19～20 m である。

静水位はニジェール川付近で 4～8 m, 内陸側で 11～14 m である。

飽和層の厚さはニジェール川付近で 11～45 m, 標準的には約 20 m で, 内陸側では 4～14 m にすぎない。

第四紀層の帯水層の限界揚水量は標準的には 3.5～12 m<sup>3</sup>/h で, この時の比湧水量は 0.4～6.3 m<sup>3</sup>/h/m だが G-7・G-10 孔井では限界揚水量は 12 m<sup>3</sup>/h 以上に達し, この時の比湧水量は 2.7～6.3 m<sup>3</sup>/h/m である。G-1, G-6 孔井は他の G および B 番号のボーリングより内陸側にあり, 地質条件・飽和帯の厚さ等の条件が劣るためにこれらの値より低い値を示す。

代表的なボーリング孔井の揚水試験の結果を図 V・3・3～4 に, 各孔井の帯水層試験の結果を表 V・3・4 に示す。

## (3) 地下水の水質 (図 V・3・5～6, 表 V・3・5)

掘さくした管井戸の揚水試験時に採取した水試料と In Aoukert の水試料について, 地質調査所で水質試験を行った。水試料は 7 箇で, 内訳はインフラカンブリア系 1, 第三紀層 4, 第四紀層 2 である。試験の結果は, 図 V・3・5～6, 表 V・3・5 のとおりである。

### 1) 化学成分の特徴

7 水試料のなかで, 溶存分量が最も多いのは, G-6 である。つづいて, Ha-1, A-3, In-Aoukert, A-1, G-2, G-7 の順である。

G-6 は, ガオ市街地のほぼ中央部に位置していて, 硝酸イオンとナトリウムが目立って多い。この化学成分の特徴は, チリ硝石の性質に類似していることである。

次に, G-6 を除いた 6 水試料の EC についてみると, 第四紀層及び第三紀層, A-1

を除いては、ECが1,100～1,600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (25°C)である。淡水とかん水との区分は、固形物総量1 g/lを基準とし、その基準値に相当するECは1,400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ である。したがって、第三紀層及びインフラカンブリア系の地下水は、かん水の区分に近い水である、といえる。

インフラカンブリア系地下水の溶存成分で、特に目立って多いのは、重炭酸イオン・硫酸イオンとカルシウム・マグネシウムである。

第三紀層地下水（G-6を除く）の特徴は、硫酸イオンとカルシウム・マグネシウム（In-Aoukert）、塩化物イオン・ナトリウム（Ha-1）が特に多い点である。

第四紀層地下水は、溶存成分が極端に少ない。

図Ⅳ・3・5は、溶存分量を図の大きさで表わしている。この図から、第四紀層地下水が他の水試料と全く異なっていることが理解できる。そして、第三紀層・インフラカンブリア系の地下水は、第四紀層に比べて硫酸イオンが多いことが特徴である。

なお、インフラカンブリア系とA-1、すなわち、アンソング地区の地下水は、鉄分に富んでいる。水試料を肉眼でみるかぎり、前者には硫化鉄、後者には酸化鉄の沈澱があり、また二つとも鉄バクテリアは発見されなかった。

## 2) 水質の型

7水試料について、水質型を知るために、図Ⅳ・3・6を作成した。その結果、水質の型は次の三つに大別できる。

Ca-HCO<sub>3</sub>型 : G-2, G-7

Ca-SO<sub>4</sub>型 : A-1, In-Aoukert.

Na-Cl型 : Ha-1, G-6.

A-3はCa-HCO<sub>3</sub>型とCa-SO<sub>4</sub>型の間の水質型である。

Ca-HCO<sub>3</sub>型は、地下水の起源（補給源）に近い水質型であることから、ガオ地区の地下水（G-2, G-7など第四紀層）は、ニジェール川の近くでは川水から補給を十分に受けていると考えられる。

Na-Cl型については、塩化物イオンの起源が定かでないが、白亜紀海成層中の地下水開発によって、今後明らかに出来るものと期待される。



#### 4. ガオ・アンソンゴ市の地下水

##### 4-1 ガオの地下水の賦存状態 (図Ⅳ・4・4 表Ⅳ・4・1)

ガオの地下水は第四紀層の砂礫層中に賦存し、地下水面の等高線図と等深度線図は地形がほぼ平坦なために、ほぼ同じパターンを呈する(図Ⅳ・4・1～2)。これら曲線はニジェール川の河岸にはほぼ平行で、川側で高位を、内陸側で低位を示し、川から500m以内の地区の動水勾配は約0.01、500～2,000mの地区のそれは約0.001である。

地下水面は季節的な影響を受ける。図Ⅳ・4・3はこの様子を表わしている。同図のA・B・Cは観測された筒井戸で、これらはニジェール川にはほぼ直角な方向に配列しており、川からの距離は表Ⅳ・4・1の通りである。底部の数字はそれぞれの深度を、X印は静水位を表わす。測定は現地住民を指導し、毎日行ったが、図には5日毎の測定値を示した。

表Ⅳ・4・1 ニジェール川の水位およびガオの筒井戸の静水位

測定箇所	井戸の深度 m	ニジェール川 からの距離 m	※ 静 水 位		年間変動量 m	位 置
			最高 m	最低 m		
ニジェール川	—	—	3.86	0	3.8	—
A	5.93	170	4.2	5.7	1.5	G-2 孔井の北 約100m
B	7.63	240	6.2	7.3	1.1	AとCの間
C	13.35	420	8.9	9.4	0.5	Gao 水利局

※ ニジェール川のみ水深を示す。

図Ⅳ・4・3のニジェール川の水位から次のような事が読み取れる。

- 静水位はニジェール川寄りが高く、内陸側で低い。
- 川の水位の変化と地下水面とは正の相関性があり、川に近いほど川の水位の影響を早く受ける。
- 地下水面の変動量は川寄り大きく、内陸側で小さい。
- 地下水面は降雨の影響を受け、その影響は内陸側の方が長期間にわたって認められる。

aは同図から明らかである。

bは同図から明らかであり、川の水位変動と地下水面の変動の時期には最高位の場合に0.5～3ヶ月(川寄り～内陸側)のタイムラグが、最低位の場合に1～4ヶ月(同)のタイムラグが読み取れる。

cは1.5～0.5 m(川寄り～内陸側)である。

dはBとCの筒井戸の低位の時期に、小さなピークが現われていることから知ることができる。この影響による地下水位の上昇量は12 cm以上である。雨期の開始から約1.5ヶ月遅れて上昇が始まり、降雨の影響は3～4ヶ月間認められる。筒井戸Aはニジェール川の水位の影響を早い時期に、強く受けるために降雨の影響が現われない。

### (1) 降雨による地下水の補給

ガオの降雨による地下水の補給の程度を、下記の条件によって次のように試算する。

- a 降雨により補給される割合 …………… P
- b 年間降雨量 …………… 303.1mm(1980)
- c 降雨の影響と思われる地下水位の上昇… 120 mm (P104)
- d 帯水層の有効間隙率 …………… 30%

$$P = (120 \times 0.3 \div 303.1) \times 100 = 11.9 (\%)$$

この種の計算は、地下水の流れの方向を考慮して、或る範囲の補給量と降雨量を比較しなければならないが、本項では一つの目安として便宜的に試算した。これによって東西2 km(ニジェール川～最も内陸側の筒井戸)、南北10 km(ガオ～バグンジェ)の地区の降雨による年間補給量を求めると次のようになる。

$$A = (2 \times 10^3) \times (10 \times 10^3) \times (120 \times 10^{-3} \times 0.3) \\ = 7.2 \times 10^5 \quad (\text{m}^3)$$

これは住民の水の使用量を10 l/人・日<sup>\*1</sup>とすると、197,000人の1年間の水の使用量に匹敵する。

$$(10 \text{ l/人} \cdot \text{日} \times 10^{-3}) \times 365 \text{ 日} = 3.65 \text{ m}^3/\text{人} \cdot \text{年}$$

$$(7.2 \times 10^5) \div 3.65 \div 197,000 \text{ 人}$$

またこれは49,000 UBT(またはUB)の1年間の水の必要量に当る。すなわち、

$$(40 \text{ l/人} \cdot \text{日} \times 10^{-3}) \times 365 \text{ 日} = 14.6 \text{ m}^3/\text{UBT} \cdot \text{年}$$

$$(7.2 \times 10^5) \div 14.6 \div 49,000 \text{ UBT}$$

### (2) ニジェール川沿岸の貯留量

上述のa～cはガオの地下水が河岸貯留の機構を有することを示している。河岸貯留量は次のように求められる。

$$V_s = A \times h \times p_e$$

$V_s$  : 河岸貯留量

$A$  : 河岸貯留の影響が観測できる地帯の面積

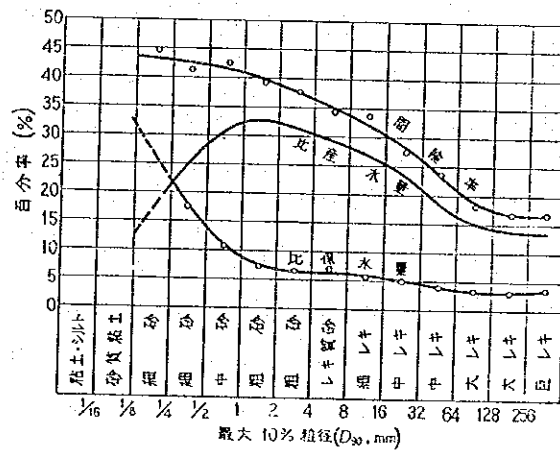
\*1 P15参照

$h$  : 地下水位の平均変動量

$p_e$  : 帯水層の平均有効間隙率

$A$ は東西2km(ニジュール川~最も内陸側の筒井戸), 南北10km(ガオ~バグンジェ)とする。 $h$ は図IV・4・3から求められる。 $p_e$ は筒井戸掘削の状況とボーリングのスライムの状況から, 粒径加積曲線の  $D_{90}$  に対応する粒径を肉眼観察で1~2mmと判断し, 図IV・4・4から推定する。

図IV・4・4 堆積岩の比産水量(有効間隙率)  
(Eckisによる)



$$A = (2 \times 10^3) \times (10 \times 10^3) \quad \text{m}^2$$

$$h = \frac{1.5 + 1.1 + 0.5}{3} \quad \text{m}$$

$$p_e = 30 \sim 35 \quad (\text{30を採用}) \quad \%$$

以上の結果,  $V_s$ は次のように求められる。

$$V_s = 6.2 \times 10^6 \quad \text{m}^3$$

この河岸貯留量は、年間を通して自然状態で変化する地下水面の変動量に対応した貯留量であって、地下水の全貯留量を意味してはいない。ガオ市の地下水の飽和帯の厚さはニジェール川に流水が豊富な時期には、同川沿岸で11～45mにも達するから、全貯留量は膨大なものであり、また地下水を揚水することによって、川からの補給は助長されるため、Gao市の利用可能な地下水量は、この比ではない。上記の河岸貯留量は、その貯留量を適当な方法によって長期的に確保し、渇水期に利用しても、ガオ市の現在の渇水期の地下水面に影響を及ぼさないと考えられる貯留量に相当する。

### (3) さく井位置および井戸の深度決定時の注意点

i) ガオには、G-6孔井地点以北に、地下水面が周囲より極端に低い地区が存在する。

(図Ⅳ・4・1)。そこに存在する筒井戸は次の様な特徴を有している。

- a 筒井戸掘さく時には地下水が存在したが
- b 次第に地下水が枯渇した。
- c 地下水は塩からい。
- d 地下水の導電率が異常に高い。(1,250～9,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  25℃)
- e  $\text{NO}_3$  を多量に含んでいる。
- f G-6孔井の第四紀層の部分が粘土質の砂層である。

この地区は南北0.8～1.0km、東西2.0km以上にわたり、そこに存在する筒井戸は大部分使用されていないが、この地区以外では現在でも筒井戸は日常生活に欠かせないものである。それでも住民が井戸の改修を行わないのは、この地区が水理地質上、特殊な地区であるためであろう。これについて、上記の諸現象から次のように考える。

この地区の第四紀層にはニジェール川からの水の補給がほとんど行なわれず、地下水は化石水に近い性質の水なのであろう。新たに空洞(筒井戸)が生じて、周囲の圧力のバランスが崩れると、地層中の間隙水が湧出するが、地層の自重による圧縮力と間隙水の表面張力が平衡状態になるまで水位が降下すると、地下水の湧出が止まると考えられる。

ii) ニジェール川からの水の補給がある地区でも、図Ⅳ・4・3の筒井戸Bの場合などは降雨の影響を除くと、渇水期には静水位が孔底に達する可能性があり、降雨量の少ない年には井戸枯れすることが考えられる。筒井戸の掘さく時にはこの点を考慮して、筒井戸の深度を決定する必要がある。

#### 4-2 アンソソゴの地下水 (図Ⅳ・4・5)

アンソソゴの町の中に走向NW-S Eの断層が存在し、断層の北東側に堆積岩類が、南西側に基盤岩類が存在する。堆積岩類は砂、礫から成る第四紀層および砂、シルト、礫等から成る第三紀層(Continental Terminal)で構成され、基盤岩類は一部で片麻岩状構造を呈する黒雲母片岩、珪岩から成る。

アンソソゴ地区では調査深度内に3つの帯水層が確認された。

第1の帯水層は深度8~36mに存在し、住民の使用する地下水はこの帯水層から得られている。本帯水層の地下水は第四紀の砂、礫層中に存在する自由面地下水を主とし、内陸部で第三紀層中に補給されて被圧水となるが、圧力は小さい。地下水の補給はニジェール川から行なわれていると思われる。第四紀の砂層の分布は局所的な地質構造に支配され、サークルコマンドン庁舎および北方約1kmにある学校を両端とする地帯のNNW-SSE延長部で厚く堆積しているようである。地下水の静水位はニジェール川の河畔で4.3m、川から約400m内陸で約10m、この間の動水勾配は0.02である(筒井戸調査による)。

第2の帯水層は砂およびシルト岩の有律な互層からなる第三紀層で、上記帯水層とは含有機物層によって隔てられ、深度27~65mに存在する。ボーリング掘さくやスライムスケッチからは確認されず、孔内検層によって推定された。単独の採水は行なわれなかったが、溶存鉄の濃度は高いものと思われる。広域的にはアンソソゴの東方約25kmのマジボの筒井戸の深度に類似する。

第3の帯水層は本調査によって新しく発見されたもので、礫および砂より成り、深度90~132mに存在する。孔井掘さく時の逸水の状況から多量の湧出量が期待されたが、断層に近いA-2孔井はA-1孔井に比較して少ない。

以上の他、基盤岩の分布地区には厚さ約50mの風化帯が存在し、ニジェール川の河畔まで連続しているが透水性が悪く、わずかしが帯水していない。賦存する地下水はpH 6.0、溶存鉄40ppm、導電率970ppmであるが、硫酸根を少量含んでいる。

第1の帯水層のうち、第四紀の砂層は河岸貯留の構を伴うものと思われるが、地下水位変動量の記録が無く、河岸貯留量を計算することはできない。しかし同層の地下水の調査時の流速をDarcyの公式 $v = Ki$ ( $K$ :透水性係数、 $i$ =導水勾配)により試算すると $v = 4.8 \times 10^{-4}$  m/hが得られる( $K$ は帯水層が砂礫層のみから成るG-4、G-5孔井の平均値 $2.4 \times 10^{-4}$ 、 $i$ は前記の0.02を使用)が、アンソソゴの砂礫層はガオに比較してやゝ泥質物に富むために、実際にはより遅いものと思われる。

## 5. 第7経済区の地下水

### 5-1 帯水層 (図Ⅳ・5・1, 表Ⅳ・5・1)

本調査によって確認された帯水層は主として第3紀層および第四紀層<sup>※1</sup>に属するものであるが、第7経済区の帯水層にはこの他C・Iおよび上部白亜紀層に属するものがある。これらの各帯水層について、下位の層準のものから述べる。

C・Iの帯水層はマリ共和国ではイルハゼール泥岩層群の下限およびテガマ層群に存在する。これらの帯水層はPNCのウラン探鉱によって、アルジェリアとの国境付近で行われた複数のボーリングで確認された。その結果によれば、深度17.8~43.8mに3.6~9m<sup>3</sup>/hの揚水量が可能な帯水層が存在する。K.F.Saad(1969)はC・Iの全層厚に対する帯水層の割合を26~72%とし、C・Iの帯水層が存在する地域を5つの水文区に区分している。

(図集P 86)。

上部白亜紀層の帯水層は同名あるいは白亜紀海成層と呼ばれている。海成層と言う意味では、本報告書の「テルシュール」が地史的にふさわしいように思われるが、Saadが記載する帯水層の岩相と期(Age), J.M.CARREREが記載するCr.Tの岩相と期および「同層が地下水の存在で知られる」と言うことから、上部白亜紀層の主要な帯水層はダン階~マエストリッシュ階とされるCr.Tと思われる。Saadは上部白亜紀層全体の厚さを20~350mとし、これに対する帯水層の割合を10~81%として、上部白亜紀層の帯水層が存在する地域を6つの水分区に区分している。(図集P 86)。

第三紀層の帯水層はC.Tと呼ばれているものに属する。ジェボックの帯水層は一部の文献で上部白亜紀層とされていたが、P で述べた理由で、本報告書では第三紀層とした。

JICAプロジェクトによるボーリングで、これに属する帯水層は少なくとも2層存在し、水の補給が行なわれれば帯水層と成り得るものを含めると3層存在することが確認され(P 91), 次項で述べるように既存の井戸の資料からも複数の帯水層の存在が推定された。Saadは第三紀層(C.T)の帯水層が存在する地域を4つの水文区に区分しているが、そのうちニジェール川に沿った水文区の帯水層には、本報告書の第四紀層が含まれていると考えられる(図集P 86)。

第四紀層の砂礫層はガオに特に厚く堆積し、優れた帯水層となっている。このような帯水層はニジェール川沿岸の全域に分布するとは限らず、内陸からの涸れ川がニジェール川と合流する地域や、ニジェール川の本流の屈曲部に形成されているようである。このような地域は地下水の補給も受けやすいであろうし、伏流水が存在する可能性も高い。

この他第四紀層の帯水層として、基盤岩地帯の風化帯および沖積層があげられる。キダルの

※1 この他アンソングではインフラカンブリア系の風化帯で地下水を得ているが、湧水量はわずかなので以後帯水層として取り上げない。

帯水層はこれに属し，砂礫層は基盤岩の凹地に形成された涸れ川に，通常10～17 m，電気探査による推定では30 mの厚さで堆積し，風化帯の厚さは50 mに達することがあると言われる。静水位は8～16 mで飽和帯の厚さは約1 mである。

## 5-2 既存の井戸から推定される帯水層の深度と特徴(図・Ⅳ・5・2~3, 表Ⅳ・5・2)

この項では既存の水理地質図<sup>※1</sup>と2, 3の文献<sup>※2</sup>およびJICAプロジェクトの調査結果から, 井戸表(Ⅳ章付録)および, その他の図を作成し, これを基に第7経済区の帯水層の等深度線図を作成した。等高線図を作成せず, 等深度線図としたのは, それぞれの井戸が存在する地点の標高が資料によって異なり, 同一地点の記載でも10m程度の差が見られることがあるからである。従って図Ⅳ・5・3は帯水層面の形を表わしてはいない。しかし調査地域の地形は起伏に乏しく, 地質構造もティレムシ谷の上流のティメトリン<sup>※3</sup>付近やキダルの基盤岩地域以外は緩やかな角度の同斜構造であるから, 等深度線図であっても, 帯水層面の凡の形を表わしていると考えられる。

また, 等深度線図はボーリング深度を決定する上で非常に有効である。

等深度線図を作成するにあたり, 帯水層の深度が明記されていないものについては, 井戸が帯水層に達した時点で掘さくが中止されたと仮定して, 井戸の深度を帯水層の深度とした。

帯水層の等深度線には2つのタイプがある。第1のタイプは北から南の方向(NE→SO, NO→SE)あるいは東から西の方向に深度を増すもので, 第7経済区では広域的な傾向である。この傾向はガオ地溝およびその延長と, ガオ地溝の北側で認められ, ガオ地溝では等深度線図から3層以上の帯水層<sup>※4</sup>が存在すると考えられる。しかし3層が存在する地区はタガラングブット<sup>※5</sup>の北東付近だけで, 広域的には2層の帯水層が存在すると思われる。これを下位帯水層, 中位帯水層とする。<sup>※6</sup>。下位帯水層と中位帯水層の間隔は10~30m程度で, 中位帯水層は深度40~60mあるいはそれより下位に賦存している。

以上の傾向はガオ地溝ではC, Tの帯水層に見られるが, ティレムシ谷では大部分の地域で帯水層の層準が不明あるいは不確定である。ガオ, 地溝の北側では上部白亜紀層の帯水層に第1のタイプの帯水層<sup>※7</sup>が見られる。

※1. 約28年前に作成されたものであるが, その正確な年度・プロジェクト名・報告書名は明らかではない。

図名はSERVICE HYDRAULIQUEの「HYDROGEOLOGIE DU SOUDAN ORIENTAL, FOND CARTES DE L' I.G.N」で, M.M. PARIS et RADIER 他3名で作成されている。

※2. 井戸表(Ⅳ章付録)に記載

※3. Timétrine

※4. P100で記載した3層とは区分の規準が異なる(※6参照)

※5. Tagarengabout

※6. 本節の下位帯水層は, D-1孔井の第2および3層に相当する。

中位帯水層に相当するものはD-1孔井では確認されていない。

※7. 厳密には「第1のタイプの等深度線」のパターンを呈する帯水層の意味だが以下同様に称する。帯水層の構造と一致しないこともあるので注意を要する。



第2のタイプは南から北の方向(S→N, SO→NE)に深度を増すもので、ブーレム以北で大規模に、ガオ～アンソンゴのニジェール川沿岸で比較的小規模に見られる。このタイプの帯水層はC:T(ブーレム以北,アンソンゴの一部)と第四紀層(ガオ～アンソンゴのニジェール川沿岸)に賦存している。

以上の帯水層の分布の状態から、第7経済区を次の地域に区分することが、地下水開発を計画する上で有効であると考えられる。

- a ガオ地溝およびその延長
- b ガオ地溝の北側の堆積岩地帯(サミット, アネフィス等)
- c ブーレム以北
- d アドラル デイフォラスの基盤岩地帯(キダル 等)

### 5-3 地下水 (表Ⅳ・5・1)

地下水はそれが含まれる帯水層によって自由面地下水と被圧地下水に明確に区分される。

自由面地下水は第四紀層に賦存する。ニジェール川沿岸では河岸貯留の機構を有し、さらに降雨による地下水の補給が行われ、この間小規模な水位上昇が3～4ヶ月間認められる。このことについてはⅣ章4・1項で述べた。

被圧地下水は第三紀層の他、C・I上部白亜紀層に賦存するが、タハバナット<sup>※1</sup>以外に自噴するものはわずかしかない。この地下水の賦存する帯水層の広域的な対比はまだ充分とは言えず、従来行われている対比は必ずしも確立されたものではない。

従って各累層の地下水について総括的に述べることは困難だが、P99で述べた事柄の他、次のような特徴を有しているようである。

C・Iに賦存する被圧地下水は、この累層が露出する地域以外では一般に淡水である。蒸発残留物は北で多く、南で少ない。

上部白亜紀層に賦存する被圧地下水の蒸発残留物は400～5000mg/l(導電率、600～7500 $\mu$ S/cm・25℃)の間にあり、水質は地下水が補給される地域の地質に影響される。すなわち

- a アドラル デ イフォラスの東で補給される地下水は1500～3000mg/l(導電率：300～4000 $\mu$ S/cm, 25℃に相当)
- b アドラル デ イフォラスの南で補給される地下水は1000mg/l以下(同1500 $\mu$ S/cm, 25℃以下)
- c アドラル デ イフォラスの西で補給される地下水は2000～5000mg/l(同3500～7500 $\mu$ S/cm, 25℃)

の値を示す。

第三紀層に賦存する被圧地下水の蒸発残留物の量も、補給地域の地質に左右される。すなわち

- d アドラル デ イフォラスの南東および南で補給される地下水は700mg/l以下(導電率：1000 $\mu$ S/cm, 25℃)を示す淡水である。
- e アドラル デ イフォラスの西で補給される地下水は、この地域の北部の数地区で5000mg/lに達するが、南部ではdの地域と接するために希釈されて700mg/lをわずかに超えるにすぎない。

---

※1 Tahabanat (メナカの北東約150km)

#### 5-4 地下水の補給と流動

第7経済区の層序対比はまだ確立されていないので、今後の考察の余地はあるが、K.F. Saad (1969) がこの地区の補給の機構について詳しく述べている。彼の図に修正を加え、図Ⅳ・5・1および表Ⅳ・5・1に示す。図中の太字の数と、表のa欄の数は対応した水文区である。地下水流動の機構は必ずしも明らかにされていないので、必要に応じて述べる。

##### (1) 自由面地下水

この地下水についてはSaadは特に述べていない。この地下水はキダルとガオに賦存し、その他ニジェール川沿岸の各所に存在すると思われる。SaadのC.T(第三紀層)の4にはこの地下水が含まれている。

キダルでは基盤岩で構成される山地部(アドラル デ イフォラス)の雨期の降水が涸れ川を潤して平地部の砂質の平野へ流れ、この過程で流水の一部が地下に補給される。樹枝状の無数の支流が合流する主要な涸れ川の長さは数100 kmに及ぶために、少い降雨にもかかわらず年間を通して涸れない筒井戸がキダルに存在する。

ガオの自由面地下水はすでに述べたように、豊水期にニジェール川から補給を受け、渇水期に排出する河岸貯留の機構を有し、河岸貯留量は $2 \times 10 \text{ km}^2$ の範囲で $6.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ に達するが、地下水を揚水することによって川からの補給は助長されるから、利用可能な地下水はこの比ではない。

地下水の排出期はガオの雨期に当り、低下しつつある地下水面が降雨による補給によって、3~4ヶ月間上昇し、上昇の程度は12 cm以上に達する。降雨による年間の補給量は降雨量の11.9%に達し、上記の範囲で $7.2 \times 10^5 \text{ m}^3$ と諸算された。

##### (2) 被圧地下水 (図Ⅳ・5・1, 表Ⅳ・5・1)

C.I 上部白亜紀層・第三紀層の地下水が、これに相当する。

###### 1) コンチネンタル インターカレイル(C.I)

C.Iの被圧地下水はアドラル デ イフォラスの東側の重要な地下水である。この地域では $116.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ /年の補給が行われ、流動の程度は $115.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ /年である。この地域の比湧水量は $4 \sim 6 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{m}$ である。

###### 2) 上部白亜紀層(Cr.T)

上部白亜紀層の被圧地下の水文区は2つのグループに分けられる。1つのグループは1・2・3<sup>※1</sup> およびE(①グループ)、他のグループは4・5・6(②グループ)である。これは地質構造による水文区の規制である。すなわち前者はマリニジェール盆地、後者はスーダン海峡に位置する。

①グループの補給は $27.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ /年で、流動もこれに等しい。比湧水量は $1 \text{ m}^3 / \text{h} /$

※1. 太字の数字は図Ⅳ・5・1中の太字の数字および表Ⅳ・5・1のa欄の数字に対応する。

m以下である。

②グループの3つの水文区の地下水はそれぞれ独立して北東から南西に移動するが、流動の機構は明らかでない。それらの内で4の水文区の規模が最も大きく、水質も優れている。このグループの補給は $3.80 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 、比湧水量は $1 \sim 3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ である。

### 3) 第三紀層 (またはC.T)

第三紀層の被圧地下水の水文区は4つに別けられていて、それらのうちで2・3・4が第7経済区の主要な水文区である。4にニジェール川沿岸の自由面地下水が含まれている可能性があるが、4の補給の程度がこの地区の自由面地下水の補給としては小さすぎるので、図表の通り扱った。この地域の流失の機構は明らかではない。

補給の程度の大規模なものは3だが蒸発残留物が $5000 \text{ mg/l}$ に達する場合がある。2の補給の程度も比較的大きく、蒸発残留物は $700 \text{ mg/l}$ 以下で優れている。3の水文区もこの水文区の近辺では蒸発残留物の含有量が小さい。両水文区の補給の程度は合計で $7.32 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{年}$ である。比湧水量は $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ とされている。

以上の結果、第7経済区の被圧地下水の補給は $1.824 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ となる。年間の第7経済区の平均降雨量を約 $100 \text{ mm}/\text{年}$ と仮定し、第7経済区の面積を $3.22 \times 10^3 \text{ km}^2$ とすると上記の補給量は年間降雨量の0.6%に当る。

## 6. 第7経済区の水の需要

### 6-1 水の需要

前節でガオの自由面地下水はニジェール川から補給を受け、利用可能な地下水は膨大であること、第7経済区の被圧地下水の年間の補給量は約 $180 \times 10^6 \text{ m}^3$ /年であることを述べたが、ここでは第7経済区の水の需要を検討する。

1981年作成の5ヶ年計画によれば、1976年の第7経済区の人口は約 $370 \times 10^3$ 人とされ、地方の人口増加率は2.4%とされているから、計画最終年度(1985年)の、第7経済区の人口は約 $460 \times 10^3$ 人と推定される。これに対して第7経済区の牧草地の面積と、1UBT当りに必要な牧草地との関係から、第7経済区で飼育し得る理論的な牧畜数は、約 $1.1 \times 10^6$ UBTであるとされている<sup>※1</sup>。

これに従えば1985年頃の第7経済区の水の必要量は $48.6 \times 10^3 \text{ m}^3$ /日に達し、これは約 $18 \times 10^6 \text{ m}^3$ /年に相当する。これは数字上では水の需給関係が成り立つことを示すものである。

次いでは、今後どの程度の地下水を確保しなければならぬか、以下この点について考察を行う。

---

※1 AMENAGEMENTS D'HYDRAULIQUE PASTORALE LA RÉGIOM DE GAO, MALI および AMENAGEMENTS D'HYDRAULIQUE PASTORALE

## 6-2 最近の水の供給

前項の方法で1981年の第7経済区の人口は約 $417 \times 10^3$ 人と推定される。これに対して同区の最近の家畜数は $885 \times 10^3$  UBT<sup>\*1</sup>とされている。現在これだけの人口と家畜が生存しているのであるから、これに必要な水が供給されていることは間違い無いであろう。この供給量は約 $13 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/年である。

この供給量を全て井戸でまかなっているとすると、井戸類1孔当り1 m<sup>3</sup>/hの揚水能力がある<sup>\*2</sup>、遊牧民が揚水可能な時間を1日のうちの12時間とすると、約3,000の井戸類が存在することになる。しかし実際には、家畜達は雨期後には内陸の潤れ川やマールでも水を得、それらの規模の縮小や消滅に従って南、南西あるいは南東に移動しながら水を得るを他、かなりの家畜がニジェール川から水を得ている。従って試算された水の必要量の全てが井戸類によってまかなわれているわけではない。

第7経済区で建設された筒井戸とマールの数が表II・4に示されている。この表でブランクとなっている井戸類を含めた185を越える筒井戸の建設年度を表II・5に示す。このうちガオ・アンソンゴ・キダルの各サークルの合計が135以上となっているのに対して、現存するものは68ヶ所、そのうち54ヶ所は改修が必要とのことで(1979)、保存率が非常に悪い。また他の報告では1963~68年に掘さくされた24本とそれ以前に掘さくされた19本の合計43本の中で33本が成功し、22本にポンプが付けられたが、現残使用されているものは1つも無いとされていたり、これと類似した情報が多い。いずれにしても現存する井戸の数はわずかであり、逐次造られる井戸類も比較的早期に使用不能になるようである。このような状況の下で、現存する井戸類からの全揚水量を推定することは困難である。

仮に上述の68ヶ所の井戸類の能力を、この地域で優秀な井戸類の揚水量に匹敵する4 m<sup>3</sup>/h<sup>\*3</sup>として、揚水可能な時間を1日のうちの12時間とすると、これらから汲み上げられる水量は約3300 m<sup>3</sup>/日にすぎず、同地域の水の需要量<sup>\*4</sup>の15%程度にすぎない。このことから遊牧民は水の必要量の大半を記録に残らないほど小規模な、多数の手掘り井戸(Puisards)や、マール、ニジェール川等から得ているものと考えられる。

\*1 UBT(家畜単位数)に関する行政調査およびDirection Elevage Bamako, Région elevage Gao, Secteurs d'élevageの各関係機関による統計値は一致しない。たとえば上記の順序でUBT数が多く集計されていて、Secteurs d'élevageの値は行政調査のその3倍にもなる。

また同一機関による統計でも年度毎の変動幅が大きく、一定の傾向を得にくい。下記の2文献によれば $528 \times 10^3 \sim 885 \times 10^3$  UBT程度と考えられる。数字の大きい方がより現地の状態に近いと仮定して、本項では $885 \times 10^3$  UBTを採用する。

文献・Les bases de l'hydraulique pastorale

dans le Soudan oriental (Cercle de Gao) par O. Bremend et H. Radier

・Aménagements d'Hydraulique Pastrale Moli la

Région du Gao par COGERAF, Paris

\*2 IV章付録(井戸表)参照

\*3 全上

\*4 上記の水の供給量(約 $13 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/年)を対象サークル数で単純比例配分したもの。

### 6-3 今後必要な水の量

このような状況のもとで、今後の地下水確得量の目標をどの程度に見積るか問題である。そこで第7経済区の飼育可能量 ( $1.1 \times 10^6$  UBT) と最近の動物数 ( $0.885 \times 10^6$  UBT) の差に対応する水の必要量を算出する。この数値に1981年以後5ヶ年計画の最終年度までに増加する推定人口に必要な水の量を加えて、これを今後必要な水の量とする。

今後必要な水の量は

$$(1.1 \times 10^6) - (0.885 \times 10^6) = 0.215 \times 10^6 \text{ (UBT)}$$

$$(0.215 \times 10^6) \times 0.04 \text{ m}^3/\text{日} = 8600 \text{ m}^3/\text{日}$$

$$(417 \times 10^3) (1.024^4 - 1) \times 0.01 \text{ m}^3/\text{日} \div 415 \text{ m}^3/\text{日}$$

$$8600 + 415 = \frac{9015}{\text{日}} \text{ m}^3/\text{日}$$

$$(\text{=} 3.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年})$$

これを揚水能力  $3 \text{ m}^3/\text{h}$  <sup>※1</sup> の井戸類で、1日12時間汲み上げると下記の数の井戸類が必要である。

すなわち、 $\dots\dots\dots 9015 \div (3 \times 12) \div 250$  本

---

※1. 井戸表 (Ⅱ章付録) から設定した第7経済区で期待される1孔井当りの平均的な揚水量。

## 7. 開発地区設定の技術的指針

### 7-1 開発地区の設定基準

地下水の開発地区の設定は、第7経済区の雨期と乾期の動物の分布密度、移動の方向、道路状況、水理地質特にⅣ章5-2項等の観点から行われ、開発実施の順序はこれらにそれぞれの地点の必要性の程度、緊急性の程度、ボーリング用水の確保の方法等を考慮して総合的に決定する。

#### (1) 動物の分布密度と移動の方向 (図Ⅱ・6~7参照, 図Ⅳ・7・1)

第7経済区の遊牧は主として同区の西端および東端のそれぞれ北緯18°付近, 北緯17°付近を結ぶ線の南側で行われている。これは牧草の分布地域にはほぼ一致する。家畜の分布密度は南側ほど高く、ニジェール共和国との国境付近で最高だが、乾期には遊牧民はニジェール共和国側へ移動し、残った遊牧民(家畜)は涸れ川、わずかな永続的なマールおよびニジェール川沿岸に集中する。この場合でも分布密度の高い地域は第7経済区の南側に偏在する(図Ⅱ・5~6)。

図Ⅳ・7・1に示した矢印は遊牧民の商業ルートであるが、遊牧の移動方向と見ても差しかかえないであろう。水源の減少と消滅に伴って遊牧民は矢印の方向に移動すると思われる。家畜の移動の距離は1日に10~15kmで、2日に1回水を飲むから、井戸間隔は20~30km程度にしなければならない。

#### (2) 道路状況

第7経済区の主要道路は、ニジェール共和国のニアメからアンソングを経てガオ市に通じ、さらにニジェール川をフェリーで渡河してバマコに達する国際道路と、ガオ市からティレムシ谷沿いに北上してサハラ砂漠を縦断してアルジェリア民主人民共和国のアルジェリアに通ずる道路、アンソングとメナカを結ぶ道路等である。ニアメ~バマコ間の国際道路以外は雨期に通行不能となるなど季節的に不安定な道路だったが、アンソング~メナカ間は最近立派な道路が新設された。しかしその他の道路を含めた第7経済区の道路密度は低い。

道路以外の大地の表面は砂で被われていたり、灌木がはえていて、このような地域の移動にはトラブルが生じやすいし、移動の速度が低下する。またトラブルに対する資機材の用意が必要である。

#### (3) 水理地質的条件 (図Ⅳ・5・3参照, 図Ⅳ・7・2)

第7経済区のうち、ニジェール川の左岸の地下水開発は次の4つの地域に区分して検討する必要がある(Ⅳ章5・2項)。



- a ガオ地溝およびその延長
- b ガオ地溝の北側の堆積岩地帯
- c ブーレム以北
- d アドラル デイフォラスの基盤岩地帯

a ガオ地溝およびその延長

ガオ地溝およびその延長ではC、T中に第1のタイプの帯水層<sup>※1</sup>が2層存在する可能性が強いが、2層とも確認されているのはアルカベッシュ<sup>※2</sup>だけで、大部分の井戸類は下位帯水層の深度に達していない<sup>※2</sup>。それでも $3\text{ m}^3/\text{h}$ 以上の揚水量がアルカベッシュ—ジェボク—アンダーナメル<sup>※3.1</sup>—ティン テネラン<sup>※3.2</sup>—エレンガ<sup>※3.3</sup>の曲線上に見られる。この曲線は地溝のほぼ中央に位置し、地溝を構成する南北の両断層に平行である。またこの曲線がニジェール川に平行な区間では、曲線は川から30～35 kmに位置する。この比較的優秀な井戸の配列は単に井戸の分布による偶然の形と考えられないことはないが、K.F. Saad (1970)がニジェール川の流量調査の結果から推定しているC、T中の地下水の「はけ口」の位置に一致していることは注目に値する。彼はまたこれを地質構造線の可能性があるとしている。

ガオ地溝には上記の曲線の北側にも $3\text{ cm}^3/\text{h}$ 以上の揚水が可能なのが存在することや、この地溝で考えられている地下水の補給の機構等から、下位帯水層の深度を考慮した開発深度を計画することによって、地溝内の広い範囲で乾期に枯渇することのない井戸を得ることが出来ると考えられる。また上述の曲線の南側ではボーリング孔井は皆無に等しく、筒井戸類もわずかしかな存在しないので、今後のこの地域の探鉱結果は帯水層の対比と構造の究明と言う観点からも重要である。

ガオ地溝内の下位帯水層の深度は南西側で深く、北東側で浅い。その深度はニジェール川沿岸、川から10～35 km(地溝の北西部～中央部)、川から20～55 km(同)地点でそれぞれ100 m、90 m、70 m程度と思われる。掘さく深度はこれらをやま上まわる深度で計画しなければならない。

この地域で期待される井戸類1孔当りの揚水量は一般に $2\sim 6\text{ m}^3/\text{h}$ で、ティレムシ谷、アンソソゴ～メナカ、ハマクラジュ等では $10\text{ m}^3/\text{h}$ 以上のものが期待される。

ガオ地溝では以上の他、第2のタイプの帯水層が分布する。これは第四紀層に属し、ニ

※1 P110の脚注参照

※2 下位帯水層についてはP110の脚注※3参照

※3 .1 Andernamel, .2 Tin Ténéran, .3 Erenga

ニジェール川から補給される自由面地下水を包蔵し、飽和帯の厚さは4～45 mで川側で厚く、内陸側で薄い。期待されるボーリング孔1孔当りの揚水量は通常4～10 m<sup>3</sup>/hで、ガオ市の南部ではそれ以上に達する場合がある。この種の帯水層はニジェール川沿岸の全ての地域に分布するとは限らないので、開発の対象地点の決定は、電気探査や地表調査によって行なわれなければならない。

#### b ガオ地溝の北側の堆積岩地帯

第1のタイプの帯水層が存在する。この地域の帯水層の深度は浅く、ガオ地溝との境界付近、断層から30 km付近でそれぞれ60 m、20 mにすぎない(イメナス<sup>※1</sup>付近)が、イメナスから北西、南東両側(地溝に平行な方向)に離れるほど、帯水層深度はやや増加する。この地域の帯水層は基盤岩の直上に存在することが多い。ティレムシ谷付近では帯水層の時代決定のための調査を欠かすことはできない。

この地域の筒井戸1眼当りの揚水量は場所によって変化が大きい、最大3 m<sup>3</sup>/h程度と思われる。

#### c ブーレム以北

第2のタイプの帯水層が存在する。帯水層の深度はブーレムの北東では、ニジェール川からの距離が20 km、35 km地点でそれぞれ50 m、70 mであるのに対して、ブーレムの北では川からの距離が50 km、100 km地点でそれぞれ50 m、60 mである。しかしニジェール川から15～30 km以遠の地域の地下水面の傾斜は、これとは逆である<sup>※2</sup>。これは等深度線図に地形の影響が現われている可能性を示すものであるから、等深度線図が示す構造を、帯水層の構造と間違えないように注意しなければならない。

この地域の地下水は良質であるけれども、湧水量が少ないとされているが、深度50 m程度程度の筒井戸で、1眼当り4～5 m<sup>3</sup>/hを湧出するものがある。

#### d アドラル デイフォラスの基盤岩地帯

樹枝状に発達する涸れ川に沿って、深度5～10 m程度の手掘り井戸が多数存在し、中には20～25 mに達するものがある。これらの井戸はキダルの北方、アドラル デイフォラスの西翼(ティレムシ谷側)に集中している。この地域の各水系の小規模な帯水層は互いに不連続で、前述のどのタイプの帯水層にも属さない。

揚水量に関する資料が無く、期待される揚水量を推定することはできない。

---

※1 Imenas

※2 K.F. Saad(1970)

## 7-2 開発地区の設定案（図Ⅳ・7・3）

以上の結果と、マリ国側から先に提出された開発希望地区リストを考慮して、地下水開発候補地区試案を示す（図Ⅳ・7・3）。

これらのうち、「ガオ地溝およびその延長」が最優先されるべきであろう。中でも家畜の分布密度が高く、マリ共和国の遊牧民の集結地であるアンソンゴーメナカ間、遊牧民の移動ルートであるティレムシ谷、水理地質学的に興味を持たれるアルガベッシューージェボックーアンダーナメルの上等が最優先されるべきである。

ボーリングの深度は帯水層の厚さを含め80～150m程度とする。南西側で深く、北東側で浅く計画し、アルガベッシューアンダーナメルの上付近で深度は100～120m程度であろう。

この地域の地下水の開発を遂行しながら、工程上許される範囲で「ガオ地溝の北側の堆積岩地帯」の調査を実施し、次期開発地区の情報を得ておくことが必要である。またアンソンゴ以内の基盤岩地帯の情報は皆無に等しいから、この地域の情報を得ることも重要である。

「ガオ地溝の北側の堆積岩地帯」の本格的な地下水開発は、上記の開発と調査によって得られた地下水をボーリング用水として使用しながら、次第に内陸へ展開する。この地域の基盤岩の深度は20～60mの範囲で変化するから計画深度は20～70mとする。サミットの北西側ではC・Tの上部に燐酸塩を伴う可能性が強いので、上部白亜紀層との境界に注意し、地質状況によってはC・T部分のケーシングの外側の礫充填は行わず、セメント充填を行なう。

「ブーレム以北」のボーリング深度は帯水層の厚さを考慮して50～100m程度とし、南あるいは西側で浅く、北または東側で深く計画する。

アドラル デイフォラスの基盤岩地帯の帯水部の上面は通常深度5～10mにあり、20～25mに達することもある。また電気探査によって帯水層の低部が30mに達する場合があることも知られている。

この地域への機材の移動と輸送は、その距離の遠さから他の地域に比較して時間を要し、水および燃料輸送等の問題も生じやすい。また開発地域内の移動についても、涸れ川から他の涸れ川への資機材の移動のスピードが低下するから、特別な理由が無い限り、着手順位を後にする方が地下水開発全体の効果が大きくなる。前述の地域の開発を実施する間に、この地域の電気探査を実施し、基盤岩の構造の解明を行ないボーリング地点の検討を行なうべきである。



Fig. IV-5-3 Courbe isopropendeur des nappes aquifères de la 7ème région économique.

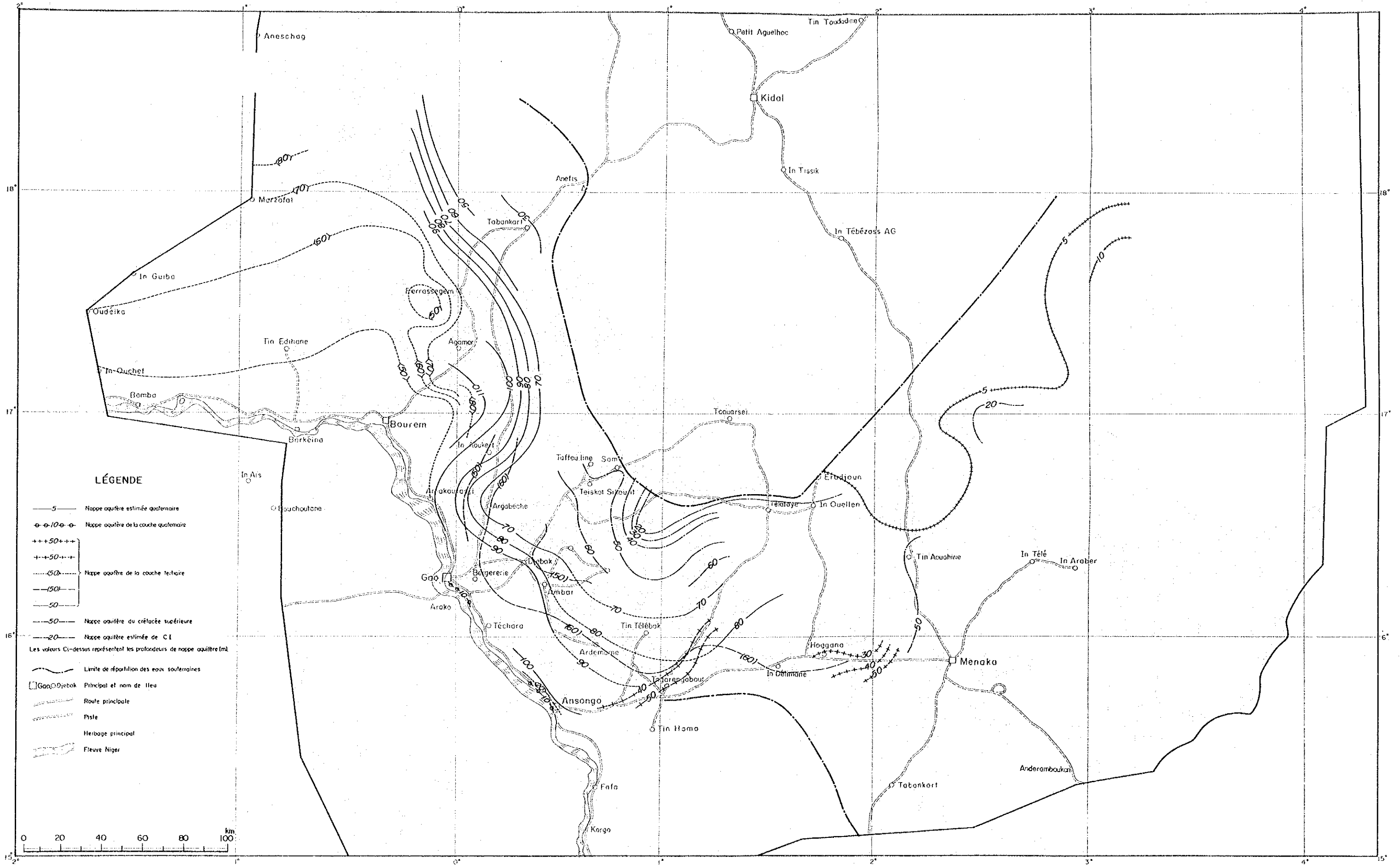




Fig. IV-7-2 Degré d'importance du développement des eaux souterraines par secteur.

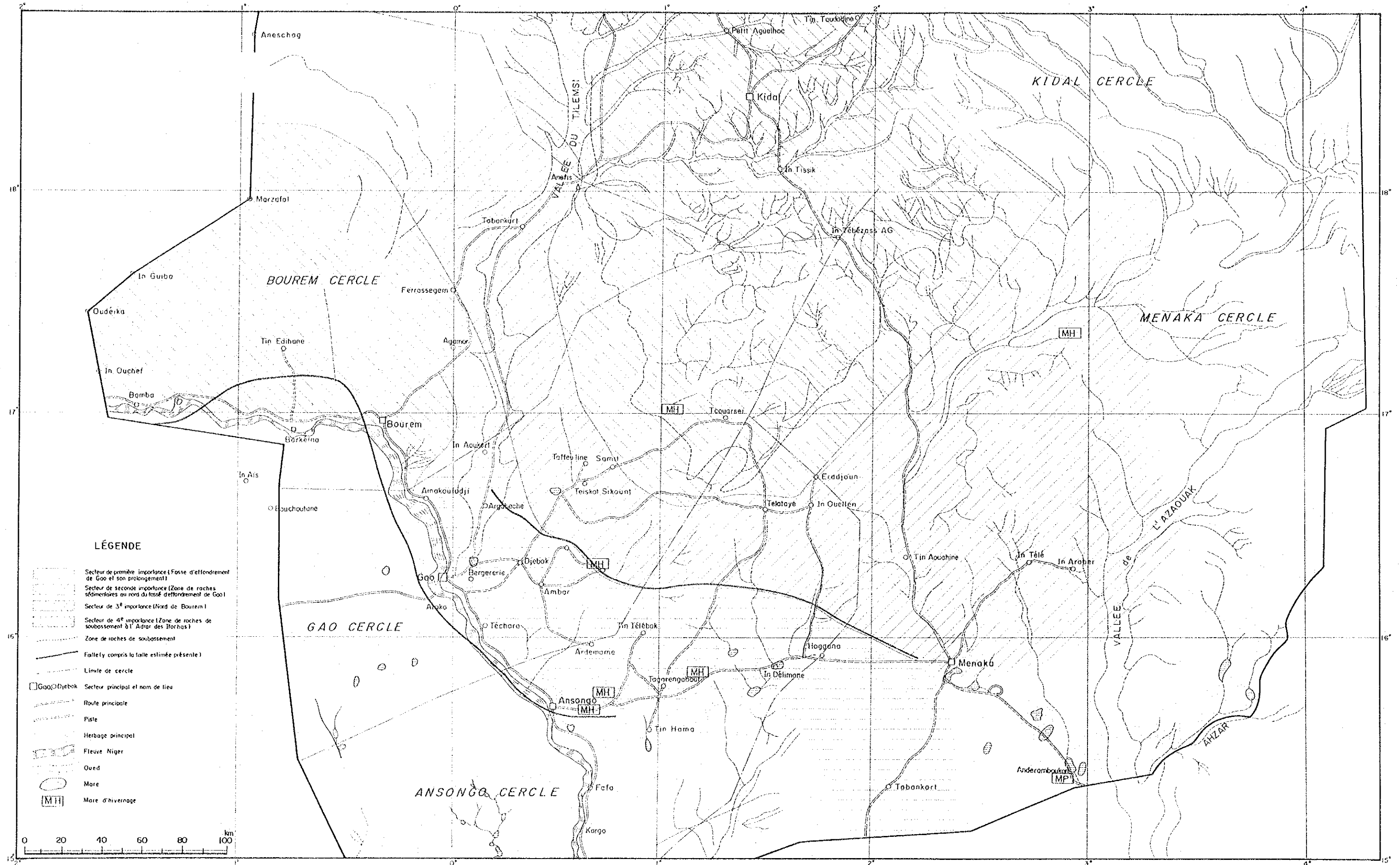
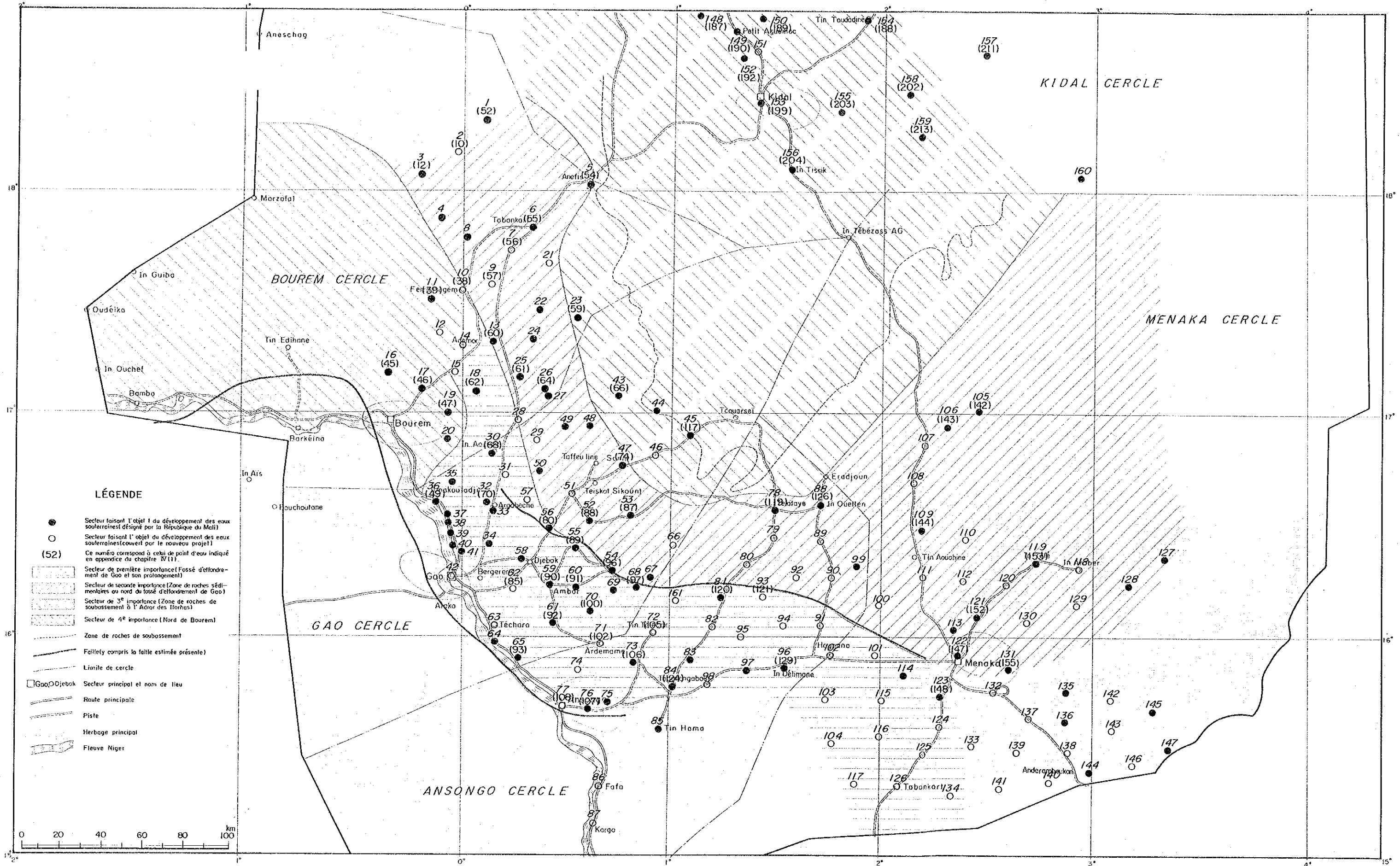


Fig. IV-7-3 Secteurs sur lesquels sera prévu le développement des eaux souterraines.







## V 地下水開発計画の検討



## V 地下水開発計画の検討

以上のとおり、4年間に亘る計画調査において、地下水開発のための探査およびさく井技術の最適方法を明らかにし、実施した調査結果の解析と資料研究により、第7経済区の水理地質構造と水の需給予測を確め、地下水利用計画の指針を明らかにすることが出来た。

以下、計画調査の結果と考察に基づいて第7経済区における地下水開発計画の主要条件に関する検討を行う。

### 1 開発の水理的可能性

はじめに確めねばならぬことは、当地域が計画上必要とするだけの地下水の賦存量を持つかどうかということと、また仮りにあったとして、その地下水を利用できるかどうかということ、すなわち水理的条件からみた開発の可能性があるかどうかということである。当地域の地下水は自由面地下水と被圧地下水に区分され、前者は普通では40mまでの浅いもの、後者はさらに深い地層にある。

自由面地下水はニジェール川沿岸の第四紀層（これは場所によっては川から水が補給されて大量の揚水を可能とする河岸貯留機構をもつ）、内陸部平坦地帯の水溜まりや沼地帯に賦存する外、キダル・グルマの基盤岩地帯の風化帯や渦れ川の砂礫層にもあるもので、比較的容易に井戸をつくる事が出来るので従来より広く利用されて来た。

一方、被圧地下水は基盤岩の露出していない、堆積岩で構成されるC.I, Cr.T, 第三紀層（C.Tを含む）にある帯水層に含まれている。これらの帯水層は合計すれば数層もあって、深いところは100m以深にあるので、従来のPuits（現在は60mまでが建設限度）ではこれを利用することが出来なかった。しかしさく井ボーリングによる管井ではこれらを採取できるので貴重な賦存地下水を有効に利用できるわけである。

地下水の補給は何れも降雨によって行われるが、上記のとおりニジェール川沿岸部では川からの補給を受けるところがある。

被圧地下水の補給は、その帯水層となる地層が地表に露出するアドラル デイフォラス基盤岩地帯の縁辺部で行われ、その地下水は地層の傾斜に従ってニジェール川の方向に流れてゆくものである。

このように水理地質構造の大筋は比較的単純で、広域的に帯水層が賦存することは略々確実と考えられるが、問題は水量が多くないことである。

これは当地域の降雨量が少ないこと、帯水層の透水性が平均的に良くない等の条件によるもので、ニジェール川沿岸の一部を除き、余り過大な水量を期待することは出来ない。

これまでの調査結果によれば、期待される揚水量としては自由面地下水で1～10m<sup>3</sup>/h（深度40mまで）、被圧地下水では3～6m<sup>3</sup>/h（深度150mまで）程度である。

しかし、当地域全体としての地下水の需給バランスを考えると、年間に補給される地下水

が被圧地下水の  $182 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$  の外に自由面地下水もあることに対して、現状の最大需要量（現在の牧草地面積が飼育できる最大動物単位の家畜と住民の人口当り水量の合計）は  $18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$  となっていて、必要とする地下水量の賦存は十分余裕があると見られる。水質については通常問題はない。

また、個別的な地区別の帯水層の特性についてはその地区にある地層が生成された時代の地理的状况によってその厚さや傾斜あるいは岩質による透水性の良否などに差違が生ずる。従って効果的な探査を行ってさく井地区を選定すれば、比較的多い湧水量を持つ井戸をつくることが出来よう。

以上のとおり、地下水の補給量および  $150 \text{ m}$  深度以浅における帯水層の賦存の見込みは開発計画を可能とするものであり、有効なさく井地点における適切な井戸の建設を行なうならば、開発目的の達成は十分可能である。

## 2. 管井開発地区の選定方針

開発地区の設定については、効果と能率的な工事とを考慮して、十分な検討の後決める必要がある。

すなわち、牧畜用については先ず牧草地と雨期の地表水の賦存地との関係、家畜数とその移動ルート、隣接井戸との距離等の使用上の条件、更に工事面での、その地区に到る道路状況やボーリング用水補給地点との関係等の問題がある。また、水理的問題としてはその地区に果たして望まれるだけの地下水が賦存しているかどうかということがある。当計画調査の結果から第7経済区の地下水賦存の特性が明らかにされ、水理地質的に期待の高い地帯が区分されているので、この面からの対応は十分可能である。

以上のとおり使用面、工事面および水理地質面から開発地区の候補地が検討されるが、着手順位についてはその地区の持つ効果性と緊急性によって判断されるであろう。

当開発計画の場合はその目的と性格が社会的基盤（Infrastructure）建設のための外国援助プロジェクトであることから、より多くの水をより早く利用できる実際の一次的効果を期待するものを最優先にすべきであろう。

従って基本方針としては、第一に住民飲料水を確保できるところ、次いで牧畜用に比較的多量の揚水量を期待できる地区（図Ⅳ・7・2の第1重要度地帯）からの着手を考える必要がある。

このような観点から、管井開発地区の選定方針をまとめれば次のようになる。

ガオ、アンソングサークルを第一に実施し、次いでメナカ、ブーレムに移り、キダルはあととする。

サークル別にみた実施順序：

順序 サークル	I	II	III
ガ オ			
ア ソ ソ ゴ			
メ ナ カ			
ブ レ ム			
キ ダ ル			

実施展開の拠点：

開発優先地区における実施展開のための拠点としては次のものが挙げられる。

サークル	地 区 名
ブ レ ム	ブーレム
ガ オ	ハマグラジュ, アガルベッシュ, ジェボック, ガオ, バダンジェ, ガルゴウナ
ア ソ ソ ゴ	アソソゴ, アンデナメル, ティンハマ, タガラガボウト, インデリマン
メ ナ カ	メナカ, イン カダゴテン
キ ダ ル	キダル, アネフィス

以上を総合して優先着手地区をまとめて示せば、図 V・1 のようになるが、要するにニジェール川沿いやアソソゴ～メナカ間の幹線道路を中軸とする住民用の井戸確保と上記拠点を中心とする水理的第一重要度地帯の牧畜用井戸開発から始めるのが適当と判断される。

なお、ニジェール川沿岸の第四紀層の帯水層（自由面地下水）は、その場所によってはニジェール川から水が直接補給されることと、帯水層の性質から透水性がよくまた容量が大きいこと等の条件によって、数十 m<sup>3</sup>/h 級の大量揚水を可能とするものがあるので、動力による揚水を考慮すれば、何らかの産業立地として評価されるばかりではなく、人畜の非常避難用の恒常的な水場としても役立つものとなる。

### 3 揚水設備計画

管井の仕様上の特色は深い帯水層（筒井戸掘さくは現在のところ60mが限度）からの取水が出来ることで、当計画では150m深度までのものを予定している。工期的には150mの管井を建設するのに1ヶ月もかゝらないが、筒井戸の場合では60mのものを建設するのに約6～7ヶ月は必要とするので、管井が極めて優れている。

さらに、利用上から見ると、揚水設備としては水中ポンプ、エアーリフト、人力ポンプ、機械式ポンプおよびP-C方式の何れかをとらねばならず、管井だけではマリ国民の慣れている皮袋の釣瓶式方法は適用することは出来ない。

しかし、最も能率的である水中ポンプについてはその設備の保全、修理が十分に出来ないばかりではなく、運転資金の持続的調達に難しい。また他の機械的方式についても従来の経験から設備の保全、修理に不安があるので、現実的な揚水設備方式としては人力ポンプとP-Cによることがよいと考える。なお、畜力利用のポンプも検討する必要がある。

従って、地下水開発のための井戸の種類については、このような管井の特性や制限条件と他の井戸方式のそれとの比較により、その地区の井戸として最も適したものを採用せねばならぬであろう。

また、管井の場合は上記のとおり、人力ポンプを設備する井戸は、たとえ簡単な機械ではあってもその維持・修理については管理要員と部品補給の体制確保が不可欠の条件である。更にP-Cの場合は管井と組み合わせすべき筒井戸を併せて建設しなければならないので、その管井が実際に利用されるまでには相当の期間を要することとなる。

以上のとおり、管井の実使用による効果の実現のためには然るべき資金と技術と体制が準備されねばならぬので、これらの計画も併行して検討すべきである。

### 4 当面の管井目標数

マリ国水利局の提示した地下水開発希望の地区リストから推定すれば、第7経済全般の必要な地区数は約250となる。しかしこれには既存井戸の改修地区も含まれている。

また、前述したⅣ・6・2の項にあるように別の資料から求めたものであるが、現状の牧草地を最大限利用した場合の飼育動物数と1985年の推定人口とに対する推定必要水量と、現状の推定供給量との差を今後の地下水開発計画の対象水量と見做して計算すると、揚水能力 $3\text{m}^3/\text{h}$ の管井をつくるとして250本の水量に当たるというものであった。

何れにせよ、すべての水が管井によるわけではなく、地表の水溜りや貯水池造成、手掘り井戸の増設を含めて供給されたもので、管井としての目標数は略々200本とみられる。その試算は次のとおりである。

すなわち、今後の主な方針として、従来ならば深い筒井戸（40～60m）をつくるであ

ろう場所はP-Cとし、また集落の住民飲料用の管井には人力ポンプを設置する。

先ず初めに全部の水量を井戸でまかなうことと仮定してP-C用の深い筒井戸を検討してみる。

調査結果の資料によれば、現状の深い筒井戸と浅い筒井戸の数の比率は2:3であり、浅い筒井戸の中の住民飲料用は約30%である。また、各井戸当りの水量比は深い筒井戸:浅い筒井戸=3m<sup>3</sup>/h:1m<sup>3</sup>/hである。よって揚水量合計では深い筒井戸:浅い筒井戸=6:3となるので、深い筒井戸に見合う管井の必要数は250×6/9=167である。

残りの250-167=83の管井に当る水量の半分づつを浅い筒井戸と地表水とでまかなうとすれば、浅い筒井戸による供給分は83孔井×1/2=42孔井、この裡住民飲料用は42孔井×0.3=13孔井に見合う水量となる。ここで人力ポンプの揚水可能量は1m<sup>3</sup>/hなので必要管井数としては13×3=39孔井が必要となる。従って両者を合計すると約200である。

かくして、牧草地面積の最大限利用および住民飲料水の最低限確保を目的とする当面の開発計画においては約200の管井を目標とすればよいであろう。

## 5. 開発機材とその整備・管理

過去において行われたプロジェクトにおける機械や設備の稼動が持続的に行われず、2~3年ですべて使用できない状態となっている。これは直接的には適時・適切な修理が行なわれず、異常の早期発見や予防のための管理が為されていないことに原因があり、間接的にはそれらの維持・修理を行うべき、技術、要員、管理と部品補給の体制、整備のための設備等の不備から起ったことは明らかである。

従って当計画調査における技術移転にはこの機械の整備・管理の分野が含まれており、非常に大きなウェイトを置いて行われている。

このための今後の具体的計画としては次のような方針によることが望ましい。

すなわち、処理を確実にこなうことを重点とし、能力に適合した整備方法とそれに見合った設備によって業務を進めることである。従って修理は部品あるいは或程度のまとまったコンプリート毎の取替えを原則とした方式をとり、工作機械等による加工修理は行なわないので、修理工場も大きなものは不要である。しかし部品あるいはコンプリートまたは予備品の補充は遺漏のないよう配慮する必要がある。

## 6. 実施計画の概要

### (1) 計画の基礎条件

当計画では、管井からの揚水方法としては電動ポンプや機械を使用せず、主に人力ポンプとP



—C設備の何れかにすることとした。従って管井から実際に揚水するためには何れかの設備が必要で、特にP—Cの場合は組み合わせるための筒井戸をつくるには普通で6～7ヶ月もかゝるので、管井の建設数はこの筒井戸の建設工程に合わせて決める必要がある。徒らに管井のみを先行して建設し、未使用のままに置くことは管井の機能保持上から極めて好ましくないからである。

現在の筒井戸建設(60m級)の実績は5～6本/年であるが、計画上では10本をつくることとし、浅い人力ポンプ用の管井は10～15本/年と推定すれば合計して25本/年となる。従ってさく井機1台の能力を12～13本/年とすると所要台数は2となる。

また、開発はマリ国の自主的開発によって行われるわけであるが、ボーリング機械1台に付帯する車輛および機材は多いので、その操作ばかりではなく整備技術と機材管理等の能力確保は、台数の増加に比例して難しさを増すであろう。さらに、管井用の主要材料を含めた物品費や人件費を加えた工事費は相当な額となるので、台数の規模はこの面からも慎重に検討されなければならない。

以上のような観点からみて、さく井ボーリング機械は2台とすることが、現状においての最も現実的規模であり、マリ国側の効果的に使用し得る限度であると判断される。従って当計画では先ず2台で開始し、その後については開発実績の積み上げとその他の水資源開発の成果を踏まえ、牧草地整備の進展をも併せた全体的バランスから判断してゆくべきである。

## (2) 工事量と期間

さく井ボーリング機械：2台とそれに付帯する車輛・機材を持つ、さく井ボーリング班2ケ班によって工事を行う。

工事量：

管井200本(150mmφ, 40～150m, 25本/年)

期 間：

1982年(第1年度)～1989年(第8年度)の8ケ年計画

揚水設備：

揚水量、使用目的、静水位の深さ等により人力・畜力利用のポンプ又はP—Cを設備する。

## (3) さく井ボーリング実施地区

図V・1・1にある優先着手地域中の拠点を中心として最も緊急性のある地点を含めた能率的なルートを選んで、展開してゆく。すなわち、初めに開発した管井を次の工事用水源として利用しながら20～30km離れた地点を連鎖的に開発してゆくことである。

#### (4) 使用する主要機材

当計画調査で使用した大型機材、物資およびさく井ボーリング用材料、部品等すべてがマリ国側に譲渡されたが、これはさく井ボーリング機械1台を中軸とするさく井ボーリング1ケ班分の機材である。そこで第2台目のさく井ボーリング機械と若干の付帯機材が無償資金協力プロジェクトによって1982年(当計画の第1年度)にマリ国側に供与された。従って当計画では第2年度に当たる1983年の設備投資の中に、2台目のさく井ボーリング班に必要な残りの付帯機材の費用を含め、2ケ班体制を完備することとした。開発用主要機材リストは表V・1のとおりである。

#### (5) 基地の建設

当地域は砂地と、年間を通じて昼夜を問わず起こる突風と高温という自然環境に置かれて居り、機材の整備のためには砂塵を防ぎ、日射を避けるための施設を欠かすことはできない。このため、先の開発機材の整備・管理の項で述べた計画方針に基づき次のような施設の建設を行なう。

ガオ基地：

第1年度(1982年)に実施する。内容は表V・2のとおり。

アンソング、キダル基地：

ガオ基地における車輛修理工場と同一のもの1棟をそれぞれに建設する。第2年度(1983年)に実施する。

#### (6) 人員編成

マリ側の人員編成は表V・3のとおり。但しさく井ボーリング班が2ケ班のときは表中(×2)の人員を必要とする。また、運転手・コックの一部と人夫は必要とする期間の臨時雇で、他は年間雇とする。

表V・1 開発用主要機材リスト

分類	品名	仕様	1982 現在	1983 第2年度	計
さく井機	TONE Top-300 トレーラマウント パワーユニット付	(ロット) (深 度) 2-7/8" (73mm) 750m 3-1/2" (89mm) 500 4-1/2" (114mm) 380	1	-	1
	TONE Top-200 トラックマウント トラックエンジン専用	(ロット) (深 度) 2-3/8" (60mm) 300m 2-7/8" (73mm) 200m 3-1/2" (89mm) 150m	1	-	1
井戸建設機器	井戸用水中ポンプ	揚水-100l/min パイプ径 150mmφ 220V, 60Hz 5.5kw	5	2	7
	ポンプ	浅井戸用	7	15	22
		深井戸用	15	15	30
	渦巻ポンプ	低揚程用 790l/min-10m 5ps 三菱機器製	4	-	4
サンドポンプ	3相 220V, 3.7kw	2	-	-	
	" " 2.2kw	1	1	2	
	" " 1.5kw	3	-	3	
	" " 0.4kw	2	1	3	
電気探査	比抵抗探査機	送信機: 800V-1A	2	-	2
		受信機: 最大感度100μV	2	-	2
		全上用電源エンジンゼネレーター 1.8kw	2	1	3
		2.4kw	1	1	2
電気検腐機	R.S.用 P.S用耐薬品付	2	-	2	
基地設備	電気溶接機	電流 50~270A	3	-	3
	エンジン電溶機	DCD-270S 電流 50~270A	2	1	3
	燃料用 ポンプ	計量器付 動力式	-	1	1
		- 手動式	-	2	2
積水パネル水槽	18m <sup>3</sup> , 足高さ 1.5m	-	1	1	
	8m <sup>3</sup> " 1.2m	1	-	1	

分 類	品 名	仕 様	1982 現 在	1983 第2年度	計
	発 電 機	35 kVA トランス付, 大阪電器	2	—	2
		20 " " "	2	—	2
		24 " デンヨー	1	—	1
		20 " "	2	—	2
		15 " "	2	—	2
	空 気 圧 縮 機	PDSH700北極製: 10.5kg/cm <sup>2</sup> 20.0m <sup>3</sup> /min トラックマウント	—	1	1
		PDSH500北極製: 10.5kg/cm <sup>2</sup> 13.5m <sup>3</sup> /min タイヤ付移動型	1	—	1
		デンヨー : DPV-80S型, 29ps エンジン付7kg/cm <sup>2</sup> -2.5m <sup>3</sup> /min	1	1	2
		: DPV-175S型, 53PS エンジン付7kg/cm <sup>2</sup> -5.0m <sup>3</sup> /min	2	—	2
		三國製 : VS-11型, 10PS モーター付 7kg/cm <sup>2</sup> -1.3m <sup>3</sup> /min	1	—	1
	スチールコンテナタンク	水 用 5m <sup>3</sup>	2	1	3
		燃 料 用 3m <sup>3</sup> ×2(室)=6m <sup>3</sup>	3	—	3
		" 3m <sup>3</sup>	7	—	7
		堅 型 2m <sup>3</sup>	3	—	3
	倉庫用スチール コンテナ	地中埋込型 3m <sup>3</sup> ×2(室)=6m <sup>3</sup>	—	3	3
(L) (W) (H) 6m×2.4m×2.4m		7	3	10	
プレハブハウス事務所	(L) (W) (H) 10.5m×3.0m×2.4m	2	—	2	
通 信 機 器	短波通信機	安立 SS15A	3	—	3
		" SS150A	—	1	1
		短波用基地型アンテナ	1	1	2
		短波用移動型アンテナ	—	2	2
	短波マッチングユニット(SS150A-1) SS15A-3)	—	4	4	
	F M 通 信 機	車載用	18	7	25
基地用	1	—	1		
キャンプ用機材	キャンピングハウス	(L) (W) (H) 6m×2.4m×2.4m	4	—	4
	キッチンハウス	" "	1	—	1
	食堂ハウス	" "	1	—	1
	モータールキッチン	9.2m×2.4m×2.4m	1	—	1
	バス・シャワーハウス	5.0m×2.5m×1.4m	1	—	1
	テント	2.5m×2.5m×2.5m	35	10	45
車 輦	ハード トップ	日産パトロール, ランドクルーザー	5	1	6
	ピックアップ	" " "	5	1	6
	トレーラー	日野, HH440, 18t用	1	—	1
	トレーラートラック	" " , 270PS	1	—	1
	カーゴトラック, クレーン付	" , WA211, 3tクレーン付-5t車	1	—	1
	タンクローリー	" " 6m <sup>3</sup> 用	1	1	2
	クレーントラック	" " 6t用クレーン車	—	—	—
	" " 10t用 "	—	1	1	
	カーゴトラックロングボディ	" " "	—	—	—
	クレーン付	" " 3tクレーン付5t車	1	1	2
	カーゴトラック	" " クレーンなし 3t車	—	2	2

表V・2 ガオ基地施設計画

種 類 項 目	車 輛 修 理 工 場	倉 庫 付 機 械 修 理 工 場
仕 様	(間口) (奥行) (高さ) 17.5 m × 10.0 m × 4.4 m	(間口) (奥行) (高さ) 20.0 m × 10.0 m × 4.4 m
ピ ッ ト	(巾) (長さ) (深さ) 0.9 m × 6.0 m × 1.2 m	—
構 造	H型鋼による鉄骨, コンクリートブロック積壁, トタン屋根, 正面扉なし, 鉄筋コンクリート基礎	左 全
設 計	日本国業者	左 全
材 料	主要材料は日本より調達	左 全
棟 数	1	1

表V・3 人員編成表

種 別	作 業 別	職 種 別 要 員						
		技 師	技 手	技 能 夫	運 転 手	人 夫	コ ッ ク	作 業 員 計 小 計
さ く 井	ボーリング		2 × 2	4 × 2	2 × 2	2 × 2	1 × 2	9 × 2
	電気探査	1	2	2 × 2	2 × 2	7 × 2	—	11 × 2
	水理地質	1	1	1	—	—	—	1
基 地	機械整備		1	5		—	—	5
	基地管理	1	1	1		2	1	4
	車輛管理		1	2	4 × 2	—	—	10
計	人 数	3	10	21	16	20	3	60

(7) 工事費概算

工事費は、前項までの工事量・期間・機材・施設・人員の計画条件に基づいて算出した。8ヶ年計画の年次別工事費概算表を別紙の表V・4に示した。また、調査期間中のさく井ボーリング工事費実績は表V・5のとおりである。



工事費積算に当って考慮した他の細部条件は次のとおりである。

- ① 設備費はボーリング機械，車輛，大型の機材の投資額およびその後の主要部の取替コンブリート費用を含めて算出してある。

管井資材はケーシング，スクリーン，調泥剤・ビット等さく井ボーリング工事に直接必要な材料と物資を意味する。

施設建設とは基地内の修理工場等の建設である。

- ② 前項の施設，機材，管井用資材および機材用パーツ，器具・工具・備品等の多くは日本から輸入するものとした。燃料，セメント，ガス溶接関係，その他消耗品は出来るだけマリ国内調整をはかり，現地調達資材の項を建てた。
- ③ 現地人件費の中にはバマコから出張する政府職員の出張手当，現地生活費および現地採用の雇傭人件費を含んでいる。
- ④ 年次別工事費の計算はマリ国内消費物価上昇率および日本国内卸売物価上昇率は考慮せず，1981年実績を基準として行った。なお，参考のために8ヶ年平均の各種上昇率を試算すれば表V・6のようなものである。為替レートは1982年7月の平均をとって1FF=37円69銭（銀行売り）とした。

実施期間：昭和57年3月～昭和58年3月。

実施体制：設計・監理－「住銀コンサルタント」がマリ国政府と契約して担当する。

管井・修理工場の建設，機材・物資の輸送を行なう施工業者－マリ国政府との契約により「兼松江商」が担当する。但しさく井ボーリング工事は，「利根ボーリング」があたる。技術移転－協力工事の実施にはマリ国カウンターパートが従来通りに参加して，技術移転を受ける。

供与する主要機材：

これまで行われた計画調査に使用した機材を利用するが，ボーリング班2ケ班を編成できるよう，第2台目のボーリング機械と若干の付帯機材を追加する。当プロジェクトで供与される主な機材は次のとおりである。

ボーリング機械 (TOP-200, トラックマウント)	1 式
ロングボディトラック, (3 tクレーン付)	1 台
ランドクルーザー・ハードトップ	2 台
ランドクルーザー・ピックアップ	2 台
ゼネレーター (20 kVA)	1 台
コンプレッサー (7 kg/cm <sup>2</sup> -5.0 m <sup>3</sup> /min)	1 台
ボーリング資材 (1400m分)	1 式

為替レートは1982年7月平均の1 FF = 37円69銭を使用した。

さく井ボーリング実施候補地区：

(地区名)	(位置)
1) Sosso-Koira	(Gao市内中部東方地区)
2) Alzanabandia	(Gao市内北部中央地区)
3) Gao North	(Gao市内北端地区)
4) Magnadoue	(Gao北方Burem道約20 km)
5) Gargouna	(Gao南東方Ansongo道約50 km)
6) Haussafoulane	(AnsongoとGargounaの間)
7) Samit	(Gao北東方約120 km)
8) Tin Azar	(Gao北東方約55 km)
9) Bagoundje 2 pcs	(Gao南東約12 km)
10) Bera	(Gao北西約9 km)
11) Andernaman	(Ansongo北西約15 km)
12) Andelnamal	(Ansongo北約40 km)
13) Outagouna 2 pcs	(Ansongo南約60 km)
14) Korou	(Outagouna南約15 km)
15) Sorori	(Fafa東約7 km)



表V・5 調査期間中（'79～'81）のさく井ボーリング工事費実績

I 設備投資費

		(千円)
1.	掘さくサイト	
	1) さく井機 附標準資材	6 1,0 9 3
	2) Development用資材	7 7 7
	3) 揚水テスト用資材	5,4 5 8
	4) 附帯機材	1 7,2 0 3
	5) 工事用備品および工具類	1,9 6 0
	6) キャンプ用資材	8,5 8 3
	小 計	9 5,0 7 4
2.	基地保管	
	7) 基地用・設管用設備, 機械, 器具	5 1,6 1 7
	8) 基地用備品および工具類	2,4 2 4
	9) 車 輛	2 9,5 1 5
	小 計	8 3,5 5 6
3.	日本よりの輸送費・諸掛費	1 1 2,3 1 8
4.	合 計 (CIF GAO)	2 9 0,9 4 8

II 操業費

1.	日本よりの輸入資材	
	1) 工事用備品および工具類補充	3,1 4 1
	2) 基地用備品および工具類補充	3,2 9 5
	3) さく井工事主要材料	2 8,7 8 0
	4) 基地用資材および消耗品	4 0 0
	5) ボーリング機械パーツ	2,3 2 5
	6) 車輛, その他機械パーツ	2,0 4 3
	小 計	3 9,9 8 4
	7) 日本よりの輸送費の諸掛費	3 3,1 8 6
	合 計 (CIF GAO)	7 3,1 7 0

2. 現地支払費	
8) ボーリング用資材(燃料, 油脂, 消耗品等)	5,206
9) 基地用現地資材・経費(燃料, 運搬費, 資材等)	40,890
10) 現地人件費	18,659
小計	64,755
合計	137,925

### Ⅲ さく井ボーリング単位当り費用

1) 操業費実績:	費用合計	137,925 千円
	延管井長	1,284 m
	単位当り費用	107 千円/m
2) 設備費配分:	費用合計	290,948 千円
	推定稼働日数	840 日
	" 運転時間	1,050 時間/年
	" 延管井長	6,600 m
	単位当り費用	44 千円/m
3) 管井建設費		
	1) + 2)	151 千円/m

表 V・6 物価上昇率表

No.	種 類		マ リ 国		日 本 国			
	日本年	西 暦	公 営	市 場	総平均	電気機器	輸送機器	一 般 精 密 機 器
13	昭 44	1969	4.6	-0.1	2.0	-0.9	-1.5	1.7
12	45	1970	4.9	1.4	3.7	0.1	0.1	3.2
11	46	1971	10.4	21.1	-0.8	-3.3	0	1.2
10	47	1972	4.7	7.3	0.8	-1.8	0.3	0.4
9	48	1973	11.2	29.2	15.8	1.9	2.2	9.9
8	49	1974	17.4	2.1	31.4	18.4	20.2	27.4
7	50	1975	23.5	5.9	3.0	2.8	5.0	2.8
6	51	1976	10.8	8.1	5.0	-1.4	1.6	-0.5
5	52	1977	9.7	25.0	1.9	-0.4	-0.2	1.4
4	53	1978	21.4	33.2	-2.5	-2.7	-0.6	-0.2
3	54	1979	10.8	-4.1	7.3	0.3	0.7	1.9
2	55	1980	4.0	22.2	17.8	2.8	2.5	4.2
1	56	1981	-	-	1.7	1.0	2.2	1.9
8 ヶ 年 平 均	1973~1980, 8ヶ年平均		13.6	15.2	-	-	-	-
	1974を除く 1973~1981,8ヶ年平均		-	-	6.3	0.5	1.7	2.7
	1975を除く 1972~1980,8ヶ年平均		11.3	15.4	-	-	-	-
摘 要	1974年の日本, 1975年のマリはオイルショックの影響があると考えられる のでこれを除いて計算した。							

(8) 1981年度無償資金協力プロジェクト

協力金額：5億円(13,300,000FF)

協力内容：日本国のコンサルタントと施工業者により実施する。

生産管井12~14本の建設とガオ基地における修理工場(車輛用175  
m<sup>2</sup>, 機械用倉庫付200m<sup>2</sup>, 何れも鉄骨, コンクリートブロック壁, トタン屋  
根)2棟の建設のために必要な機材と役務, その施設に備える資材とそれを据  
付ける役務ならびに上記の機材・物資を現地まで輸送する役務。





付 録



## 付 録

1. マリ国の現状概要 .....	141
2. マリ国の水理地質 .....	147
3. マリ国水利・エネルギー局の概要 .....	157
4. マリ国側による地下水開発の候補地区リスト .....	161
5. マリ国関係者リスト .....	173
6. 日本国関係者リスト .....	175
7. 調査団の編成とマリ国カウンターパート派遣状況 .....	176
8. 調査に使用した主要機材 .....	180
9. 収集・参考文献リスト .....	187



