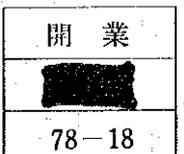




マリ共和国  
地下水開発事前調査報告書

昭和53年7月

国際協力事業団 社会開発協力部





JICA LIBRARY



1064541[4]

国際協力事業団	
記入 日 '84. 4. 11	519
登録No. 03328	61.8
	SDS

## は し が き

日本国政府は、マリ共和国政府の要請に応え同国第6、7経済区約25万km<sup>2</sup>の住民の飲料水、及び遊牧地整備の水確保のための地下水開発調査を実施することになった。

今回の事前調査団は、要請のあった区域のうちGAO, KIDAL, BOUREN, ANSONGOの主要地区について現地踏査をおこない現地事情の把握及び政府関係の関連機関を訪れ、地下水関係資料の収集を行ったものである。

本報告書が、今後の本格調査を立案検討し実施するに際して、参考となることを期待するとともに今回の調査の実施にあたり多大の御協力をいただいたマリ政府、在セネガル日本大使館、在象牙海岸日本大使館、在フランス日本大使館、ならびに関係各機関に対して厚く御礼申しあげるものである。

昭和53年 7月

国 際 協 力 事 業 団  
社 会 開 発 協 力 部 長  
広 田 孝 夫



# 目 次

I 要 約 .....	1
II 結 論 (勧告) .....	3
III 序 論 .....	9
1. 調査の経緯・目的 .....	11
2. 調査地域 .....	11
3. 調査団の編成・分担 .....	13
4. 日程および行動 .....	13
5. マリ国の一般事情 .....	16
IV 日本政府調査団とマリ国水利・エネルギー局との共同作業報告 .....	19
V 各 論 .....	33
1. 気 象 .....	40
2. 地 形 .....	46
3. 地 質 .....	50
4. 地下水 .....	58
5. 調査地域の水文特性 .....	63
6. 浅い地下水の取水等についての工学的手法 .....	68
7. ロジスティックス .....	77
8. 医療及び健康管理 .....	83
VI 付 録 .....	85
1. 面会者 (訪問先) リスト .....	87
2. 訪問機関打合・話合メモ .....	88
3. 「IV. 日本政府調査団とマリ国水利・エネルギー局との共同作業報告」仏文 .....	95
4. 蒐集文献・資料及び引用文献リスト .....	116



## I. 要 約

マリ共和国政府が1975年6月、日本政府に対して行ったマリでの地下水開発に関する援助要請をうけ、政府レベルの事前調査団が派遣された。この報告は当該事前調査団が昭和53年3月14日から同年4月16日の34日間、マリ国等で行った諸活動並びにその結果にもとづき導かれた前記援助要請案件についての今後の基本的な方針案等を述べている。

当調査団は派遣期間の大部分をマリに滞在し、主に本案件の担当である同国の工業開発・観光省水利・エネルギー局 (Direction de l'Hydraulique et de l'Energie) との話し合いを行った。また、マリ側から要請のある地下水開発の対象地域であるガオ (Gao) 地域 (第1図) の一部につき現地踏査を行ない、さらに本案件についての関係諸機関、鉱山開発公社 (Societe Nationale de Recherches et Exploitation des Ressources Minieres (SONAREM))、地質鉱山局 (Direction Nationale de la Geologie et des Mines (DNPM)) 等の視察を行なった。マリにおいては現在、動力炉・核燃料開発事業団 (以下、動燃という) が本案件の対象予定地域—いわゆるガオ地域—でウランを採鉱中であり、当調査団は動燃の調査基地等を訪問した。

以上を通じてえられた問題点、課題、情報のうち主要なものは次の1～5のようである。

### 1. 技術協力の方式

本案件についての技術協力方式について、日本側は1978会計年度から3か年にわたる所要各種調査を調査団 (ミッション) 方式により行うことを提案したが、マリ側は水生産井戸の掘さくによる早期の水の確保・供給を希望している。また、マリ側は技術協力期間を日本側の提案より1か年延長することを求めた。

### 2. 調査・開発の対象

マリ側は水開発地点選定についての国内事情 (後記II, IV) によって、対象地区あるいは地点をしばることは、現時点では困難であると主張している。また、対象帯水層に関しても硬岩中の割れ目系中のものの開発も主張した。話し合いの結果、当面行うべきパイロット・スタディーの対象として3地区についての合意がなされた。

---

(注) 1) マリ共和国を以下単にマリという。

2) 以下当調査団という。

3) 以下SONAREMとする。

4) 以下DNPMとする。

5) 以下動燃とする。現地においては Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation の略称PNCの呼称で通用する。

### 3. 調査（開発）の技術・手法

試掘及びさく井について多くの議論が行なわれた。マリ側は日本が今後行うものは単なる試掘ではなく、生産井の掘さく・設置であるべきと主張した。試掘井のうち成功をみたものの一部は揚水設備（ポンプ等）を取り付けてこれを生産井に転用するという事で双方の足み寄りがみられた。

日本側からは、とくに早ばつ時を念頭においた既存の水井戸の改修、貯水池（槽）及び地下ダムの建設についての可能性を提案した。

### 4. 調査基地、器機設備の維持

今後の本プロジェクト実施についてこの事項は基本的に重要性をもつものとして双方で確認がなされた。マリの自然及び社会環境から調査のための基地、補給、各種調査用器材、運搬用車輛等の建設・維持については特段の配慮・措置が必要である。マリ側からはガオ市内に恒久性のある調査開発基地の整備に日本側が協力するよう希望が出された。

### 5. 現地踏査等にもとづく諸知見

以上述べた以外に調査・開発対象地域に関しての気象、地形、地質、水理地質、水文状況、道路状態等インフラ・ストラクチャー等につき後記（V. 各録）に述べるような諸資料・情報をえた。

なお、当調査団がマリ以外でのコート・ディボアール（Cote d'Ivoire）・アビジャン（Abidjan）市、パリにおける関連機関との接触状況、派遣期間中に蒐集した文献・資料については後記VI（付録）を参照ねがいたい。

## II 結 論



## Ⅱ. 結 論

今回の当調査団の活動は主としてマリ水利・エネルギー局との接渉と予定調査対象地域の現地踏査にその多くの部分が当てられた。これらの結果は前編Ⅱに要約されており、また、当調査団と水利・エネルギー局との共同作業報告（後記Ⅳ）としてまとめられた。

今回の事前調査によって、マリ地下水開発プロジェクトが今後本格化してゆくための一応の目安は得られたものとするが、水利・エネルギー局等との接渉過程においては各種の課題や問題点が提起された。これらの課題等をより詳しく述べ、その解決策の一端を示唆して結論とする。

### 1. 技術協力の性格・内容

Ⅲ、1に述べるように、マリ側の日本政府に対しての援助要請はいわゆる専門家の派遣と調査器材の供与を主としたものであり、その目的は住民及び家畜に対しての早期の水供給にある。〔国際協力事業団 昭和52年（1977）〕、これに対し当調査団は1978年度を初年度とする3か年の“地下水開発調査”を、調査団方式によって行う案を準備し、接渉した。当調査団としては基礎的な調査の段階を踏むことなく地下水の開発を行うことは、一般論から、常軌を外れるものとし、3か年にわたる試掘を主体としたプロジェクトを準備したわけである。マリ国内の情勢は国民に対する水の緊急確保が問題であり、開発調査による試掘程度では急場をしのぐことは不可能で直ちに水生産井の掘さく・設置に日本側が協力することを求めている。当調査団としては生産井の掘さく・設置にはそれなりの技術的、資金的準備（掘さく口径の選択等適切な井戸の仕上げ、恒久的な揚水装置等）が必要であることを主張し、現在のプロジェクトの性格その他の枠内ではマリの要望を全面的に受入れることは困難であるとした。

接渉の結果は後記（Ⅳ、第1部及び第3部、8、）のように今後の試掘井のうち成功をみたものは生産井への転用を行うということで合意に達した。このことは今後試掘にあたって、予め生産井への転用を念頭においての作業、所要の生産設備の準備、さらに拡大解釈すれば生産井の維持につき日本が協力することとなる。さく井機及び同付属品、ポンプ等の生産設備についての準備・検討をこの観点から行う必要がある。

後記するが、マリの要請がさく井及び物理探査による地下水開発への協力であるに対し、当調査団としては既存井の改修、地下ダム及び貯水槽の建設による取水の安定化について提案を行った。

以上のようにマリの協力要請と当調査団が先方に提示した本プロジェクト案との間には、その目的、性格、内容につきかなりの相違がみられ、この点につき今後の一層の調整が必要である。

## 2. 技術協力の期間と方式

前述のようにマリの本件要員についての希望はいわゆる専門家派遣である。当調査団は単発的な専門家派遣は本件については必ずしも好ましくないこと、また、実際問題として仏語が堪能な専門家をマリの要請のように5名程度常駐的に派遣することは困難であること等の見通しにより調査団方式を提案している。後記(IV, 第3部8, V, 6他)のように技術移転の期間につきマリ側は当調査団提案による方式及び調査期間では不十分であるとしている。水利・エネルギー局所管の工業開発・観光大臣自身が日本側提案のプロセクト期間の1か年延長を当調査団に対し要請した。

以上の点とくに本プロジェクトの期間延長に関しては今後の本プロジェクトの推移状況その他をみて対処することが適当であり、当方としての速断は困難である。

## 3. 調査・開発の対象

マリからの協力要請のあった開発対象地域(Ⅲ, 2, 第1図)はきわめて広範(約20-25万km<sup>2</sup>)であること、既往の地下水についての調査、開発密度がきわめて小さいこと、産水能力の大きい帯水層の発見が困難であること、及び調査・開発にあたっての現地での作業は気象条件等から容易でないことから、調査・開発の対象を何れとするかは大いに検討を要するところである。

今次のマリ政府との接渉では後記IV, 第3部, 5にみられるように、その時点では具体的な対象地区(地点)の選定はなされず、調査の“パイロット・ゾーン”が定められたにすぎない。

接渉の過程では、マリ側から北部山塊(アドラル・ド・イフォラス)<sup>1)</sup>の硬岩の割れ目中の水の開発についての希望も出されている。

当調査団としては調査要員の選定、同器材の選択・運搬等の観点から調査対象(地区と帯水層)を早急にしぼる必要があるが、マリ側は水の開発地点選定には一定の手順即ち全国の水井戸計画委員会の議を経る要があるとしている。当調査団としても、マリ側のこのような国内手続を無視し、一方的に調査対象をしぼることは得策ではないと判断し、結局は一種の折衷案としての前記“パイロット・ゾーン”の設定につき両者の合意がみられた。“パイロット・ゾーン”としては3地区名をあげたにとどまり、詳しい内容のつめは行われていない。

なお、前記Ⅱ, 1のように当調査団からは単に地下水の調査・開発のみでなく表流水の貯水等の可能性についての提案も行なった。

(注) 1) 第1図等参照。

2) 地方Vジオナル等にも地方単位の委員会があり、これら地方委員会から水井戸開発地点が中央の全国水井戸計画委員会に集められて、水井戸開発地点のプライオリティの決定等がなされる。水利・エネルギー局長が全国の水井戸計画委員会の委員長であるという。(IV, 第1部, 4参照)

#### 4. 調査・開発の技術と手法

当調査団はマリからの協力要請内容にめられる調査ないしは開発手法としての物理探査及びさく井について考慮したプロジェクト案を揚行、提示した。(IV, 第1部添付第 表参照)

物理探査は電気及び地震探査法の2法が考えられるが、地震探査法実施の場合には火薬の入手とその取り扱い、爆発孔の漏れその他解決すべき問題が多いように考えられる。

電気探査法の採用がより望ましいように思われるが、乾燥地帯における電極の工夫、熱及び砂からの装置の防護等を十分検討すべきであろう。

さく井機については、調査対象が未定であることもあって、ロータリー及びパーカッション両方式の準備が必要であり、さらに前記のようにマリ側の希望する試掘の、生産井への転用に関しての掘さく孔径、<sup>1)</sup>パイプ類、揚水設備、リフト等についての検討・準備を要する。調査地区(地点)如何にかかわらず、掘さく用水の確保は最大の問題の一つであり、タンク・ロリーによる運搬、掘さく用水のための井戸設置、小量の掘さく用水による掘さく技術(例えばエア・ドリリング)等の対策を講ずる必要がある。動燃も掘さく用水確保のため、場合に応じて、上記の3方法を組合せて用いている。

さく井による地下水の調査・開発以外の貯水槽、地下ダムによる取水安定化等の当方からの提案(V, 6に詳細を示す)については、マリ側は興味を示し乍らも、この提案が本プロジェクト中で余り大きな比重を占めることは余り賛成できかねるとの留保意見をもっている。

(IV, 第3部 要約5)他参照)本プロジェクトを出発せしめた基となっているマリからの技術協力要請の内容中にも、かかる技術・手法について触れられていないこと等からして、当方からのこの提案は、今後現地での資料の収集・検討を行いながら、当面は国内での研究・検討を継続することを主とすることが適当であろう。

#### 5. 基地と補給

マリの自然環境、社会開発基盤の程度等からみて、基地の建設、資器材等の補給の問題は極めて重要であって、今後のプロジェクト遂行に関連する業務のうち大きな比重を占めることとなる。

基地については今次の接渉において、ガオに中心基地を、今後選らばれる調査対象地区(地点)に前進基地を設定することとなる。今次は動燃の2基地を実現する機会があったが、その状況及びマリ側からの情報等を勘案し、後記(V, 7)において整備すべき基地の機能等を述べた。

基地の設営は建物・施設のハード面以外にこれの運営上の人的他のソフト面の充実が必要であることについても後記した。マリ側は今次折衝の過程でガオの中心基地は一時的のものでなく、本プロジェクト終了後においても水利・エネルギー局の管轄下に置かれる同局の下部組織の一部をなすような恒久性のあるものを希望する旨述べている。(IV, 第3部 9参照)当調査団としてはこの点について、マリ側の要望に可能な限り近づけることには努力するが、本プロジェクトの枠内では扱いが困難な部分

(注) 1) 6吋が適当と考えられる。

を相当程度ふくんでいるとの認識に立っている。

いずれにしても今後設けられる基地は単なる建物・施設だけではなく、次項の器材維持との関連において必要な器材の修理機能をももたせるべきことを見落してはならない。

## 6. 器機・施設の維持

将来マリに搬入されるであろうさく井機等の探査器機、浄水装置・車輛・発電機他のロディステック用器機、基地の建物施設、生産井に必要な諸装置の長期的な機能の維持が求められる。(IV. 第3部 9, V. 5, V 6 参照)

砂漠地帯特有の熱、砂塵に対する探査器機、車輛等の特殊設計による対策については前記したが、さらにマリでの社会開発基盤の未熟さから招かれる器機・資材の補修の困難性が指摘される。本プロジェクトの成否がこれらの点の解決に大きくかかっていることから、器機の現地(調査対象地区内)での迅速な修理をプロジェクト枠内で行ないうる態勢がとられなければならない。十分な交換部品の保有がまた必要となる。一般的な探査(探鉱)用の器機や資材に関しては動燃での経験等を通じて器材維持とその対策につき資料が集められつつあるが、本プロジェクトでの最大の問題の一つは生産井が設置される場合のポンプ等揚水設備の選択とその維持であろうと考えられる。(V. 4, V. 6 参照)

### III 序 論



### Ⅲ. 序 論

#### 1. 調査の経緯・目的

1977年10月、経済協力調査団がマリ訪問の際、マリ側からはわが国に対しいくつかの援助計画が提出された（国際協力事業団，昭和52年）。これらのうちには1975年6月に来日した工業開発・観光大臣が行ったマリ国の地下水開発協力要請がふくまれている。

外務省並びに関係省庁の担当者は1978年1月以降、本案件についての対処方につき数次の会合をもち、マリに本案件についての最初の調査団（事前調査団）を早急に派遣することを決定した。

当調査団の目的は以下のとおりである。<sup>1)</sup>

- (1) マリ地下水開発計画の目的・規模・対象地区等について先方と打合せ、また主要地区の現地踏査を行うことにより、今後実施する予定の調査の基本方針を策定する。
- (2) マリ、象牙海岸、仏における本件関連資料の収集を行うとともに、現地動燃の活動振りを事情聴取し、本件実施体制について情報をうる。
- (3) 先方の本件実施に対する協力体制、便宜供与について、可能な限り確認を取りつける。

以上の目的をもってこの調査団は昭和53年3月14日から同年4月16日の間、マリなどに派遣された。

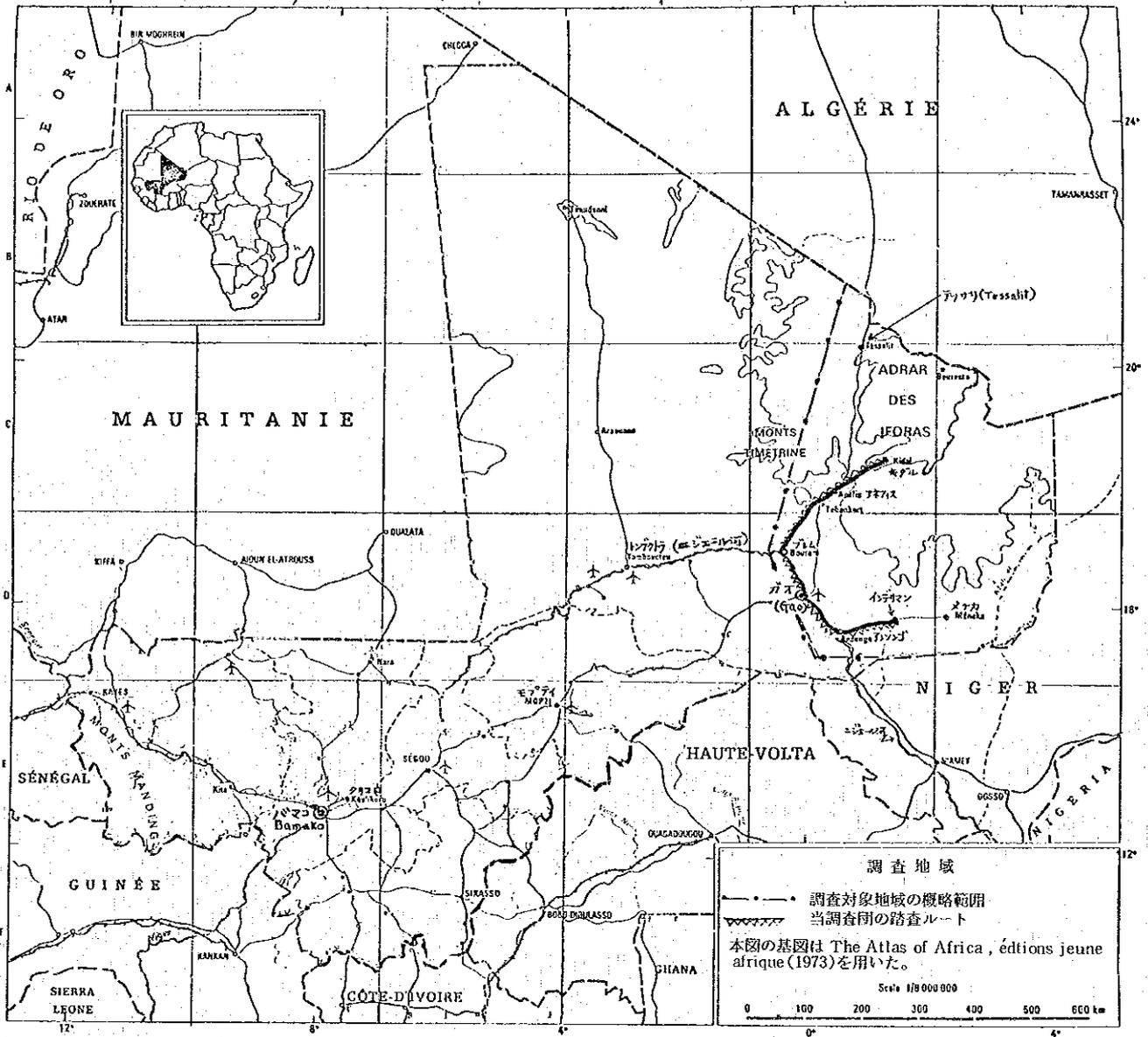
#### 2. 調査地域

本プロジェクトの主要対象調査地域は第1図に示すマリ国東北部のガオを中心とする地域である。この地域は主としてマリの「第6経済地域」に相当するという。調査団は本案件についてのマリ政府の関係機関等との打合せ、情報収集のため首都バマコ（Bamako）に滞在する一方、プロジェクト対象地域の一部を踏査した。また、資料・情報収集のためコート・ディボアール、アビジャン市、バリ市に滞在した。

---

(注) 1) 昭和53年3月9日付“経開協”メモによる。

第1図 調査地域図



3. 調査団の編成・分担

第1表 調査団編成

氏名	所 属	分 担 分 野
◎ 坊 城 俊 厚	通産省工業技術院地質調査所燃料部長	総括
村 下 敏 夫	通産省工業技術院地質調査所環境地質部主任研究官	水理地質・気象
石 崎 勝 義	建設省土木研究所河川部水文研究室長	水文・道路
石 井 武 政	通産省工業技術院地質調査所環境地質部研究員	地形・一般地質・ロジスティクス
日 比 文 男	外務省経済協力局開発協力課	技術協力
亀 井 忠 一	国際協力事業団社会開発協力部嘱託	情報蒐集・通訳
佐 藤 正	国際協力事業団社会開発協力部開発調査業務室	業務調整・ロジスティクス
沖 本 精 一	在セネガル大使館参事官	現地参加

◎団長

4. 日程・行動

第2表 調査団日程・行動表

月 日	行 程	調査, 打合事項, 訪問先
1978年		
3月14日	東京発 (11:20) <sup>1)</sup> パリ着 (パリ時間18:45)	JL441便, モスクワ経由
3月15日	パリ  パリ発 (19:20)	日本大使館へ挨拶。フランス政府刊行物販売所, ユネスコにて資料蒐集 AF309便, リオン経由
3月16日	ダカール着 (1:40) ダカール	日本大使館へ挨拶, 業務打合
3月17日	同 上 ダカール発 (17:45) バマコ着19:20	日本大使公邸で内田大使に挨拶 (Air Mali 042便) マリ政府関係者と日程等打合
3月18日	バマコ滞在	午前 マリ国際協力局, 水利・エネルギー局表敬訪問 午後 工業開発・観光省水利エネルギー局で第1回業務打合
3月19日	同 上	クリコロへ日帰り旅行 (井戸, 地質見学)
3月20日	同 上	午前 水利エネルギー局で第2回業務打合
3月21日	同 上	午前 カテイ (Kati) のSONAREM 訪問, 業務打合, 試錐機材等見学 午後 水利エネルギー局で第3回の業務打合
3月22日	同 上	午前 水利エネルギー局で第4回の業務打合 午後 ガオ視察旅行準備, セネガル大使館沖本参事官離マ リ
	(注) 1) 11時20分	

月 日	行 程	調査, 打合事項, 訪門先
3月23日	バマコ発 (5:30) ガオ着 (11:05)	チャーター機 (デハビランド・ツウイン・オクター双発機) 使用 モプティおよびトンブクトウ経由, ガオ・サークル長訪門・打合
3月24日	ガオ滞在	午前 SONAREM ガオ支所, Operation Puit ガオ分所, 動燃ガオ事務所を視察・打合
3月25日	同 上	視察旅行用資材, 積込, 動燃と打合 亀井氏ガオへ戻る
3月26日	同 上	視察旅行業務分担打合, 旅行用資器材の補充及び積込
3月27日	ガオ発 (5:40) ジェボック (6:40) ティン・アマスコール (7:40) イン・アヘリン (8:30) アグ・アルベッシュ (9:07) ブレム着 (11:30)	ジープ4台使用 (ニッサンパトロール2, ニッサン・ピックアップ, ランドロバー1), 参加者 (日本人5, マリ政府関係者3, マリ人運転手5名) ジェボック他3か地点の水井戸等の視察 ブレム郡長挨拶および業務打合, 以後ブレム町周辺視察 (16~19時)
3月28日	ブレム発 (6:50) アガモール (7:50) アルムースタラスト (8:23) アネフィス着 (10:40)	日本人1名病気のためガオへ戻る 井戸の視察, 観測 ランドロバー, エンデン小故障 (約30分で回復) 午後休憩と車輛等の整備
3月29日	アネフィス発 (5:50) キダル (8:30) 動燃キダル・キャンプ (9:00)	アネフィス~キダル2地点で地質観察 キダル郡長に挨拶, 写真撮影等につき打合 動燃技術者から動燃活動状況聴取, 業務打合 (9:30~12:10), 午後動燃試錐現場視察および水井戸観測1か所 (16:00~18:00頃)
3月30日	動燃キャンプ発 (7:10) キダル周辺 (7:45~8:20) アネフィス (10:40~11:05) ガオ着 (15:15)	キダル付近のダム及び水井戸の視察・観測 小休止及びガソリン補給, アネフィス~ガオでランドロバーのエンデン冷却 (約20分)
3月31日	ガオ滞在	午前 動燃と業務打合, 第2次視察旅行物資購入 午後 日程, 業務分担打合
4月 1日	ガオ発 (5:53) アンソング着 (7:20) アンソング発 (15:50) ツジトー (16:25) ティン・アマール (17:00) インファナ (18:15) イン・デリマン着 (19:20)	アンソングのサークル長と打合会議後, 町中の水井戸の視察3地点および地質観察1地点 (7:20~10:10) ツジトーのダム, ティン・アマール他1地点で水井戸, その他1地点で地質観察 インファナ~インデリマンは日没後砂漠の行動となる
4月 2日		インデリマンの人工湖及手掘井戸視察 (6:00~7:10)

月 日	行 程	調査, 打合事項, 訪門先
	イン・デリマン発 (7:10) イン・ファナ (7:55) アンソソゴ (9:57) 同上発 (10:25) ガオ着 (12:40)	イン・ファナの水井戸の採水, イン・ファナ～アンソソゴ道路 状況を停車し2～3ヶ所観察, アンソソゴで小休止 アンソソゴ～ガオ地質観察で2ヶ所停車
4月 3日	ガオ滞在	動燃ガオ事務所へ借用器材返納。ランドローバー1台陸路
4月 4日	同 上	バマコへ帰還のため出発。視察旅行作業報告のとりまとめ
4月 5日	ガオ発 (7:10) バマコ着 (10:15)	マリ航空 (アントノーフ双発プロペラ)。モプティ経 由。午後は現地報告書整理と今後の日程打合
4月 6日	バマコ滞在	午前, 国際協力局挨拶及び業務打合 (9:05～12:30) 午後, 水利エネルギー局, 計画省, SONAREM, 地質鉱山 局等マリ政府機関関係者から日本・マリ間の経済・技術 協力案件全般についての事情説明をうける。(16:10～ 17:50) 地質鉱山局でガオ地溝の資料蒐集
4月 7日	同 上	現地作業報告のまとめ 午後 (17:40) 工業開発・観光省大臣と面接 (約20分)
4月 8日	同 上	午前 水利エネルギー局で作業報告について打合 (9:00 ～12:30)。午後 現地作業報告のとりまとめ
4月 9日	同 上	午前 水利エネルギー局と現地作業報告につき案文の打 合 (9:00～12:40)。午後 現地作業報告書の最終案 文につき水利エネルギー局担当者との打合及び報告書に 関する合意。(16:00～20:30)
4月10日	バマコ発 (9:43) アビジアン着 (11:00)	アフリカ航空 (RK 102便) DC-8 午後 在象牙海岸日本大使館へ挨拶・業務打合
4月11日		午前 アフリカ開発銀行 (African Development Fund) の水理・水文専門家を訪門・事情聴取。(9:40～12:19) 午後 世銀 (The World Bank) の地下水専門家 (Rory Osu Uivan 氏) を訪門・事情聴取。(16:30～18:00)
4月12日	アビジアン市 アビジアン発 (19:55)	団員2名, アフリカ開発銀行を再訪門・打合 在象牙海岸日本大使館へゆき安田大使に挨拶 UTA 882便 (DC-10) フリータウン, バマコ経 由
4月13日	パリ着 (パリ夏時間9:15) パリ滞在	フランス開発協力省を訪門し, 開発局の水理専門家等と 打合。(11:00～13:00)
4月14日	同 上	午前 休息。午後 フランス地理院 (IGN) でマリ国 関係の地質図, 地形図を購入
4月15日	パリ発 (14:10)	JL 404便 アムステルダム, アンカレッジ経由
4月16日	東京着 (東京時間17:32)	

## 5. マリ国の一般事情

このことについては、従来、別添の引用文献・資料（VI-4）にその概況が述べられている。以下はこれらを参考としているが、主に今回の現地での調査及び聴取にもとづくものである。

### 通信

- ① 電話……首都バマコの主要な官庁には設置されているが、混線・不通の状態が多く、社用が困難である。首都以外は、全くない。
- ② テレックス……バマコには、テレックス・センターがありパリを経由して送・受信を行っている。東京との直接交信は回線が少なく、時間がかかり、不便であるが、パリを経由すればそれほど問題なく通ずる。
- ③ 電報……バマコ―ガオ間他主要都市とは回線が結ばれている。ガオ―バマコ間の通信手段としては、この電報のみである。

### 交通

#### ① 空路

国営航空「Air Mali」の国際線、国内線がある。国際線の機種はBoeing 727及びソ連製イリュージン等、保有台数は5機。国内線の機種は、カナダ製ツインオッター（20人乗り）、ソ連製アントノフ双発機（50人乗）、保有機数3機。バマコ―ガオ間は、週2便あるが、故障などで欠便することが多く不定期である。また、国内線は、機種が小型であるため荷物の制限がある。なおAir Maliのツインオッターをチャーターすることは可能である。チャーター代、バマコ、ガオ間、50万円。

#### ② 道路

バマコ市内及びその周辺100km程度は舗装されているが、改修がおこなわれず凹凸が多い。ガオにおいては市街地と飛行場との間にのみ簡易舗装道路があり、その他の道路は「幹線道路で通行状態極めて良し（20万分の1地形図における、Routes principales Tres bonne viabilite）」<sup>1)</sup>とされているものも舗装はされていない。ガオ周辺のこれら幹線道路の多くは道路というよりは単なる輪だち跡であって、今回みた範囲では路面は砂質地盤であることが多い。部分的に岩盤が直接路面を形成している所、砂が深い所があり、4輪駆動のジープでも砂地からの逸脱には脱出板等を必要とする（V. 7参照）。

また、雨期（5月～8月）の間はこれらの道路は泥沼化して、通行が困難といわれる。

#### ③ 鉄道

ダカール（Dakar）からバマコを経由し、バマコ東方約50kmのクリコロ（Koulikoro）まで

注 1) 引用文献 参照。

単線のディーゼルカーが走っている。便数は不明。鉄道は、この路線のみである。

### 食糧

バマコには、フランス料理、ベトナム料理の店があり、また、国営ホテル（後記）などでヨーロッパ風の食事ができる。しかし、生野菜などから、アメーバ赤痢などの細菌性疾患に感染することがある。飲料水はできるだけミネラル・ウォーターを利用すべきである。ガオでは、市内に1軒ある国営ホテル以外で食事のとれる店はない。また、ミネラル・ウォーターについてもここでは入手できないためバマコから輸送するしかない。又、生水は飲まぬ方がよい。

食料品は缶詰類はすべて輸入品で、国営のマーケットで入手できる。ガオにもこのマーケットが1軒あり、食料品の他日用品等の販売をしている。しかし、できるかぎりバマコで入手していくべきである。また主食となる米は入手できるが、日本人の口には合わない。したがって、食料は、できるだけ日本からもって行くべきであり、同時に日本人コックの派遣も必要である。

生野菜は市場で入手できるが種類が少ない。（サラダ菜、トマト、人参、レモンなど）

### 医療

医療・保健については今後の調整活動にきわめて重要な関連をもつものと思われる。各論（V. 8）において本件についてはやゝ詳しく述べた。

### 宿舎

バマコは、ホテルチェーン UTH に加入している「LAMITIE」（ラミティエ）というホテルがある。14階建200室冷房が全室につきレストラン3軒、プール、施設等がありバマコでは最高のホテルである。料金は、朝食付で1泊7000円～8000円。レストランの食事はフランス料理で1コース2000円程度である。77年10月に開業したばかりで設備も新しい。その他のホテルとしては「Grand Hotel」5階建、冷房付、料金は1泊5000円程度。ガオには国営のHotel Atlantide」（ホテル・アトランティド）がある。部屋数25室、一部は冷房付であるが、電圧が不安定な上に停電が多いためあまり役立たない。食事は3食ともこの食堂でとれる。

料金は3食込みとすると4000～5000円。水道設備は各部屋にあるが断水が続き利用できるのは1日のうちせいぜい1時間程度で、しかも給水時間は一定でなかった。したがって、長期調査のときは浄化設備を用意しニジェール（Niger）河の水を浄化し、タンクローリーで現場に輸送するような手段が必要である。

### 言語

公用語はフランス語であり学校、ホテル、会議、ラジオ放送など大部分フランス語である。英語は官庁関係の役人でさえも余り通じない。最近、高等学校などで英語授業をはじめたことにより一部の

高校生など話せる者もいる。しかし、調査を行うには仏語の通訳それも複数人がぜひとも必要である。

#### 車輛借上

バマコでは政府を通じて小型車（5人乗）を借り上げることができる。費用は1日、10,000円（ガソリン代含）。しかし、首都以外の地方都市では、車の借り上げは保有台数が少ないため不可能である。したがって、現地調査には調査行動用に四輪駆動車を日本より持ち込む必要がありまたこれらの車輛の予備部品とともに修理等の機械工も当然必要である。

#### IV 日本政府調査団とマリ水利・エネルギー局との 共同作業報告



## IV. 日本政府調査団とマリ水利・エネルギー局との共同作業報告

### 第1部

(1978年3月18日～同21日、於バマコ)

3月18日(土)、20日(月)及び21日(火)、水利・エネルギー局で、日本コンタクト・ミッションと水利エネルギー局との会議が3回開催された。水利エネルギー局長が簡単な歓迎の挨拶を行った後、次の事項について意見の交換が行われた。

#### 1. 実施計画及び方法

日本側は、まず、最初にその任務の範囲を説明し、ガオ地域の地下水開発計画の実施方法を話し合い、さらに、調査地域に関する情報を蒐集することであると述べた。日本側は次回以降の調査団が基本調査 (etudes fondamentales) を実施した後、さく井を行うことになるとうと説明した。基本調査の目的は調査候補地について蓄積されている情報をとりまとめ、購入する調査機器の特性を定め、さく井の技術的実施計画及びさく井地点の決定であると説明した。日本側は、水利・エネルギー局長の要請によって、暫定的な調査実施計画案 (付属文書No.1) 及び各調査団の目的を記した資料 (付属文書No.2) を水利・エネルギー局に提出した。

水利・エネルギー局は基本調査の実施時期とさく井開始時期との間のずれにつき明確な説明を要請し、とくにさく井開始の緊要性を強調した。この点につき日本側は、最初はさく井を行うとの原則を表明した。ただし、水利・エネルギー局長の要請によって、優先順位の高い地区ではさく井が成功した場合、これらのさく井は生産井として用いられるよう実施することができると、日本側は説明した。日本側はS・W調査団 (Mission de programme) が近く (1978年8月) マリを訪ね、技術的実施計画を打合せる予定であり、また、調査地域に適するさく井機の型は1979年1月の基本調査団が定めることになるとうと述べた。

以上の問題点を長時間討議した後、さく井の実施は地質対比のため必要ではあるが、さく井機の発注に長時間を要するので、さく井の開始にさきがけ、基本調査 (写真地質、水文地質、物理探査) を行なうことに双方同意した。

#### 2. 要員

要員につき、日本コンタクト・ミッションは暫定計画 (付属文書No.2) に示されている、種々の調査団の活動の一環とし、短期間の専門家の派遣を提案した。マリ側は技術移転、若いマリ人技術者の国内での養成のためには、何人かの専門家が充分長い期間滞在し、現場での訓練が行われることを希

注) 1) IVにおいて以下は日本コンタクト・ミッションとする。

望している。マリ人技術者の養成については次の2つの可能性が考慮された。

日本コンタクト・ミッションが提案した条件で、日本人専門家による現場訓練。

マリ人研修員の日本への派遣。

日本コンタクト・ミッションは1978年度中に、3～4か月間、研修員1名を受入れる準備のあることを言明した。マリ側は研修の際の言語（英語）については、候補者の大部分が判らないので問題であると強調し、日本側が時機がくれば解決策を探し出すよう要望した。

### 3. 資金の手当

マリにおける水資源開発協力計画を実施するため、日本政府は1978～1980年度での各種調査および必要機材購入の資金確保に、善意をもって、最大の努力を行なっていることを明らかにした。

### 4. 調査地域

マリ側は、まず、全国の経済・行政的機構にもとづく、地方レジヨナル（訳注、州または県にあたる行政区分）および全国の水井戸計画委員会（Water Point Committee）の運営について説明した。この事情にかんがみ、調査地域の限定はコンタクト・ミッションが1978年3月23日から4月7日までのガオ地域での視察旅行が終了した後に行なうことで合意に達した。

### 5. 貯水池等

日本側は差し迫った水の供給の必要に応える措置の1つとして、表流水を利用する貯水池或は貯水槽について提案した。水利・エネルギー局はこの案は理論的には有効であるが、これを実際に建設するには、この地域の環境（高温、砂）を考慮に入れる必要があると回答した。

日本コンタクト・ミッションを代表して

T. 坊城

マリ側を代表して

A. デンベレン

#### 付属文書 No.1:

##### コンタクト・ミッションの目的

マリ地下水開発計画の目的及び調査地域の範囲について、マリ政府の希望をきき、実施すべき調査の基本方向を定めるために、主要な地区を視察する。

##### S・Wミッションの目的

1978年3月のコンタクト・ミッションが行った仕事を引きつぎ、実施すべき調査に関し、その範囲計画、供与される便宜、報告書の作成等についてマリ政府と討議し、確定的な合意書を締結する。

（一切の調査は双方の合意によるこの作業計画にもとずき実施される）

##### 1978年度予定の基本調査団の目的

1978年3月のコンタクト・ミッションが実施した現地視察にもとずき、また、マリ政府から蒐集した資料を検討した後、現地の状況をよく把握した上で、さく井を行なう地区を具体的に定める。

付属文書 No. 2 マリ国ガオ地域水資源開発調査計画

暦年	1978		1979		1980		1981	
会計年度	1977	1978		1979		1980		
調査団	3月 12月 CM	4月 16日 S.W.M.**	8月 9月 ***	1月 4月 ***	10月 4月	10月 4月	10月 4月	
調査用機材の発注～搬入		7月	12月					
専 門 家	調査団長		1月	4月	10月	4月	10月	4月
	地質							
	写真地質							
	水理地質							
	物理探査 (電探、地震)							
地化学			2月		1月		1月	
試錐機の発注・搬入				4月	10月			
試掘班					10月	4月	10月	4月
研修者の受入 管理者研修								
地下水資源開発研修コース		9月	12月	9月	12月	9月	12月	

(注) \* 仏文の報告書でのこの期間は当初予定となっている。  
 \*\* "scop of work" ミッション  
 \*\*\* 報告文中の基本調査ミッション

## 第2部

### 1. 序論

日本コンタクト・ミッションは、日程に従って、1978年3月23日から4月4日にかけて、マリ滞在の第2段階である、この計画の調査対象地域、すなわち、ガオ地域の視察旅行を行った。

到着後直ちに、地方行政当局、当地で活動している各種関係機関—SONAREM、オペレーション・ピュー (Operation Puits)、動燃—と接触した。これによって、現地での最大限の情報を蒐集することが可能となり、従来とられた各種の措置、地質調査、水文地質調査の現況が把握された。日本コンタクト・ミッションは、現地のきびしい現実に接し、この地域の水問題の解決のため、日本政府が同意したプロジェクトの重要性を、改めて、理解した。

関係機関との接触は技術的な討議となって終ったが、引きつゞき日本コンタクト・ミッションは筒井戸<sup>1)</sup> (puits), 手掘井戸<sup>2)</sup> (puisards), 深井戸<sup>3)</sup> (gorages) の工事現場及び所在地を視察した。この視察旅行は地理的距離, 近付くことの困難性から, サークル<sup>4)</sup> (Cercle) の役所々在地ガオ, ブレム (Bourem), キダル (Kidal), アンソソゴ (Ansongo) 付近にのみ限られたが, 視察旅行中には, 水の問題にとくに注意が払われた。地質, 水文地質, 地形についても観察され, これらについての意見の交換が, 常に, 行なわれた。この地域奥地への 1300km に及ぶ視察旅行によって, 日本人専門家は水の問題の深刻さ, 水問題の解決が地域開発の一切の基本であるとの認識をえた。

#### 地域の一般状況

今回踏査した地域は, マリの東北端部に位置し, 北緯 15° 30' から同 20°, 西経 0° 30', 東経 3° の間にある。地域はガオ, ブレマ, アンソソゴ, メナカ (Menaka) およびキダルの各サークルにまたがる。地形的にはアドラル・デス・イフォラス (Adrar des Iforas) の結晶質山塊<sup>5)</sup> (massif) が識別され, 高度は 500 ~ 800 m である。周囲には, 砂丘に 1 部覆された卓状地 (platform) が発達していて, その高度は 500 ~ 700 m である。

降雨量は少なく, 南の半乾燥地 (300 mm/年) の特質を示す。この地域の南西にあるニジュール川<sup>6)</sup> を除き, 水系は, ほとんど, 無視できる程度しかない。一般に, 一時的な涸九川 (Oued) が多く, これらは年 2 ~ 3 回, 数分間の豪雨の際のみ水が流れる。また, 砂丘の間や, 凹地にも同様に, 一時的の沼ができる。主要な通路はテイレムシ (Tilmsi) 及びアザウアック (Azaouak) の谷部にあり, 乾期のみ利用可能である。

## 2. 行動経過

視察旅行にあたっては車輛 4 台が提供されたが, そのうち 3 台は動燃から提供され, また, 貯営資材一切も, 動燃から借用した。

(1978年 3月 27日付)

ガオを 5 時 30 分に発ち, ブレムに向う。ジェボック (Djebock) において筒井戸 (puit) 掘りの現場及び既存の井戸を視察。ティン・アマスコール (Tin A maskor) 及びアグ・アルベッシュ (Ag

(注) 1) これは比較的直径が大で鑿坑の掘さくによって作られるものをいい, 掘井戸とも呼ばれる (広瀬孝六郎, 都市上水道 p 96-97)。マリでは口径 1.2 ~ 1.8 m のコンクリート仕上げで, 深度は 8.0 m にも及ぶ。

2) 小口径の筒井戸で, いわゆる家庭用筒井戸にあたる。マリでは涸九川に遊牧民等が手掘で作っている井戸を指している。深度は 1.0 m 程度。

3) 管井戸であるが, マリでは口径 150 mm, 深度 100 m 程度 (場所によっては更に深い) のものを指している。深井戸に相当する。

4) 行政区画名。日本での県程度に相当しよう。

5) この報告書仏文原語では Plaines sedimentaires 。

6) いわゆるワジ。

Arbech)においては畜力ポンプ、風車ポンプを取り付けてある管井を視察し、11時30分にブレム着。これらの地点はいわゆるスーダン峡谷 (Detroit Soudanais) に位置する。

ブレムでは16時から、サークルの長 (Commandant de cercle)、地方水井戸委員会委員 (members du comite local de Leau)を交へた会議が開かれた。サークル長はコンタクト・ミッションに委員らを紹介し、早ばつで大きな被害をうけたこのサークルにとって、今回のプロジェクトに対する期待を強調し、オペレーション・ピーの活動の再開を訴えた。会議後、ブレムの町の中で全く水が涸れた区画を視察した。

1978年3月28日(火)

ブレムを5時30分発、アネフィス (Anefis) に向う。視察団のうち1名は病気となりガオに戻る。アルムースタラスト (Almoustarast) における筒井戸 (puit citerne) とアガモール (Agamor) での手掘井戸を視察し、アネフィスではワジ沿いにある小井戸を調査。これらは、いずれも、浅い (10~20m) の手掘井戸であるが、井戸掘りの試みはほとんど失敗しているので、村落での唯一の水供給源となっている。移動中、テイムシ谷ぞいにみられた水井戸の多くは、コンティネンタル・インターカラリー (Continental intercalaire) または白堊紀の堆積岩類に掘さくされており、コンティネンタル・ターミナル (Continental terminal) 中のものは稀であった。手掘井戸は第四系中に掘られたものである。

1978年3月29日(水)

アネフィスを5時30分発、キダルに向い、早朝キダル着。サークル長に挨拶し、動燃のキャンプに至り打合を行なう。動燃の日本人専門家から、アドラル・ド・イフォラス地域でのウラン探鉱の活動状況の説明と、とくにこの山塊に関する興味ある地質構造上の技術的情報が提供された。動燃は現在5台の試錐機を有し、岩芯採取による組織的調査を行っている。日本コンタクト・ミッションは今回の任務について説明し、アドラル・ド・イフォラス地域での帯水の可能性につき意見の交換がなされた。打合後、試錐現場を視察。付近の花崗岩類には50m程度に達する風化帯がある場合があり、さらに割れ目系の発達によって、大量の逸水が起る場合があることが知られた。

1978年3月30日(木)

視察団はサークル長の案内でキダルのダムと町を横切っている濁水川の岸にある小井戸を視察。水文専門家は貯水ダム建設地点を種々提案した。町の水井戸等を、さらに、視察し、ガオに帰還。

1978年3月31日(金)

1日休憩と次の視察旅行の準備。

1978年4月1日(土)

5時30分、アンソングに向け出発。アンソングでは、サークル長との会議席上、ニジュール川に近いにもかかわらず、この地区では水の供給に難儀している旨が知らされた。水の不足のため、大量

(注) 1) 地質構造上の狭部 (第6, 8図参照)

の家畜が隣接国〔オート・ボルタ (Hauto Volta), ニジェール (Niger)〕へ移動する可能性があることが説明された。町の水井戸視察後、一行はイン・デリマン (In Deliman) に向う。途次、インファナ (Infana), ティン・アマール (Tin Amar), タガナン・ガブート (Taganan Gabout) の家畜用の水井戸を視察。

1978年4月2日(日)

インデリマンのダムおよび手掘井戸を見て、一行は午後ガオに帰省。

### 3. 視察団の活動

主要な活動は次のとおりである。

- 3-1 井戸等につき、地下水位、坑井地質、水温を観測し、採水試料の導電率を測定し、水文地質学的の諸情報を蒐集した。
- 3-2 人工貯水池、人工湖に関する資料を蒐集し、貯水池の構造その水文学的位置を検討し、キダル及びインデリマンにおける貯水池等の集水能力を観察した。
- 3-3 地域の地形・地質の特性に関する一般的情報の蒐集。沿道とその周辺の地形・地質特性の水利地質学的見地からの観察ならびに衛星写真をふくむ空中写真により、これを解析する可能性についての基本的検討を行った。
- 3-4 山塊地帯の水文的特性に関し、キダル及びテツサリト (Tessalit) 地域の降雨量、蒸発量につき予備的考察をした。また、キダル周辺の表層を航空写真を用い、地形要因との関連において、地質学上の分類を行い、集水システムについてのケース・スタディをした。
- 3-5 視察旅行中、気温分布についての知見をうる目的で、1日当り4ないし5回の気温測定を行った。ただし、このデータは今回の視察地とその期間の特定(値)である。
- 3-6 道路状況に関しては、視察ルート沿いの道路幅員と路面状況を記録し、車輛速度と道路状態に起因する車輛の動揺の程度をも記録した。
- 3-7 調査の機器と組織については、主として、動燃の機器・施設、ガオ事務所(訳注、動燃)の運営・制度、及び動燃キダル・キャンプにつき視察・検討した。
- 3-8 団員の安全と保健に関し、旅行中の健康状態を記録し、検討した。

以上の観測はガオ地域においてのきわめて短期かつ限定された地区で行われたものであることに留意を要する。

## 第3部

### 序論

この報告は上述の第1部及び第2部にもとずき、また、マリ政府代表と日本コンタクト・ミッションの間で取り交わされた議論をもとに、双方が作成したものである。報告書第1部は、日本及びマリの各々の関係機関によって、3年間予定されるプロジェクトの全般的実施スケジュール、作業の性格及び手順に関してのものである。報告書第2部は、ガオ地域の1部で行なった、共同視察旅行の記録である。

第3部は、このプロジェクトについての諸事項の暫定的な要約であり、同時に将来の活動についての指針を与えるものである。

#### 1. アドラ・ド・イフォラスの先カンブリ系中の割れ目の水

アドラル・ド・イフォラスは、一般的に、間隙性の乏しい、いわゆる山塊である。ただし、厚さが50 mに達する、かなりの風化帯があるため、また、所によっては岩石に割れ目が存在するため、透水性をもつことが可能となっている。雨期には雨水がこれに浸透するが、水の動きは判っていない。動燃がキダル地区において、ウラン探査の一環として行った多くの試錐結果では風化帯及び割れ目帯が存在（訳注、花崗岩類中に）することを示した。しかし、これらの試錐によって水は発見されていない。これらの割れ目中の水を水供給源として採取することは困難視される。

#### 2. 先カンブリヤン地域の涸れ川 (Oued) の水

雨が降った後、多量の水が山から涸れ川へ流れる。この涸れ川は一時的な川の流れのはっきりしていないトレースである。涸れ川はわずかな水量の帯水層を包含しているが、これが付近の水井戸の補給源となっている。筒井戸、手掘井戸は一般に涸れ川の中またはその付近に手掘りで掘られるが、これら井戸の大部分は乾期には涸れる。涸れ川の帯水層は浅く掘さく費は僅かである。年間を通じて水をうるために地下ダム建設を計画することが望ましい。

#### 3. 白堊系中の地下水

アドラル・ド・イフォラスの西、南西及び南方の白堊系については、試錐によって、地質学的情報がえられている。しかし白堊系を貫通し先カンブリアン系に到達した試錐はないようである。将来の水資源開発を考えれば地下地質、帯水層についての詳細な情報が取得が必要で、白堊系を貫通する試掘が望ましい。これによって白堊系と先カンブリアン系等との不整合面付近での帯水能力についての資料をうる事ができる。勿論、試錐の深度は選定した地点の地質状況に応じて変るが、この場合深度が200～300 m程度の管井をロータリー方式で掘さくし、必要な検層を行うことが望ましい。

#### 4. 第三系及び第四系の地下水

ガオ地域での視察旅行の際、これらの井戸をいくつか調査した。第四系の帯水層から取水している井戸は涸九川やその付近に位置している。第三系中には多くの層準に帯水層があるようであるが、これらについての水理地質学的情報をうるための試掘も必要である。

#### 5. 調査地域の選定

調査地域の選定にあたっては、当該地域の社会問題、マリ政府の産業政策その他多くの要因を考慮に入れなければならないことはいうまでもない。このような事情にかんがみ、マリ政府の希望と一致するような調査地域を確定的に選定することは日本コンタクト・ミッションとしては困難である。調査地域はS・Wミッションが到着した際、各種の検討を行って決定されることとなる。

このような理由から、日本コンタクト・ミッション及びマリ側の間で次のパイロット・ゾーン(zones pilot)の選定について合意がえられた。

ガオ及びその周辺

ガオ〜アンソング

キダル及びその周辺

#### 6. 調査方法

使用する調査法についての技術的適用性を検討することが必要である。調査中には調査基地が建設されることとなる。日本コンタクト・ミッションはマリ側に対し、水資源開発のための電気探査の利用につきいくつかの質問を出した。先カンブリアン系基盤面を地下において描くための地震探査法の使用についても検討した。もっとも有効なさく井方式も検討すべきである。水問題解決のために井戸の掘さくは例えばガオ地域ではもっとも効果的である。このような理由で経済的かつ機能的方法を検討することが必要である。さく井方法についてはロータリー及びパーカッションの両方式が考慮された。これは状況に応じて決定されよう。普通の水井戸ではその構造を改善することによって集水能力を高めうる場合がある。

#### 7. 旱ばつ期間の地下水の合理的利用についての考察

旱ばつの期間中においても井戸水を用いて農業を行う可能性があればそれはきわめて興味深い。地下水安定の継続的発展は重要である。旱ばつ期の地下水安定には次のような方法がある。

- 1) さく井
- 2) 井戸の改善
- 3) 地下ダム建設
- 4) 小規模貯水池

井戸の改善：視察した種々の井戸では水位が乾期に低下することが認められ、いくつかは井戸が埋

まり深度が浅くなって揚水が困難となっている。岩石中を掘る井戸の深さは掘さく技術によって制約される場合がよくある。適当な技術によって井戸を掘り下げられれば早ばつ期における取水が可能となろう。

井戸を深り下げる可能性をみるため電気探査により帯水層の特性を調査することは有効であろう。

地下ダム建設：視察旅行中、アドラル・ド・イフォラスのキダル周辺の地形を水文学的に検討した。そこではいくつかの硬い岩石からなる川がみとめられ、降雨は浸透しないで川へ直接流れ込む。これは相当量の水であるのでその利用を考えることができ、その水を蒸発なしに集めれば、早ばつ時にも用いることができよう。最近、地下ダムを僅かな費用で建設する技術が日本で開発され、これにより地下での貯水が可能である。地下の貯水はほとんど蒸発しない。地下ダムの建設は井戸の合理的利用をも可能とする。アドラル・ド・イフォラス地域については地下ダムとの関係で雨水利用を検討することは有益である。

小規模貯水池：貯水池によって年間を通じ雨水を合理的に利用することができる。われわれは一時的な沼のいくつかを視察したが、その中の一部は堰堤があることによるが、沼の水は蒸発する。沼に替えて貯水池を建設することにより水をより合理的に利用でき、極端な早ばつの場合には他の地点、例えばニジュール川からの川水をそこに運搬・貯水することもできよう。しかし、貯水池を経済的に建設する具体的条件につき検討が必要である。

## 8. 調査の性格と手順

1978年度から3年間にわたり実施される調査の性格は基本的に2つの部分に要約することができる。

- 1) 基本調査：これは写真地質、水理地質及び物理探査をふくむ。その目的は実施すべきさく井地点を確定することである。
- 2) さく井の実施：これは基本調査より7、8か月実施される予定である。他の調査方法もある程度同時に行われる。日本のコンタクト・ミッションとマリ側は成功したさく井を直ちに生産井に切換えることに合意した。

このプロジェクトによる活動は基本的にこの地域の水資源の解明のための調査活動に限られる。住民への水供給の改善を目的とすることにあるので、双方はこれらの生産井にポンプを設置する必要につき合意した。マリ政府はこのプロジェクトにより設けられる井戸の揚水設備設置の資金手配につき日本政府に要請書を提出する予定である。

基本調査は1978年のS・Wミッション派遣後に開始されることとなる。試掘は1978年の基本調査の結果をうけて1979～1980年度まで継続する予定である。

工業開発・観光大臣はマリ人技術者の養成及び通常の技術移動の必要性からこのプロジェクトの期間を1か年延長することを要望した。選定される調査地域にも関係するが、実質的な調査活動は基地設営、同撤去、資器材搬入に要する時間、気象条件等を考慮に入ると、比較的短期間に限らざるをえなくなる。調査の展開規模、機材、調査期間は資金確保の難易の見通しと密接に関連する。

## 9. 基地、前進基地、交換部品

基地及び前進基を設ける必要性につき双方で討議した。基地はガオに設けるべきであり、さらに限定された前進基地を調査地区に設ける必要につき双方同意した。前進基地には調査実施に最低必要限の器材が配備されよう。マリ側は単にこのプロジェクト用としてのみでなく水利・エネルギー局下部機構の強化を目的とする恒久的基地建設の希望を表明した。<sup>1)</sup>

このプロジェクトの成否の一部は施設・機器の維持に関する基礎施設にかゝっている。また、整備される機器（掘さく機、重・軽車輛、コンプレッサーなど）の稼動効率の最大限の発揮のため、ストックヤード、修理・保守工作所、交換部品倉庫、守衛用家屋、日本人専門家用の数室の部屋等からなる基地をガオに建設する必要がある。

交換部品確保の重要性が強調され、日本側はこの重要性につき、また、機器保守のための技術員（メカニシャン）派遣の必要を理解し、機器維持を可能とする方策は後刻検討されるであろうと述べた。

### 要 約

マリ側及び日本コンタクト・ミッションはこの報告書の3つの部の内容についてそれぞれの意見を提示し、真剣な討議を行った。大部分の事項については双方で合意に達した。討議にあたり強調された点は次のとおりである。

- 1) 日本コンタクト・ミッションが報告書第1部で提示したこのプロジェクトの全般的計画についてマリ側は日本側提案のミッション方式による日本人専門家のマリ滞在期間は短かすぎると意見を述べた。マリ側としてはこの期間ではマリ人技術者の養成及び通常の技術移転を行うのに充分ではないと考える。
- 2) 1978年4月7日、日本コンタクト・ミッションに会見した工業開発・観光大臣は、さく井作業には最低3か年の期間が必要であると言明した。これは日本側が提案した3か年の調査計画期間を1か年上回ることとなる。
- 3) 割れ目帯の水についてマリ側は同国西部でこの種の水の調査のいくつかが成功したことを強調した。これに対し日本側は長期間の調査が必要であり、さらに割れ目帯のさく井は危険を伴うとの意見をもっている。
- 4) 調査地域の選定についてはその困難性及び複雑性にかんがみ、マリ側及び日本コンタクト・ミ

(注) 1) ガオ基地の強化を意味する。

ッションは慎重な意見を提示した。マリ側は調査地域の選定は同国で用いられている方法によらなければならないと言明した。日本側はマリ側の微妙な立場を過少評価するものではないが、いづれ開始しなければならない基本調査の開始までに時間があまりないことを知らせた。その結果として、ガオとその周辺、ガオーアソソゴ、キダルとその周辺を対象とするパイロット・ゾーンが提案された。

- 5) 日本側は地下ダムを建設する技術的方法により普通の井戸からの取水を補足する水資源利用の安定化のための提案を行った。マリ側はこれに興味を示し、この案は担当部局で検討しうるものであると意見を述べた。ただしこの案の調整が今回のプロジェクト中であまり大きな比重をもつことについてはあまり賛成できないとの留保意見を示した。
- 6) 報告書第3部の8において日本コンタクト・ミッションが示した調査の性格・手順とその内容についてマリ側は、日本政府の立場を考慮しながらも、異なる希望—国民に直ちに水を供給する必要性—をもつことを主張した。

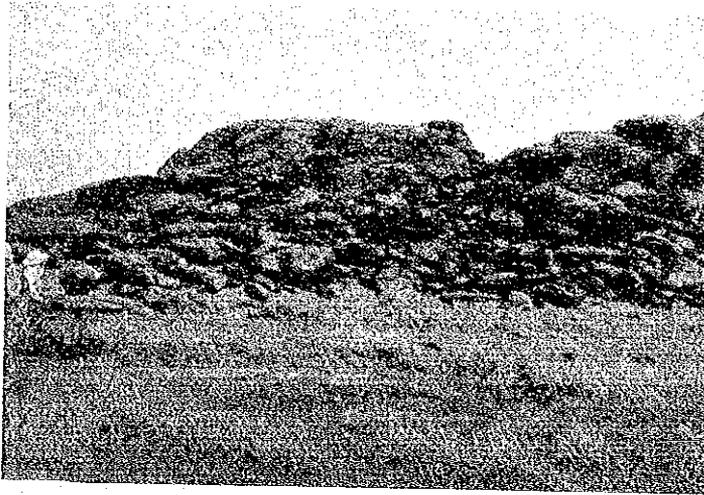
以上の点はすべて来るべきS・Wミッションでの話合の際に議題にのることとなる。

マリ側とS・Wミッションの間で行なわれる交渉の場でこれらの点は討議され、確認され、双方のもっとも利益になるように公文化されるであろう。



## V 各 論



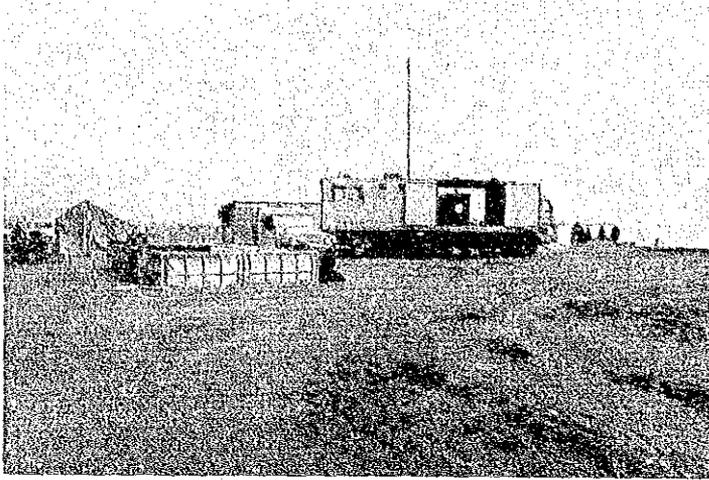


◀  
ブレーム東方10 km  
プレカンブリアンの  
片麻岩

▶  
1人1張りのテント  
光っているのはアル  
ミを使用したフライ  
のため  
PNC KIDAL  
キャンプ



◀  
事務所屋上には  
FM及び短波の  
通信施設  
PNC KIDAL  
キャンプ



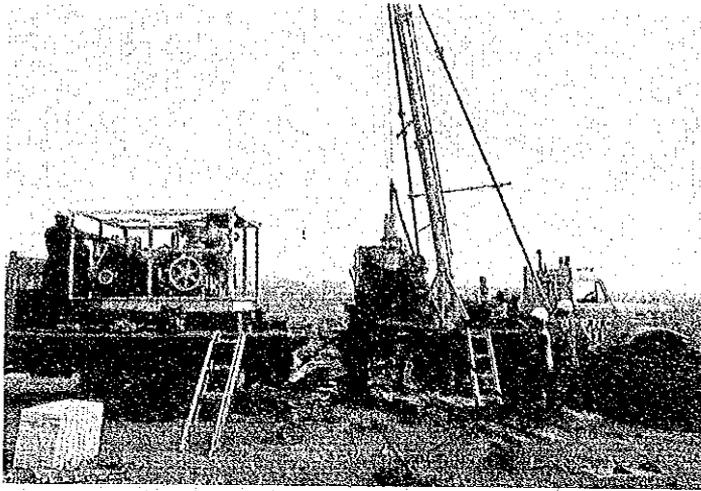
◀  
 手前…貯水槽  
 右……台所と発電機  
 左のテントはシャワー室  
 PNC KIDAL  
 キャンプ

▶  
 台所内部  
 立派なキッチン  
 セットである。  
 PNC KIDAL  
 キャンプ



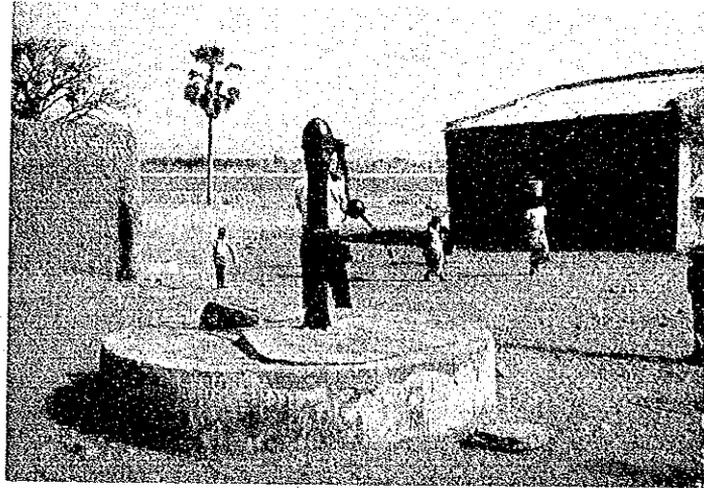
◀  
 キダール鉱区で  
 ウラン採鉱のため  
 ボーリング調査が  
 連日行なわれていた。  
 PNC KIDAL  
 キャンプ





◀ PNCウラン探鉱  
ボーリング現物  
地質条件が良け  
れば、水の消費  
量を少なくさせ  
てエアボーリン  
グができる。

▶ Koulikoro



◀ Koulikoro

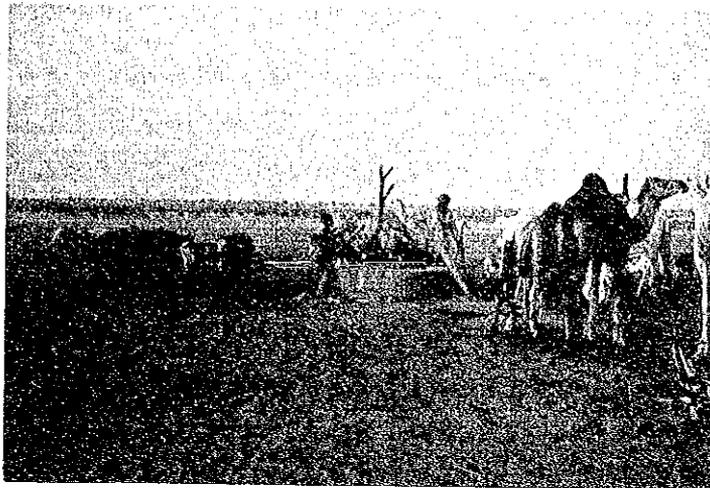


◀  
Kidal  
(Oued)

▶  
Tabankort  
(Oued)

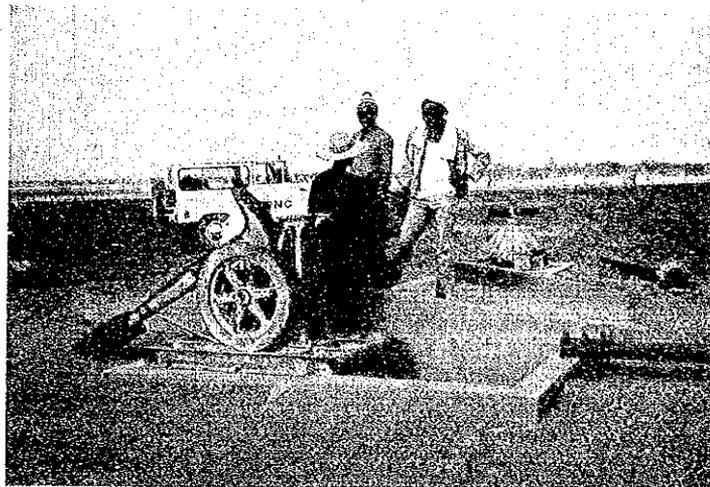


◀  
Ansongo  
(Puit)



◀  
Tiu Amar  
(Puit)

▶  
Tin Amascor  
(ソ連・ハンガリー)  
(協同さく井)



# 1. 気象

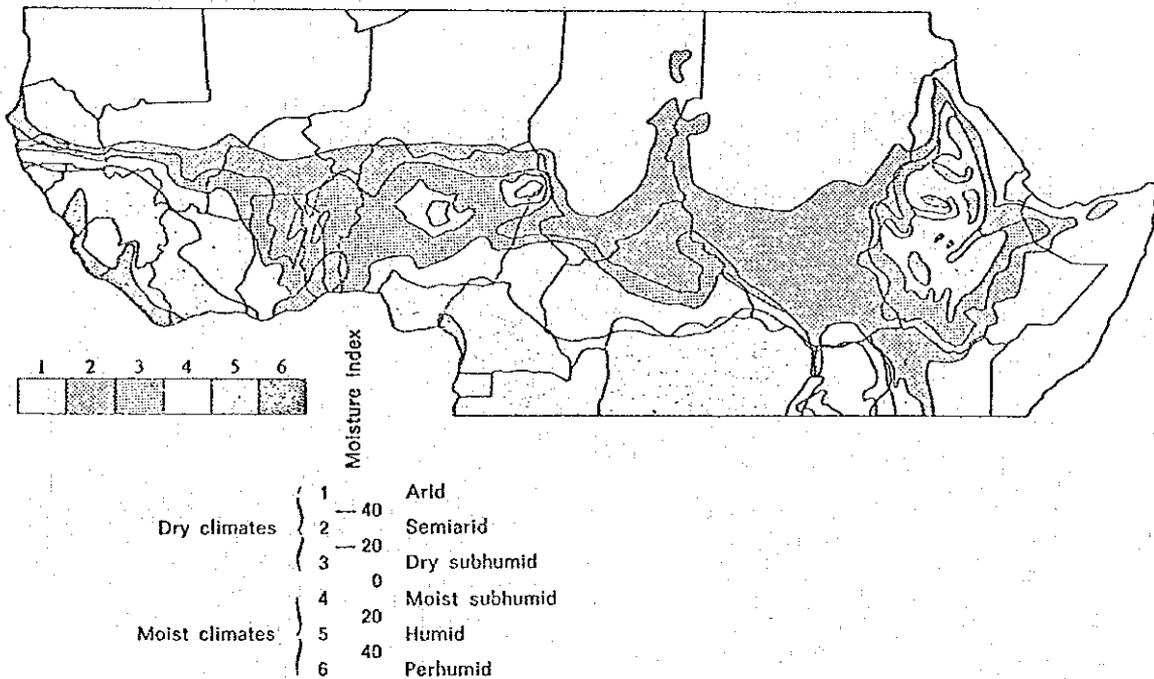
## 1.1 サヘル地帯の降雨特性

今回の調査対象であるマリ国ガオ地域（北緯16°~21°，西緯1°~東緯30°）はいわゆるサヘル地帯に属している。そこでまずサヘル（Sahel）地帯についてその水文特性を簡単に説明しよう。

サヘル地帯はサハラ砂漠の南に位置し、アフリカ大陸を横切って大西洋からソマリア，ケニアに至る乾燥及び半乾燥の地域である。

サヘル地帯の定義としてはその雨量が，点在する草木の存在を許すが，安定的な食糧生産には不十分であるような地帯とされている。第2図は Thornthwaite（1948）の分類による気候区分である。

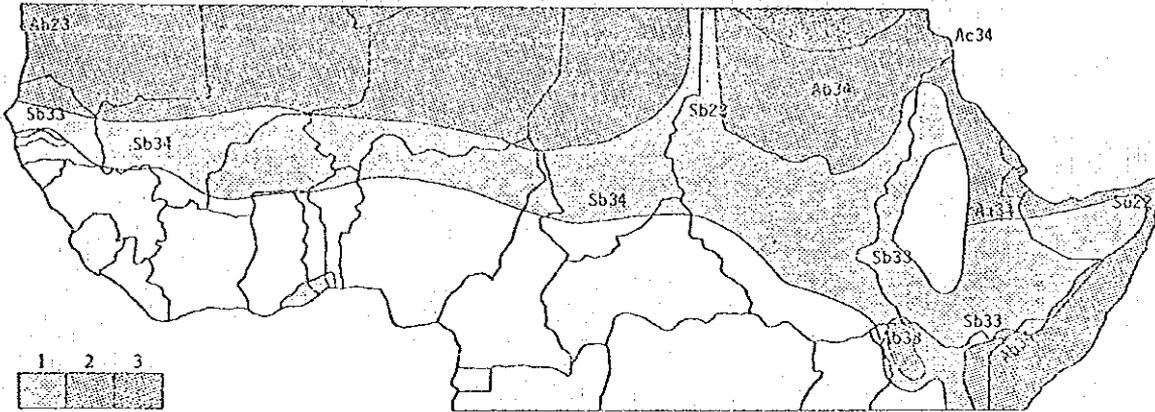
Moisture regions in the Sahel (according to the 1948 system of C. W. Thornthwaite), after Carter.



第2図 気候区分図（Thornthwaite）

第3図は McGinnies 他による分類である。

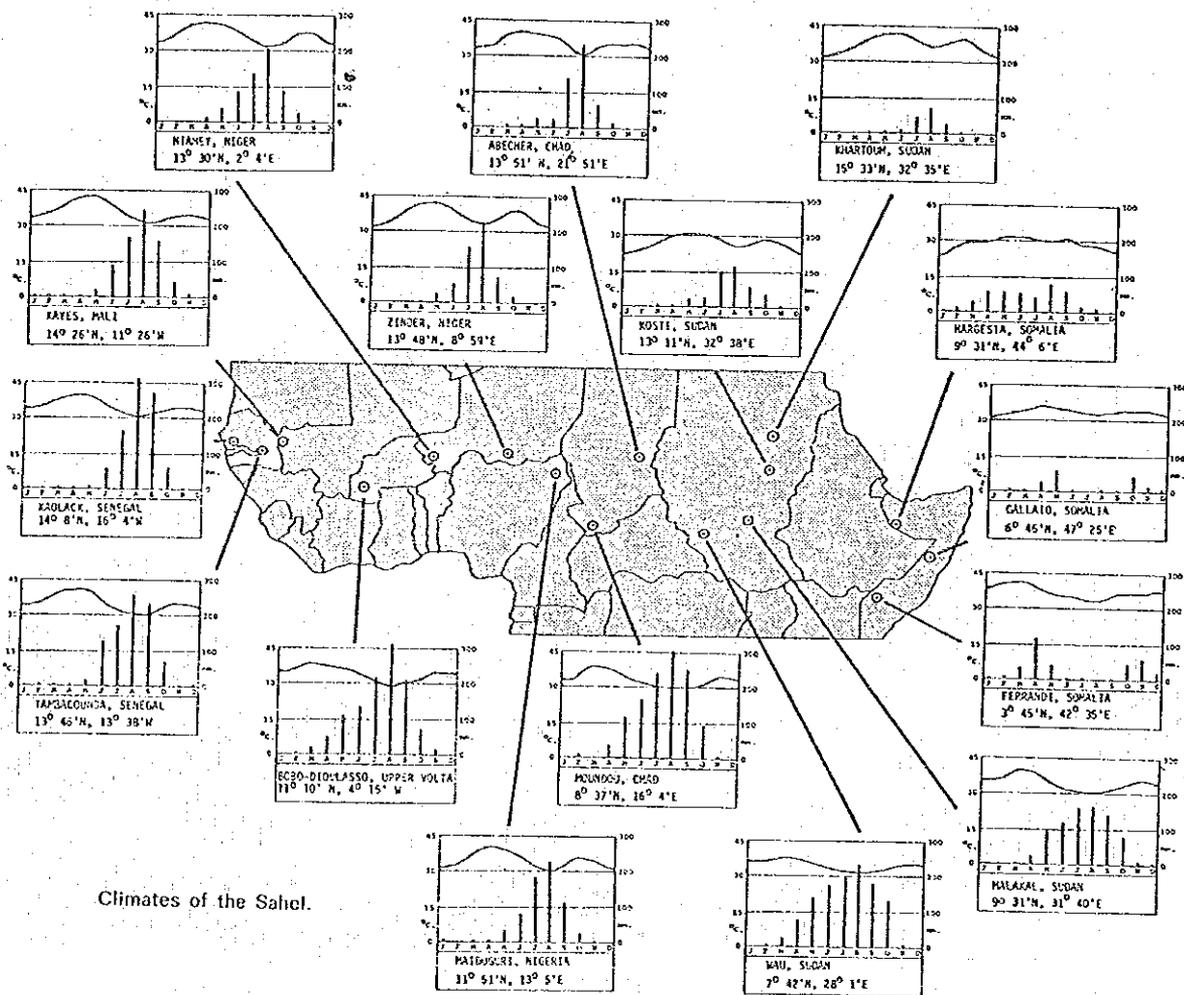
Arid lands of Northern Africa, after Meigs (In McGinnies *et al.*)



<p>1 Semiarid 2 Arid 3 Extremely arid</p>	<p>Meigs classifications E Extremely arid A Arid S Semiarid a No marked season of precipitation b Summer precipitation c Winter precipitation</p>	<p>Digits First digit: mean temperature of coldest month. Second digit: mean temperature of warmest month. 2 10° to 20° C. 3 20° to 30° C. 4 More than 30° C.</p>
---	---	---

第3図 気候分数図 (McGinnies)

第4図は 代表的な地点における降雨のパターを示したものである。これを見ると降雨は8月を中心とする夏期に集中し、サヘル地帯北部では7月～9月、であるが南に移つるにつれて雨期が長くなりサヘル地帯南部では5月～10月となる。



第4図 サヘル地域の気系

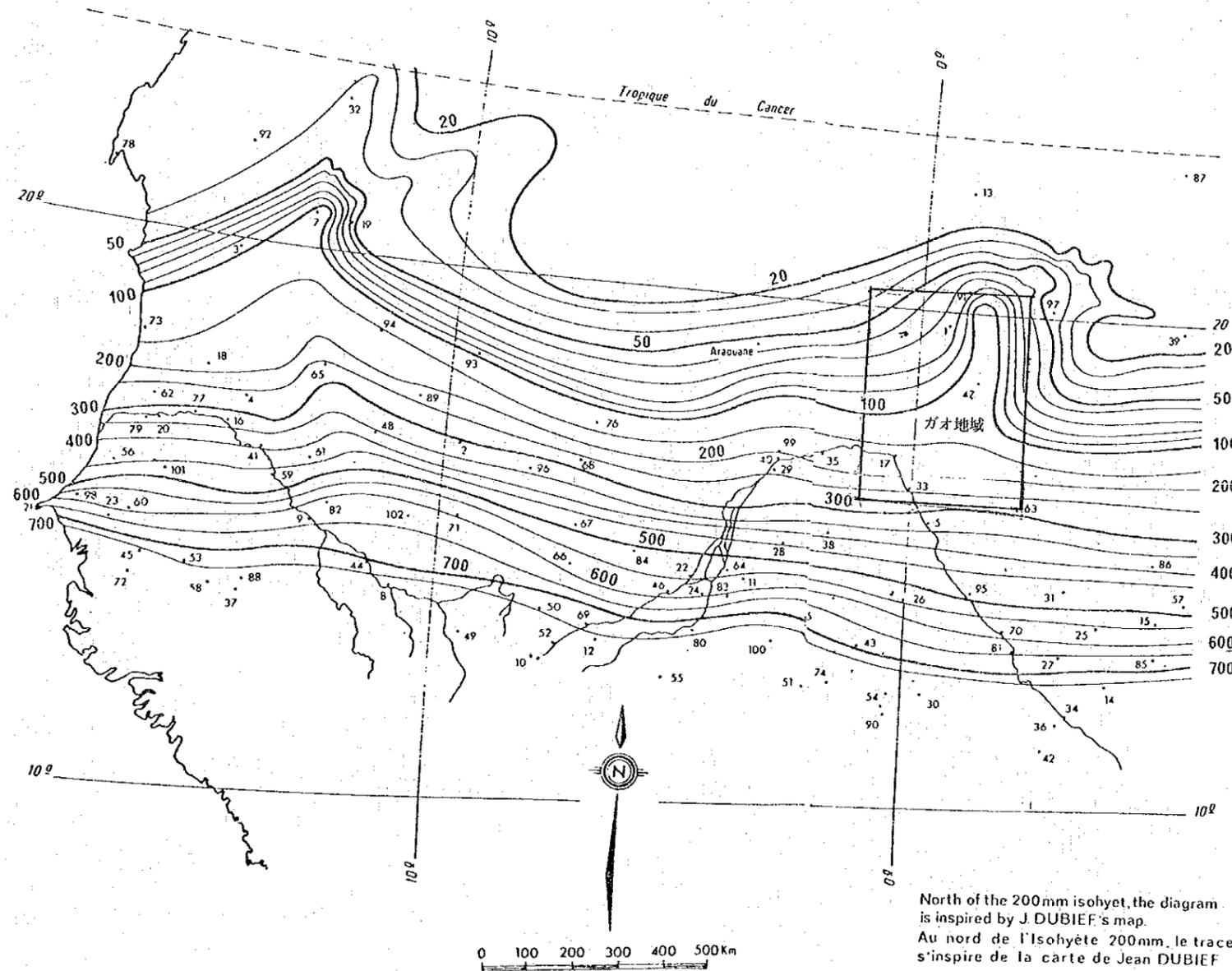
第5図は Rodier がまとめた年降水量の分布である。北部では降水量が小さく、南部では大きくなっている。



第 5 図 降水量分布図 (Rodier)

Annual depths of precipitations in the SAHEL  
 Hauteurs de precipitations annuelles au SAHEL  
 (Median values in mm)  
 (Valeurs médianes en mm)

LEGEND  
 LEGENDE



- |                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| 1 Aguelok         | 52 Koulikoro    |
| 2 Aioun-El-Atrous | 53 Koundoul     |
| 3 Ak'ouit         | 54 Koupela      |
| 4 Aleg            | 55 Koutiala     |
| 5 Ansongo         | 56 Louga        |
| 6 Araouane        | 57 Madaoua      |
| 7 Atar            | 58 Maka         |
| 8 Bafoulabe       | 59 Matam        |
| 9 Bakel           | 60 M'Bake       |
| 10 Bamako         | 61 Mbout        |
| 11 Baniagara      | 62 Mederdra     |
| 12 Baroueli       | 63 Menaka       |
| 13 Bidon S        | 64 Nopti        |
| 14 Birni N'Keobi  | 65 Moudjeria    |
| 15 Birni N'Koni   | 66 Mourdiah     |
| 16 Boghe          | 67 Nara         |
| 17 Bourem         | 68 Nema         |
| 18 Boutilimit     | 69 Niamina      |
| 19 Chinguetti     | 70 Niamey       |
| 20 Dagana         | 71 Niore        |
| 21 Dakar          | 72 Niore-Du-Rip |
| 22 Dia            | 73 Nouakchott   |
| 23 Diourbel       | 74 Ouagadougou  |
| 24 Djonne         | 75 Ouahigouya   |
| 25 Dogondoutchi   | 76 Oualata      |
| 26 Dori           | 77 Podor        |
| 27 Dosso          | 78 Port-Etienne |
| 28 Douentza       | 79 Rosso        |
| 29 El-Onialadi    | 80 San          |
| 30 Fada-N'gourma  | 81 Say          |
| 31 Filingue       | 82 Selibaby     |
| 32 Fort-Gouraud   | 83 Sofara       |
| 33 Gao            | 84 Sokolo       |
| 34 Gaya           | 85 Sokoto       |
| 35 Gourma Rharous | 86 Tahoua       |
| 36 Guene          | 87 Tamanrasset  |
| 37 Guenoto        | 88 Tambacounda  |
| 38 Hombori        | 89 Tamchakett   |
| 39 In Guezzan     | 90 Tankodogo    |
| 40 Kabara         | 91 Tessalit     |
| 41 Kaedi          | 92 Tichela      |
| 42 Kandi          | 93 Tichitt      |
| 43 Kaya           | 94 Tidjikja     |
| 44 Kayca          | 95 Tillabery    |
| 45 Kaffrine       | 96 Timbedra     |
| 46 Ke Macena      | 97 Tin Zaouaten |
| 47 Kidal          | 98 Tivaouane    |
| 48 Kiffa          | 99 Tombouctou   |
| 49 Kita           | 100 Tougan      |
| 50 Kolokani       | 101 Yang-Yang   |
| 51 Koudougou      | 102 Yelimane    |

North of the 200mm isohyet, the diagram is inspired by J. DUBIEF's map.  
 Au nord de l'isohyète 200mm, le trace s'inspire de la carte de Jean DUBIEF

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique    date des.    DIV. 261.648



サヘル地帯は 1972～73 年を頂点とする数年間に亘る旱ばつを経験した。第 3 表はこの間の降雨量の変化を示したものであって、今回のガオ地区と性質の以ているニジェールのアガデス (Agadès) では、1969～1973 の 5 年間の降雨量の平均は 70mm/年であって、これは平年の降雨量の約半分である。このように降雨量が不安定であることがこの地帯の一つの特徴をなしている。

第 3 表 4 地点の年平均降雨量の比較

Comparison of mean annual rainfall in four stations, from 1954 to 1973.

	Agadès (Niger) 16°59'	Abâchâ (Chad) 13°50'	Niamey (Niger) 13°30'	Sikasso (Mali) 11°21'
	mm	mm	mm	mm
1954	230.2	551.2	465	1439
1955	158	409.6	561	1408
1956	162.2	436.2	416	1185
1957	118	528.6	608	1310
1958	288.3	429.6	622	1450
1959	234.3	605.4	653	1269
1960	147	401.1	628	1230
1961	216	537.3	699	1141
1962	150.9	504.8	662	1244
1963	175	411.8	558	1248
1964	128.7	646.9	705	1239.9
1965	149.7	354	662	979.3
1966	104	406	566	1229
1967	155.3	339	813	1279.4
1968	163.2	321	447	1475.9
1969	80.7	290	647	1231.4
1970	39.7	307.2	541	1325.5
1971	92.6	395.4	570	888.4
1972	73.9	219.8	412.1	1016.8
1973	76.3	187.6	370.7	794.6
<i>Average for the period 1954-1963</i>				
	188.00	481.5	587.2	1292.4
<i>Average for the period 1964-1973</i>				
	106.4	346.7	573.3	1035.4

## 1.2 気温

四季節が規則正しく繰返される温帯地方で生活している日本人が北緯 15～20° のサヘル地方で調査を行う場合、特に外業では気温が作業能率に大きに影響を与えるのではないかと考えられる。そこで、次期以降の調査計画を立てる際の参考資料に供する目的で以下をまとめた。

まず、フランスのミシュラン社が発行している北・西部アフリカの道路地図に気温が記載されているので、これからガオ (北緯約 16°) の月平均気温を引用する。

第4表 ガオにおける月平均気温

	1月	2月	3月	4月	5月	6月
最高(℃)	30	33	37	40	43	41
最低(℃)	14	18	21	25	28	27

(雨量が50mmを超える月は7月, 8月)

今回の調査期間は3月下旬から4月上旬であったから、上表によると、雨期前の暑さにさしかかる時期であった。調査中に使用した温度計は-20℃~100℃、1/1目盛の水銀棒状温度計であった。測定は外業を行った3月27日~30日と4月1日、2日に限られ、結果は第5及び6表のとおりである。それによると、1日の中で気温が最低を示すのは日の出前の6時間前後、最高は12~14である。又、気温が体温(36°と仮定)以上になると「けだるさ」を感じるがその時刻になるのは9時~10時で、日没の頃まで続く。気温をニゼール川沿岸とAdraydes Iforasの中にあるギダルとで比較すると、最低気温(26°)はほぼ同じであるが、川から離れるほど日中の気温が高くなり、ブーレムとギダルでは約約4℃も差がある。従って、この気温の日変化を見るかぎり、川の近くでは日較差が14℃前後、砂漠の中では18℃前後になる。これから推測すると、ニゼール川が気温調節の役割をしているように考えられる。

動燃がガオ・キダル等で行っている調査の経験によると、外業に適している期間は12月から翌年の2月までの3カ月であり、水利・エネルギー局の現地作業も10月から翌年の6月までで、6月末にはさく井機を水利局に集めて定期検査を行うとともに作業員に休暇を与えている。

ガオ地域においては4月以降はいわゆる砂嵐の季節となるといはれ、今回の現地踏査の最終行程であった4月2日のアンソング東方等においてその“走り”と思われる小規模な砂嵐(竜巻)を経験した。この砂嵐の現場作業への障害や砂丘移動にもとづく諸施設への影響については無視しえぬものがあると強調されている。

第7表にキダルにおける気温・雨量等を参考として示す。

第7表 キダルの月平均気温等

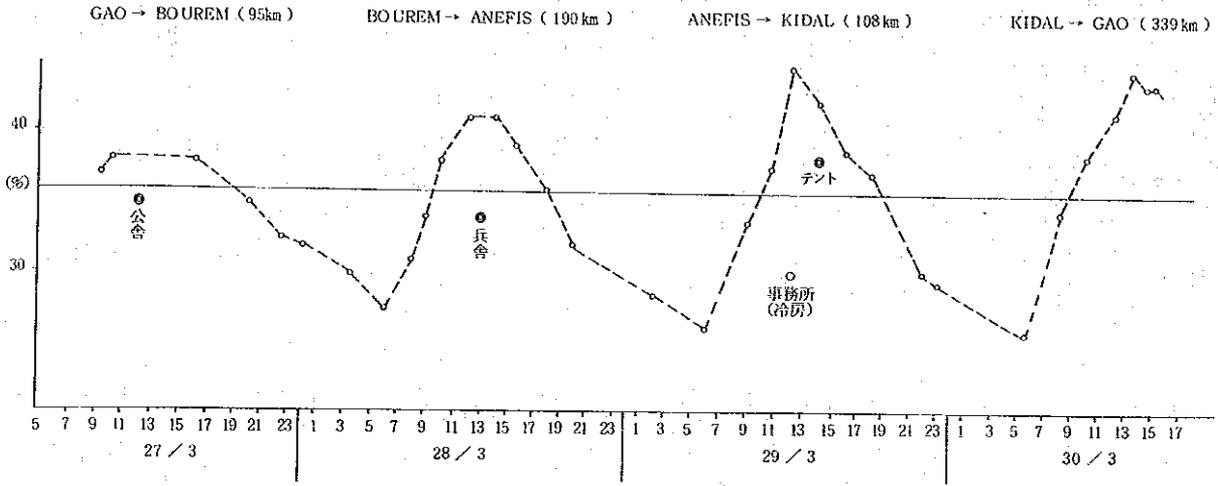
月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
月平均気温℃	19.5	23.1	26.7	30.6	33.4	34.2	32.8	31.1	31.1	30.3	26.7	20.6	28.4
月平均湿度%	24	22	21	21	23	36	46	55	44	26	27	28	31
月平均雨量mm	0	1	0	1	4	8	38	51	28	1	0	0	132

(理科年表, 1977による)

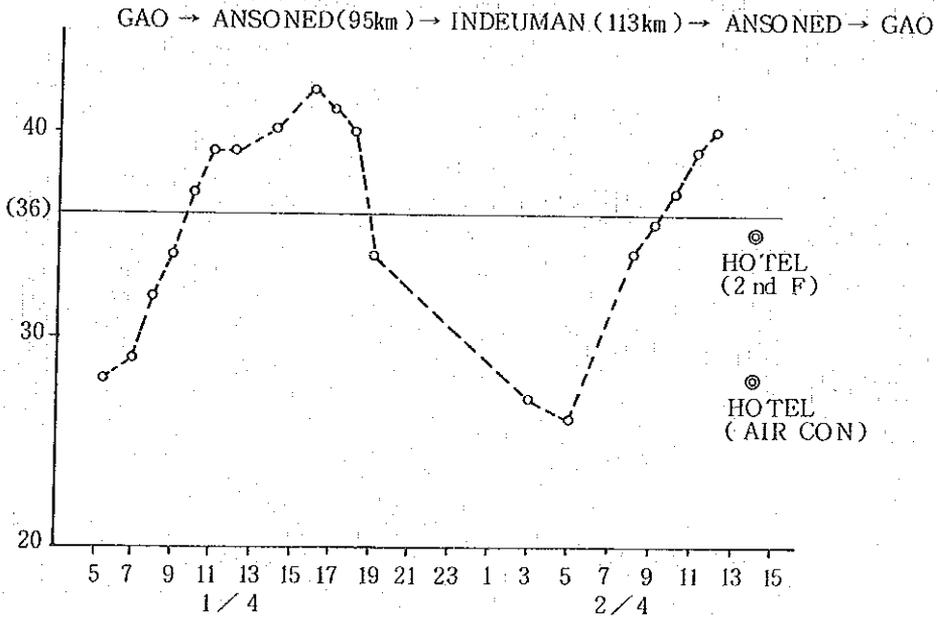
## 2. 地形

乾燥地域の地形は、我々のように湿潤な地域から来た者に対して、実に種々な驚きと新鮮さを与えてくれる。Glennie(1970)によれば、乾燥地域は全陸地の約1/3を占めており、各地でそれぞれ特色ある景観を呈している。

第5表 現地踏査中の気温



第6表 現地踏査の気温



当調査団の訪れたマリ共和国北東部（以下、調査地と略す）は、サハラ砂漠の南西端に位置し、Meigs（1953）の乾燥分布図では、極乾燥ないし乾燥地域に含まれる。調査地は大別して、花崗岩類等からなるアドラル・イフォラス山塊と、それを囲むカンブリア紀以降の堆積岩地帯に分けられる<sup>1)</sup>。以下、赤木（1978）を参照しながら、調査地の地形区分の概略を記述する。用語として適切でないものがあるかもしれないが、説明を加えるという形で便宜的に使用する。

調査地における地形は次のように分けられる。

- (1) 砂砂漠
- (2) 砂礫斜面
- (3) 平坦地（プラヤ）
- (4) 山地
- (5) 涸れ川
- (6) ニジェール川沿岸

これらに植生の変化が加わり、地形はかなり複雑な様相を呈する。地形の判読には、パリの国土地理院（I. G. N）及びダガールの地理院が作図出版している20万分の1地形図、或いは航空写真が有用である。特に20万分の1地形図には、道路・建物・飛行場などの人工場の他、涸れ川・砂丘・崖・植生の変化特が、比較的詳細に多色刷で表現されている。また簡略的に等高線も描かれている。

一方、航空写真では、地質学的判読の他、砂丘の伸びの方向、扇状地の発達程度、植生の細かな分布、地形の小さな起伏なども読みとることができる。ちなみに航空写真はフランス製の縮尺約5万分の1のもので、購入に際してはマリ国政府の許可が必要である。

#### (1) 砂砂漠

いわゆる砂丘列を伴ったような砂砂漠の分布は極めて小規模である。ブレム周辺とガオ〜アンソング間に認められた。ブレムでは、砂がニジェール川に向かって10m/年の割合で移動しているということである。なお微地形としての風紋は、はっきりとは認められなかった。

#### (2) 砂礫斜面

ここでいう砂礫斜面とは、扇状地、ベディメント等を含め、侵食面、堆積面の区別なく、砂礫に覆われている地形に仮に使用する（赤木、1978）。

調査地における景観の多くはこれに属する。アドラル・ド・イフォラス山地を切る谷が平地に出る折では、小規模な扇状地が認められる。一方、厳密な意味でのベディメントは確認していない。

---

(注) 1) v 3での「plateform cover」分布地（第6図他参照）

砂礫斜面は大小の角礫（円礫は少ない）が地表に散らばり、一般的に淘汰はよくない。それらの多くは現地性のものであると推察されるが、一部、豪雨時に運ばれるものもあるのだろう。調査地での大部分の砂礫斜面はペーブメント（pavement）に相当するようで、アンソソゴ～インデリマン間には、礫を敷きつめたようなかなり広い地形が存在する。広さ数m<sup>2</sup>の微地形もペーブメントに含めれば、調査地のいたるところでこの地形を発見できる。

調査地の砂礫斜面は、比較的大きな起伏を示している。特にアンソソゴ～インデリマン間では比高の大きな崖を伴っている所があるが、その崖がシルクレート（Silcrete）などのデザートデュリクラ<sup>2)</sup>ストに由来するものかどうかは解らない。

### (3) 平坦地（プラヤ）

極めて平坦な地形が各地に認められた。堆積物は主としてシルトや粘土であり、草草が発達しているところもある。プラヤとは乾燥地域の内陸盆地の低所にみられる平坦地を指し、一般的には植生はみられない。

調査地のプラヤには、直径10～20cmの亀甲状の割れ目を示す構造土（形態的には多角形土-polygon ground と言える）が形成されている所があり、その表面は硬く乾いている。また岩塩をを運ぶ遊牧民をブレムで見かけたが、塩の堆積しているプラヤもあるのだろう。

プラヤは雨期には沼地と化すところと考えられる。

### (4) 山地<sup>3)</sup>

アドラル・ド・イフォラス山地がこれに相当する。先カンブリア紀の基盤岩が露出する地域では、ほとんど植生が見られない。

風化作用を受けて、片麻石・花崗岩等が丸味を帯びた団塊状、或いは鋸齒状を呈している。またそれらはサンクラックの発達著しく、気温の日較差の大きなことを示している。キダル付近では、花崗岩の表面が黒く“焼け”ているように見える箇所があり、日射風化の激しさを物語っている。

### (5) 涸れ川

日本における川のイメージとは全く異なっている。幅広い涸れ川は谷というよりも、大きな凹地（depression）の印象を受ける。幅広い涸れ川には、また小さな涸れ川が入りこんでいる。

一般に植生は豊かである。

衛生写真の観察では、涸れ川の発達もある程度、地質及び地質構造の規制を受けているようである。

(注) 1) ペーブメント…乾燥地域の山地前面に、硬い岩石を切って発達する侵蝕緩斜面。

2) デザート デュリクラスト…リモナイト、ボーキサイト、シリカ、ライムストーン等が集積して形成された非常に硬い風化殻で、シリカに富んだものをシルクレートと言う。

3) V 3「地質」の山塊（massif）には、相当する。

### (6) ニジェール川沿岸

今回の調査中では、ニジェール川の水量は極めて小さく、河川に沿って低平な土地が広がっていた。ブレムでは河床に砂波 (sand wave) が認められた。またアンソングにおいては、ニジェール川をよぎる基盤石 (Infra - Cambrian) の露出が見られる。

## 文 献

赤木祥彦 (1978) : 乾燥地域の地形(一)~(六)地理, vol. 23, No 1 ~ No 5, 古今書院。

Glennie, K. W. (1970) : Desert Sedimentary Environments. Development in Sedimentology, No 14, Elsevier Publishing Co., 222 p.

Meigs, p. (1953) : World Distribution of Arid and Semi-arid Homoclimates. Reviews of Research on Arid Zone Hydrology — UNESCO Arid Zone Res., 1, p. 203 - 210.

## 3. 地 質

今回現地踏査を行った範囲はガオ〜ブレム〜アネフィス〜キダル及びガオ〜アンソング〜インデリマンの主要幹線道路沿のごく限定された地区での、短時間内の観察であった。(第1回)

以下の記述は、マリ政府から要請のあった同国北東部の地下水開発調査対象地域(前記Ⅲ・2)の地質につき、既存資料と現地での聴取事項をもとにし、その概略をまとめたものである。地質系統の名称等は主として1/200万地質図(BRGM, 1960)によった。(第6図)

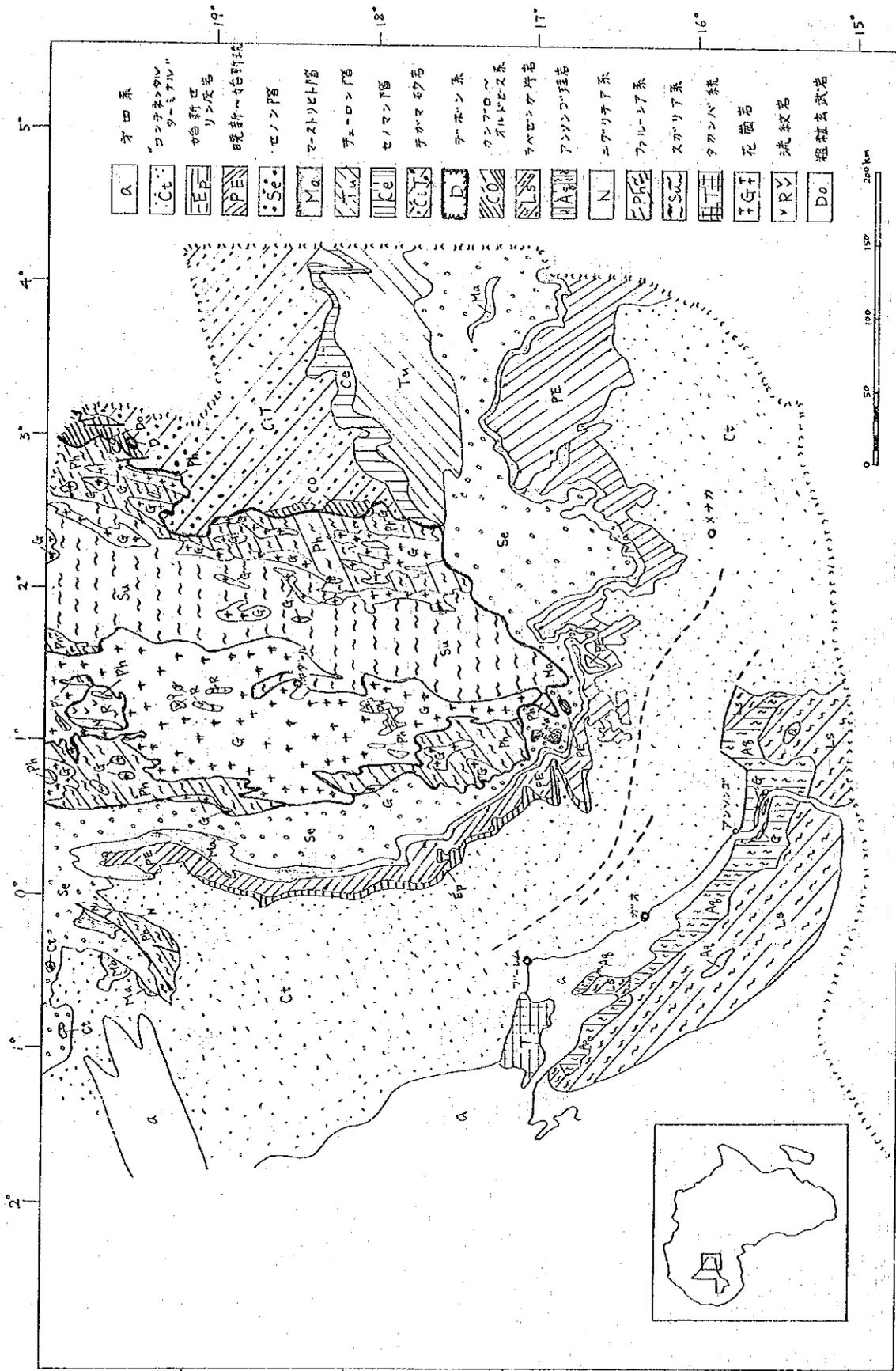
当該地域の地質は大局的に次の2つの地質単元に区分される。

- (1) アドラル・ド・イフォラス山塊の先カンブリア系
- (2) それをとりまく卓状地の堆積岩類

アドラル・ド・イフォラスは構造区分上 Ahaggar (Sahara Central) 山塊の南西部を占めている (Choubert, G. et al 1968 (第7図)) 山塊には各種変成度の変成岩類、片麻岩類、花崗岩類、流紋岩類が分布し、一部には大理石、珪岩、角閃岩などもみられるという。前記1/200万地質図によれば、花崗岩類と流紋岩をのぞき、これら岩類は下位から、Sugganien (スガリヤ系)、Pharusien (ファルーシャ系)、Nigritien (ニグリチャ系) の3系に区分され大部分が先カンブリア紀とされている。(第8表) しかし放射能年代測定の結果からは Nigritien 系の年代には議論があるようである (E. Picciotto et al 1966)。花崗岩類については岩石学的に3種以上に区分され、その地質年代は放射性年代測定によって大部分が先カンブリア紀とされている。

今回踏査したキダル付近におけるアドラル・ド・イフォラス山塊は植生がきわめて乏しく露出は良好であり、花崗岩類が卓越していた。この付近で採鉱を行なっている動燃ではこれら花崗岩類を便宜

第6図 マリ東北部地質概略図



B.R.G.M. (1960) を簡略化した別冊

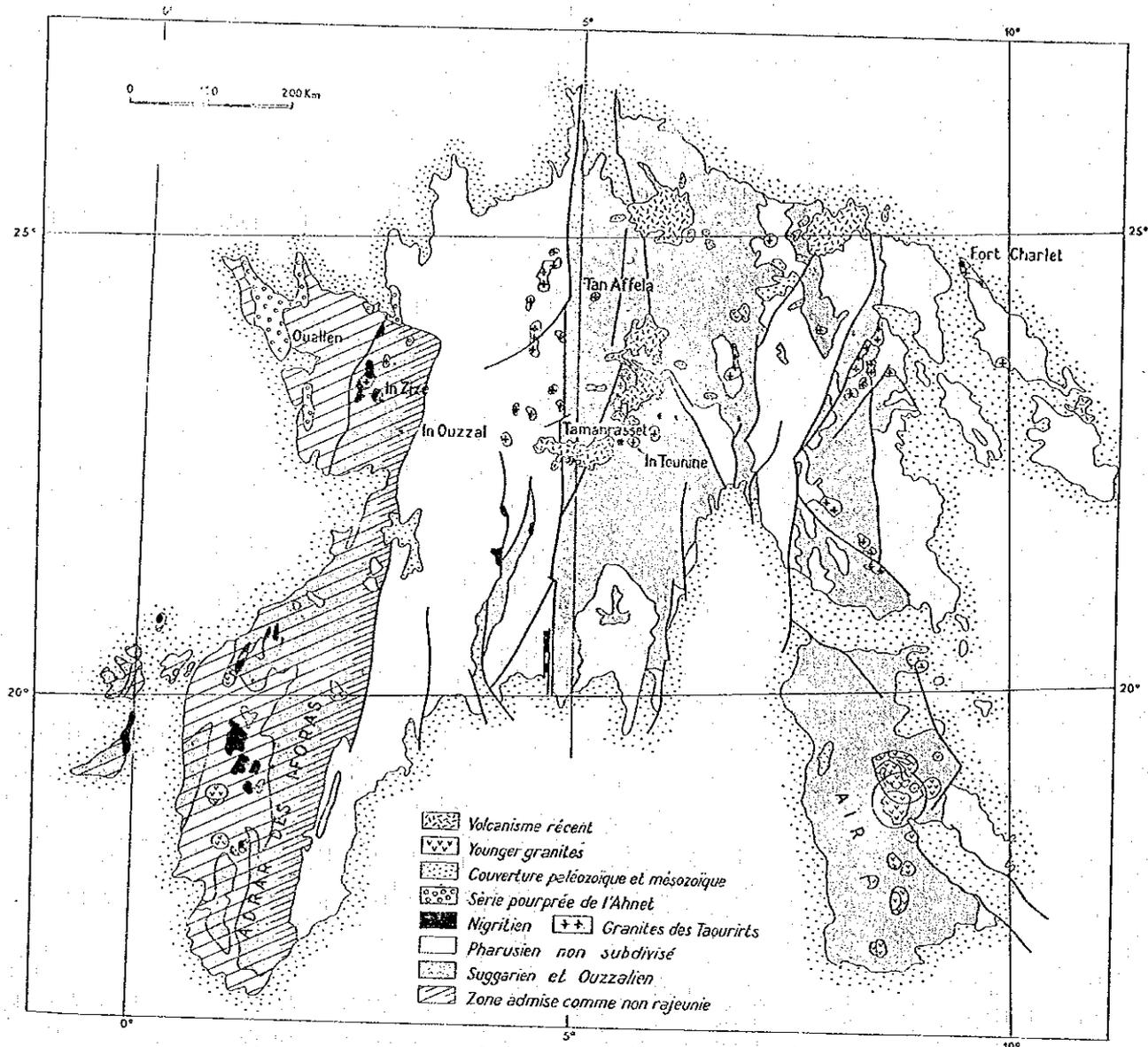


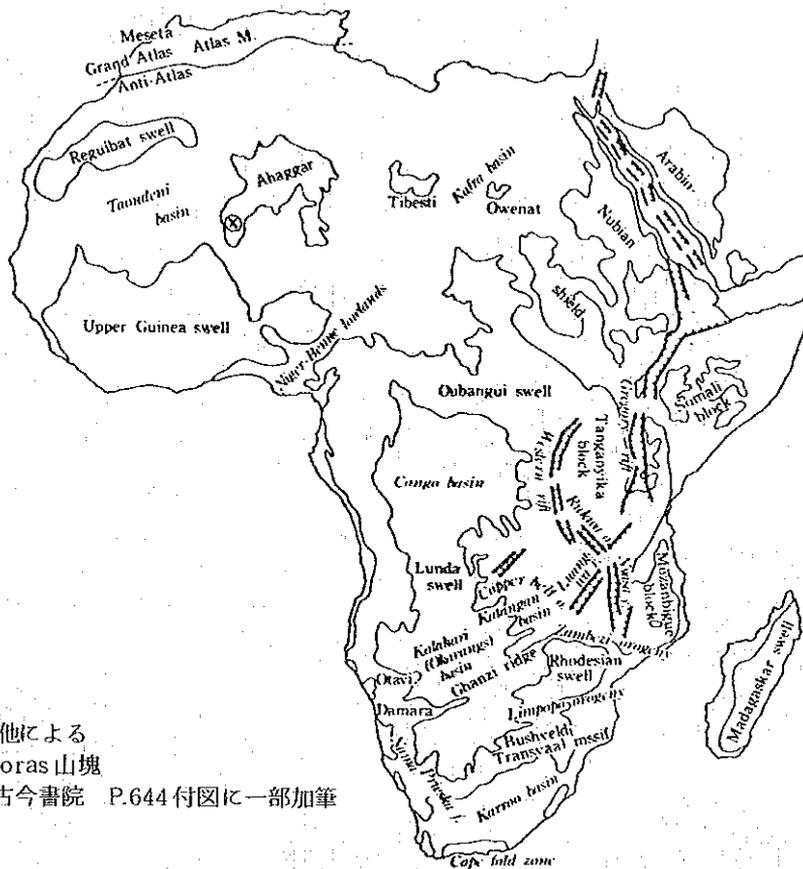
Schéma géologique de l'Ahaggar. Extrait de G. Choubert, A. Faure-Muret, R. Charlot, 1968, p. 294, fig. 2.

(UNESCO Paris 1971, Tectonics of Africa P. 217, Fig 1)

第7図 Ahaggar 山塊地質略図

上次の4つのタイプに区分している。

(タイプ)	(岩相)	(風化の違い)
A	黒雲母花崗岩 (粗粒)	丸味
B	ペグマタイト質～斑状花崗岩	鋸齒状
C	斑状花崗岩	(CはDの marginal facies)
D	普通角閃石花崗岩	割れ目の発達



(注) Brock 其他による  
 ⊗ Adrar Iforas 山塊  
 地学辞典 古今書院 P.644 付図に一部加筆

第 8 図 アフリカの地体構造

航空写真の観察では、ギダル周辺には多数のリニアメントが認められ、それらは岩脈及び割れ目の発達を示しているようである。リニアメントの多くはN-S性のもので、実際に測定した節理の方向、例えばN20° E 40° E等と調和している。しかしN-S性のものと斜支する節理も存在している(例、N80° E 60° N)。

ただし野外調査における節理系の観察に際しては、付近に発達するサンクラックによって混乱する恐れがあり、構造的な意味を持つ節理(断層)を調べようとするならば、あらかじめ航空写真を丹念に見ておく必要があるだろう。Ahaggar 山塊における地層の伸長方向、それらをきる主要断層の多くはとくにアドラル・ド・イフォラス全般を通じN-S性を示す(第7図)。後記(v.5)のように、今回、空中写真を用いギダル周辺につき水文学的な表層区分を試み集水機構等を検討した。

卓状地には第8表にみられるように古生界から第四系にわたる各時代の堆積岩類がアドラル・ド・イフォラスの山塊をとりまいて分布する。

これらは "platform cover" または "sedimentary cover" と呼ばれる。

アドラル・ド・イフォラスの西部および南部(いわゆるDetroit Soudanais) 地表面においてはこれら堆積岩類は陸成セノン階(1/200万地理図 Cr<sup>8a-7</sup>)の層準をもって下位の先カンブリア系を覆

第 8 表 地質系統表

地質年代		地 質 系 統	
新 生 代	第 四 紀	ニジュール沖積統 砂砂漠, 現世砂丘 古期第四系	
	第 三 紀	コンティネンタル・ターミナル (Continental terminal) 中部始新統 (テレムシ礫石) 中部~下部始新統~晩新統	
中 生 代	白 亜 紀	【Detroit Soudanais】	【Niger 堆積盆地】
		ダン階, マストリッヒ階 (海成) セノン階 (陸成)	ダン階, セノン階 マストリッヒ階 (海成)  上部チューロン階 (石灰岩) セノマン階~下部チューロ ン階 (海成)
	ジュラ紀	コンティネンタル・ インターカラリー (Continental intercalaire)	コンティネンタル・インター カラリー相  コンティネンタル・インターカラリー: テガマ砂岩 : イルハゼル頁岩  アガデス砂岩
古 生 代	石 灰 紀		
	オールドビス紀		石 炭 系 デ ボ ン 系 ゴットランド系 カンプロ~ オールドビス系
	先 ガ ブ リ ア 紀	ニグリシア (Nigritien) 系 フェルーシア (Pharusien) 系 スガリア (Suggarien) 系	花崗岩類 流紋岩

(注) 本表は主として 1/200 万地理図 (BRGM, 1960) によった。

アガデス砂岩の本表中の位置はMDIT, 1977 によった。

アドラル・ド・イフォラスの花崗岩類中には先カンブリア紀よりも若いものが存在するようであり、ニグリシア系の一部の地質時代は古生代に属する可能性があるようである。

っている。以西及び以南に向けては上位のより若い地層がきわめて緩傾斜で分布する。タブンコルト (Tabancort) 南方, ファルカ (Farca) におけるさく井地質資料 (後記 V. 4. (1)) によれば海成白亜系の下位には中～古生代陸成層があるという。また, 既存の震探資料による情報ではガオ・グラベソ (後記) の “platform cover” はかなりの層厚をもつようである。これらの情報からみてアドラル・ド・イフォラスの西方及び Detroit Soudanais にはセノ階より下位層準のコンティネンタル・インターカラリーが潜在するようである。

アドラル・ド・イフォラス東方, 南東方の “platform cover” はカンプロ～オールドビス系から第四系にわたる堆積岩類<sup>1)</sup>である。アドラル・ド・イフォラス東部での地表部に関してはカンプロ～オールドビス系, コンティネンタル・インターカラリー (テガマ砂岩)<sup>2)</sup>, 或いはセノ階 (Cr<sup>3</sup>a-<sup>7</sup>) 等が山塊の先カンブリア系を over lapping 様に覆ふ。しかし露出の大部分はテガマ砂岩より上位層準の地質系統によって占められてをり, 南方に向けてより上位層準の分布がみられる。後記 (V. 4) のように今回の踏査区域の東方のメナカ周辺からその北東部 (ニジュールとの国境地区) にはかなりの深度をもつ水井戸がある。また, ニジュールとの国境近くには石油の試掘井が若干展開されている。これらのさく井地質資料については今回は未入手, 未検討のものが多く, メナカ付近にはテガマ砂岩に, また, 国境に近いアクアバウム (Aquaboum) 付近にはアガデス砂岩 (ジュラ～上部石炭系) に, それぞれ到達した水井戸があるという。以上からテガマ砂岩より下位のコンティネンタル・インターカラリーその他の層準の地層が, アドラル・ド・イフォラスの東部及び南東部の地表下に, 広く潜在することが推測される。

“platform cover” の上部を占める第三系は 1/200 万地質図では暁新統・下部始新統, 中部始新統及びコンティネンタル・ターミナルに 3 区分される。中部始新統のテイレムシ燐鉱石の層準はガオ北東のサミット (Samit) 付近で尖滅し以東には追跡されぬという。これら第三系の地質時代は古第三記をふくむといわれるがその詳細は今回把握していない。

第三系の全層厚はわずかに 100～120 m 程度という。

ガオ～アンソング北方には WNW-ESE 性の断層が 3 本図示 (1/200 地質図) されている。うち 1 本はコンティネンタル・ターミナルとその南方のアンソング (Ansongo) 珪岩との間のいわゆる基盤断層<sup>3)</sup>である。コンティネンタル・ターミナルを切る 2 本の推定断層は, この地区における既往の震探資料によれば, 若干の平衡断層をともない西南方へ落ちるステップ断層群の一部であると推定されている。これらの断層によりガオ～アンソング付近には 1 地溝 (“Gao graben”)<sup>4)</sup> が形成されているようである。

地下水開発調査の対象地域での “platform cover” はキダル西北方の Timetrine 付近, プレム西

(注) 1) 1/200 万地質図 (BRGM, 1960) によればニジュール堆積盆地累層と呼ばれる。

2) MDIT (1977) によれば下部白亜系

3) “インフラ・カンブリアン”

4) 入手文献 ( )

方、ガオ～アンソソゴ南部付近においてファルージア系。Takamba 流、アンソソゴ珪石などの先カンブリア系ないしはインフラ・カンブリア系の結晶質岩類を主とする基盤の存在により、その分布が制約されている。

アンソソゴにおけるこれら基盤の一部については今回踏査において観察した。

今回採取した岩石等試料につき第9表に示す。

第9表 採取岩石等試料表

資料番号	採取地点	簡単な説明
32701	Djebock	炭質物を含む泥岩, 明灰色, コンティネンタル・ターミナル
32901	アネフィス東方5 km付近	珪岩 (quartzite), 地表に露出
32902	32901のさらに東方	片麻岩, 源岩は花崗内緑岩のようである
32903	動燃キダル掘削現場	Bタイプ, ペグマタイト質～斑状花崗岩
32904	"	Dタイプ, 普通角閃石花崗岩 <sup>1)</sup>
33001	キダル, ダム	泥質砂(岩), 赤茶色, もろい, 第四系
40101	アンソソゴ	Sericite Schist
40102	Majibo	砂岩, 暗緑色～黒色, かたい, 漂礫
40201	インデリマン～アンソソゴ間	砂岩または珪石 明灰色, ち密, かたい, 漂礫

今回の踏査によってえられた地質についての所見並びに今後の問題点を要約すると次のとおりである。

(1) 地域内ではアドラル・ド・イフォラスの山塊を除いては露出はきわめて限定される。とくに“platform cover”の露出はきわめて局部的であり、地層が緩傾斜（狭い範囲内では水平とみてよい）であることも手伝って、いわゆる連続した露出により上・下の層準を観察できる機会はほとんど皆無である。

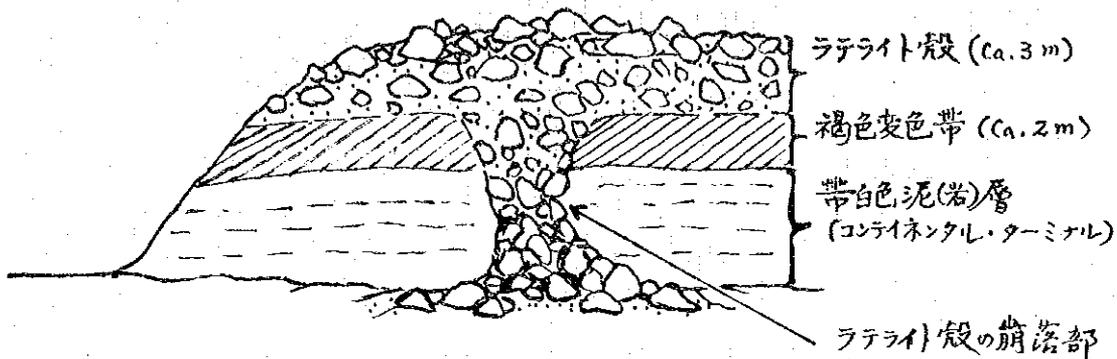
(2) 一般的に露出はラテライト化などをうけていて原岩の判定には長期の熟練を要するものと思われる。

(3) “platform cover”の分布地域は地形的に砂礫斜面（前述）が多く、詳細な層序、岩相の判定は井戸あるいはトレンチによる以外は不可能である。地表調査においてはラテライト化土壌、地表

(注) 1) この他動燃から試錐コア（Dタイプ花崗岩類）の提供をうけた。

地表に夥しくみられる礫種の観察から層序などの概況を判定してゆく必要がある。

(4) コンティネンタル・ターミナルなどの堆積岩類がラテライト化した部分は一定の層厚があり、かなり、かなり固い一種の殻を形成している。(第9図)したがって、“platform cover”分布地域でのハンド・オーガー等の使用の場合もこの点に留意する要がある。



第9図 アンソング西方崖スケッチ  
(アンソング〜ガオ幹線道路沿い東北側崖)

(5) “platform cover”の層序判定は岩相からもある程度可能と思われるが、詳細な判定のための古生物学的資料の蒐集・検討が今後必要となろう。

(6) 空中写真の判読・解析による地質構造、割れ目系などの調査はとくにアドラル・ド・イフォラスなどの山塊については前述のように有効性が高い。

(7) 現在の“platform cover”の分布地域であるDetroite Soudanaise等における地下地質(Sub surface geology)の調査が必要となろう。先カンブリア系上面についてのより詳しい描写(configuration)を物理探査等の手段により可能な限り実施する必要がある。ガオ地溝の実態把握に関しては地質学的及び地下水等の資源探査面からきはめて興味もたれる。

(8) 地下水の開発・調査の立場からみて、山塊並びに“platform cover”の岩層についての透水性、間隙性などの物性、割れ目系及び岩相変化等につき一層の資料を取得することが望ましい。

(9) 現在、動燃によって実施されているキダル、テッサリ西方、イベリベル・バラコウエの探鉱は山塊並びに“platform cover”の地質に関しても貴重な知見を提供している。これらの資料・情報は地下水の調査にとっても有用なものと考えられる。

(注) 1) ラテライト性デュリクラフトまたはフェリクレートといい、鉄分に富んでいる。

#### 4. 地下水

##### 帯水層

ガオ北・東部の帯水層は、文献<sup>1)</sup>によると次のとおり地質の面から区分される。

帯 水 層	第三紀 陸成層 — 古第三系上部及び新第三系 白亜紀 海成層 — { 白亜系上部 (ダン階) 及び古第三系下部 白亜系上部 (セノン階) 白亜系下部 (テガマ層群) 中・古生代陸成層 — 石炭系上部～ジュラ系 (アガデス層群) 古生代下部及び中部
不透水性 岩 石	ジュラ系 (イルハゼル層群) 先カンブリア系

不透水性岩石であるイルハゼル層群は泥岩で代表され、テガマ層群とアガデス層群の間にある。

片麻岩、結晶片岩、花崗岩類から成る先カンブリア系はアドラル・ド・イフォラスに分布し、中・古生代陸成層以新の堆積岩はアドラル・イフォラスの西・南部からニゼール川に至る間の平地 "Detroit Soudanais" に分布している。

(アドラルド・イフォラス)

この地域の地下水に関する情報は全くないといってよい。調査中に得た情報としてはキダルの沖積層についてだけである。

<sup>2)</sup>キダルは周囲を先カンブリア系の山地で囲まれた盆地の中にあり、そこには砂漠特有の涸れ川が幾筋かある。涸れ川に流水がある期間は雨期でしかも短時間のようで、山地に降水があると10～20分後には鉄砲水となってキダルの町に達し、すぐ元の涸れ川になるという。涸れ川の沖積層の厚さは10m未満で、幅は勾配によって一様でないが10m前後であろう。涸れ川には自由水面をもつ地下水があるので、住民・家畜の貴重な水源となっている。動燃が鉱業用水として試掘現場の近くに掘さくした涸れ川の水井戸は、9m未満の深度である。その地層は、深度7.3 m前後までは砂と泥で、その下位は河床砂 (帯水層) であったという。

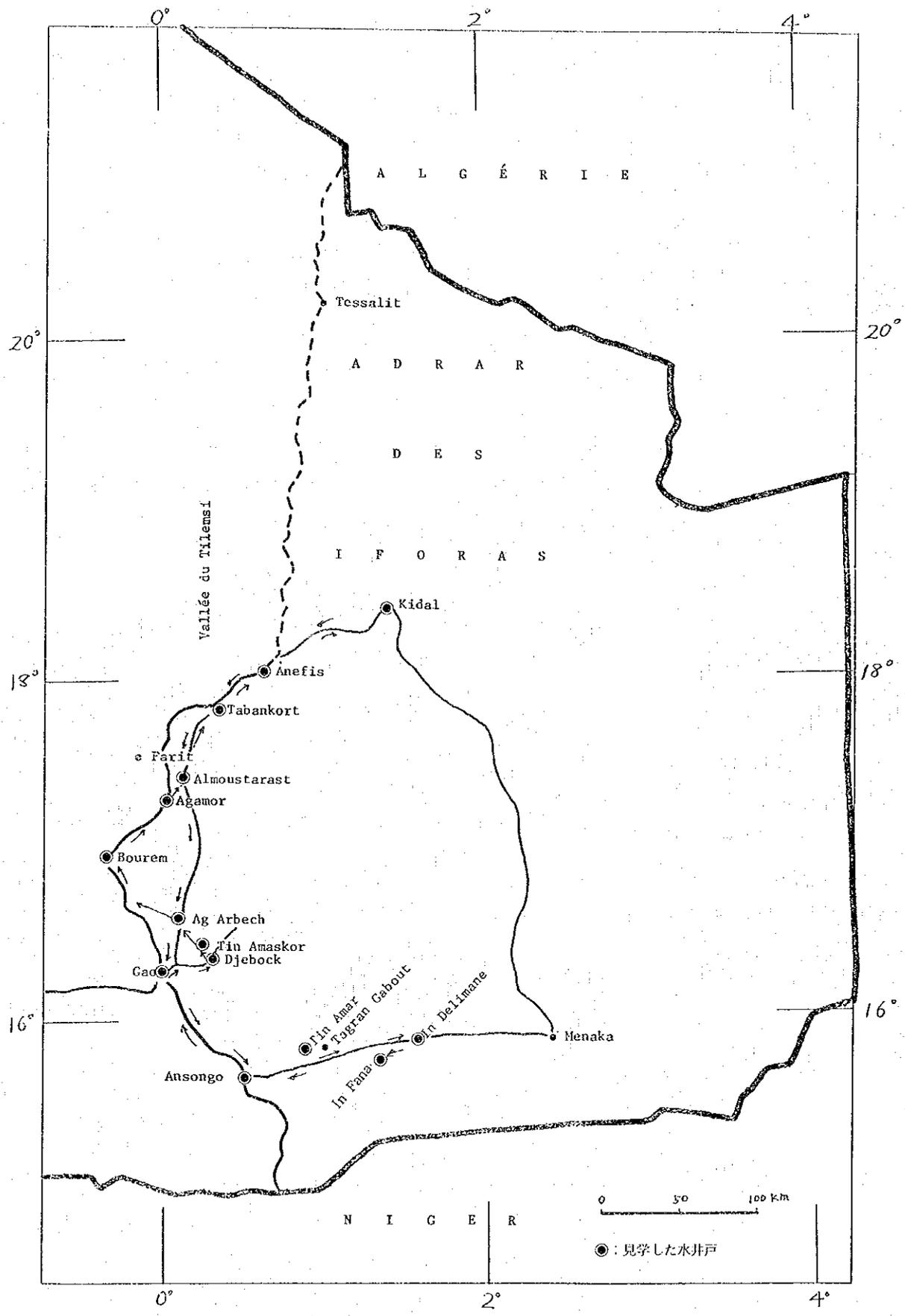
基盤岩の割れ目については前記動燃が行っている試掘記録がある程度である。

(Detroit Soudanais)

<sup>3)</sup>この平地は文献<sup>2)</sup>によると、アドラル・ド・イフォラス西緑の海成層分布帯と第三紀陸成層分布地

(注) 1) 文献(1), MDIT: "expertise de 45 forages dans la region nord-est de gao", 1977

(注) 2) 後記 V 5 においては航空写真を用いた水文学的表層区分及び集水機構の検討を試みた。



第10図 水井戸位置図

帯とに分けられる。

#### (1) アドラル・ド・イフォラス西緑の海成層分布地帯

この地帯には、白亜系上部～暁新統と考えられる砂層粘土層及び石灰岩が分布する。調査地の一つであるアネヒスには国道を横切って南流する、幅10～20mの涸れ川がある。この中に掘ってある水井戸の深度は20m前後である。しかし、涸れ川の中をどこでも水井戸が掘れるということではなく、沖積層の厚さが複雑なので、浅くて白亜系の硬岩に逢着することがあり、又涸れ川から離れると地下水は求めにくいという。

なお、アネヒスで涸れ川の地下水が得られ易いのは、アネヒスの南側に基盤（白亜系）の露頭があって、その地下水を止めているからであると説明されている。アネヒス南西のタバソコルト<sup>1)</sup>(Tabancort)は、暁新統～始新統（下部及び中部）が分布するところである。ここには、深度30～40mの掘水井戸が数眼ある。タバソコルト南方のファルカ（Farca）でのさく井（深度103m）地質資料によると、66m以浅の地層は厚さ数mの砂層と厚さ20m前後の粘土層の累層で白亜紀の海成層、下位層は中・古生代の陸成層で帯水層は82.3～90.5m間の砂層と礫層である。

#### (2) 第三紀陸成層分布地帯

この地帯は前記海成層分布地帯の西南方、ニジュール川までの間の平地である。ブーレム、ガオ、アンソソゴの町は、この地帯にある。陸成層は粘土質礫で代表される。ガオ北東のゼボック(Djebock)のさく井（深度89m）地質資料によると、74m以浅の地層は粘土層、又は粘土質礫層、81～86mの帯水層は風化石灰岩及び砂層（白亜紀海成層）で、被圧状態にある。ゼボック北方のティン・アマスコール(Tin Amascor)にある廃井も被圧帯水層は深度63.4～74.8m間の海成砂層であった。ガオ北東のアルガベッチェ(Ag Arbech)の水井戸（深度97.7m）では、62.75m以浅の地層は粘土勝ちの白亜紀海成層、下位層は砂勝ちの中・古生代陸成層である。帯水層は84.8～97.3m間の砂層で被圧状態にある。透水係数は $4.6 \times 10^{-3}$  cm/sec、比湧水量（水位降下1m当りの揚水量）は1 m<sup>3</sup>/hr/mである。

#### (テガマ層群分布地帯)

この地帯の調査地域の東方にあたる。テガマ層群は中・古生代陸成層のなかで帯水層として最も重要な地層で、厚さは500～700m、礫・粘土質礫・砂・粘土の各層から成る。本層群はアドラル・ド・イフォラスの東方に露出しているが、南方（メナカ付近）ではその上位に不透水性の粘土層（白亜系、暁新統）が分布する。粘土層の厚さは最大500mに達する。テガマ層群の透水係数はメナカ近くのアデランファン(Adelanfan、深度357～413mの礫層)で、 $9 \times 10^{-8}$  cm/sec、タスワール(Tasswar、

(注) 2) 文献2), BRGM: NOTICATIVE et CARTES DE PLANIFICATION pour l'exploitation des eaux Souterraines de L'AFRIQUE SAHÉLIANNE, 118p. 1975(入手文献No.38)

1) 第10図参照

深度 393 ~ 422 m, 礫又は礫岩) で  $7 \times 10^{-4}$  cm/sec である。なお, デガマ層群に達している井戸には時間当たり  $13 \text{ m}^3$  の自噴量の井戸があるという。アガデス層群に到達した井戸もマリ国の東部にあるので, 静水位 20.1 m, 比湧水量  $0.5 \text{ m}^3/\text{hr/m}$  という。

## 地下水

### (地下水位)

マリ国水利局の説明によると, 自由水面をもつ地下水は降水の影響を受け易く不安定な水源であることを 1968 年から始まったサヘル地域の大旱ばつで経験しているという。それについての詳細な資料はないが, 聞き取り調査によると地下水位の季節変動は次のとおりである。

ニジュール川左岸のアソソゴには, 深度 13 ~ 18 m の堅型筒井戸が 3 眼ある。調査当時水深は 0.4 ~ 0.5 m であった。これらの井戸水が最も豊富な期間は雨期 (5 月 ~ 9 月) 明けの 10 月 ~ 12 月前半で, 水深は約 1.6 m。12 月後半から水位が徐々に低下し, 3 月に入ると急速に下がり, 6 ~ 7 月に最低。8 月になると水位は徐々に回復する。又, 先カンブリア系山地の湧泉 (Tin Ramir) の水量は, 1 月には時間当たり 3 ~ 5  $\text{m}^3$ , 4 月には 200 % に減少し, やがて水涸れをする。

白亜系の地下水の水位は, 例えばゼボックで地表面下 50 m (1967 年 2 月), アガルベッチェで 41.5 m (1976 年 5 月) で, 被圧地下水の水圧としてはわが国の平地にある水井戸と比較すると低い方である。この地下水を採取する井戸のなかには 4 月 ~ 6 月に涸れるのがあるという。

### (水温)

地下水の温度は, 調査時には  $27.0 \sim 32.5 \text{ }^\circ\text{C}$  であった。測定値を整理すると,  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  未満の井戸水は涸れ川や第三紀陸成層中の自由水面をもつ地下水,  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  を超えるのは白亜系の座圧地下水である。従って, 水温に伴って増加し, 不正確ではあるがおおよそ 30 m 当り  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  の温度上昇である。

### (水質)

井戸水の外観で目立つのは濁度が高いことである。しかし, これは調査時が 3 月末から 4 月初であって, 水深が極度に少ない時期であったから, 汲上げた水が濁っているのは止むを得ないことであろう。採取した井戸水の電気伝導率 ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) から換算グラフで読み取った全溶存成分 (蒸発残留物) の値は, 120 ~ 1,600 ppm で, 15 水試料のうち 1,000 ppm を超えるもの 2 試料, わが国の飲料水の水質基準である蒸発残留物の許容量 500 ppm を超えるものは 6 試料であった。全溶存成分が少ないのは自由水面をもつ地下水, 多いのは白亜系の被圧地下水である。又, 自由水面をもつ地下水の特徴として, ニジュール川に近いほど全溶存成分が少ないことが指摘できる。

ゼボック及びアガルベッチェの井戸水についての水質分析結果によると, いずれも陰イオンでは,

硫化物イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 陽イオンではカルシウムイオンとマグネシウムイオンが多く, 水質組成は非炭酸カルシウム型である。帯水層の項で記述したテガマ層の井戸水は硫化物イオンが多くて飲料に適さないという。なお, アネヒスで唯一の水源である涸れ川の井戸水にはリン酸イオンを多量に含有し, かってその水を飲んで多くの家畜が死滅したことがある。これらの井戸は涸れ川の東端にあって, 涸れ川沿いに線条をなして存在するという。

## 水井戸と揚水設備

### (水井戸)

調査地域にある水井戸は堅井戸で, 管井はすべて揚水不能の状態にあった。アドラル・ド・イフオラスなどの涸れ川にある水井戸の殆んどは口径 1 m 未満の手掘りで, 口元は古タイヤなどで補強してあるが穴は素掘りのままである。Detroit Soudanais の平地にある水井戸は口径 1.2 ~ 1.8 m のコンクリートの筒井戸である。掘さく深度が増すと口径が小さくなり, 例えば最上部が 1.8 m, 中部が 1.5 m, 下部が 1.2 m というように口径を落している。

又, 筒井戸と深井戸 (口径 150 mm) とを平行して組合わせた井戸<sup>1)</sup>がある。これは被圧地下水の水圧が高いところに適しているようで, 深井戸が被圧地下水を筒井戸内に運ぶ役目をし, 筒井戸は地下貯水槽の役割をしている。現在揚水不能の状態にある深井戸は, 文献 1) によると, 1955 年頃から 1968 頃までの間に掘さくされた被圧井戸である。口径は 150 mm 前後, 帯水層は白亜紀海成層, 中・古生代陸成層である。帯水層は砂層であるが, 透水係数が示すように微細な粒子から成り, 又崩れ易い砂層のようで, 揚水試験の記録には水位降下 5 ~ 10 m で毎秒 2 ~ 3 ℓ の揚水量に対して, 砂等の固形物が 1 ℓ 中に 2 gr ~ 50 gr, なかには 1.5 kgr 近くも含有されたことが記載されている。従って揚水を行うと井戸内に砂が流入して埋積し, 砂の厚さが数 m ~ 十数 m にも及び, ストレーナを完全に埋め, 更に 7 m も埋めたという事例がある。

### (揚水設備)<sup>2)</sup>

このように帯水層が微~細粒砂から成り, 透水性が極めて悪いことに加えて, 深井戸の揚水設備が水中モータ・ポンプ, 風車, プランジャー・ポンプ等で, これらが帯水層には適していなかったと水利局の技術者は指摘している。特に水中モータ・ポンプは, 急激に帯水層の水圧を下げるので, 排砂量が多く, 井戸の埋没が激しかったという。

以上のような経験に基づいて, マリ国は帯水層の水理状態に最も適した井戸として, 前述の管井と堅型筒井戸とを組合わせた井戸を考案し, 1961 年から施工している。

(注) 1) マリ水利・エネルギー局の発想によるもので, puits-Citrne と呼ばれる。

2) V. 6 - 1 参照

これらの井戸からは家畜の力を利用して少量ずつ水を汲上げているが、それでも砂による井戸の埋没は避けられないという。筒井戸は村井戸（Village Forage）と呼ばれて、一つの村に1眼又は数眼ある。Detroit Soudanaisの平地では村井戸の距離は10~30km、なかには50kmも離れている。そして、これらの井戸は、アドラル・ド・イフォラスの西側に沿うて北から南へ向かう調査地域内では最も規模の大きいティレムシ谷に沿うて分布している。水利局の説明によると、水井戸として評価できる水量は毎時2 m<sup>3</sup>以上であるが、実際には毎時1 m<sup>3</sup>あれば水井戸として評価され、毎時10 m<sup>3</sup>以上あれば十分な給水ができる井戸とされている。又、筒井戸が乾期でも地下貯水槽としての役目を果たすには水深10mを必要とすると、世界銀行の専門家は説明していた。

なお、マリ国での水使用量は、水利局によると、住民1人1日当り30ℓ、家畜1頭1日当り平均40ℓ、アフリカ開発銀行のモーリタニアの地下水開発に関する資料によると水使用量は住民1人1日当り15ℓ、家畜1頭1日当り50ℓ~10ℓである。

## 5. 調査地域の水文特性

### 5.1 流出率その他

今回の調査対象となったガオ地域はサヘル地帯の北部に位置しこの地域の中でも最も降水量の小さい地区である。（V.1参照）

この地域の南部（アンソンゴ~メナカ）では年降水量300mm、北部では100mm以下である。

Rodierは、年降水量が100mmと300mmの間にある地域を「砂漠地域」と命名して、その水文特性を研究しているが、それによると流域面積が500km<sup>2</sup>程度では流出率は1~3%と極めて小さいが、流域面積が150~250km<sup>2</sup>では7~20%、同30~100km<sup>2</sup>では6~15%となっており、これより小さい流域では、地表の性質が不透水性の場合には40~80%にも達するようである。

以上のように流出面積が大きくなるにつれて流出率が減少するという事実は水資源計画上大変興味深いものであって、その理由としては、

- (1) 降雨の空間分布が小さいため、大流域になるほど流出率が見かけ上小さくなる。
- (2) 流出の過程で地下水にかんようされるため流路の長い大流域ほど流出率が小さくなる。

等が考えられ、今後検討することが重要と思われる。

次に降雨から供給された水の挙動について考えて見よう。

第11図は、今回の調査対象地区に含まれるキダル、テッサリにおける平年の月間降水量及び蒸散測定値の分布を示したものである。

両地点とも降水量にくらべて蒸発量（密には蒸発能）が非常に大きいことがわかる。いま流域が勾配のない砂の砂漠であって、涸れ川等の集水機構が存在しない場合を考えると、雨水は地表のごく近い土壌内に貯えられ、その水分を一時的に大きくするのみで、この水分も大きな蒸発能のためやがては蒸発してしまい、雨水は地下水の補給に貢献しないことが予想される。

第12図は、クエート砂漠（年間降水量 236 mm）において清水が行った土壤水分の測定である。雨期には地表から 1 m 程度以内で土壤水分が増加するが、その後地表付近から漸次蒸発し、雨期後 4 か月程度で土壤中の水分もしおれ点程度の水分量まで戻っていることが報告されている。

以上は流域の勾配が小さく、雨水の集水機構が存在しない場合についての考察であるが、何らかの集水機構が存在する場合にはこれと事情が異なるはずである。この点については次に考察しよう。

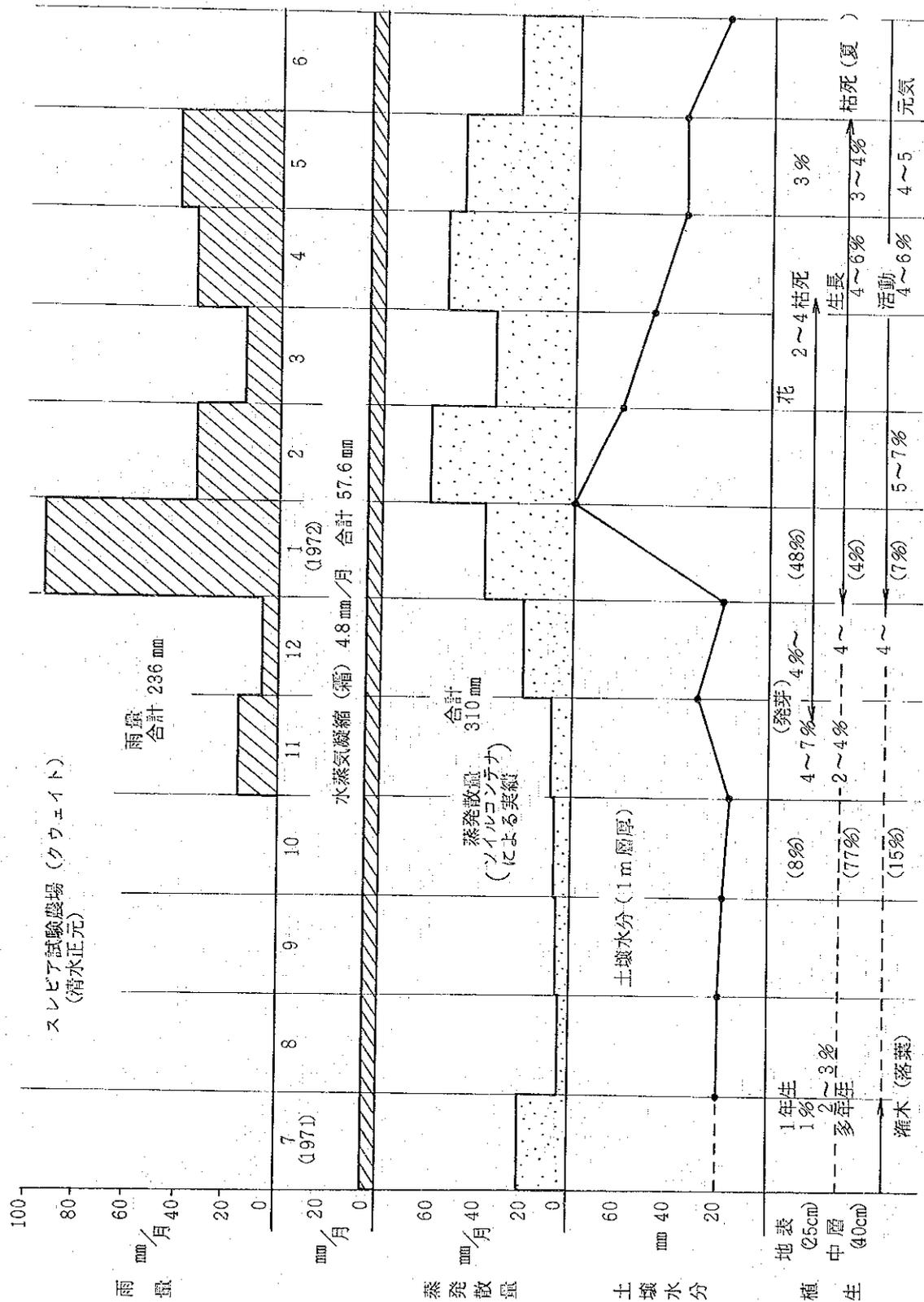
## 5.2 岩砂漠地域の地形区分と集水機構

今回の調査対象区域には、アドラ・ジフォラスと呼ばれる岩砂漠（山地）の区域が含まれている。この地域の特徴は流域内で基岩が露出したり、或は地表近くに潜存するため、流域はかなりの勾配の傾斜を含むことである。このため雨水はその場にとどまらずに流出し、低地に向けて流出し、集中した雨水は、或は 1 時的な池を形成したり、地下水をかん養するという一般の砂砂漠とはかなり異なる水文特性を有するようである。

今回調査区域のうちキダルにはこのような循環地下水を利用していると思われる井戸が存在し、かなり安定して水量が豊かであると聞いていたので、キダル地区をケーススタディの対象として取上げた。

まず、航空写真（5 万分之 1）による識別によって概略の表層区分を行った平面図（第13図）を作成し、これをもとに図上の一部地域について現地踏査を行った。その結果、流域の表層は水文学的見地から次のように分類できることがわかった。

- |     |   |                 |   |
|-----|---|-----------------|---|
| 山地部 | } | 基岩露出 ①……………     | 雨水は、浸透せずそのまま低位置に移動（集積区域）<br>これは風化した基岩が低地又は山麓に石状に堆積している区域である。  |
|     |   | 基岩の一次堆積部 ①…………… | 雨水は全部浸透するが、堆積層の透水係数が非常に大きいためそのまま低位置部に移動。  |
|     |   | 山地内凹地 ②……………    | 山地内の一部に存在する凹地では、雨水が貯留された後、そのまま蒸発に向うものと思われ下流への流出には貢献しない。概観では山地の 20～30% がこのような地形に属する。                       |
| 涸れ川 | } | 山地部河川 ③……………    | 河床に基岩が露出又は一次堆積物で被われ、流出はほとんど浸透しない。   |
|     |   | 平地部河川 ④……………    | 砂又はシルトの堆積平野上に存在し、規模の大きいものは、周辺より 20～50cm 程度浸食されて明瞭な河川となっている。河床は主として砂質であるがシルト分もかなり目立つ。航空写真では非常に明るい白色となっている。 |



第12図 クウェイト・スレビア農場雨量

第12図 土壌水分の測定

河川周辺には樹木等が多く、識別が容易である。

流水は一部浸透するものと思われるが、河道が下流まで続いていること、河床にシルト質が多いことから完全な伏流状態にはならず地表水として流下するものと思われる。

- 平地部
- 砂質平野 ⑤……………砂質の土壌から形成される勾配の小さい平野で水の集水機構とは無関係と思われる。  
一部地域では河川水によってかなり水を補給されているらしく植生が豊かである。
  - 酒沼 ⑥……………酒れ川の末端に存在する、かなり面積の大きい部分。(流域面積の5%?)  
連続しているので河川的な性格もある。しかし、酒れ川が酒沼に流入する点で、デルタの形成が見られるので、その流速は小さいものと思われる。航空写真ではやや灰色がかって見える。これはラテライ化した基岩風化物が地表面近くにうすく堆積しているためである。

キダル地点上流の流域は約72 km<sup>2</sup> であるが、このうち山地部は約90%程度、(うち20~30%は凹地で流出しない)、残りが平地部である。河川は面積的には非常に小さい。

いまちなみに山地部集水区域への雨水の全量が流出したとするとその総量は年間

$$72 \text{ km}^2 \times 130 \text{ mm} \times \frac{90 - 30}{100} = 5.6 \times 10^9 \text{ m}^3/$$

となり非常に大きいものである。

しかしながらこの大部分は河道周辺及び溜沼に一時的に貯留され、乾期には全て蒸発してしまうので年間を通じた水利用を難しくしているのである。

周知のように、西アフリカ諸国の水文調査(雨量・流量・流出解析)は、フランスのORSTOM(オルストム、海外開発協力省管轄)が長期間に亘って継続しており、砂漠地域の水文特性についても知識を蓄積している。

今後、ガオ地域の水資源開発調査を実現するにあたっては、まず、このような既往研究成果を確実に吸収した上で、調査を進める必要があり、そのためにはこのような機関と、円滑な協力関係を確立するように特に配慮することが必要と思われる。