

7.3 表流水調査とその開発

今回の調査はたまたま乾季の末期に当たり、表流水は認められなかったため調査はできなかった。

文献によれば、アガデスにおける30年間の月毎の降雨量の平均値をみると7～9月にかけての3ヶ月は雨季に相当し、この間に160mm程度の降雨量がある。この降雨の一部は蒸発によってすぐに大気中に還り、一部は地表に残って表流水となり、一部は地中に入って地下水となる。雨季における表流水を一時蓄えておき乾季においても利用すると言う観点から、イルハゼルワジ本流のしかるべき場所に地上ダムあるいは地下ダムを建設して、表流水の貯蓄と地下水の涵養を計る構想も国家的な開発レベルとしては検討の価値があるものと考えられる。ただ当地域の年間蒸発量が3,000mmにも達するため蒸発防止をどうするか、また、表流水は汚染されることも多いので、その水質の管理をどう行なうかなどの問題が残っている。

7.4 水理地質

7.4.1 南西アイール地域概論

アガデス～アサラス～テキダンテズム～インガル～アサラス(東経 $6^{\circ}30'$ ～ 8° , 北緯 17° ～ $17^{\circ}30'$)を結ぶ調査地域を構成する地質は7.2に述べたとおりであるが、その層序を地質年代の古い層から順に示すと図7-2のようになる。




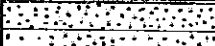


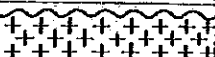

時代	層序	記述
新生代		沖積層
中生代		テガマ砂岩層
		イルハゼル頁岩層
		アサラス砂岩層
		チレズリン砂岩層 アガデス砂岩層群
古生代		テルア砂岩層
		イデガンダン層群(頁岩～砂岩の互層)
先カンブリア代		アイール基盤

図7-2 南西アイール地区地質層序

これらの各層の中で滞水層として重要な意味をもつものは、アガデス砂岩層とテガマ砂岩層であり、いずれも地下水賦存形態は地質構造と深い関連性を有している。このほかに、一部の地域ではワジ、コリー等の沖積層も重要な地下水源として存在している。

1) アガデス砂岩層

本層は、テルア砂岩、チレズリン砂岩、アサリス砂岩の総称であって、その全層厚は200mと報告されている。各層の層序関係は図7-3のとおりである。

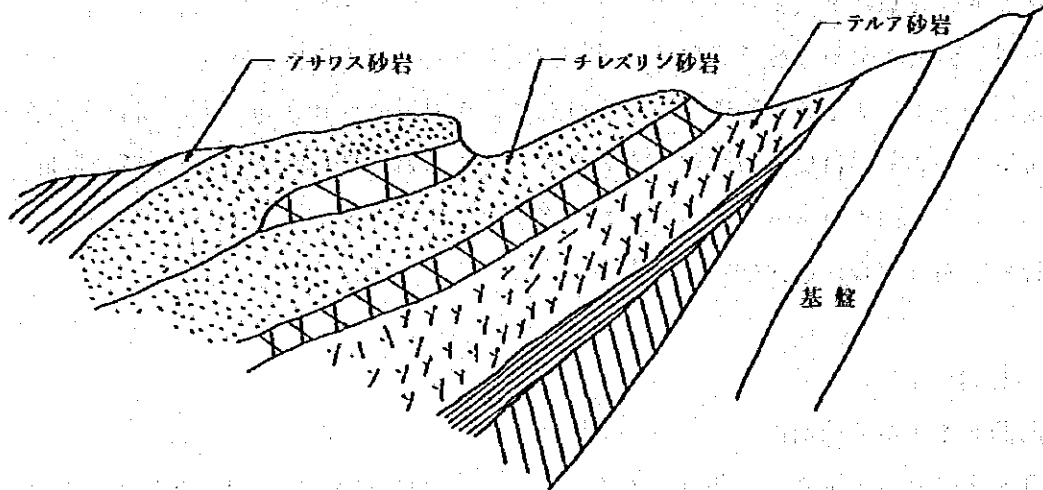


図7-3 アガデス砂岩層群の層序概念図(北緯17°30')

テキダンテズム地区においては、これらの砂岩層はアゼリック砂岩と呼称されている。これらの各層のうち滞水層として価値あるものは、粗粒で一部礫質な層相を示すチレズリン砂岩であって、層厚は80m以上である。

図7-4は、アガデス砂岩層が確認された地域の拡がりを示したものであるが、実際には未確認の所もあるので更に西方に分布している可能性もある。しかし、西限はテガマ砂岩の露出地帯と考えられる。

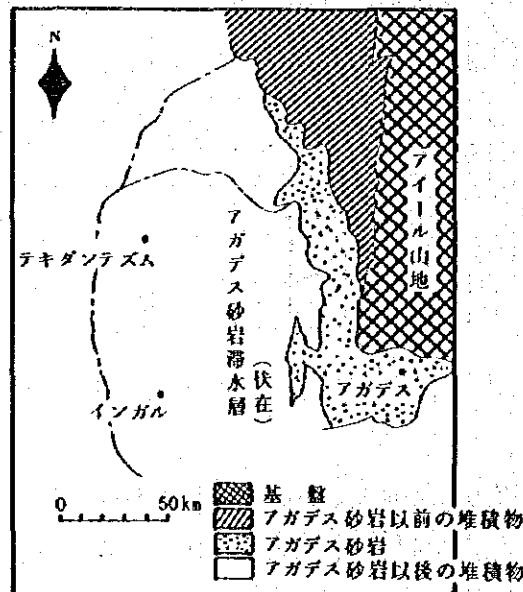


図7-4 アガデス砂岩の滞水層の分布

アガデス砂岩層は図7-5及び図7-6に示すように東西性、南北性両方向の断層により支配されている。その構造は図7-6の地質断面図に示しているような盆地状構造を成している。従って、地下水もこの構造に規制されており、地質構造との関連性をつかむことが地下水賦存機構の解明につながることになる。断層運動に伴って生じた褶曲構造は小規模ではあるが、背斜あるいは向斜を成し、特に背斜のところではアガデス砂岩が地表近くまで盛上り、一部で露出している。逆に向斜のところでは、イルハセル頁岩が厚く上部を覆い、アガデス砂岩は地下深い所に押し込められたような形を呈している。テキダンテスム、ゲレリ、アゼリックあるいはテキダンアドラル等の湧泉群は、いずれも断層運動によって生じた背斜軸上に配列しており、比較的浅所にある砂岩層からの地下水が断層の破碎帯に沿って地表部に湧出してきたものと解釈される。

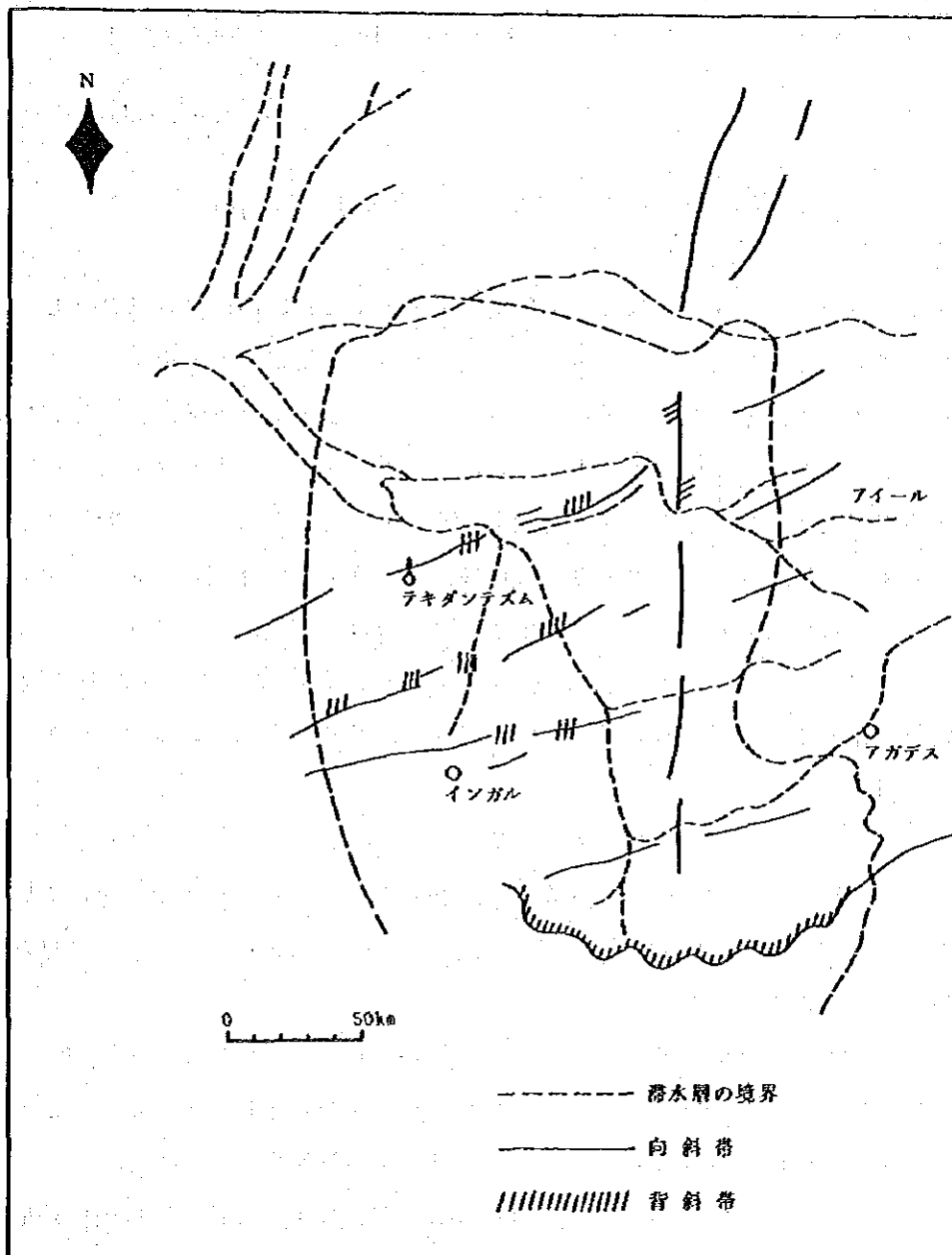


図7-5 アガデス砂岩滞水層の地質構造平面図

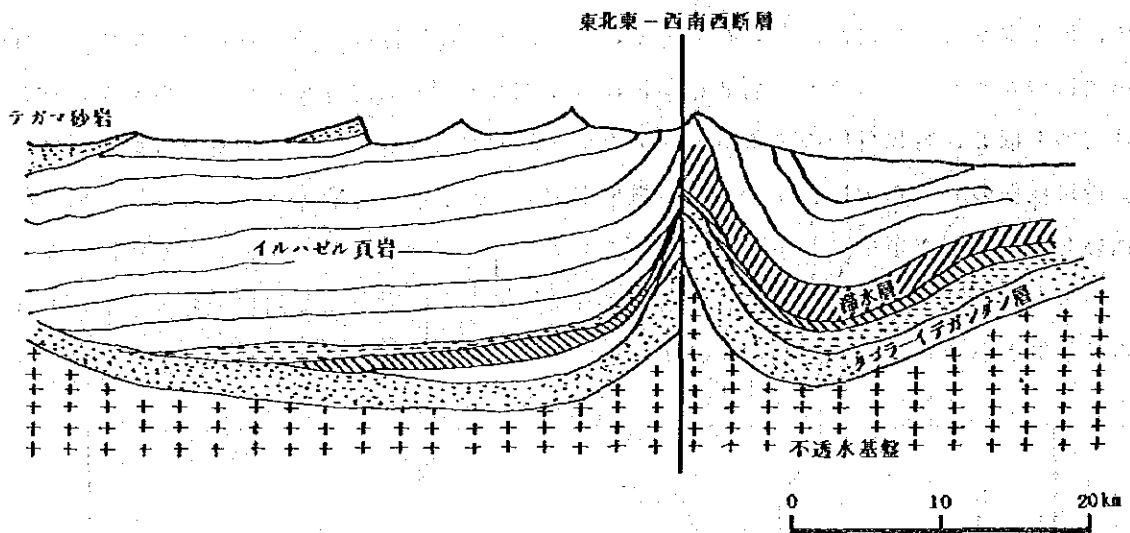


図7-6 アガデス砂岩基盤の東西方向断面図

アガデス砂岩層中の地下水は、地表部に露出しているものは断層に伴う湧泉として、また掘り抜き井戸としてその存在は明らかである。この地下水への涵養機構は、雨季にアイール山地に降った雨水が、アイール山麓に広がる沖積地のワジ・コリーを通過する間に、砂岩層の露出地帯から地下に浸透して行なわれているものと考えられる。ワジ・コリー中の地下水は自由面地下水として存在するが、長い時間にわたって上流側から下流側へと流動し、次第に砂岩層中に浸透すると共に圧力も増加し、イルハゼルの平原下では被圧地下水として存在し、ファゴソア、ティンディの井戸での自噴として現われている。この地下水の水質は、超炭酸塩化されたナトリウム水で、PHが高くマグネシウム、カルシウムに乏しいのが特徴である。ただし、一部の地域では異常に塩分の多い地下水もあり、循環性の地下水とは異なった性格を有している所もある。

2) テガマ砂岩層

本層は、イルハゼル頁岩層の上位にくる砂岩層であって、その分布は広くニジェル国土の半分近くに広がっている。内湾性のデルタ地帯の堆積層として報告されておりその全層厚は600～700mとも言われ、かなり厚い砂岩層である。図7-7は本層を水理地質学的に見た場合の特色を各地区毎に表わしたものである。

- 中央地域：透水性の良好なる地域であって比湧出量は $5 \sim 10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ を有する。
- 東部地域：アイール南部域で、砂岩は固結し淘汰不十分な上にマトリックスはセメント質であるがために、その透水性は悪い。比湧出量は $0.3 \sim 2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ と小さい。
- 北西地区：この地域では層厚も薄く、層相も幾分泥質であって透水性は中央地域ほどではなく、比湧出量も小さい。本層中の地下水の水質は一般に良質ではあるが、中央地域以外においてはアガデス砂岩層に似た水質のところもある。

3) 第四紀の滞水層

本層は、ワジ・コリー中に分布する主として砂層の部分である。地下水は自由面の形態を有し、降雨の多寡に左右されやすい水ではあるが、前記両砂岩層への涵養源として重要な意味を持つ地下水である。水質は良質でしかも取水が容易であることから、現在各所において住民らの手により良く利用されている。しかし、その賦存量はワジ・コリーの大きさなどから考えても規模は小さく、今後更に開発される可能性は薄い。

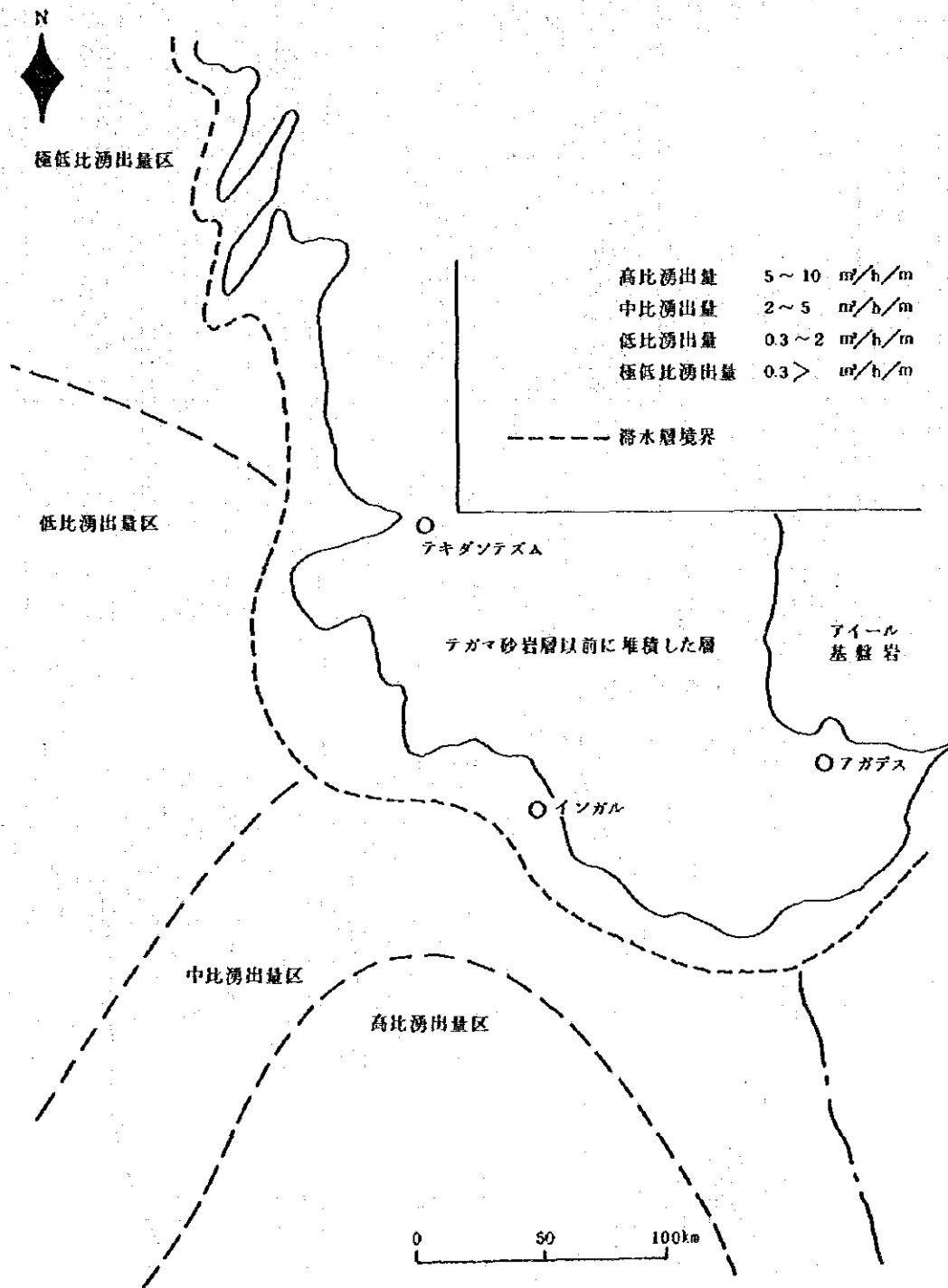


図7-7 テガマ砂岩層の比湧出量区分

7.4.2 電気探査による解析

イルハゼル頁岩とアゼリック砂岩の境界及び地層と電気的な性質（比抵抗）との関係を知るために電気探査を実施した。電気探査の実施箇所は表7-1と図7-8に示してある。

表7-1 電気探査測定地区一覧

測点No	測定地区	測定箇所	測定深度(m)
E-1	ティンデイ	国際資源(株)水源井 (T-11)	200
E-2	アゼリック	湧泉 (T-12)	200
E-3	ゲレリ	湧泉 (T-16)	200
E-4	"	ワジ	200
E-5	"	北方の湧泉 (T-17)	200
E-6	イルハゼル ワジ	テキダテスム~アーリット道路との交差点	200
E-7	アゼリック	オフエデス井 (T-19)	150
E-8	"	構造ボーリングC-57	200
E-9	"	構造ボーリングC-77	200
E-10	ゲレリ	構造ボーリングB-2	200
E-11	"	アガデス砂岩の分布地	150
E-12	アソウザ	FORAGE (T-14)	200
E-13	インガル	水道水源井 (T-26)	150
E-14	アガデス	水道水源井近くのワジ	200

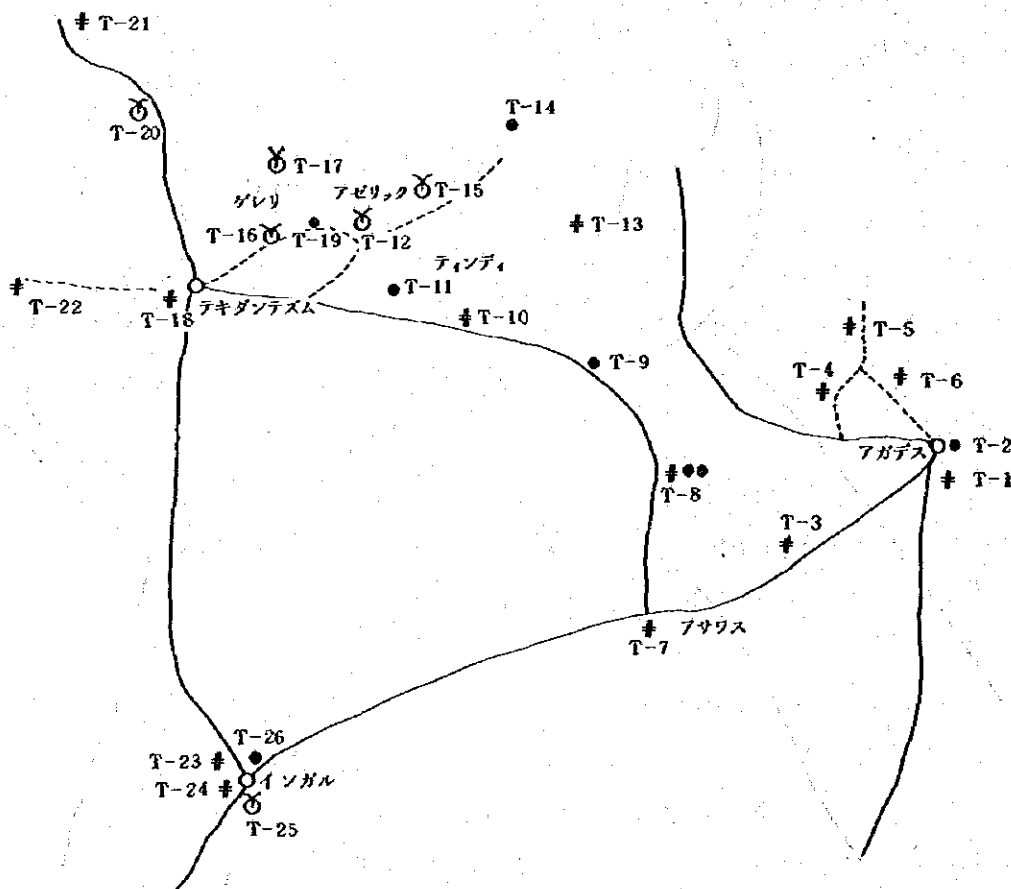


図7-8 水源調査位置

調査は、まず既存の資料のある地点で、解析結果と既存資料とを対比することによって各層の性質を把握ことにした。

1) 既存の地質資料と電気探査結果との対比解析

(i) 基盤岩(アガデス砂岩)露出部 <E-11>

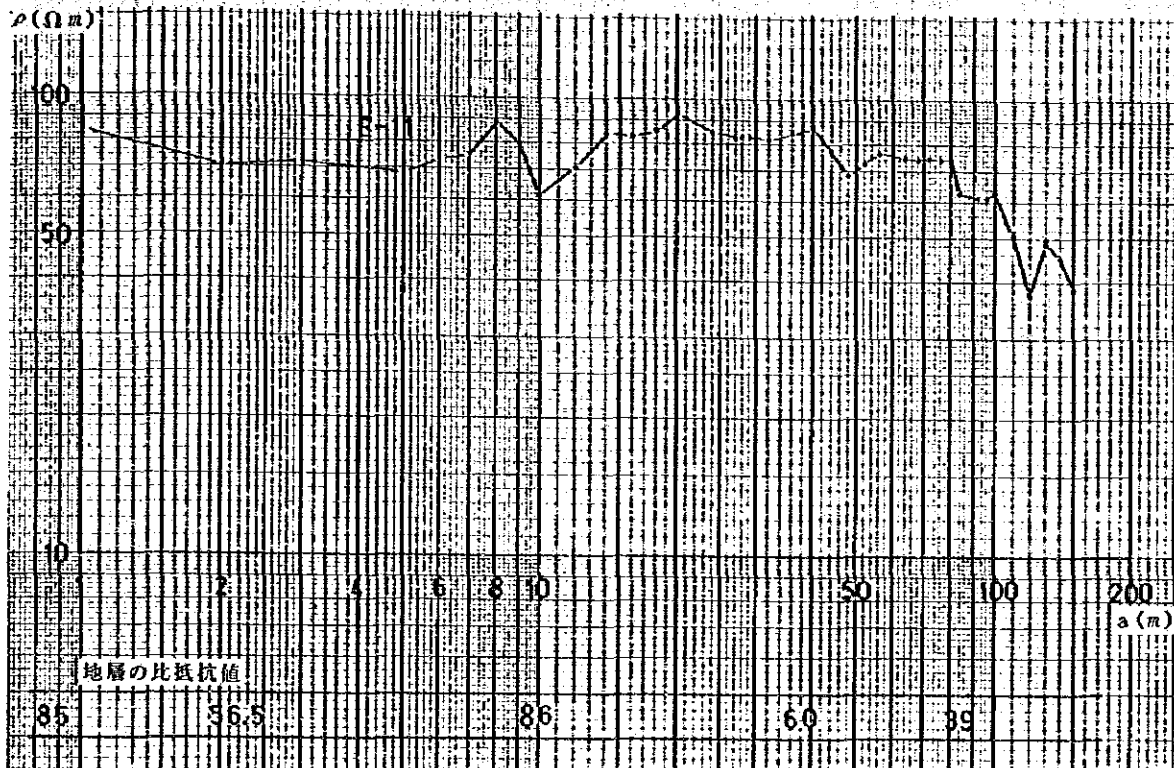


図7-9 E-11 $\rho \sim a$ 曲線

当地点は、アゼリック砂岩の露出部であって、解析結果による比抵抗値は砂岩の値そのものを示している。比抵抗値による地下構造は概ね二層に区分される。

一層………深度0～70m, 比抵抗値は60～80 Ωm であり乾燥した層と推定される。

二層………70m以深, 比抵抗値は40以下である。一層より小さい値を示すのは、地下水の影響によるものと考えられる。

当地点では、70m以深の砂岩層が滞水層になるものと予想される。本層の下限深度は明らかではない。

(ii) 構造ボーリングC-77 <E-9>

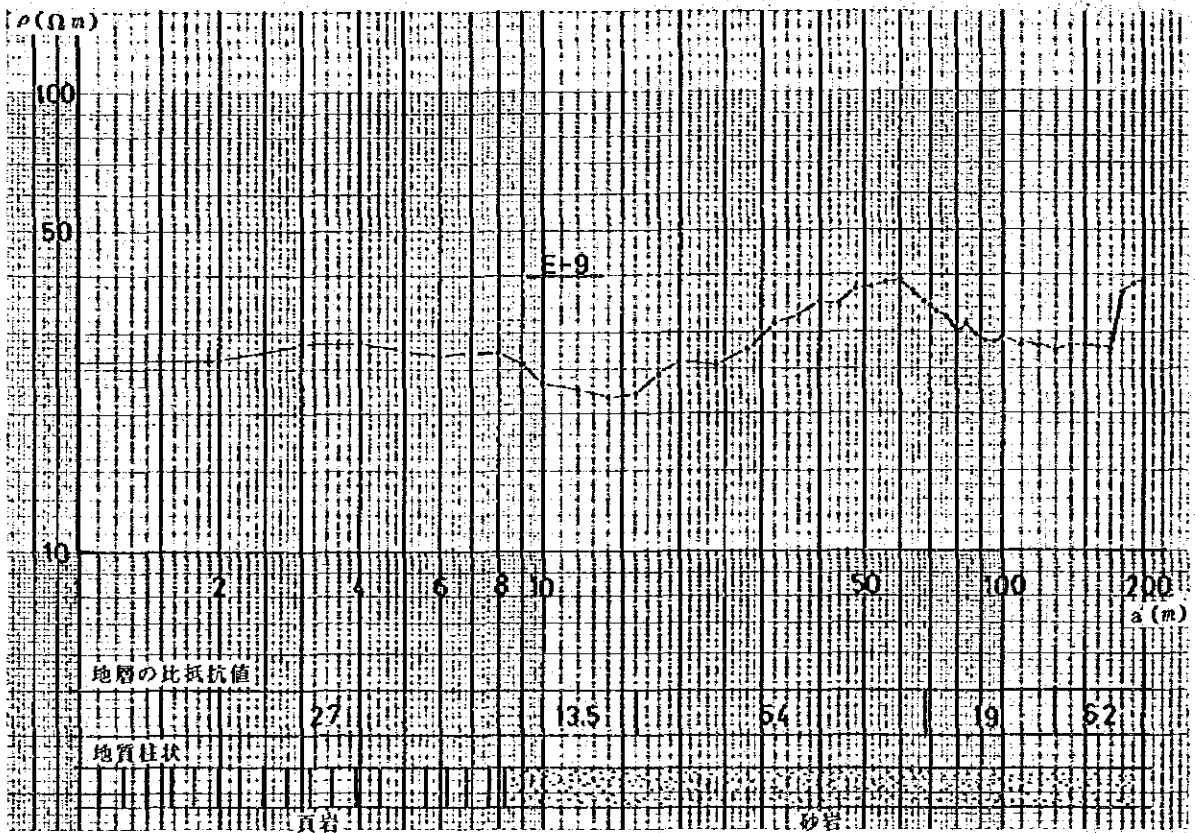
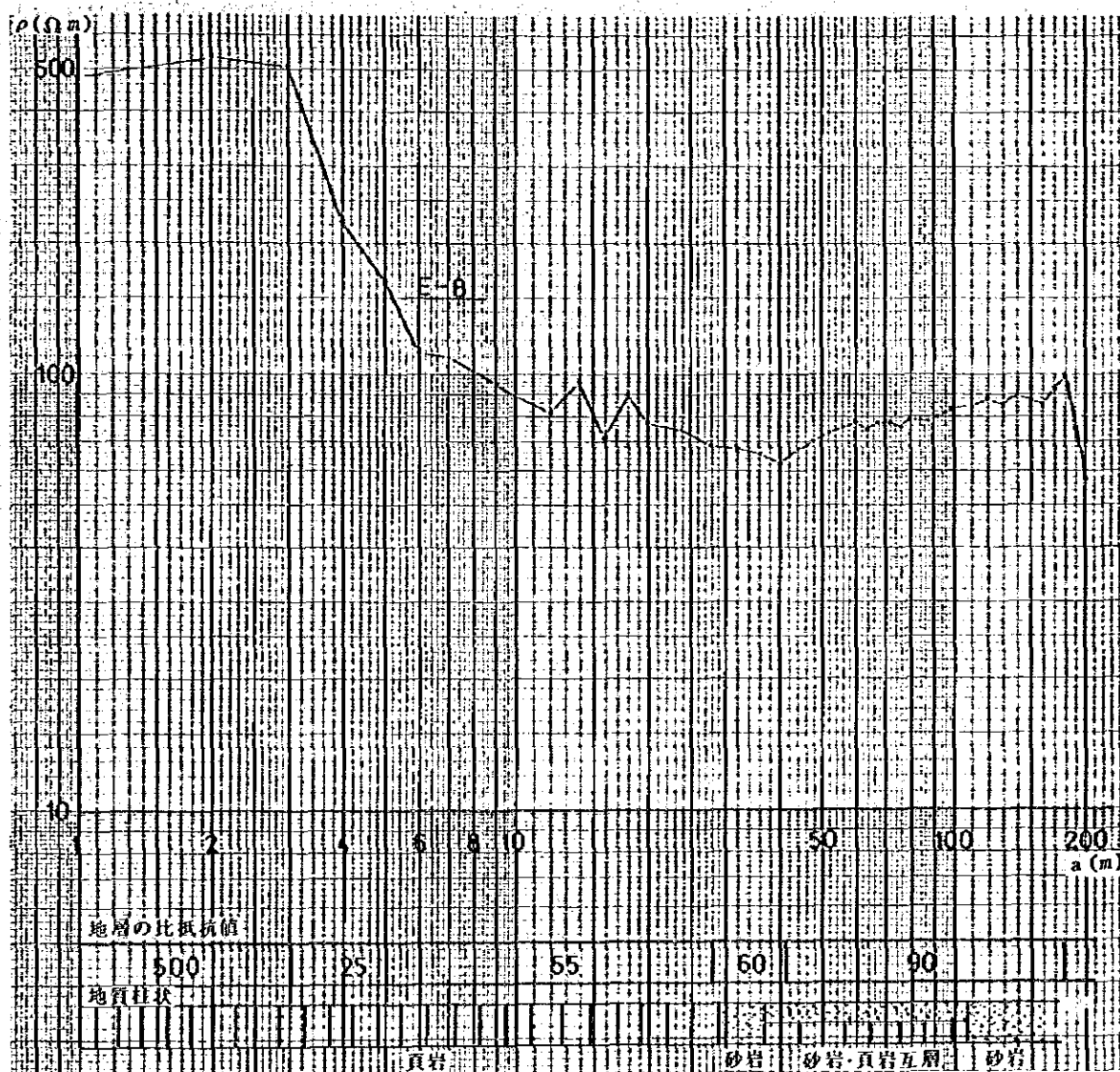


図7-10 E-9 ρ~a 曲線

ρ~a 曲線の平坦部がイルハセル頁岩層に相当し、上昇部からアゼリック砂岩に相当する。その境界は9 m前後のところである。砂岩は70 mまで上昇曲線であるが、これより深いところでは比抵抗値は低下する。この70 m以深部が滞水層と推定される。

(iii) 構造ボーリングC-57 (E-8)

図7-11 E-8 $\rho \sim a$ 曲線

イルハセル頁岩層とアセリック砂岩との境界は28m前後のところである。 $\rho \sim a$ 曲線では下降部から平坦部に移る点に対比される。30~80mまで比抵抗は上昇し、これ以深で下降する。おそらくここでは180m以深部が滞水層と推定される。

(iv) 構造ボーリングB-2 (E-10)

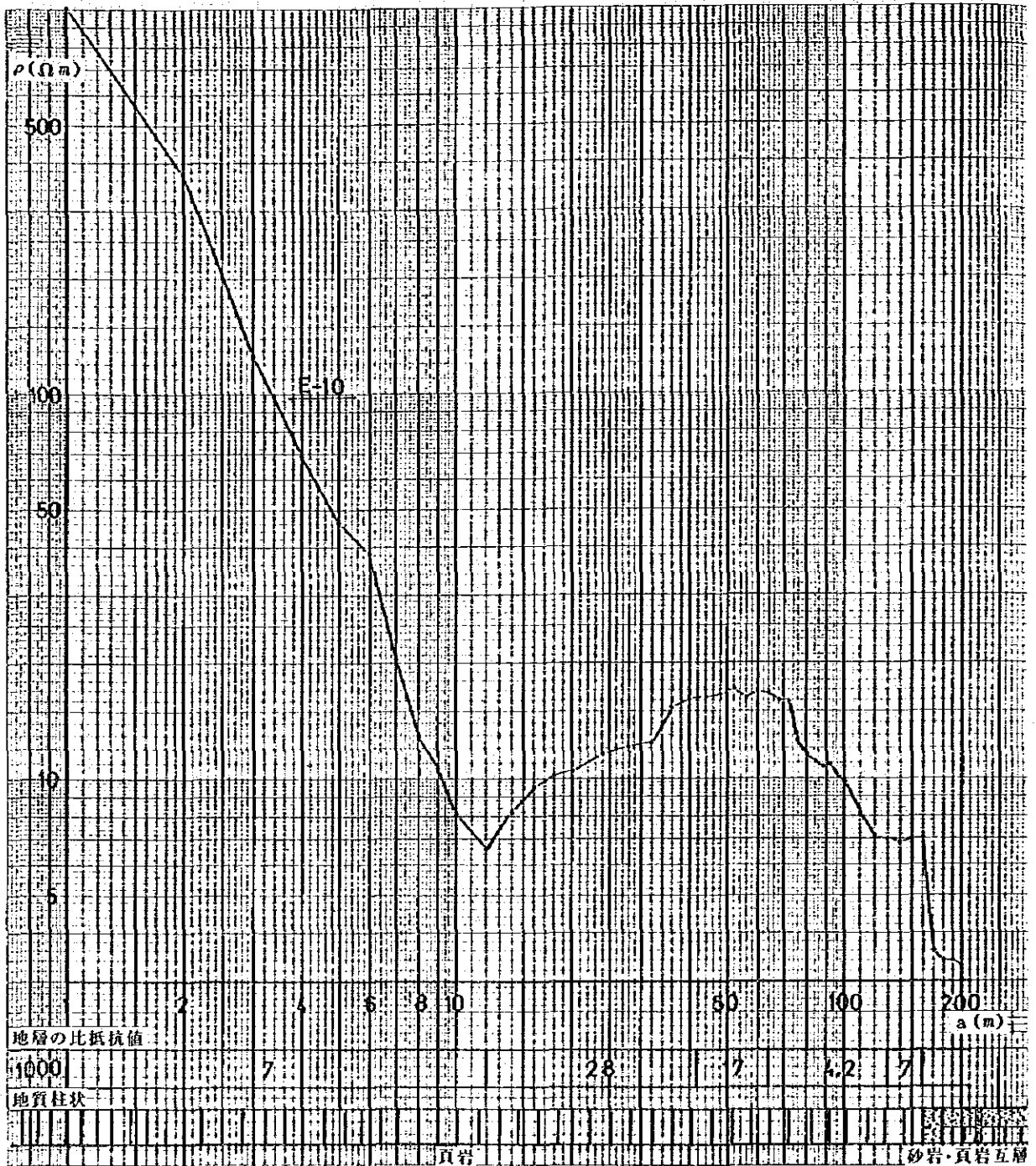
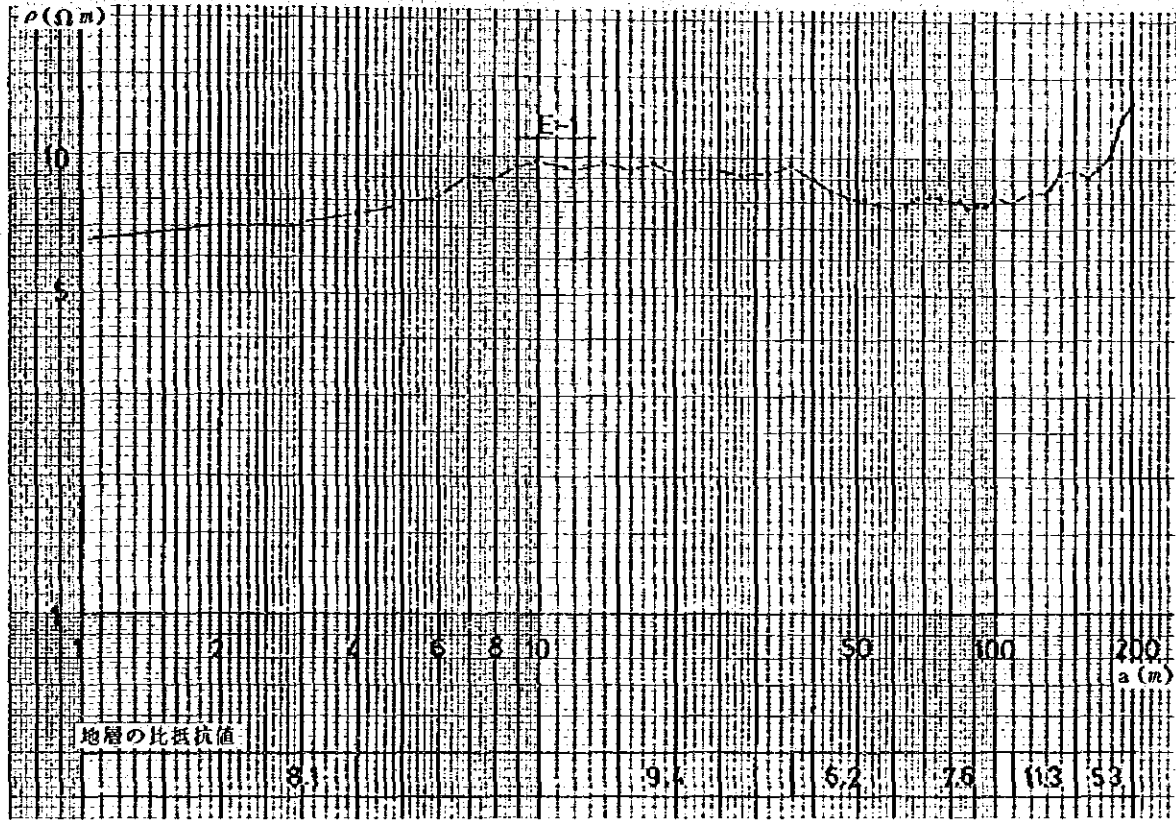


図7-12 E-10 ρ~a 曲線

イルハゼル頁岩層とアゼリック砂岩との境界は170m前後のところである。ρ~a 曲線では急降下部に対比される。上位のイルハゼル頁岩層はここではかなりの層厚を有している。64m 以深の下降部においては、ボーリング実施中逸泥現象を起こしていることから、岩相そのものは均一でなくかなり軟弱な層と思われ、ある程度の地下水賦存も予想される。

2) 既存水源井湧泉地点の電気探査による解析

(i) ティンディ〔国際資源(株)水源井地〕〈E-1〉

図7-13 E-1 $\rho \sim a$ 曲線

イルバゼル頁岩層とアゼリック砂岩との境界は、 $\rho \sim a$ 曲線が上昇する 110 m 付近と考えられ、滞水層は 200 m 以深になるものと予想される。また、頁岩層の内部においても 30 ~ 70 m 間に地下水の存在が予測される。

(ii) アゼリック (湧水地) 〈E-2〉

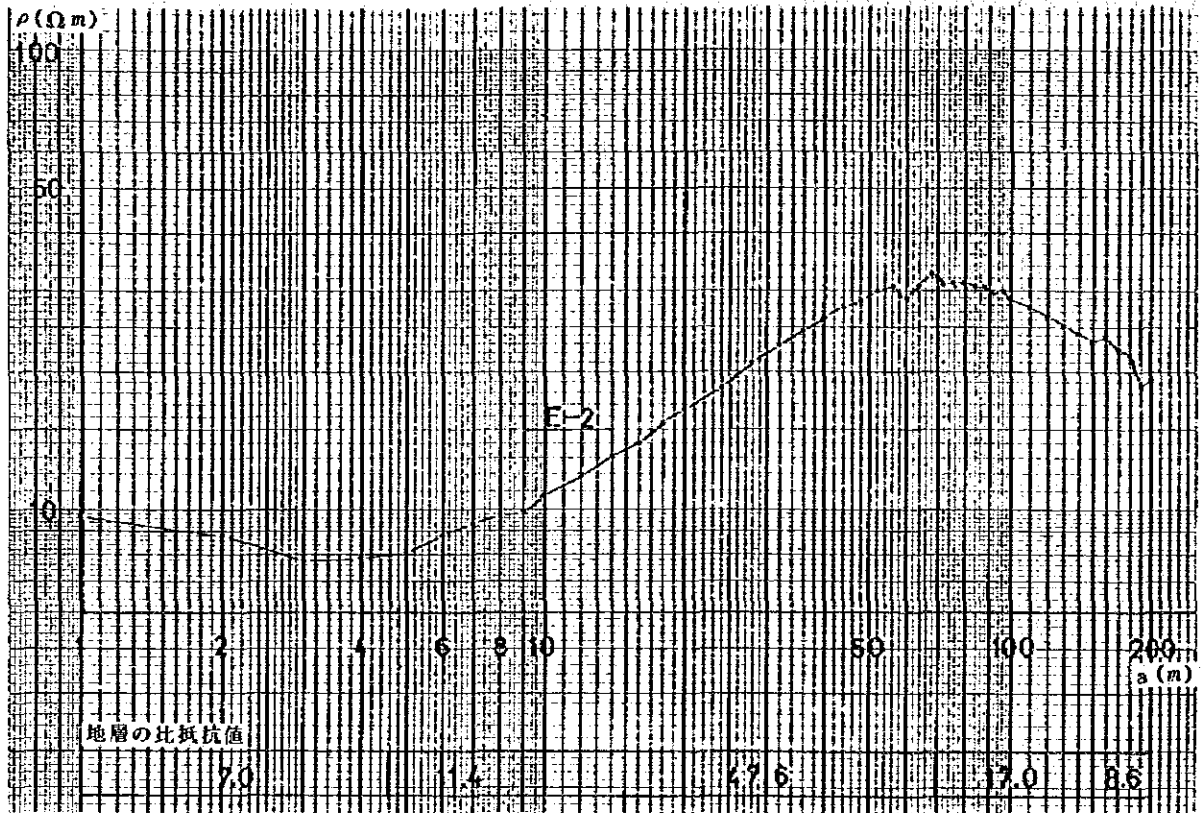
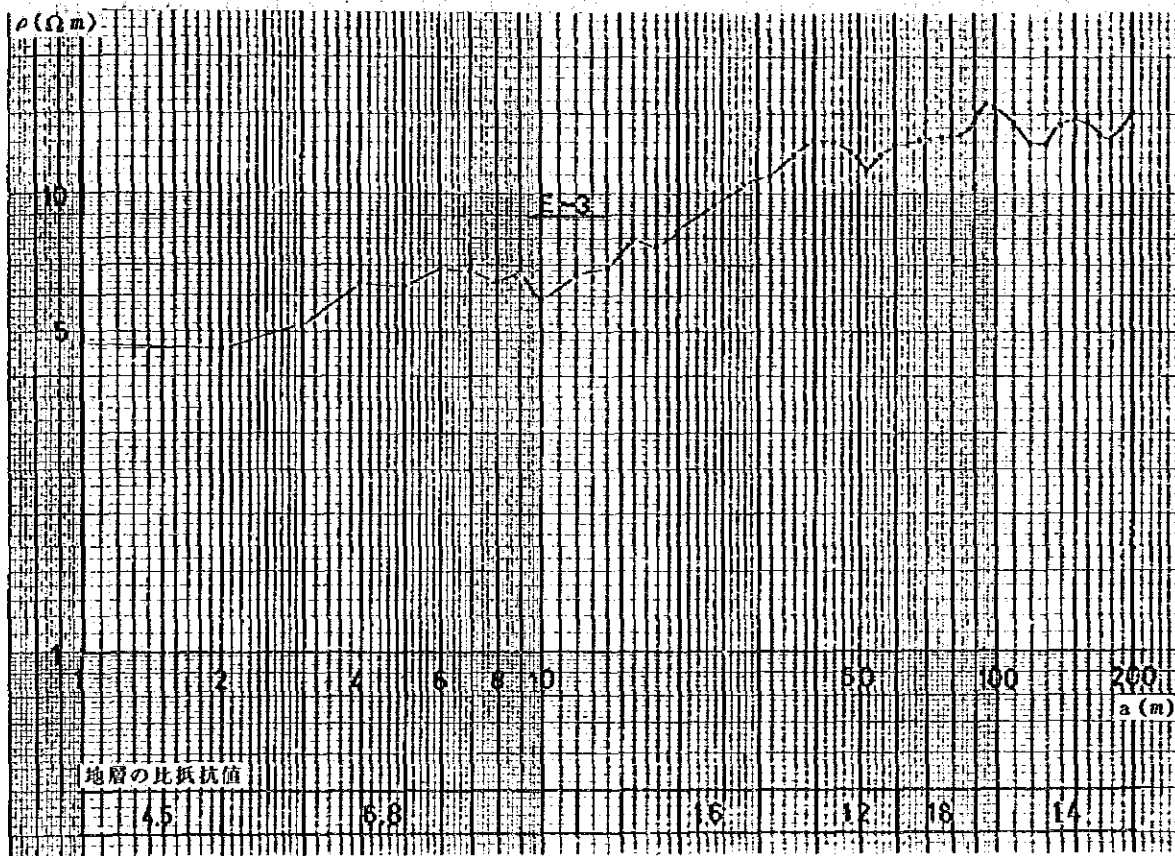


図7-14 E-2 ρ～a 曲線

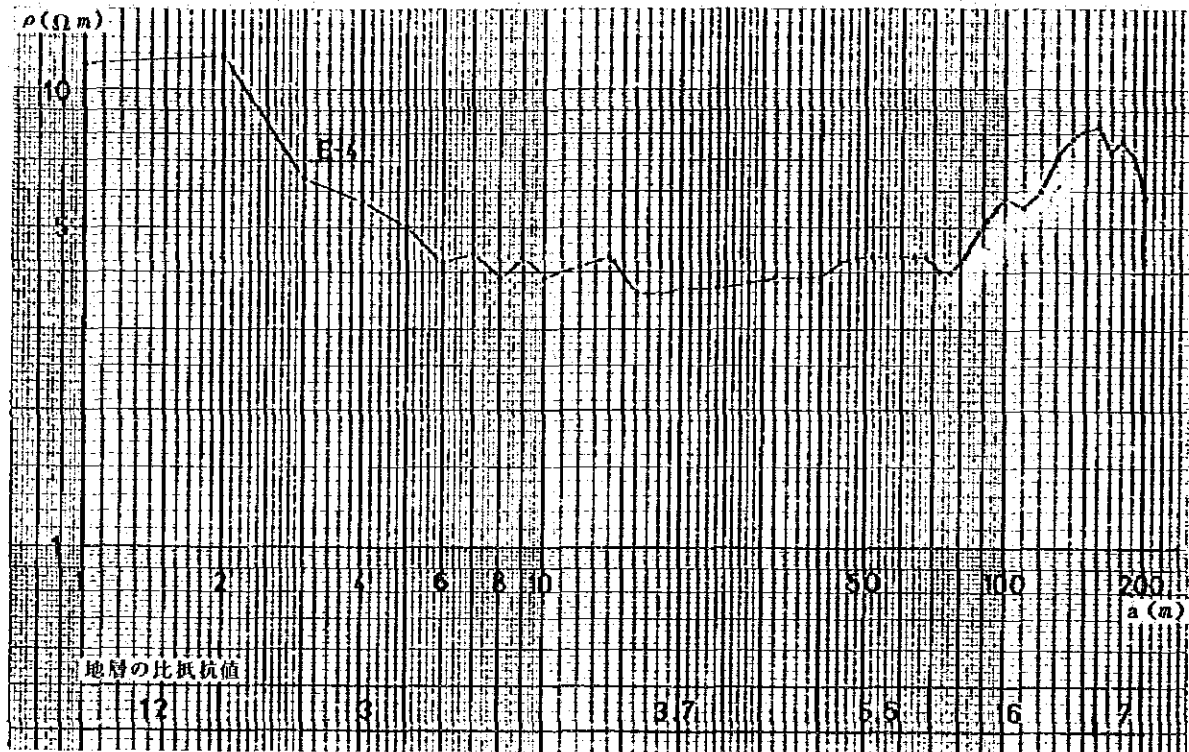
当地点は、ゲレリの東方約13kmの湧水地帯に位置している。地表から砂岩であるが上部10m付近までは風化帯が続いており、滞水層は70m以深のρ～a曲線が下降する部分と解析される。その比抵抗値は9～17Ωmと小さい。

(前) グレリ1 (湧水地) <E-3>

図7-15 E-3 $\rho \sim a$ 曲線

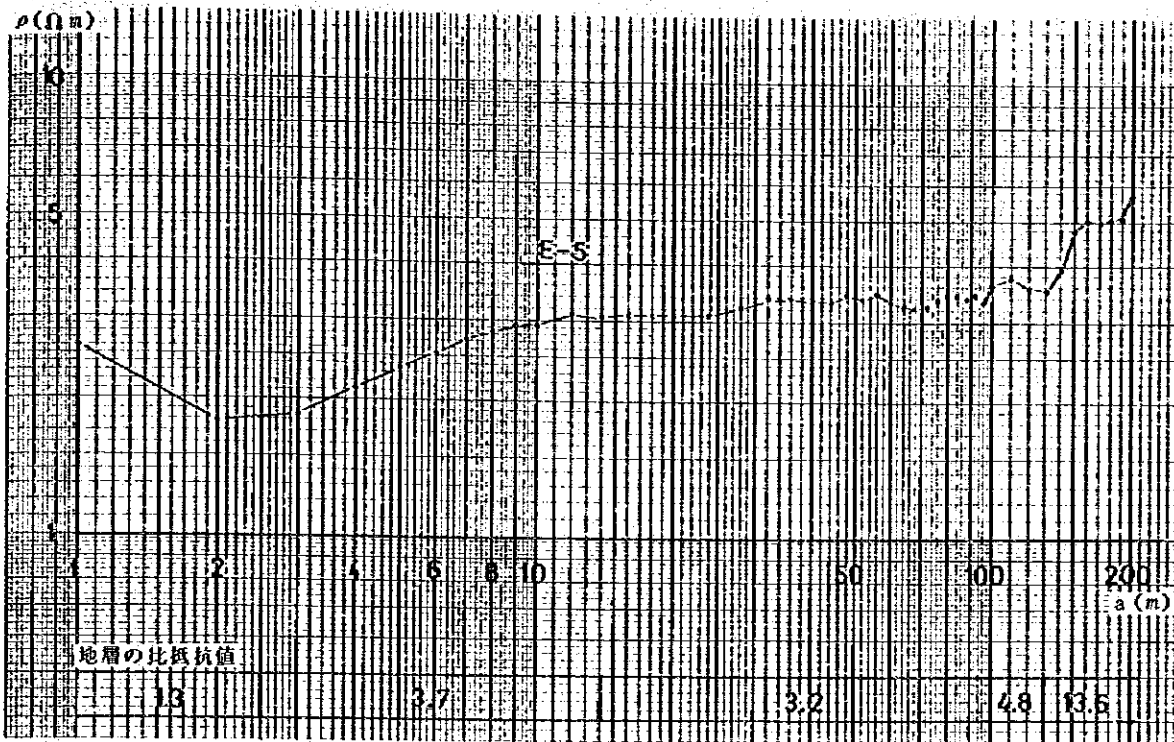
当地点は、テキダンテズムの東方約6kmに位置し、アゼリック同様湧水地帯である。地質的にはイルハゼル頁岩層とアゼリック砂岩とが接するところである。上部12m付近までは頁岩層と考えられ、これより以深が砂岩に相当するものと考えられる。頁岩層の比抵抗は4~7 Ωm 、砂岩は12~18 Ωm であり、アゼリックとほぼ同じ値である。

(iv) グレリ2 〈E-4〉

図7-16 E-4 $\rho \sim a$ 曲線

当地点は、先のグレリ湧水地帯から北へ約2 kmのワジの中に位置する。ここではイルハゼル頁岩層はかなり厚くなっているものと推定され、 $\rho \sim a$ 曲線からみると頁岩層下限深度は160 m 付近と解析される。頁岩層の比抵抗値は4~16 Ωm 、砂岩では解析不能な程小さい。これは、地下水の水質の影響によるものと考えられる。

(V) グレリ(北方の泉) <E-5>

図7-17 E-5 $\rho \sim a$ 曲線

当地点は、グレリ湧水地の北方約4kmに位置する。この湧水は、この地域では唯一の湧泉であって塩分の濃い地下水である。イルハゼル頁岩層の比抵抗は低く $5\Omega m$ 以下であり、130m付近から上昇する部分が砂岩に相当するものと予測される。

(V) イルハセルワジ河床 〈E-6〉

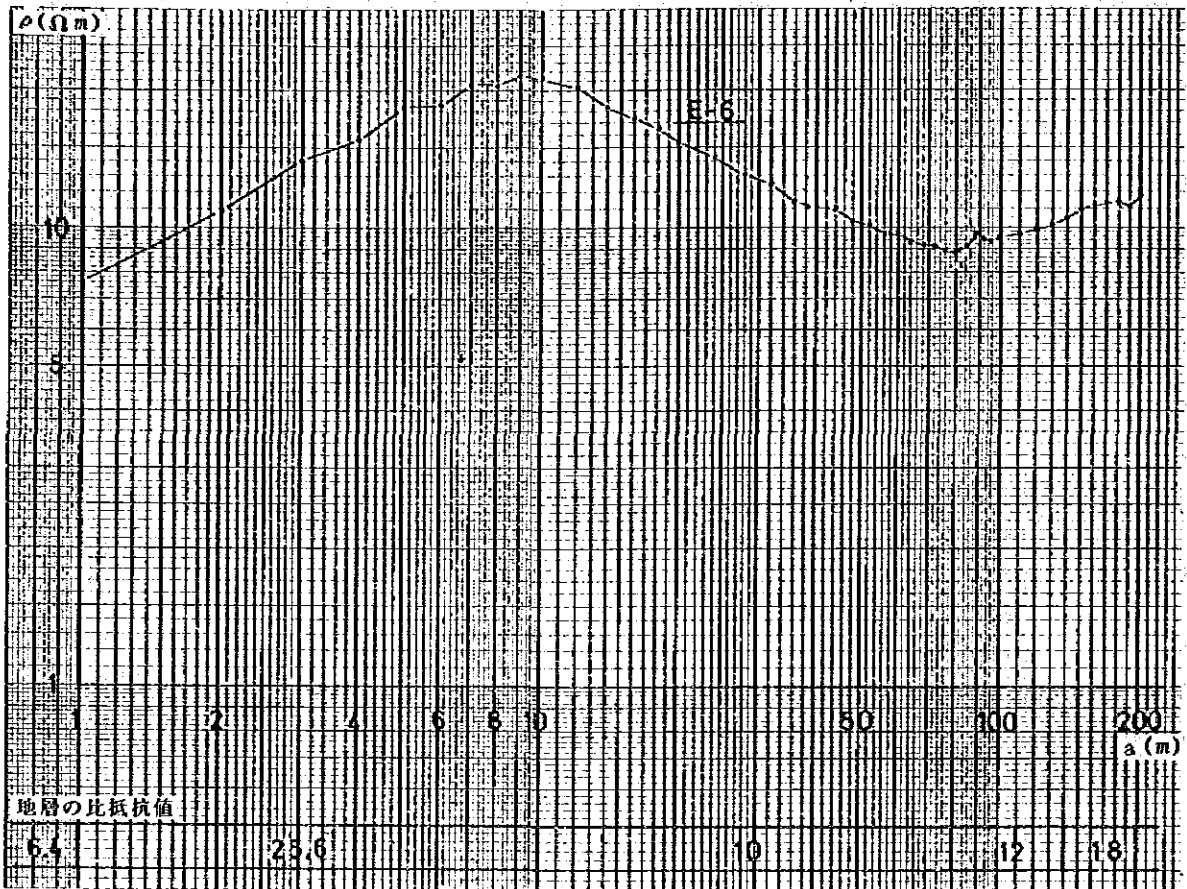


図7-18 E-6 ρ～a 曲線

当地点は、アゼリックの北東約6 km、アゾウザに通ずる途中のイルハセルワジ河床である。河床堆積物は、砂及び淘汰された小円礫混りの粘土が主である。透水性はあまり良くないように見受けられる。この堆積物の厚さは約10 mと推定される。この下位にイルハセル頁岩層が140 m 前後まで続き、更にこの下位にアゼリック砂岩が伏在するものと考えられる。

(vii) オフェデス井 〈E-7〉



図7-19 E-7 ρ～a 曲線

当地点は、ゲレリよりアゼリックへ通ずる道の間にある既存井である。この井戸は現在使われてなく、井戸蓋を設けて放置してある。深度は概ね70～80mと推定され、 $\rho \sim a$ 曲線の解析からは、50m付近がイルハゼル頁岩層とアゼリック砂岩の境界部に対比される。電気検層の資料からは48m以深部が滞水層と判定される。

(VIII) アゾウザ井 〈E-12〉

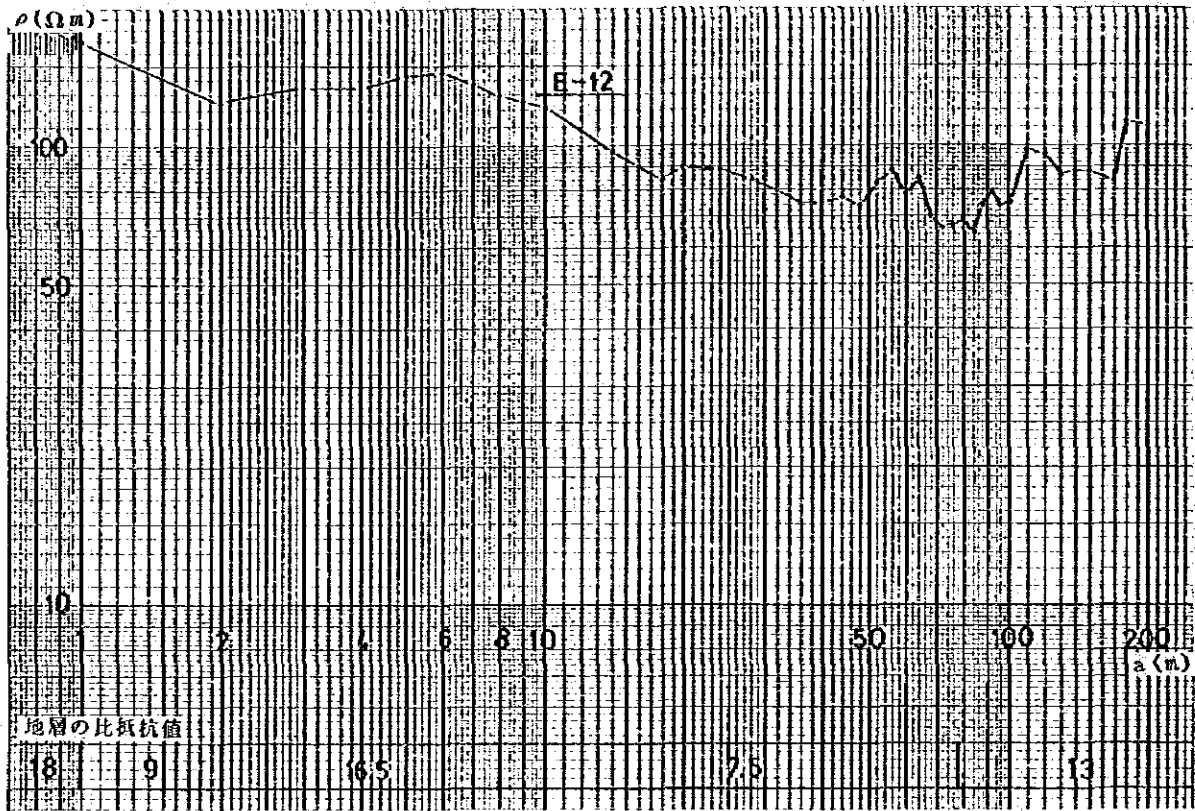


図 7-20 E-12 ρ~a 曲線

イルハゼルワジ右岸からアゾウザ山西側地帯にかけて、北側へ 300~400 m 毎に湿地が点在している。当地点は、イルハゼルワジから数えて 3 番目の湿地であるが、ここは掘り抜き井戸としてその形態を留めており、地下水位は自噴の状態である。イルハゼル頁岩層とアセリック砂岩との境界は明らかではないが、滞水層となる地層は 80 m 以深部と推定される。

7.4.3 テキダンテズム地区の水理地質

1) 滞水層

テキダンテズム地区の地質は、図7-21に示されているように、主として東西方向の主力断層とこれと交差する南北性の断層とによって、基盤岩（テキダンテズム地区ではアガデス砂岩はアゼリック砂岩と呼称されている）の露出している地帯と、上位のイルハゼル頁岩層に覆われている地帯とに分けられる。既存の資料（ウランの探鉱及び構造ボーリング）によれば、東西方向の断層の北側では、基盤岩は北西方向に $5\sim 8^\circ$ でもって傾斜している。このアゼリック砂岩までの深度が図7-22～図7-25の等深度線図に示してある。この資料によると、C-57で20～30m、B-2で150～160m、C-77で9mと読み取られ、東-西及び南-北の断面図をみればこの砂岩の形状がうかがわれる。すなわち東西方向の断面A-A'（図7-23）、B-B'（図7-24）においては、砂岩の形状は一樣ではあるが、断層部に近いところでは浅い所に盛り上がっていることがわかる。南北方向の断面C-C'（図7-25）をみると、イルハゼル頁岩層と砂岩との境界形状がわかる。

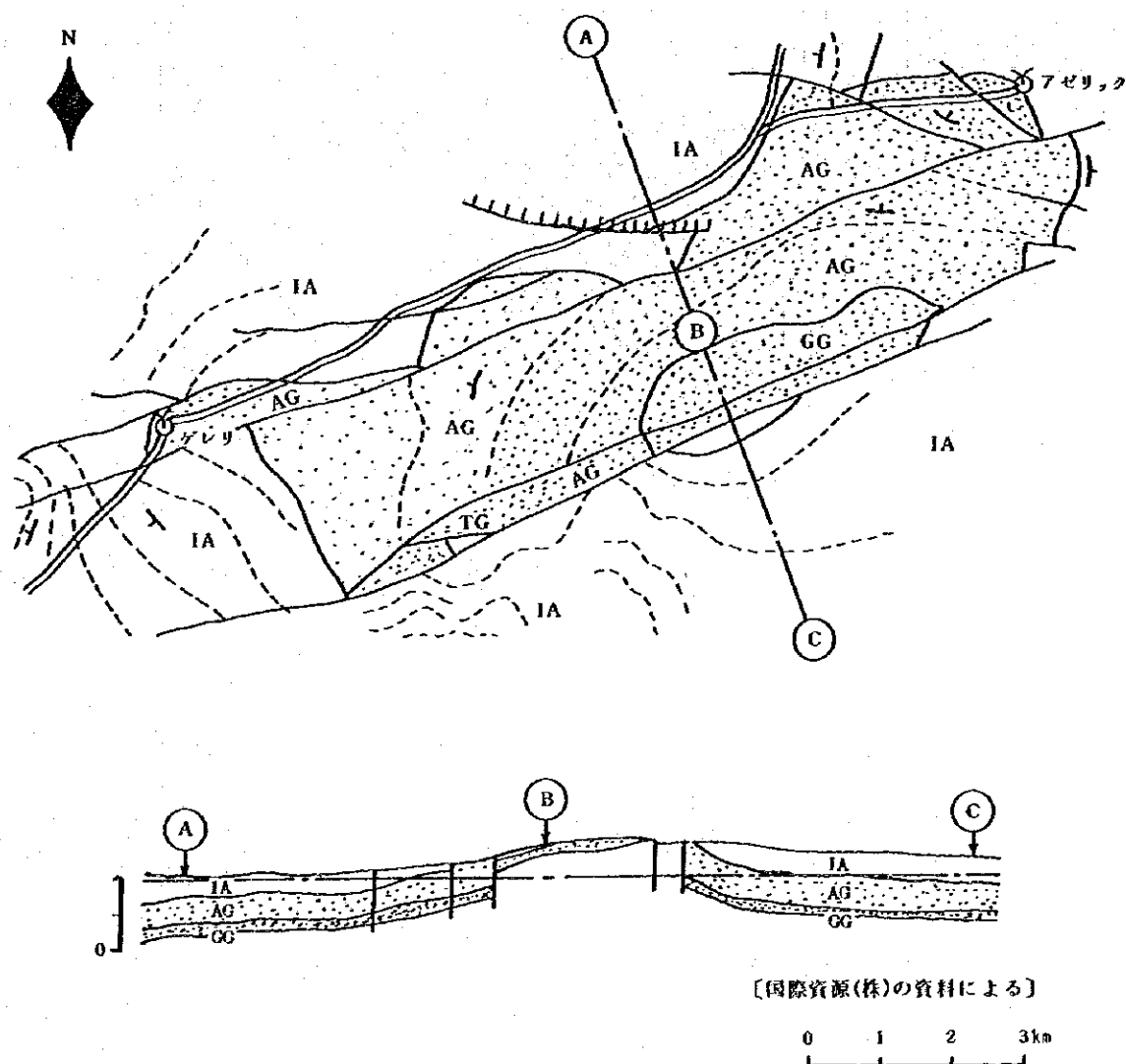












図7-21 テキダンテズム地区地質平面及び推定断面

凡例

-  テガマ砂岩
-  イルハゼル頁岩
-  アゼリック砂岩
-  アゼリックアルコズ
-  断層
-  走向・傾斜
-  --50-- 砂岩上限等高線
-  - - - 断面線
-  ○ 構造ボーリング
-  ● 電気探査

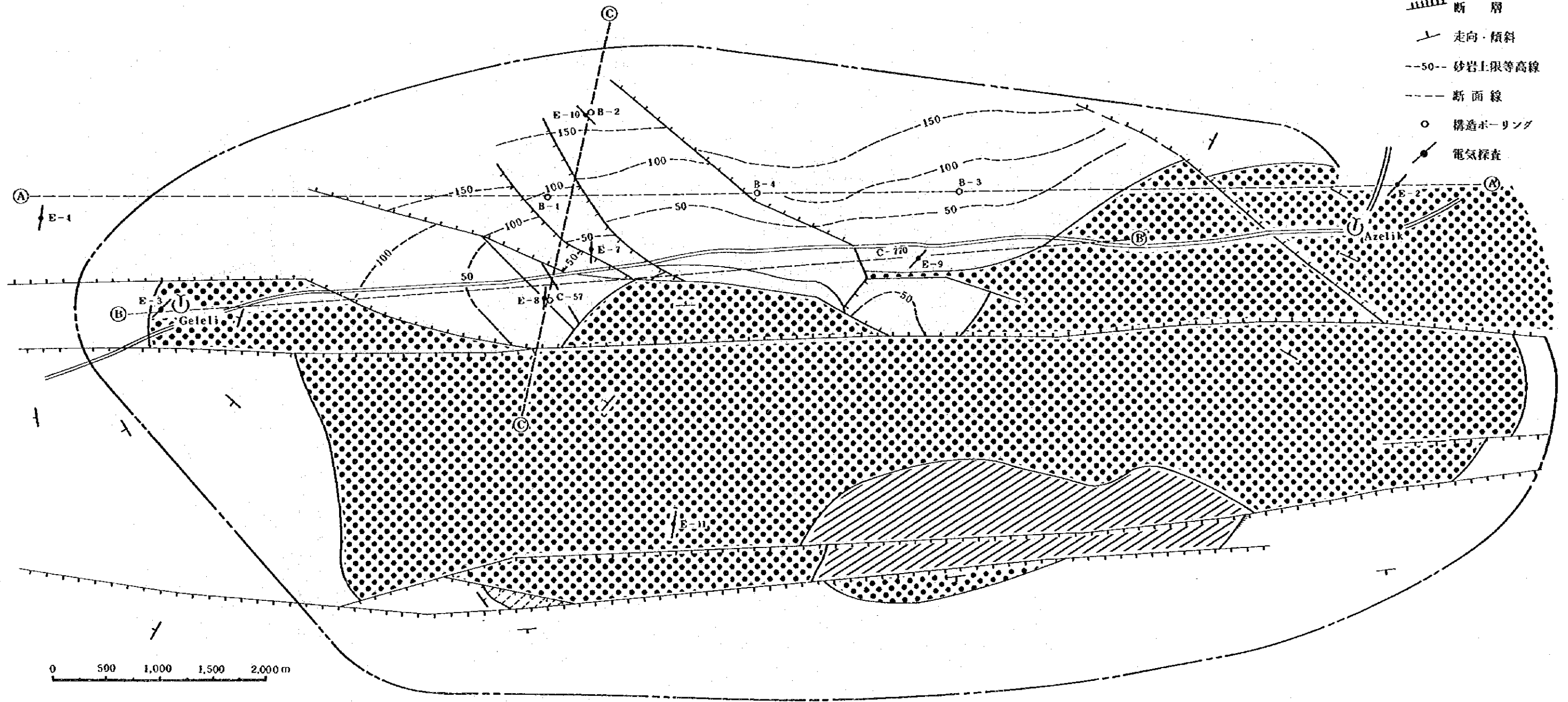


図7-22 砂岩上面等深線図

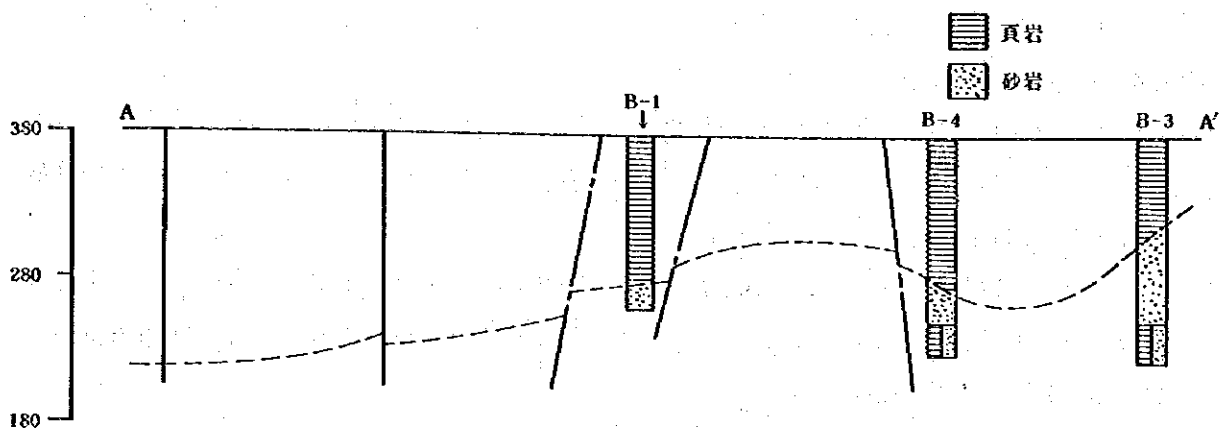


図7-23 テキダンテズム地区推定地質断面概念図 A-A'

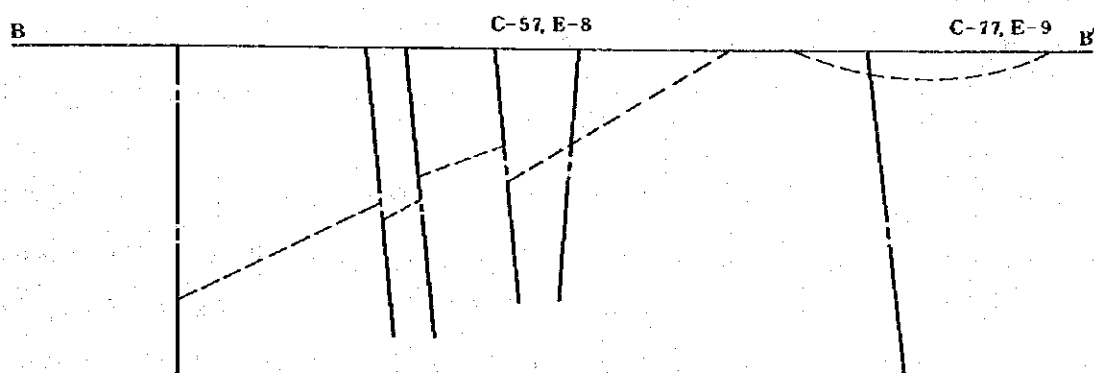


図7-24 テキダンテズム地区推定地質断面概念図 B-B'

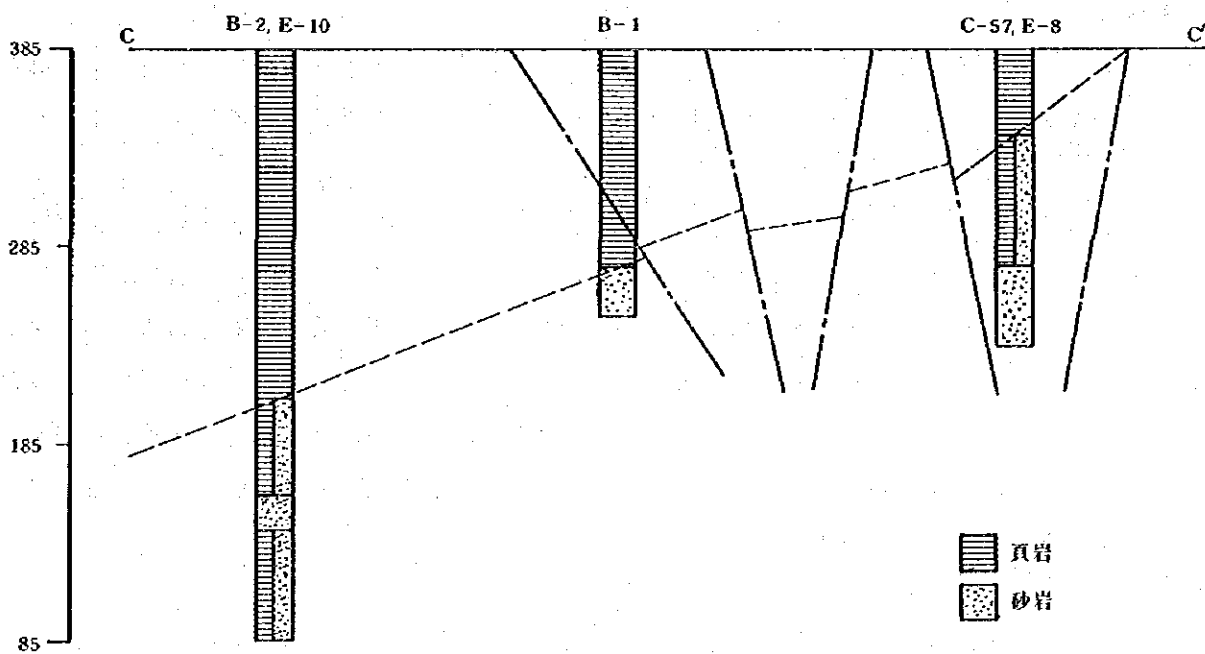


図7-25 テキダンテズム地区推定地質断面概念図 C-C'

テキダンテズム地区を構成する地層の中で、地下水を賦存する層（滞水層）は、イルハゼル頁岩層の一部とアゼリック砂岩の2層が考えられる。

- イルハゼル頁岩層における地下水賦存：もともと本層は、透水性の悪い頁岩が厚く重なり合っているため地下水の賦存には不適な地層であるが、断層等による破碎帯の部分あるいは砂岩の薄層と互層になった場所に地下水が胚胎しているものと考えられる。
- アゼリック砂岩における地下水賦存：広い意味でのアガデス砂岩層の一部であり、主たる滞水層であることは論を待たない。しかし、この層の厚さは不明であるので、今後地質構造の調査と揚水量の確認調査が必要である。

2) 地下水

アガデス～アサウス経路でテキダンテズムへの道中、またテキダンテズム地区での測水調査によると、当地域の地下水は地層水として存在し、その形態は浅層部の自由面地下水と深層部の被圧地下水の2つのタイプに分けられる。

- 浅層部の自由面地下水：このタイプの水は、雨季に地表水の流路に当たるワジ・コリー部に賦存するもので、季節の変動を受け易い水である。アサウス、アゾウザ、タガザ、テデキル等において大口径（ $\phi 1,400 \sim 1,800 \text{ mm}$ ）の掘さく井戸として取水されている。いずれも農牧畜用水である。特にテデキルにおいては、手掘りの井戸が同一地区内に無数に存在しているが、これは雨季に地表水が貯留する場所として、現住民が生活の知恵によって設けたものであろう。これらの井戸の水深は3 m 弱のものが多い。これは、調査時期が乾季の終わりであったことから、水位が低下しつつあったものとも考えられる。水温は外気の影響もあって一般に $25^{\circ} \sim 28^{\circ} \text{C}$ と高い。PHは弱酸～中性であり、水質的には地表部からの汚水の流入を除けば良質なものと判定されよう。
- 深層部の被圧地下水：このタイプの地下水は、その湧水機構により湧水として地表部に現われているもの、掘り抜き井戸として設けられ自噴しているものとの2種類に分けられる。

(i) 湧泉

湧水個所としては、テキダンアドラル、テキダンテズム、グレリ、アゼリック、アクグロルソウス等がある。これらの湧水の特徴として、いずれも南北か東西に延びる断層（地質機構称）に沿って存在し、地下深所の滞水層より破碎帯に沿って地下水が上昇してきているものと考えられる。断層から離れたグレリ北方の泉、アゼリック北東、アクグロルソウスの湧泉は、互に関連性はなくその地点に単独なものと思われる。これは、断層運動により生じた割れ目、裂け目を通して地表部に現われているもので、断層破碎帯沿いに発生した湧泉群のものとは機構的に多少異なったものと考えられる。

(ii) 掘り抜き井戸（深井戸）

深井戸は、アサウス、テキダンアドラル、イレリーテン、ファゴシア、ティンディ、アゾウザ等にあり、いずれも地域住民及び動物の貴重な生活水源になっており、テキダンアドラル、ティンディにおいては農耕用としての灌漑用水としても利用されている。これらの井戸はいず

れも自噴井戸で、自噴量はイレリーテンで200~300 m³/日、ティンディにおいて約300 m³/日とかなり量的にも恵まれており、その圧力も8 kg/cm² (ティンディ)を有し、被圧度の高い地下水であることがうかがえる。

これらの深井戸は、イルハセル頁岩層下位のアガデス砂岩層(テキダンテズムではアゼリック砂岩)まで掘さくしており、この砂岩層中の地下水が取水の対象となっている。

表7-2は測水調査の結果をまとめたものである。また、図7-26は当地区の地下水賦存の形態を模式的に表示したものである。

表7-2 テキダンテズム地区測水調査結果

整理番号	位置	形態	井戸径(m)	深度(m)	水位(m)	水温(℃)	PH(℃)	電導度(μS/cm)	透明度	備考
T-8	テキダンアドラル	Forage	揚水管 φ100mm	不明	自噴	34	6.6	600	○	畑地灌漑
	"	Forage	—	不明	自噴	28	6.6	560	○	"
	"	Puits	1.8	3.6	0.8	31	6.8	800	○	付近に小さな湧泉が数ヶ所存在
T-9	イレリーテン	Forage	揚水管 φ60mm	不明	自噴	38	8.2	1,050	○	自噴量200~300 m ³ /日
T-10	ファゴシア	Puits	1.4	3.8	2.0	—	—	—	×	
T-11	ティンディ	Forage ×2	揚水管 φ60mm	不明	自噴	35	8.0~ 8.8	1,300	○	国際資源株式会社 自噴量100 ℓ/min × 2本
T-12	アゼリック	湧泉	—	—	—	30	8.4	1,300	○	岩の割れ目4~5ヶ所から湧出
T-13	アソウザ	Puits	1.4	22.0	19.2	28	7.2	1,060	○	
T-14	"	Forage	ケーシング φ180mm	不明	自噴	33	8.6	1,500	○	約200mの間隔で 計4本の井戸跡
T-15	アゼリック北東4km	湧泉	—	—	—	22	8.6	2,500	×	
T-16	ゲレリ	湧泉	—	—	—	20	7.8	5,000	×	塩分の析出
	"	湧泉	—	—	—	22	7.8	4,200	×	塩分の析出
T-17	ゲレリ北方4km	湧泉	—	—	—	19.5	7.6	8,000	×	塩分の析出
T-18	テキダンテズム	Puits	1.5	3.4	0.4	25	7.8	5,600	○	集落の生活用水
T-19	ゲレリ~アゼリック の間	Forage	ケーシング φ150mm	70~ 80	9.45	34	8.8	5,500	○	掘り抜き井(水資源公社) 不使用
T-20	アクグルソウス	湧泉	—	—	—	43	6.3	7,000	○	井戸跡 カタ臭、塩分の析出
T-21	テデキル	Puits	0.8	5.1	5.0	25	6.6	11,000	×	素掘 付近に10本程の掘跡有り
T-22	タガザ	Puits	1.4	36.1	35.75	28	6.4	1,700	×	

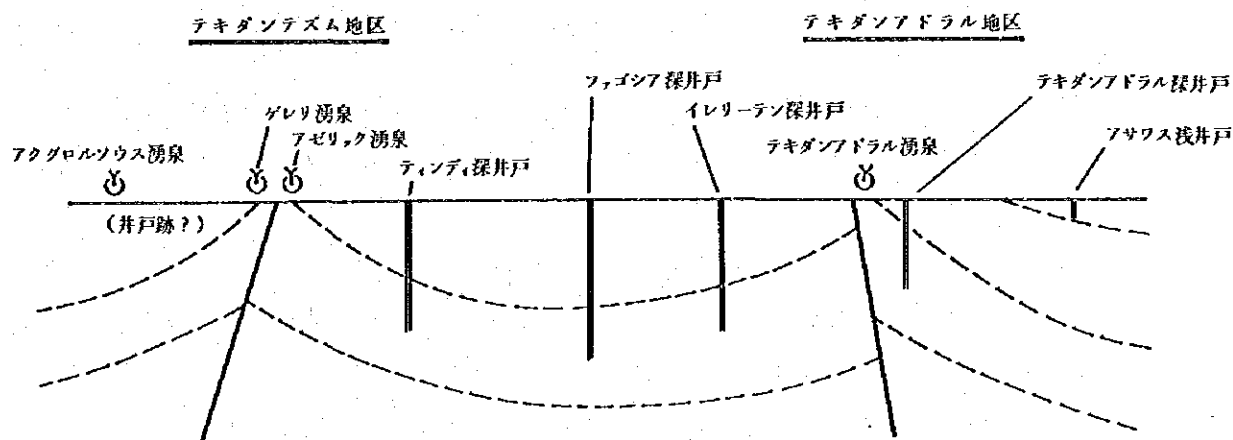


図7-26 南西アイール地域地下水賦存形態模式

3) 物理的性質

降水が少なく、従って地表水に恵まれていないテキダンテズム地区において、用水源としての地下水の利用に関しては、その水量、水質とも適確に把握しておかねばならない。地表水からの補給が直接なされていない被圧地下水については、将来の利用を考えると特に水質についての知識を得ておくことは重要な意味を持つものである。今回の調査は、この点を十分に考え、特に被圧地下水の水質に重点をおいて実施した。表7-2は、調査時における現地での水温、PH、電導度の測定結果を示したものである。このことから当地の被圧地下水の性格に関して次のことが言える。

(i) 水 温

湧水のもは、25°C~30°Cのものが多く、自由面地下水とほぼ同じであるが、深井戸については30°C以上である。この温度差は、地下水が滞水層から地表部へ上昇する速度の違いによるものと考えられる。すなわち、湧泉は遅く、外気の影響を受けるが、深井戸では直接湧出して来て外気の影響を受ける時間が少ないものと考えられることができる。アクグロルソウスの湧泉は40°C以上で、これは完全に温泉である。

(ii) PH

PHは、場所によりその値は異なるが、一般にアルカリ性が強い。塩分濃度の高いところはPH8以下、塩分濃度の低いところはPH8以上である。

(iii) 電 導 度

電導度は、地下水中に溶存する電解質イオンの総量によってその値が決まってくる。表7-3は、電導度区分による地下水の淡水とかん水との区別を表わしたものである。

表7-3 電気伝導度による地下水区分

区 分	固形物総量(p.p.m)	電導度($\mu\text{S}/\text{cm}$)25°C
淡 水	<1,000	<1,400
低かん水	1,000~3,000	1,400~4,000
中かん水	3,000~10,000	4,000~14,000
かん 水	10,000~35,000	14,000~50,000
濃かん水	>35,000	>50,000

地下水学要論(村下敏夫)より

この分類に従うと、テキダンアドラル、イレリーテン、ティンディ、アゼリック、アゾウザは淡水の部類に属しており、ゲレリ、テキダンテズム、アクグロルソウスはかん水の部類に属する。

地層中のかん水は、次のような場合に起こると言われる。

- ① 地層が堆積したときの水が、そのまま地層中に封じ込められている場合。
- ② 地層自身もしくは近くの地層中から塩類が溶出する場合。
- ③ 地層の堆積後、海洋あるいは他の塩水源にさらされたがために地層中に塩水が二次的に含有する場合。

これらの諸要因を考えた場合、調査地域における“かん水”の起源に該当するものとして、①と③のケースが挙げられる。①の場合は、アガデス砂岩層（アゼリック砂岩）の堆積生成環境が内湾性堆積物である可能性が高いためであり、③の場合は、上位イルハゼル頁岩層の堆積時において、アガデス砂岩層は塩水に接していたものと考えられる。現存する“かん水”は、これらの要因によって地層中に封じ込められたものが、その後、地表水からの補給もなく長い間にわたって蓄積されているものと考えられる。

4) 化学的性質

現地で採水した試料検体数は、テキダンテズム地区の7検体である。検体の水質分析は、国内に持ち帰ってから直ちに理化学試験（飲料水適否試験）と水質区分を目的とした各イオンの分析試験を行なった。

(i) 理化学試験

飲料水適否の判定となる成分として、PH、色度、濁度、硝酸性窒素、アンモニア性窒素、過マンガン酸カリウム消費量、塩素イオン、総鉄、総マンガン、総硬度の10項目を試験した。その結果は、表7-4に示しているが、これらを我が国の水道法に基づく水質基準（表7-5）に照らし合わせると、T-19、T-20、T-22を除く全てが飲料適と判定され、一般にアガデス砂岩層中の淡水は良質なる“水”と判定される。

表7-4 テキダンテズム地区水質試験結果

監理番号		T-8	T-9	T-11	T-14	T-19	T-20	T-22	a	b	c
採水場所		テキダンテズム	イレリデン	ティンディ	アゾウサ	イレリデンとイラツラの中間	アゾウサ	タカザ			
井戸形態		深井戸	深井戸	深井戸	深井戸	深井戸	湧泉	浅井戸			
PH	現場	6.6	8.2	8.8	8.6	8.8	6.3	6.4	9.2	9.0	8.5
	室内	8.7	9.3	9.2	8.9	11.3	7.2	7.2			
電導度	現場	600	1,050	1,300	1,500	5,500	7,000	1,700			
	室内	490	770	1,020	1,275	4,400	39,400	1,780			
色度	度	2.5	0	0	3.8	35	5.9	6.0			
濁度	度	1.0	0.1	0.4	2.4	9.0	1.0	0.8			
炭酸イオン	ppm	14.6	67.0	81.5	54.5	560	0	0	36.0	28.5	9.0
	epm	0.49	2.23	2.71	1.81	18.65	0	0	1.20	0.95	0.30
重炭酸イオン	ppm	234	327	420	588	930	107	214	515.6	323.4	198.3
	epm	3.84	5.36	6.89	9.64	15.25	1.75	3.51	8.45	5.30	3.25
塩素イオン	ppm	20.3	14.2	28.5	37.0	699	19,600	121	28.4	14.2	100.7
	epm	0.57	0.40	0.80	1.04	19.70	553.00	3.42	0.80	0.40	2.84
硫酸イオン	ppm	24.6	38.2	60.4	113	181	520	508	54.8	17.8	48.0
	epm	0.51	0.79	1.26	2.35	3.76	10.82	10.57	1.14	0.37	1.00
ナトリウムイオン	ppm	91.6	311	293	259	818	10,400	380	266.0	158.0	167.0
	epm	3.98	13.53	12.74	11.27	35.58	452.40	16.53	11.57	6.87	7.26
カリウムイオン	ppm	0.44	0.43	0.52	4.4	10.5	55.3	2.3	1.1	0.9	1.6
	epm	0.01	0.01	0.01	0.11	0.27	1.42	0.06	0.03	0.02	0.04
カルシウムイオン	ppm	2.0	0.89	1.2	1.6	3.0	900	7.3	2.4	2.2	4.2
	epm	0.10	0.04	0.06	0.08	0.15	44.91	0.36	0.12	0.11	0.21
マグネシウムイオン	ppm	0.02	0.02	0.05	0.10	0.03	199	3.6	0.4	0.2	0.4
	epm	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	16.36	0.29	0.03	0.02	0.03
総鉄	ppm	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	0.92	1.10	0.56	0.4	0.1	1.6
総マンガン	ppm	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	0.13	検出限界以下			
総硬度	ppm	2以下	2以下	2以下	2以下	2以下	3,530	34.9			
過マンガン酸カリウム消費量	ppm	1.1	2.1	1.4	5.6	69.9	357	6.5			
硝酸性窒素	ppm	0.05	検出限界以下	検出限界以下	0.11	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	0.45	0.45	0.45
アンモニア性窒素	ppm	検出限界以下	0.02	検出限界以下	検出限界以下	検出限界以下	1.20	0.08			

注) a, b, c は既存の参考データ

表7-5 飲料水水質判定基準

厚生省令第11号(昭和41年5月6日)による。

病原生物に汚染されたことを疑わせるような生物及び物質に関する事項	アンモニア性窒素及び亜硝酸性窒素	同時に検出されないこと。
	硝酸性窒素	10ppm以下であること。
	塩素イオン	200ppm以下であること。
	有機物等(過マンガン酸カリウム消費量)	10ppm以下であること。
	一般細菌	1mlの検水で形成される集落数が100以下であること。
	大腸菌群	検出されないこと。
シアン水銀その他の有毒物質に関する事項	シアンイオン	検出されないこと。
	水銀	検出されないこと。
	有機磷	検出されないこと。
銅鉄その他の物質の許容量に関する事項	銅	1.0ppm以下であること。
	鉄	0.3ppm以下であること。
	マンガン	0.3ppm以下であること。
	亜鉛	1.0ppm以下であること。
	鉛	0.1ppm以下であること。
	六価クロム	0.05ppm以下であること。
	砒素	0.05ppm以下であること。
	珪素	0.8ppm以下であること。
	カルシウム マグネシウム等(硬度)	300ppm以下であること。
	蒸発残留物	500ppm以下であること。
	フェノール類	フェノールとして0.005ppm以下であること。
	陰イオン活性剤	0.5ppm以下であること。
	異常な酸性およびアルカリ性に関する事項	水素イオン濃度
異常な臭味に関する事項	臭気	異常でないこと。
	味	異常でないこと。
外観に関する事項	色度	5度以下であること。
	濁度	2度以下であること。

(ii) イオン分析試験

循環性の水あるいは停滞性の水、火山の水、廃水、海水はそれぞれ特色のある水質系を示すので、地下水の性格を表わす水質系を調べることによって、その形態を判断することが可能である。次のキーダイアグラムによる方法は、地下水が現在おかれている環境を表現する手法として良く用いられている。

一般に水質が、陰イオンとして ($\text{SO}_4 + \text{Cl}$)、($\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$)、陽イオンとして ($\text{Na} + \text{K}$)、($\text{Ca} + \text{Mg}$) の4成分系で化学平衡を保っているという仮定に立つと、その地下水の水質の特徴をキーダイアグラムで表わすと、次の1つのグループに分けることができる。

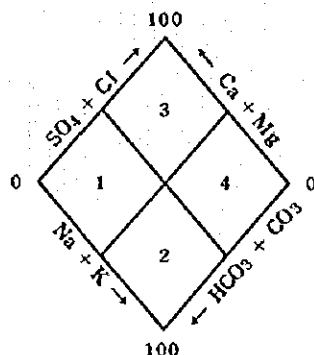


図7-27 キーダイアグラム

表7-6 水質系による地下水区分

タイプ	水質系区分	地下水の性状
1	炭酸カルシウム型	淡水の典型的なグループ
2	炭酸ナトリウム型	タイプ1の地下水が水の化学的進化によって、軟水化した水で一般に停滞性の地下水がこの型に属する。
3	非炭酸カルシウム型	地すべり地、鉱山の酸性廃水、火山性の水
4	非炭酸ナトリウム型	海水あるいはそれと同性質を示す水で、塩素イオンの多い水である。

淡水は、それぞれの置かれた環境によっても異なるが、タイプ1か2の型に属する。タイプ3と4は水中の塩素イオン濃度、地層中の粘土鉱物とのイオン交換反応時間によって決まる。

表7-4、図7-28は、各採水地点における各イオンの分析表とこの分析結果を基に、上記のダイアグラム上に各試料水をプロットしたものである。

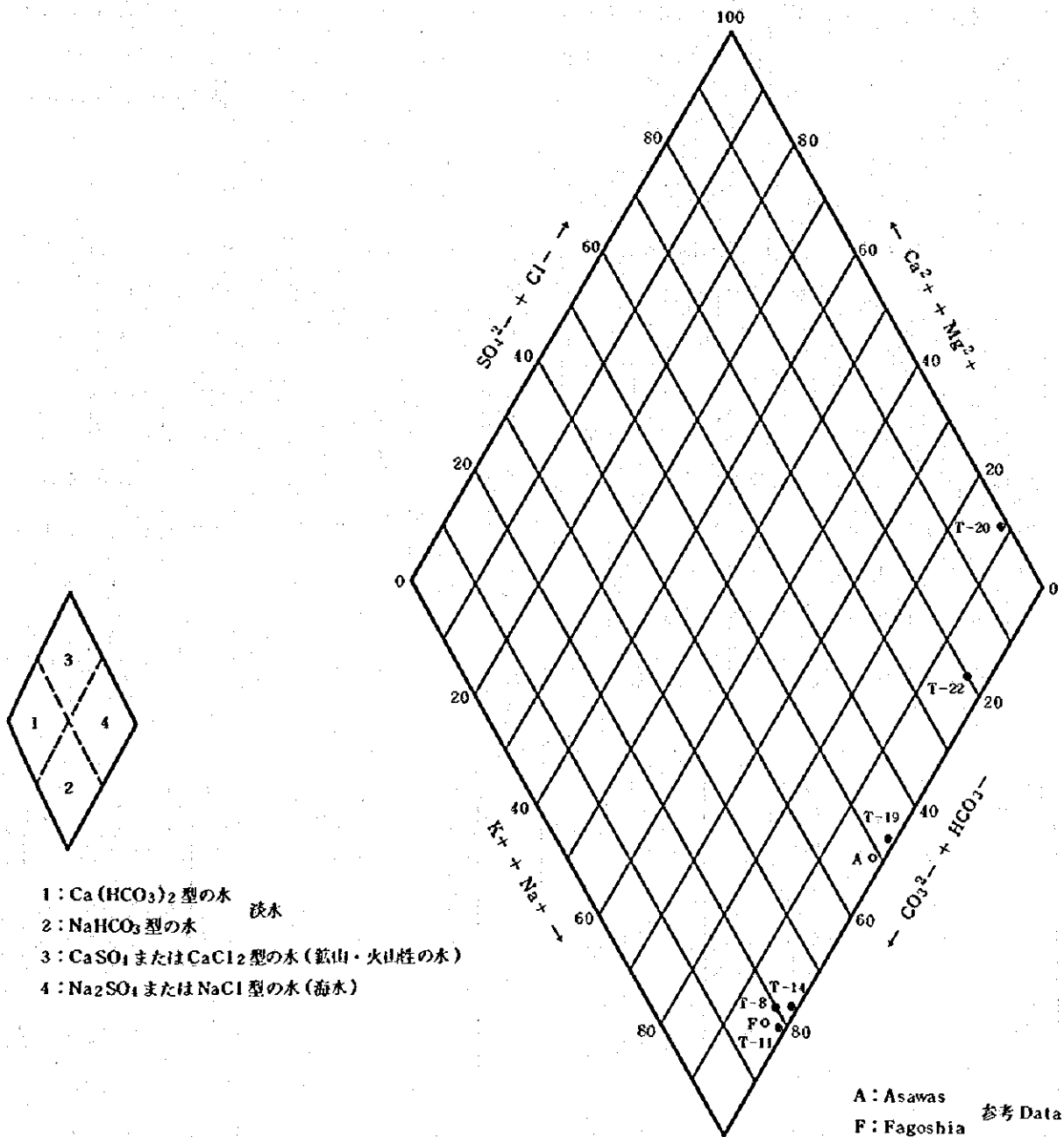


図7-28 テキダンテズム地区水質区分キーダイアグラム

5) 水質分類による地下水系

テキダンアドラル、イレリーテン、ティンディ、アゾウザ、アサウス、ファゴシアの水は、タイプ2の炭酸ナトリウム型に属し、アクグロルソウスの温泉、CEA井の水は、タイプ4の非炭酸ナトリウム型に属する。このような観点から考えると当地域の滞水層の地下水系は、炭酸ナトリウム型の淡水域と非炭酸ナトリウム型の塩水域とに大きく分けることができる。

(i) 炭酸ナトリウム型の淡水域地下水系

この地下水系のPHは8以上、電導度 $1,000 \sim 2,500 \mu\text{U}/\text{cm}$ を示し、特にナトリウムイオンが多い。塩素イオンは50ppm以下と小さい。現在までの調査結果だけでは断定できないが、この地下水系の水は、多分に循環性のある地下水としてとらえることができ、他の地域で涵養された地下水ではないかと思われる。また、もともと塩水であったものが長い年月の間に淡水の補給を受け、次第に希釈されると共にイオン交換反応等によって淡水化してきたものであって、塩水との比重差によって滞水層の上部に存在している地下水であるのかも知れない。この地下水は、テキダンテズム～グレリ～アゼリックを結ぶ地質構造線の南東域及びアゾウザ山の西側域に分布している。

(ii) 非炭酸ナトリウム型の塩水域地下水系

PHは7～8、電導度は $400 \mu\text{U}/\text{cm}$ 以上を示し、特に塩素イオンが異常に強く、また硫酸イオンも強い。この水は、地質年代からの化石塩水とも考えられ、外部からの補給が行われていない、いわゆる封じ込められた地下水と推定される。この地下水は、テキダンテズム、グレリの北ないしは北西域に分布している。

これら2つの両地下水系は、テキダンテズム～アゼリック間にある地質構造線(断層)を境にして分布しているのが特徴である。おそらく両者の違いは、当地区の地質構造に支配されているものであって、一方では他域へ開放されており、また、一方では封鎖された構造を示すものではないかとも推察される。

これらの地下水の滞水層区分を模式化して示すと図7-29のようになる。

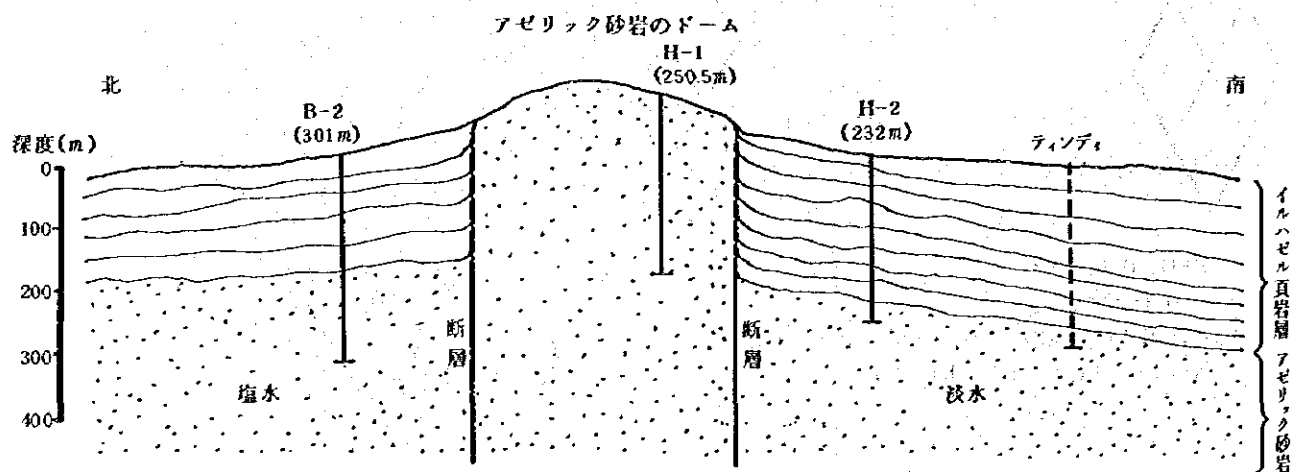


図7-29 テキダンテズム地区地下水の推定賦存状態

7.4.4 インガル地区の水理地質

当地区における滞水層は、市街地の東側にある大きなワジ（幅 100～150 m）及びこのワジの流域に広がる沖積砂層が有力なものである。この他に深層部の滞水層を対象としているものに深度 600 m の水源井があるが、この井戸の滞水層までの深さは 492～600 m と報告されている。

この水源井の横で実施した電気探査結果が図 7-30 に示してある。しかし、地表面が極度に乾燥していたためか、接地抵抗が悪く十分な解析資料が得られなかったが、いずれにせよこの電気探査の測定範囲は深度 200 m までであり、深度 490～600 m に存在する滞水層までの解析はできない。

インガル地区で実施した測水調査及び水質分析の結果を表 7-7 と表 7-8 にそれぞれまとめている。

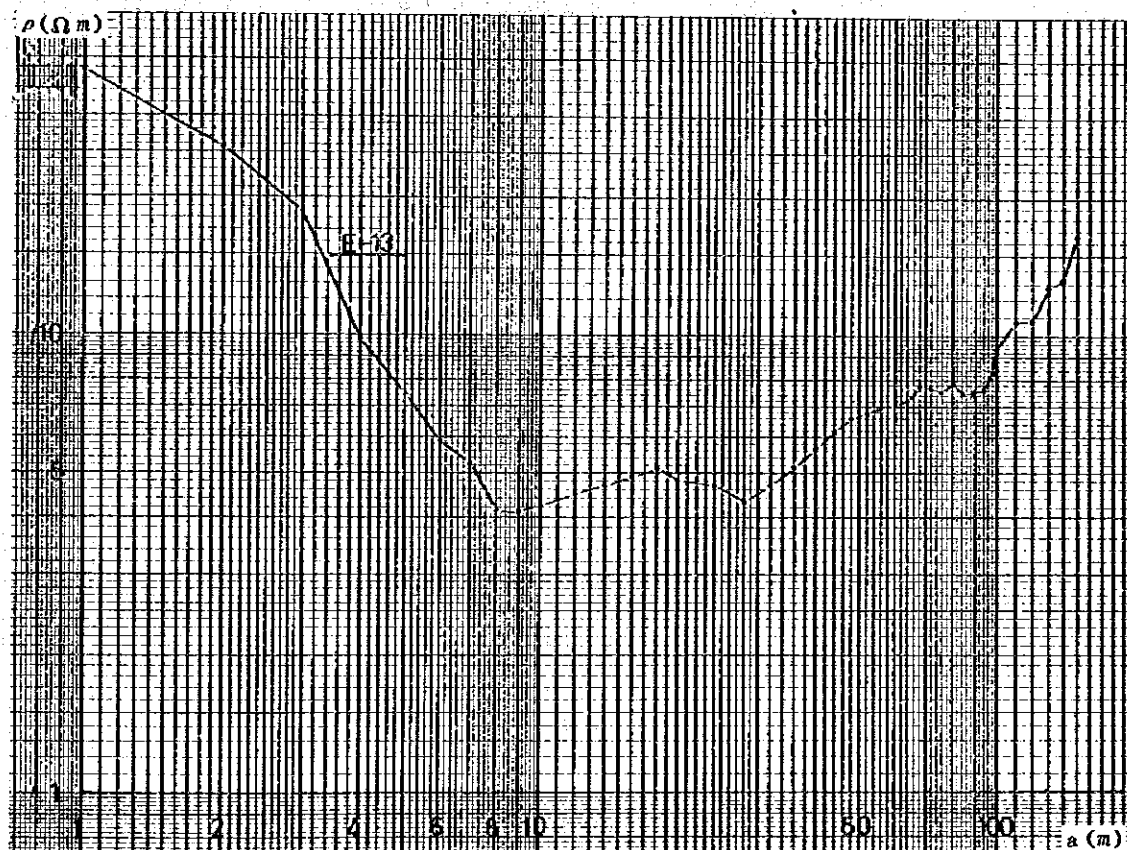


図 7-30 E-13 $\rho \sim a$ 曲線

ワジ及び沖積地における地下水の形態は、自由面地下水であり水温は 30°C 前後、PH は 6.4～6.8 の弱酸性、電導度は $300 \sim 900 \mu\text{V}/\text{cm}$ である。水質分析の結果、シャルダンの水は鉄分が水道基準をこえているが、他の項目では基準内である。鉄分は、おそらく地表部からの汚水の流入による影響ではないかと考えられる。

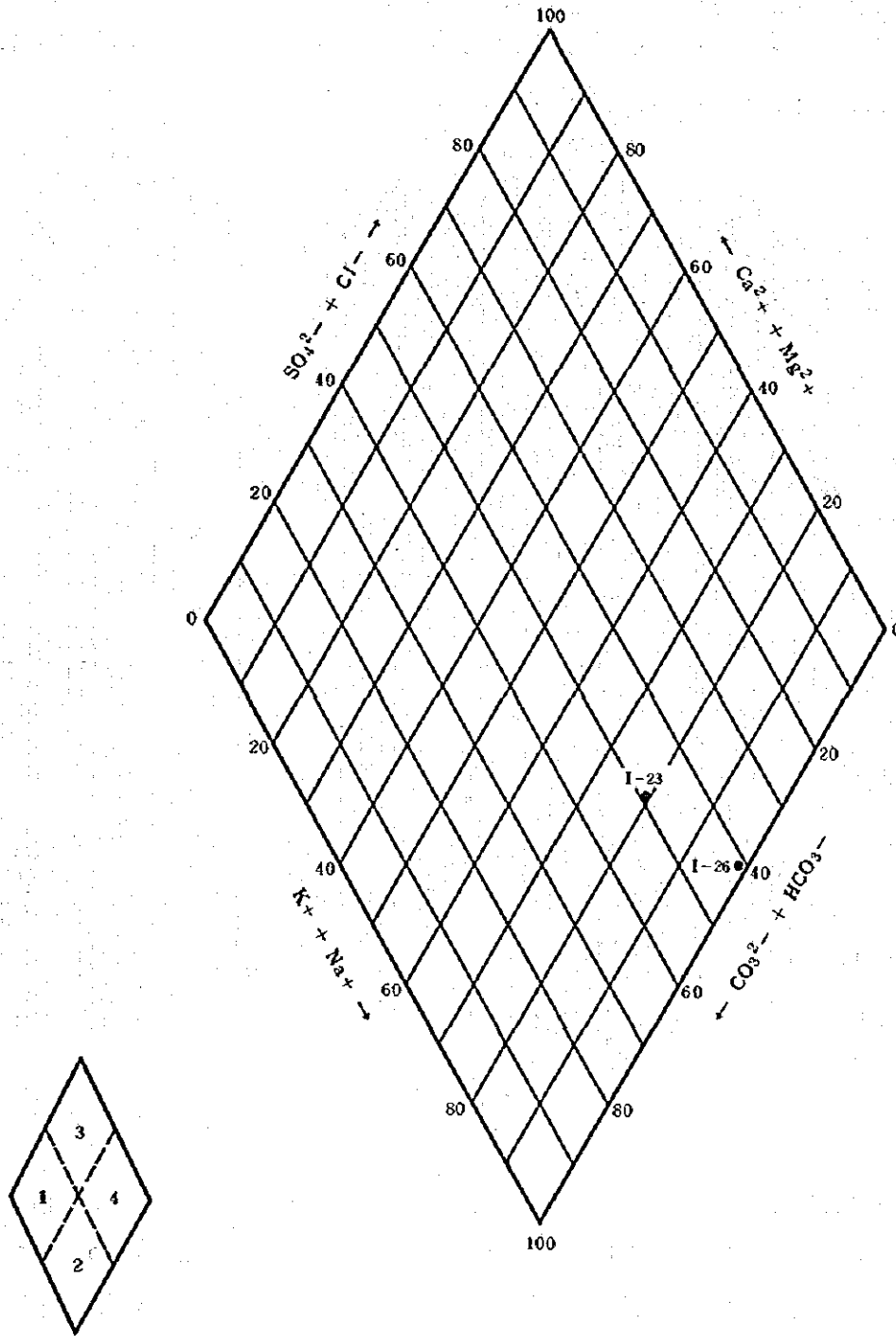
深層部における被圧地下水は水温が高く、またフッ素が多く塩素イオンもかなりの量である。図 7-31 の水質区分キーダイアグラムから判るように、この水はタイプ 4 の非炭酸ナトリウム型に属し、塩水の部類に入ることから、外部と閉鎖された環境下の水で一応化石水と推定される。

表7-7 インガル地区測水調査結果

整理番号	位 置	形態	井戸径 (m)	深度 (m)	水位 (m)	水温 (℃)	PH	電導度 (μS/cm)	透明度	備 考
I-23	ジャルダン	Puits	1.7	11.5	10.0	31.0	6.4	590	×	農園用、戦込ポンプアップ、旧河川敷
	"	Puits	1.4	10.0	9.0				×	
I-24	国際資源館旧宿舎	Puits	1.4	8.9	8.3	29.0	6.8	900	×	不使用
	"	Puits	1.4	10.0	9.0				×	不使用
I-25	ワ シ	湧泉		手掘り で約1m		26.0	6.4	300	×	ワシの伏流水、ワシ幅150m ワシの中に数ヶ所
I-26	市水道水源井	Forage	φ300 mm	650.0		揚水時50 配水時37	8.0	2,600	○	1975年SATOM社掘さく工事。 フッ素を多く含む、揚水量54m ³ /h

表7-8 インガル地区水質試験結果

整 理 番 号		I-23	I-26
採 水 場 所		In-gall(Jardin)	In-gall
井 戸 形 態		Puits	Forage
PH	現 場	6.4	8.0
	室 内	7.0	8.8
電 導 度	現 場	μS/cm 590	2,600
	室 内	μS/cm 490	2,170
色 度	度	2.0	0
濁 度	度	0.5	0.4
炭 酸 イ オ ン	ppm	0	34.1
	epm	0	1.13
重 炭 酸 イ オ ン	ppm	146	476
	epm	2.39	7.81
塩 素 イ オ ン	ppm	9.7	392
	epm	0.27	11.04
硫 酸 イ オ ン	ppm	106	107
	epm	2.20	2.22
ナ ト リ ウ ム イ オ ン	ppm	74.4	486
	epm	3.24	21.14
カ リ ウ ム イ オ ン	ppm	4.7	1.3
	epm	0.12	0.03
カ ル シ ウ ム イ オ ン	ppm	14.2	2.2
	epm	0.71	0.11
マ グ ネ シ ウ ム イ オ ン	ppm	6.6	0.09
	epm	0.54	0.01
総 鉄	ppm	0.48	検出限界以下
総 マ ン ガ ン	ppm	検出限界以下	検出限界以下
総 硬 度	ppm	71.8	2 以下
過マンガン酸カリウム消費量	ppm	3.4	3.5
硝 酸 性 窒 素	ppm	1.85	0.05
ア ン モ ニ ア 性 窒 素	ppm	検出限界以下	検出限界以下



- 1 : $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型の水 淡水
- 2 : NaHCO_3 型の水
- 3 : CaSO_4 または CaCl_2 型の水 (鉱山・火山性の水)
- 4 : Na_2SO_4 または NaCl 型の水 (海水)

図7-31 インガル地区水質区分キーダイヤグラム

7.4.5 アガデス地区の水理地質

当地区における滞水層は、市郊外にみられるワジの中の砂層が主なものである。ワジを構成する層は比較的良淘汰された均一なる砂層であって、その分布もワジの規模によって変ってくる。次の $\rho \sim a$ 曲線は、当アガデス市の水道水源地において行なった電気探査の結果である。

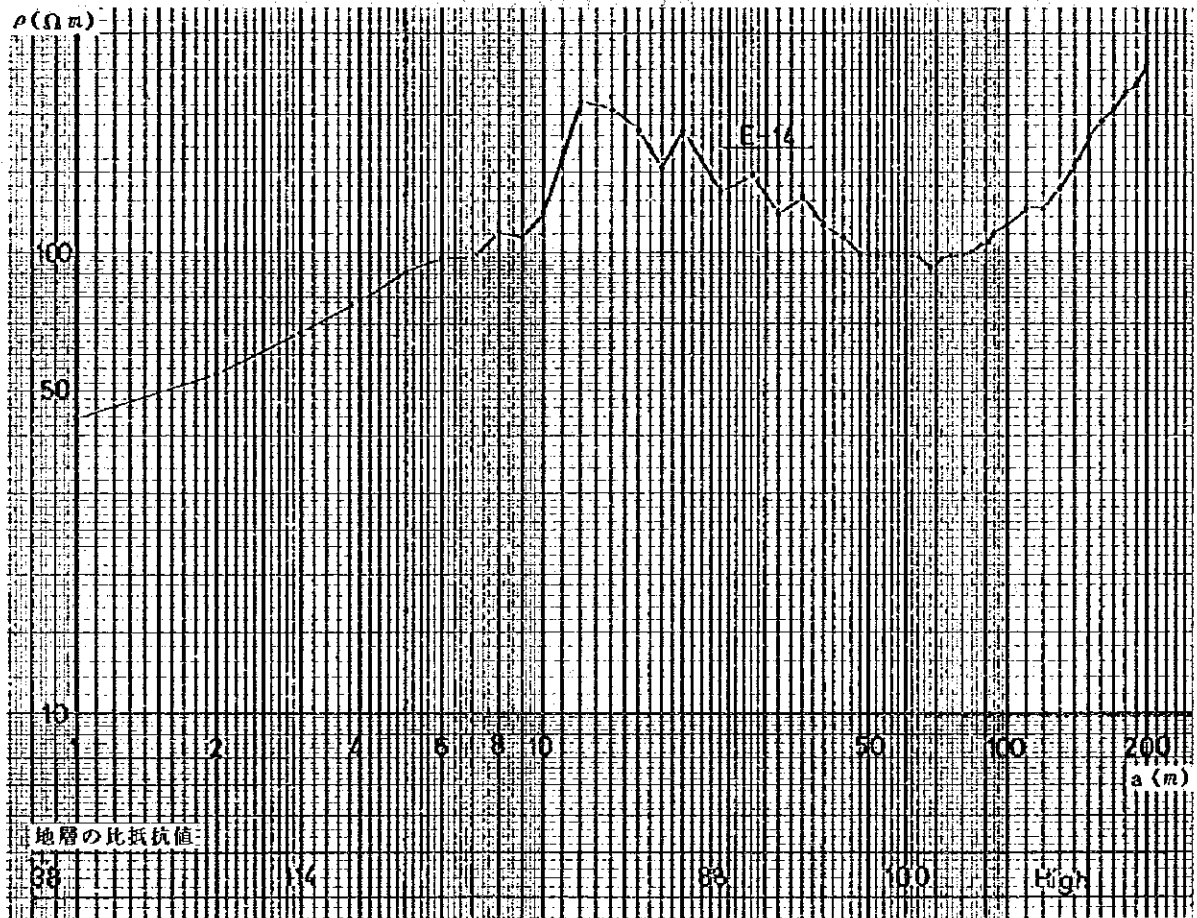


図7-32 E-14 $\rho \sim a$ 曲線

深度 12 m までは地下水を賦存しない層であって比抵抗値も高いが、これ以深 12 ~ 50 m 間の比抵抗値の降下するところが、滞水層に相当する砂層と解析される。この間の比抵抗値は 88 Ωm である。50 m 以深から当地区の基盤岩の風化帯に移行し、 $\rho \sim a$ 曲線の上昇しているあたりから不透水基盤岩と考えられる。当水源地においては、基盤岩の風化帯までが滞水層を形成しているものと考えられる。

地下水は、アイール山地に降った雨及びこの地域に降った雨水の浸透水がワジの中の砂層に集積し、そこに賦存している自由面地下水である。従って地下水の量は、季節的な変動を受け易く雨季直後は水位が高く、乾季になると漸次低下する傾向を有する。地下水の水温は 30°C 前後、PH は 6.0 ~ 7.4 で弱酸 ~ 中性を示しており、電気電導度は 200 ~ 1,000 $\mu V/cm$ である。理化学試験に供したアガデス水源井、ティンティベジンの 2ヶ所の試料水は、問題なく良好なる水質である。

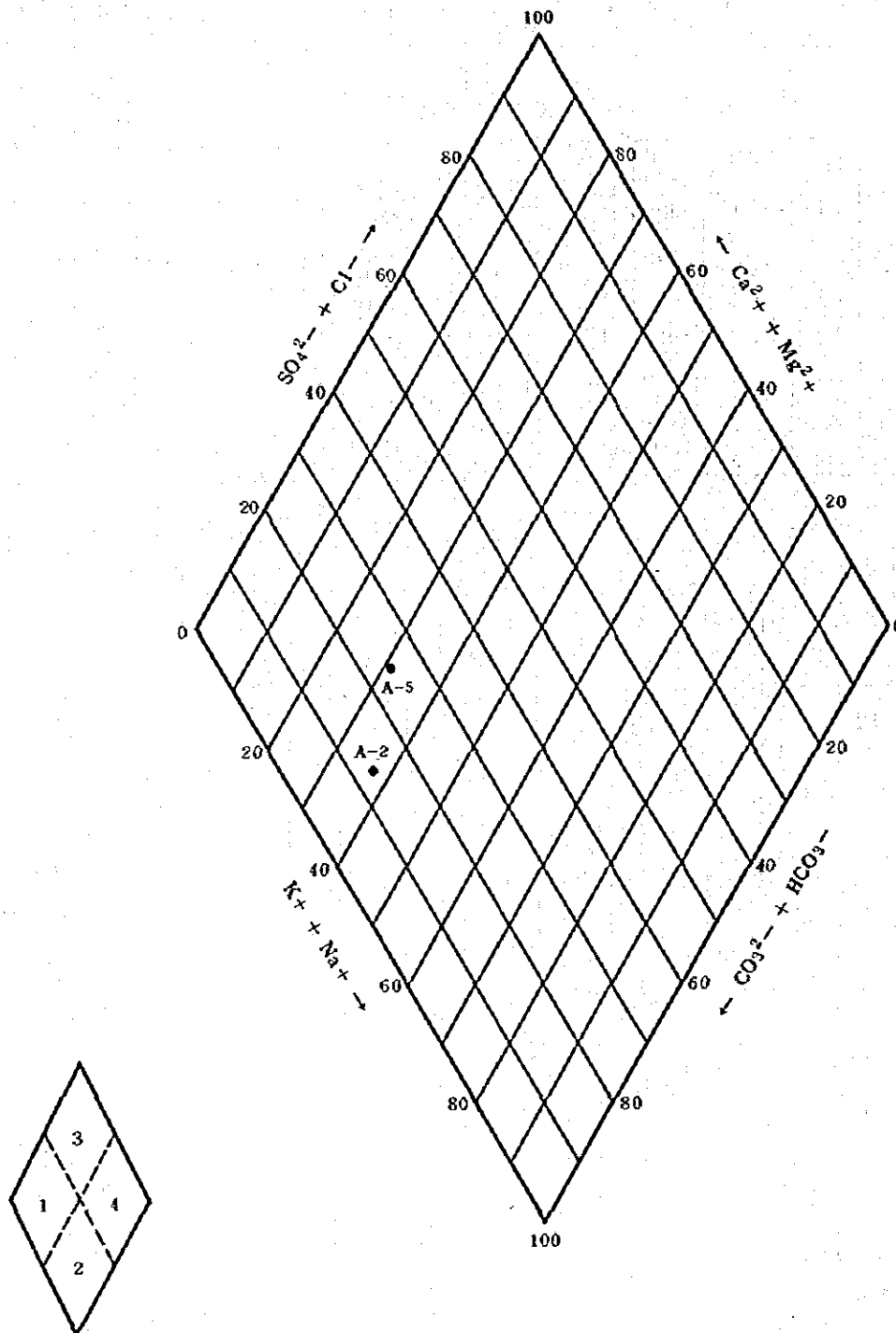
図7-33のキータイヤグラムは、A-2, A-5の両試料水をプロットしたものであるが両者ともタイプ1の炭酸カルシウム型に属しており、典型的な淡水の性格をもった循環水であることが良くわかる。

表7-9 アガデス地区測水調査結果

整理番号	位置	形態	井戸径(m)	深度(m)	水位(m)	水温(°C)	PH	電導度(μS/cm)	透明度	備考
A-1	アガデス	Puits	1.8	20	11.3	29	—	430	○	
A-2	市水道水源水	Forage2 Puits 1	揚水管 φ65mm	40	—	31	7.4	340	○	水中モータポンプ
A-3	クルボーボー	Puits	1.8	—	36	30	—	1,600	×	
A-4	ハムサム	Puits2	1.0	10.3	10	30	6.8	1,600	×	素掘
A-5	ティンティベジ	Puits	1.8	10.1	4.85	31	6.0	230	○	風力式揚水15ℓ/min 余水にて畑地カンガイ
A-6	アガラス	Puits	1.8	11.3	9.4	—	—		×	不使用
A-7	アサワス	Puits	1.8	10.2	8.8	27	7.2	2,050	×	

表7-10 アガデス地区水質試験結果

整理番号	採水場所		A-2	A-5
井戸形態			Agades	Tin Tibesgin
			Forage	Puits
PH	現場 室内		7.4	6.0
			7.4	7.2
電導度	現場 室内	μS/cm	340	230
		μS/cm	286	180
色度	度	0	0	
濁度	度	0.3	0.5	
炭酸イオン	ppm	0	0	
	epm	0	0	
重炭酸イオン	ppm	160	70.4	
	epm	2.62	1.15	
塩素イオン	ppm	6.4	5.0	
	epm	0.18	0.14	
硫酸イオン	ppm	10.6	12.2	
	epm	0.22	0.25	
ナトリウムイオン	ppm	24.9	4.3	
	epm	1.08	0.19	
カリウムイオン	ppm	2.1	11.2	
	epm	0.05	0.29	
カルシウムイオン	ppm	26.5	18.0	
	epm	1.32	0.90	
マグネシウムイオン	ppm	7.4	3.6	
	epm	0.61	0.29	
総鉄	ppm	検出限界以下	検出限界以下	
総マンガン	ppm	検出限界以下	検出限界以下	
総硬度	ppm	134	71.6	
過マンガン酸カリウム消費量	ppm	2.3	2.0	
硝酸性窒素	ppm	4.15	検出限界以下	
アンモニア性窒素	ppm	検出限界以下	0.03	



- 1 : $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型の水 淡水
- 2 : NaHCO_3 型の水
- 3 : CaSO_4 または CaCl_2 型の水 (鉱山・火山性の水)
- 4 : Na_2SO_4 または NaCl 型の水 (海水)

図 7-33 アガデス地区水質区分キーダイヤグラム

7.5 調査ボーリング地点の選定(テキダンテズムの地区)

当地区における被圧地下水は、前章でも記述したようにその分布及び形態は複雑であって、淡水区となる地下水系と塩水区となる地下水系とがあり、両者の分布の傾向はおおよそつかめたが、その境界はまだ判然としていない。これは、地質構造との関連性を解明しなければ解決されないように思える。次回の調査に当たっては、まずこの地質構造をより適確に解明することからはじめるべきであり、調査ボーリングの位置もこれらのことを満足するところに選定されねばならない。この調査ボーリング地点の選定に当たっては、更に今回の定性的な調査目的から水理地質学的根拠に基づいた定量的な調査段階に移るわけであるから、次のような調査の方向付けが必要になってくる。

1) 地質構造解明による各滞水層の地質学的な性状把握

滞水層となる地層(アガダス砂岩層)の下限深度と地層の層相、層厚ならびに各滞水層の水質特性等について調査することによって、淡水層の下位に塩水層が存在する可能性があるかも知れないという仮説の解明を行なう。

2) 揚水試験井による各地下水系の定量的な性状把握

地下水系に淡水区と塩水区の存在が推定されることから、各々の地下水系に相当するところにおいて、揚水試験井を設けて水量、水質ならびに滞水層となる地層の水理学的特性を見出す。

図7-34には、上記の調査目的を考慮した調査ボーリング地点の位置を示している。

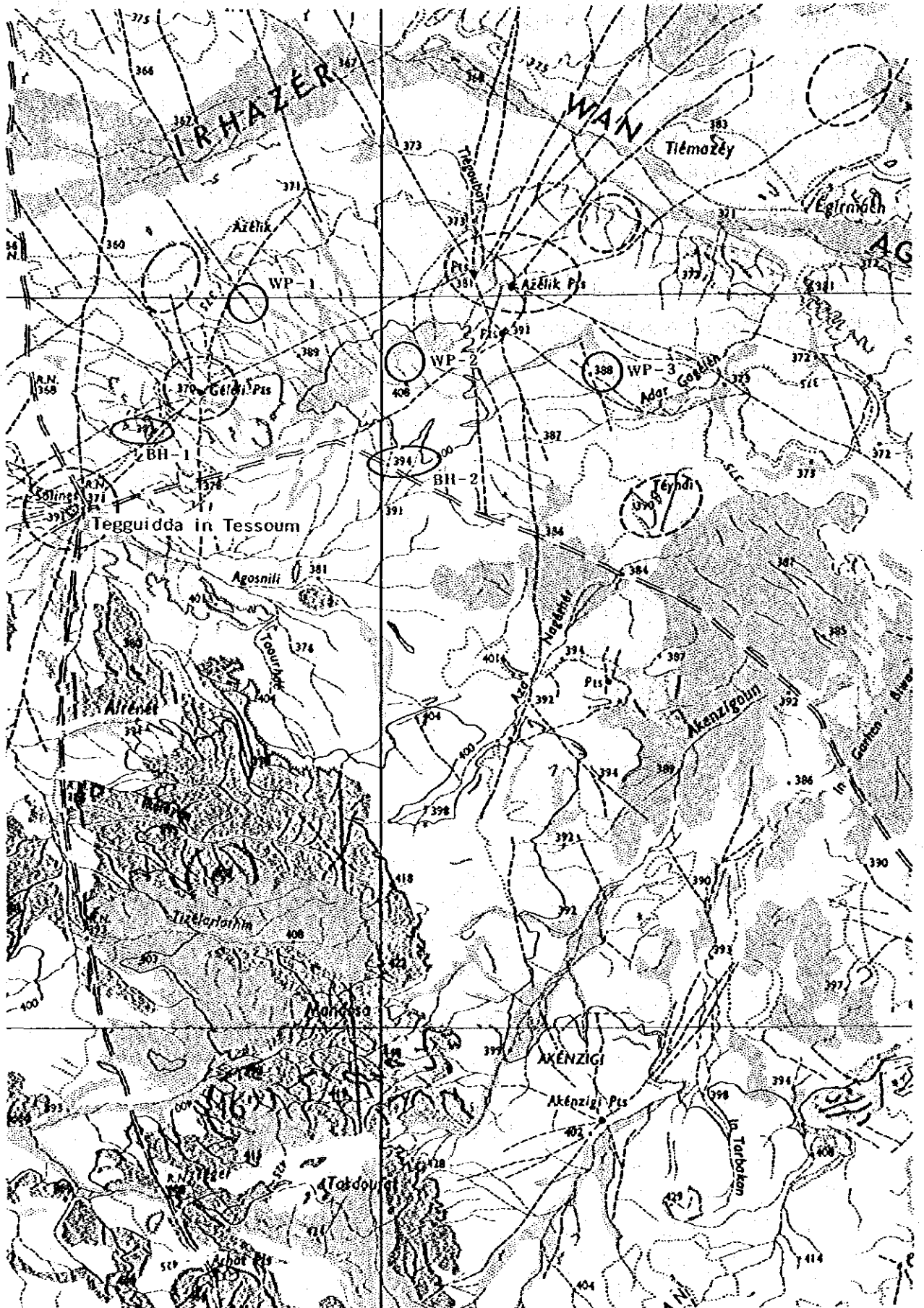


図7-34 調査ボーリング位置

7.6 今後の調査計画

7.6.1 二次調査への指針

テキダントエズム地区における水源開発は、この地区の水文状況から推察して、地下水特に深層部の被圧地下水に依存する割合は非常に大きい。この有限な資源を将来最大限に有効利用するためには、事前の適確な情報収集が必要であることは言うまでもない。

一次調査においては、この地下水の性格とも言うべき事項（湧泉、井戸分布、水質等）が調査の対象とされ、その結果ある程度の概念をつかむことができた。しかしながら、アゼリック、グレリの湧水地の枯渇、淡水の塩水化なども考えられるので資源の有限性を十分に念頭に置いた上での開発が望まれる。

図7-34に示した調査ボーリングの計画は次のような指針のもとに立案されたものである。

1) 地質構造ボーリング

イルハゼル頁岩層、アガデス砂岩層（アゼリック砂岩）の厚さと性状を知ることが目的としたボーリング調査であり、同時に滞水層の垂直分布を把握する。このボーリングの位置は、テキダントエズムとグレリの間（BH-1）、グレリとティンディの間（BH-2）の2ヶ所が適している。前者は地質構造線上で塩水区に属し、後者は地質構造線の南側で淡水区に位置する筈である。ボーリングの規模は口径を100mm、深度を各々500～700mとし、m毎の地質試料の採取を原則とする。また、地層の変わり目についても同様に試料を採取する。

2) 揚水試験井の設置

各地下水系の量、質を知ることが目的とした揚水試験を実施し、滞水層の水理学常数をつかんでおくための調査である。設置箇所は図7-34のWP-1、WP-2、WP-3の3ヶ所である。

(i) WP-1 地点

この地点の地下水は塩水系と考えられる。探鉱ボーリング資料から推測すると滞水層は、深度200～300m間に存在しているはずである。

(ii) WP-2 地点

アゼリック砂岩上に位置しているため、アゼリック砂岩の性状を地表面からすぐにつかむことができる。（図7-34参照）

探鉱ボーリングの資料を参考にしてボーリング深度は300mとしたい。

(iii) WP-3 地点

この地点の地下水は淡水系と考えられる。当地点より約30km南東のファゴツア地区における既存の水源井構造図（図7-35）によれば、ボーリング深さ340m掘削の実績の中143mまでがイルハゼル頁岩、143m以深が砂岩となっている。このことから推定して当地点における試験井の深度は300～400mを予定したい。ただし、当地の淡水区は塩水化した地下水の上に存在している可能性がありうるため、この地区の深度決定は、前述BH-2の構造ボーリング調査の結果をみて再検討することが望ましい。

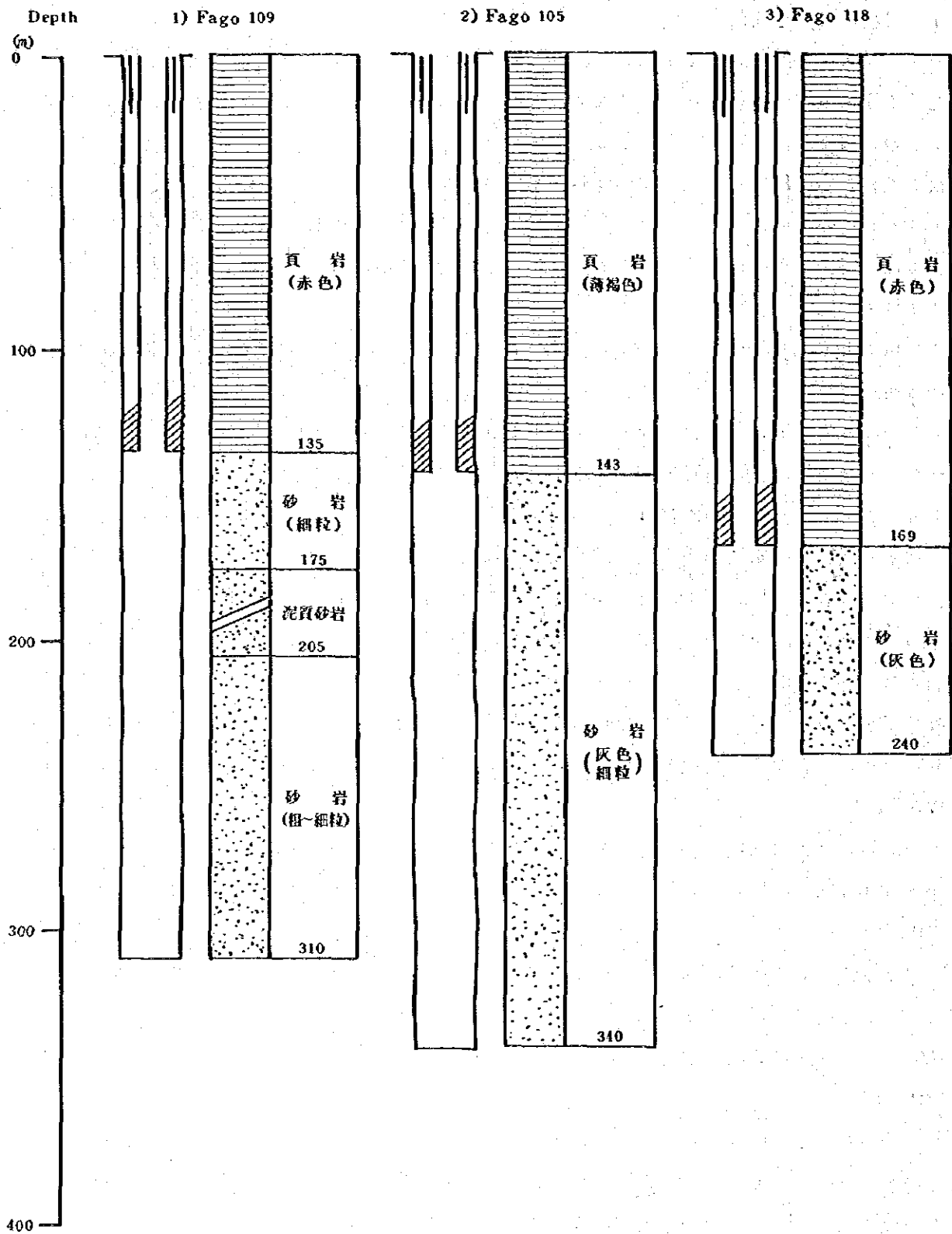


図7-35 ファゴシア地区既存井構造図

7.6.2 調査計画

地質構造ボーリング調査、揚水試験井及び本井戸の設計に至る調査解析の順序をフローチャートで示すと、図7-36のようになる。

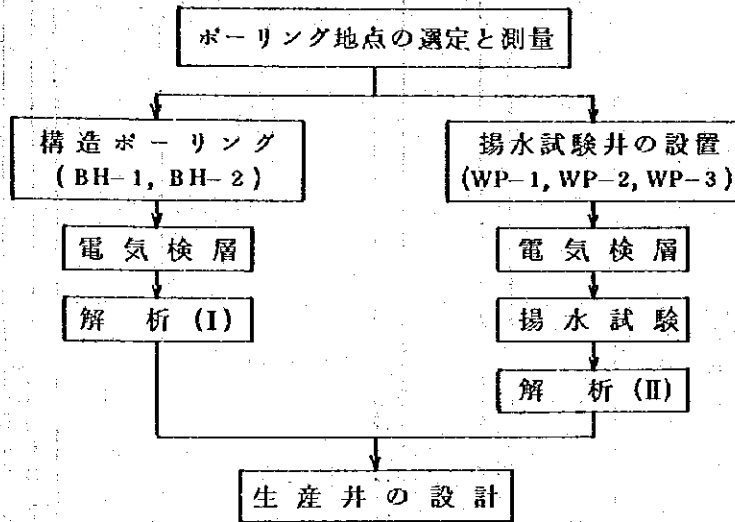


図7-36 実施調査フローチャート

図7-36に示した解析作業の内容は次のとおりである。

解析 (I) : イルハセル頁岩, アゼリック砂岩の性状把握, 滞水層の垂直分布の把握, 揚水井の深度決定

解析 (II) : 水理常数の算定, 井戸の適正揚水量の決定, 揚水影響圏の把握, 適正井戸間隔の決定, 地下水賦存量及び開発可能性の検討

1) ボーリング工事

二次調査を実施するために、必要な調査用ボーリングの工事、数量を集計すると表7-11に示すように、口径100mm孔が8本、延長約2,300~2,700m、口径300mm孔が3本、延長約800mである。

表7-11 調査ボーリング工事一覧

地区別	目的	口径(mm)	深度(m)	備 考
BH-1	地質構造調査	100	500~700	コアリング及び電気検層実施
BH-2	" "	100	500~700	" "
WP-1	揚水試験井	300	250	電気検層実施、φ12'ケーシング、ストレーナ挿入
	水位観測孔	100	250	φ3'ケーシング挿入
	" "	100	250	"
WP-2	揚水試験井	300	150	電気検層実施、φ12'ケーシング、ストレーナ挿入
	水位観測孔	100	150	φ3'ケーシング挿入
	" "	100	150	"
WP-3	揚水試験井	300	400	電気検層実施、φ12'ケーシング、ストレーナ挿入
	水位観測孔	100	250	φ3'ケーシング挿入
	" "	100	250	"

各ボーリング孔の構造諸元を示すと図7-37のとおりである。

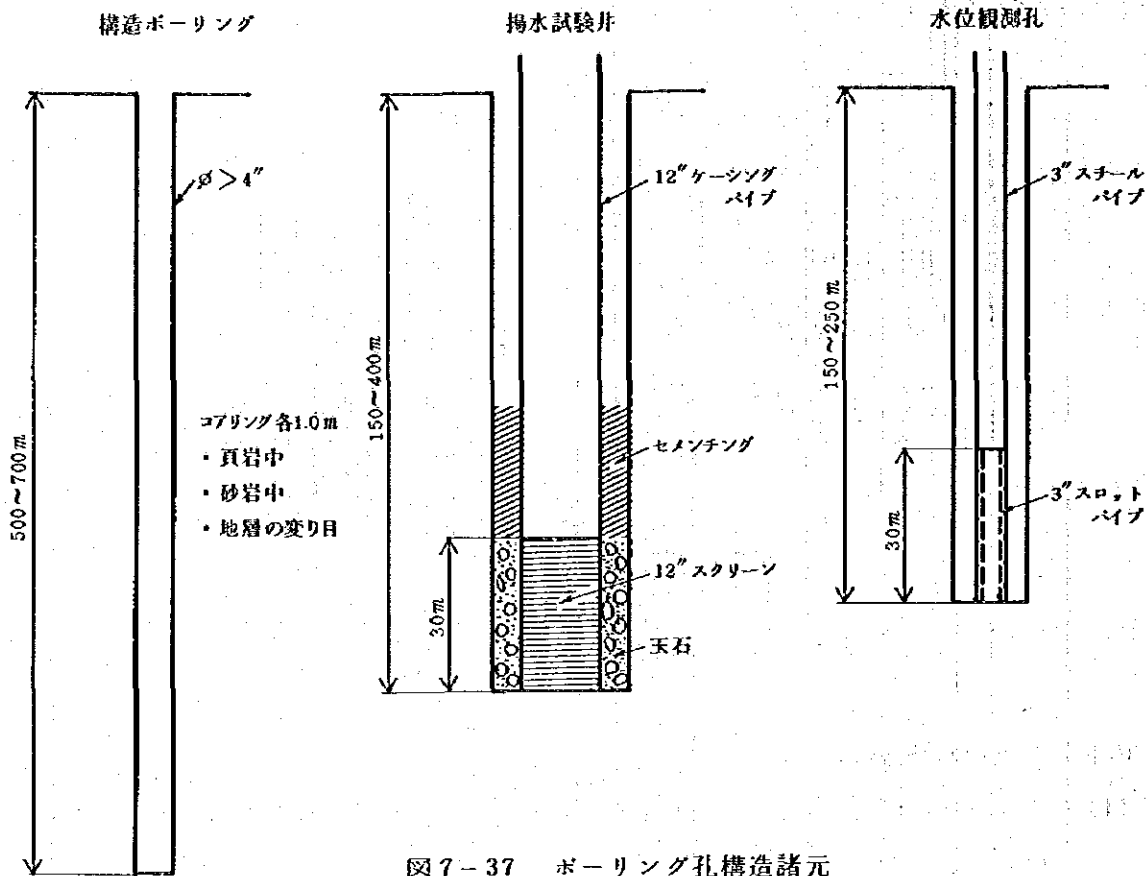


図7-37 ボーリング孔構造諸元

2) 電気検層

地質構造ボーリング及び揚水井掘さく後、裸孔内で電気検層を行なう。電気検層は井戸孔内で行なう物理的探査の一つで、さく孔中に電極をぶら下げて孔内の電気抵抗 (ρ) と自然電位 (S.P.) を測定する。S.P. 及び比抵抗は間隙水の水質に敏感に反応するから、地層の変化と各層の位置、層厚を決定するのに役立つ。また、揚水井では電気検層の結果に従って揚水用のストレーナ位置を決定する。

3) 揚水試験

揚水試験は目的によって、滞水層試験（連続揚水試験、水位回復試験）と段階揚水試験とに分けられる。

滞水層試験は滞水層の透水量係数、貯水係数などの定数を計算し、滞水層境界を推定するための揚水試験である。

段階試験は限界揚水量を求めるための揚水試験で、揚水量の多寡を判断することにもなるので井戸の評価試験とも言う。

これらの2種類の揚水試験を実施することによって生産井の設計（井戸径、深度、ストレーナ位置、長さ、井戸の本数、距離等）が、可能になる。

7.7 地域開発効果

7.7.1 水と住民生活

この地域の厳しい自然すなわち照りつける太陽、乾燥した空気、そして高温は地域の住民の生活を厳しく規定している。長い乾季と不安定な降雨しかない短い雨季は、得られる水の量を限定してはるがそれが逆に、遊牧民、定着民を問わずここに住む人々と水との関係をより強固にしているとも言える。

1) 遊牧民と水

遊牧民は多くのグループに別かれ、その根拠地によりまた遊牧地によりその遊牧のスタイルが異なっている。しかし、いずれにしても夏の雨季の時の牧場には、家畜のための水を心配することなく成長の早い草の放牧地へ移動し、乾季には井戸のまわりの草地（雨季の間はそこを離れて確保してあった草地）または、冬期に緑の葉をつける灌木のある地域へ戻ってゆく。

2) 定着民と水

定着民は元来トアレグ族の下で奴隷または小作人のような形でナツメヤシやミル、野菜等を栽培し、トアレグ族へ貢いでいた。すなわち、“ブーズー”と呼ばれていた階層の労働力によって、これらの農耕や牧畜、日常生活における下働きがまかなわれてきたが、第一次大戦中のトアレグ族反乱鎮圧以降フランス国がこれらの奴隷を解放した。現在のオアシス定着民の源は彼ら解放奴隷である。彼らは農耕と共に牧畜を行なってきた。一方、奴隷の労働力を失ったトアレグ族は、かつての茶を飲み詩をうたり優雅な貴族・武士の生活を維持することは不可能となり、その一部はやはり定着化していった。特に、大旱魃で家畜を失った遊牧民の増大はその定着化をはやめていった。

定着農耕は、アイール山地の谷あい（イフェルアネ、ティミア等）や、アイール山地の南縁、西縁及びインガル等で行なわれている。無論これらの地区は水源が確保された地区である。農園では雨季にはミル、トウモロコシ等が栽培され、乾季には小麦、トマト、レモン、イモ、豆等が栽培され、ナツメヤシ、ザクロ、レモン等の果樹も植えられている場合もある。

園芸、作物、特に野菜は、フランス軍の駐屯によって導入され、特に近年はウラン開発が進むにつれて、アーリット、アガデス等への供給が盛んになってきた。

水源としては、雨季中には表面水を利用できるが、乾季には伏流水を井戸により汲み上げることになる。かつては人力で汲み上げていた井戸が、農園の拡大により地下水位の低下をまねき、現在では牛またはラクダを利用して汲み上げられるようになった。更に、農耕地の拡大及び遊牧民の家畜増大のために、地下おおよそ100m以下の滞水層（化石水）へ到達するような井戸が設けられつつある。これらは、当初フランス軍により、その後はニジェール国政府によりボーリング掘さくされ、現在は諸外国の援助も受けて深井戸の掘さくが続けられている。

3) 都市と水

現在アガデス県内で上水道施設が存在している町は、アガデスとインガルのみである。アガデスの上水道はニジェレックにより管理されているが、需要戸数は公共のものも含めて391戸と少

なく、アガデスの人口 20,000 人に比べて極く低い普及率である。水道の消費量は約 28,000 m^3 /月であり、人口から想定される需要量よりはるかに少ない。

表7-12 1~8月の8ヶ月平均水消費量
単位： m^3

1976	1977
27,723	28,140

表7-13 アガデス県内における需要戸数及び水消費料
(1977年8月)

	需要戸数	水消費量(m^3)
行政部門	61	10,058 (164.9)
民間 "	305	12,766 (41.9)
公共給水場	18	— (—)
ニジェレック用	7	1,150 (164.3)
計	391	23,974 (61.3)

()は需要1戸当たり消費量

4) 井戸の分布

アガデス郡内に存在する定住民、遊牧民用のコンクリート製井戸は 103ヶ所にのぼるが、全村落数 80のうち 20 村落がこれらの井戸を有するのみで、残りの 75%の村落はこれらの井戸を有していない。また、人口 250人以上の村落で井戸がない村落は 11ヶ所にのぼる。また、井戸のない野営地も 27ヶ所にのぼる。一方、牧畜用の深井戸は 6ヶ所あり、遊牧民用の浅井戸は 63ヶ所あり、その他の深井戸が 3ヶ所ある。地域的分布としては、アイール山地の南西部に多く分布している。

表7-14 井戸の主要指標

項目	単位	アガデス郡	県
セメントで作られた井戸	ヶ	103	131
セメント製井戸を有する村	村	20	27
セメント製井戸の無い人口250人以上の村	"	11	18
井戸のない野営地	ヶ所	27	30
牧畜用深井戸	ヶ	6	6
" 浅井戸(遊牧民)	"	63	81
その他深井戸	"	3	18
導水施設	ヶ所	2	4
導水施設圏内人口	人	20,000	33,000

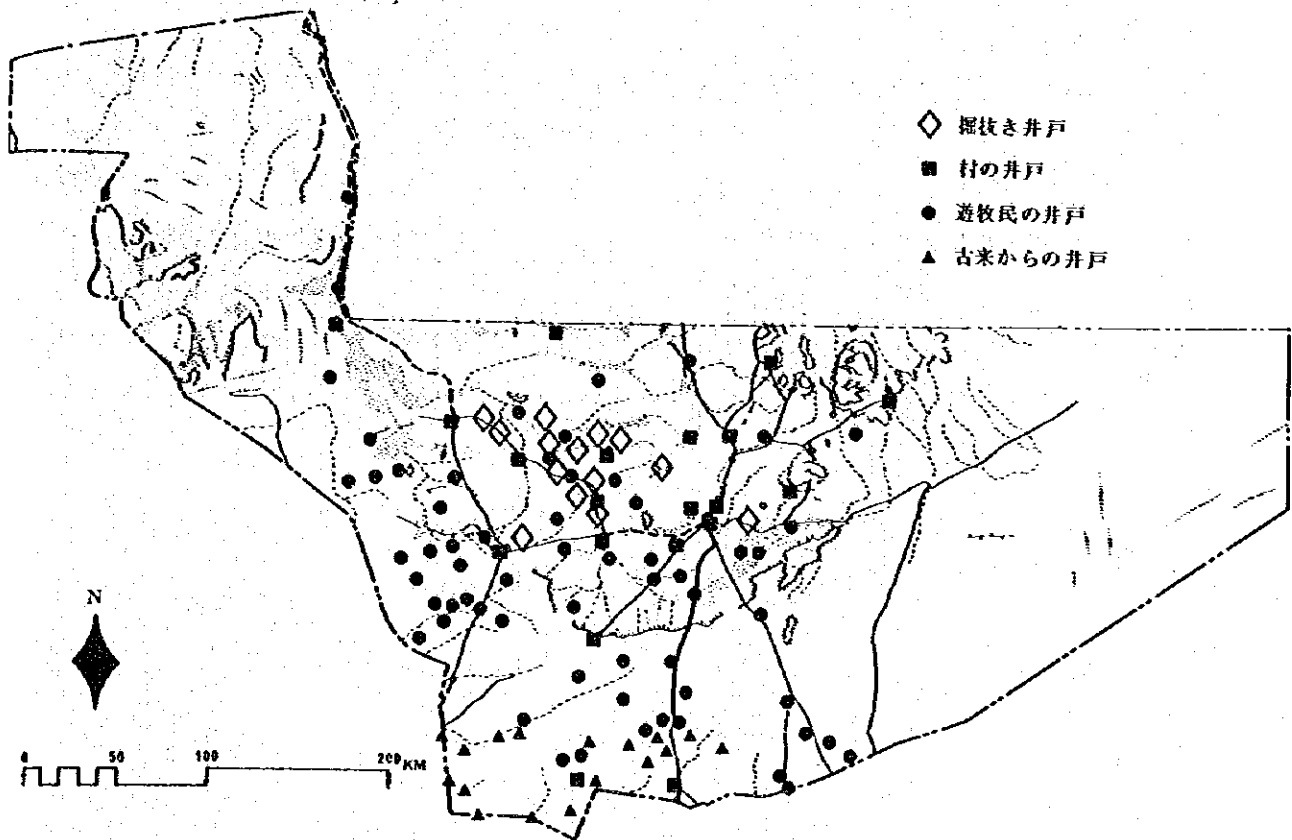


図7-38 アガデス郡における井戸分布

7.7.2 開発効果

今回の水源調査は予備調査であって、水源の定性的な把握、水理地質の解明に留まり、地下水の賦存量、揚水可能量は明らかにされていないことと、開発効果調査自身も予備調査の域を出ないため、ここでは水源が開発された場合の予想される地域開発へのインパクトを列挙することとする。

1) 農業に対する効果

テキダンテスム周辺の土壌条件が不明であるが、現地視察の感想では植生に乏しいため土地はやせていると考えられる。ただし、施肥等を行ない、恒常的な灌漑施設を設置し管理することにより、鉱山都市へ供給する生鮮野菜の生産は可能と考えられる。また、土壌の改良、その他の生産条件次第では、他の作物の生産も考えられる。

これら鉱山都市周辺の農業生産は、鉱山都市の自給体制を助け、全ての物資を遠い生産地、市場から運搬せざるを得ない状況から救うものである。

2) 牧畜に対する効果

テキダンテスム周辺地域は遊牧地帯であり、特に雨季には幾千、幾万の家畜の群が南部からやって来る。乾季にはその数は減少するが、この地域の遊牧民は数少ない井戸を拠点に遊牧している。テキダンテスムに水源が豊富に確保された場合には、これら遊牧の家畜用の水が確保される。また、水源に余裕があり牧草の滋養が可能であれば、畜産の増産に大いに助けとなる。また、農業開発と組み合わせてゆくことにより、遊牧民の定着化にも寄与すること大である。

3) 住民の生活水準の向上

水源の開発により鉾山都市及びその周辺に上水道が設置されることになると、住民の日常生活に様々な効果をもたらす。例えば、水道のない生活では水を汲み上げ運搬する作業が非常に大きな労働を要し、婦人や子供に苛酷な負担を負わせている。これらの労働から解放され、その労働が生産に向かい、教育や育児など次の世代の形成に役立ってゆけば、計り知れない効果をもたらす。

また、水道の利用により食物、衣服を洗う水や水浴の水を豊富に使えることとなり、衛生状態の改善に役立ち伝染病の駆逐はもとより、非衛生から来る種々の病気から身を守ることができる。そして、ひいては乳幼児の死亡率の低下にもつながるものである。

第 8 章

都市計画

第 8 章 都 市 計 画

8.1 都市計画の前提条件

8.1.1 調査・計画の状況

本開発都市計画のために与えられるべき諸計画条件には、現状では、まだ次のような不確定な部分を多く含んでいるが、これらを充分考慮して本計画のための前提条件を設定した。

1) ウラン・鉍開発スケジュール

鉍山都市の位置、計画内容を決定づけるものはいうまでもなく鉍山開発そのものであるが、ウラン・鉍開発はその性格上ウラン・鉍床探査から採鉍までの作業が各鉍床毎に実施されるため、最初からウラン・鉍開発鉍区の全地域に対する開発プログラムが策定されるものではない。

現在の探鉍は、グレリ地区の探鉍試錐が実施されている段階であり、鉍区全域にわたって鉍床開発計画が位置的に時間的に、また、規模的（採鉍量）に具体化されてはいない。また、本開発鉍区はその広さも大きく（12,300km²）、仮に全鉍区の開発計画が具体化したとしても、1つの都市で対処できるものではないことも事実である。

2) 既存の人文地理的要素の集積

本開発鉍区には、アーリット、アコカン両都市建設の場合と異なり、既存の都市、既存の地域社会、産業が集積しており、本鉍山都市はこれらに直接・間接的に影響を与えると予測されるが、これらの既存集積の将来方向については予測不可能な要素が数多く存在する。

3) 自然環境等の調査状況

自然条件が非常に不安定である。例えば降水量も年次的に著しく変化し、洪水、湛水状況についても著しい変動がある。また、都市計画に大きく影響を与える局地自然条件・気象条件に関するデータが十分に調査されているわけではない。更に、都市の物理的条件としての地盤・土質条件にしても未だ十分に把握されているわけではない。

4) 都市インフラ施設に関する調査

都市に供給する水、電気については、現在調査中でありこれらの調査結果によって鉍山都市計画は大きく影響されることは言うまでもない。

8.1.2 計画の前提条件

都市計画を策定するためには、これらの不確定要素に或る仮定を条件として与える必要があるが、これらの与条件はこれらの不確定要素の将来変化にも戦略的に対処し得るようなものでなければならぬ。

本開発鉍区における都市建設計画のための前提条件を次のように設定する。

- 1) 現実性が最も高く、鉍床規模も最も大きいと見積られているアゼリックとグレリ鉍床の開発を本鉍山開発の第一段階と考慮し、これを今回の都市基本計画調査の射程とする。

- 2) ウラン鉱開発が段階的に行なわれると同様に、鉱山都市建設も段階的に実施されることを前提として、鉱床開発の空間的展開と拡大があつたとしても、半径 30km 圏まではこのアゼリックとグレリ鉱床を対象とする都市で対処できるようにする。
- 3) 敷地規模的には、充分余裕を持たせ、操業の進捗に合わせて都市の拡張が可能なものとする。
- 4) 都市はアゼリックとグレリ鉱床に近いテキダンテズム周辺に立地させることにする。インガル周辺の地域開発は、鉱床開発がこの地域まで延伸した時点で検討するのが妥当であり、すでにインガルは交通の要所として都市発展がなされている。
- 5) アガデス県における将来の地域開発の動向を次のように想定し、本鉱山都市もこれらの地域開発に柔軟かつ敏感に対処できることを前提に計画する。
 - ・ アーリット、アコカン、イムラーレンを中心とするウラン鉱開発都市群
 - ・ 交通の要所としての県庁所在地アガデス周辺
 - ・ アルジェリア国との交通交易ルートとしてのアイール北西地区

8.2 都市計画の進め方

都市計画は次のフローチャートに示すように、1)半径 30km 圏内のウラン鉱開発を射程とした都市計画区域の設定、2)アゼリック、グレリ鉱床開発を射程とした都市基本計画の策定、更に、3)第 1 期建設計画を対象にした地区基本計画の策定に至る過程を経て進められる。

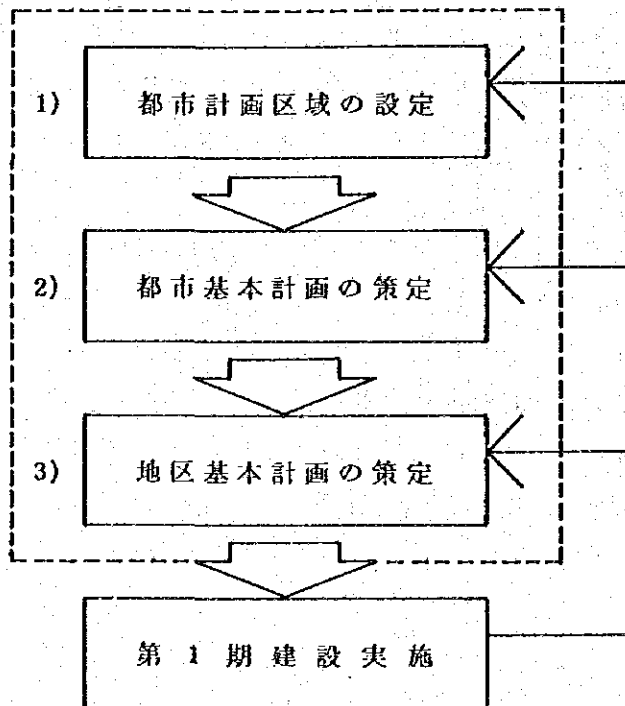


図 8-1 都市計画のフローチャート

1) 都市計画区域の設定

一つの都市が大きくなるか分割化されるかは別にして都市計画区域はテキダンテズム地域（半径 30km 圏内）の長期的鉱床開発に対処し得るだけの拡張可能な広さを持つ区域でなければなら

ない。将来に備えた公共公益施設の整備はこの区域内に限って施行されるもので、施設投資の不効率化と市街地の無秩序分散化を避けるために設定される区域である。

2) 都市基本計画の策定

これは都市計画区域内にあってアゼリック・ゲレリ鉱床開発の最盛期を想定した場合の都市の基本計画を策定する。

半径 30km 圏内の将来の鉱床開発に較べるとこのアゼリック、ゲレリ鉱床開発は、具体的に調査も進んでいるために、都市の計画条件も部分的に具体化されつつあるが、全ての計画条件が明確化されているわけではないため、この都市基本計画にはまだ不確定な部分を含むことになる。

しかしながら、次に続く第1次都市建設を対象とした地区基本計画に基礎的条件を呈示するための都市の基本的枠組、骨格と都市の戦略的段階的空間拡張の方向性がこの都市基本計画で策定される。

3) 地区基本計画の策定

地区基本計画はアゼリック・ゲレリ鉱床開発の段階的拡充に対応して必要な都市施設及び住宅地の部分的建設計画を策定することである。但し今回の調査・計画の対象には地区の基本計画策定までは包括されていない。

8.3 タウンサイトの検討

8.3.1 都市計画区域

1) 選定規準の検討

将来の都市の拡張余裕を見込んだ都市計画区域設定のための敷地条件は以下の6点に集約されると考えてよい。このうち、(i)の洪水・湛水対策がサイト選定に当たっては、最も重要度が高いものである。

- (i) 洪水・湛水の被害のおそれがなく水はけの良い土地。
- (ii) 工場公害を受けるおそれがないこと。(季節風, 風向問題)
- (iii) ウラン採鉱の可能性のない土地。
- (iv) 造成、掘削等都市建設工事が容易に施工できる地盤条件を持つ土地。
- (v) 必要空間規模が確保されること。
- (vi) 会社生活と、社会生活の分離が可能なこと。(職住分離の原則)

上記敷地条件の調査結果は以下のとおりである。

- 洪水・湛水の被害のおそれがなく水はけの良い土地。

テキダンテズム周辺においては場所を問わず標高 370 ~ 380 m 以下の土地においては雨季期間中、洪水・湛水のおそれがあると、言われている。更に標高 380 ~ 400 m の土地であっても場所によっては湛水が発生する箇所がある。雨季における箇所別の洪水・湛水状況について詳細な情報を確保し得ていない現段階においては、安全を考慮して、標高 400 m 以上の土地であることを敷地条件の1つとすべきである。

- 工場公害を受けるおそれがないこと。

工場公害については、2種類想定される。工場からの砂塵公害と放射能汚染の恐れである。当該地域の風向は一定しており、ほとんどが東及び東南からの風である。従って工場からの砂塵を都市がかぶらないようにするために工場の東もしくは東南方向に都市計画区域を設定する必要がある。

放射能汚染は現実的には存在しないと言われているが、住民には汚染に対する恐怖心があるため、工場と距離を持って都市を配置する必要があり、先行するウラン鉱山都市の建設の経験では通勤距離を考慮して、工場と都市の間は4～5kmの距離を保つことが適当とされている。

- ウラン採鉱の可能性のない土地。

現在部分的にウラン鉱床の探査、試錐がなされている段階であるため、試錐が実施されていない土地は全てウラン埋蔵の可能性のある土地であると言えるが古生層を形成するイレガンドウ砂岩にはウランは含有されていないと言われており、この地質が地表近くに分布する区域にはウラン採鉱の可能性がないと考えられる。

従って、この条件だけを考えるならば都市計画区域はこのイレガンドウ砂岩の基盤区域内に限定されることになるが、①今後のウラン採鉱開発の事業化に際して放棄される地区、②坑道掘りて開発されるウラン鉱床地区も、将来都市の適地となり得る可能性をもっていることに留意しておく必要がある。

- 造成・掘削等都市建設工事が容易に施工できる地盤条件を持つ土地。

地盤の支持力は、あまり荷重の大きい建造物が建てられる訳ではないのでさして重要な問題ではなくむしろ掘削作業等の施工がしやすい地盤であることが望ましい。都市の位置を最終的に決定するためにはボーリング調査と土質試験が実施されねばならないが、現時点では砂岩の露頭が認められないような土地を敷地選定条件の一つとした。

- 必要空間規模が確保されること。

これらの敷地条件を持つ土地が集合連続してまとまって得られない場合は飛び地的形態で区域が設定されることになる。後で述べるように、アゼリック・ゲレリ鉱床開発のための土地利用必要面積は、約120haであるが都市計画区域としてはアーリット、アコカンの事例から見れば少なくとも2～3倍の200～300haが必要ではないかと思われる。

- 会社生活と社会生活の分離。

就業の場と居住の場が同一敷地内にあることは、従業員の精神生活上あまり好ましい事ではなく、従業員にリラックスした生活環境を与えるために工場地より離して都市を配置する必要がある。前述のように職住間に4～5kmの距離をとればこの問題は解消される。

以上述べた敷地条件を考察して都市計画区域の設定クライテリアを以下のように想定した。

区域選定基準

- 標高400m以上(一部390mまで許容)
- 工場地から東もしくは東南に4～5km

- ・ イレガンドウ砂岩地区で岩場でないところ
- ・ 200～300 haの広さ

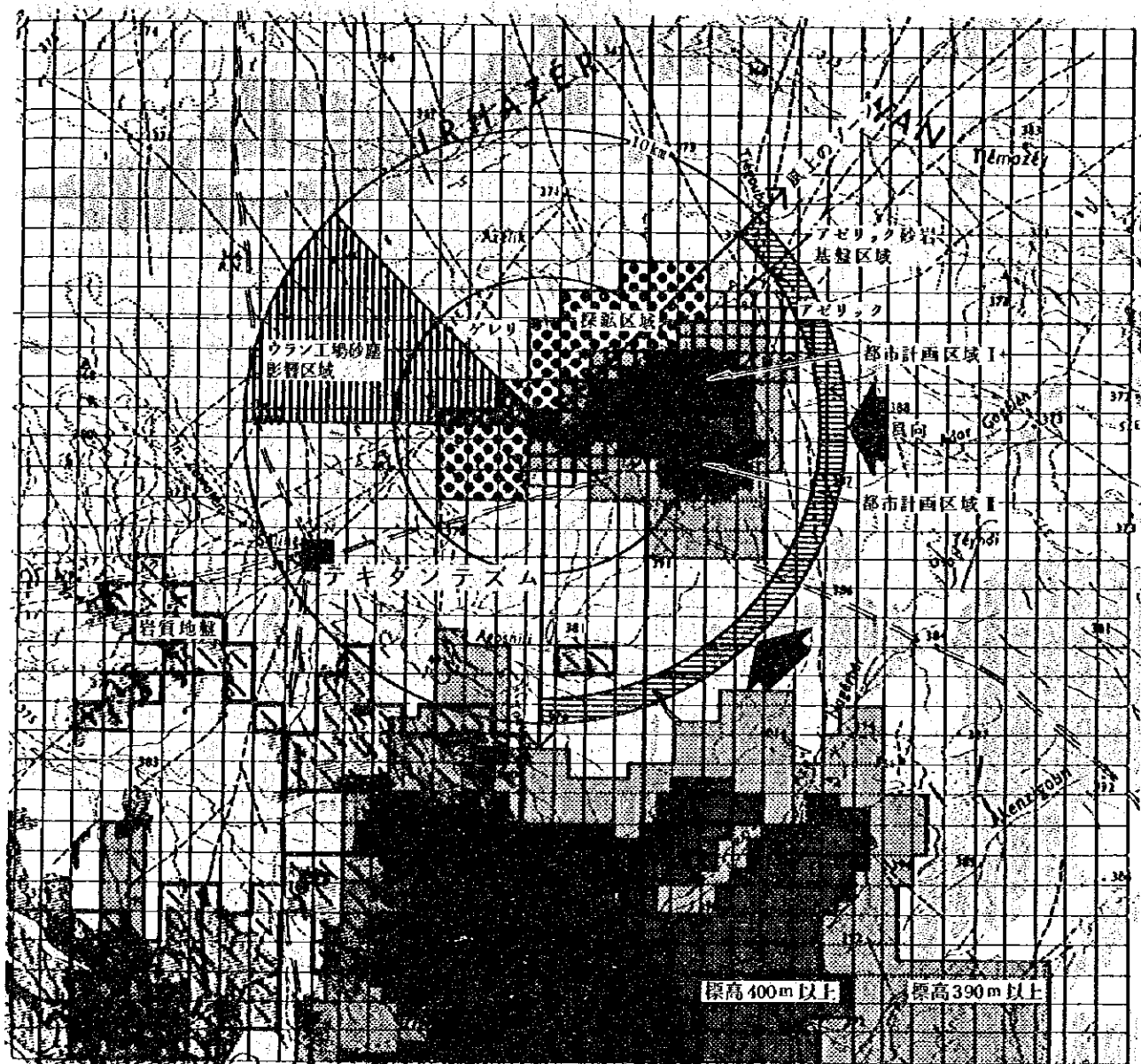


図8-2 都市計画区域図

2) 区域の選定

上記の選定基準に基づいて都市計画区域の位置を選択すれば、図8-2に示すごとく計画区域の候補としては2区域(区域I, II)が考えられる。但し、工場用地をテキダンテズムより7.5kmの位置に仮定的に設定しており、今後最終的に工場用地の位置が設定されれば、それとの調整が必要になるであろう。

これらの2地区の基本的な違いは、一方が先に設定したウラン採鉱の可能性のない地区内に位置するのに対し他方はその地区外にある点であり、後者については、今後のウラン鉱床に対する採鉱調査如何では再調整が必要になる。

8.3.2 タウンサイトの予備的選定案

前項において、都市がその範囲内に含まれるべき都市計画区域の位置の方向付けがなされたが、都市の選定に当たっては、現地踏査による地表観察に基づいて、その都市計画区域の中で特に砂岩の露頭分布、コリーの存在ならびに地形的な要素を考慮した。都市の予備的選定は以下の2案について検討を行なった。

1) ウラン採鉱の可能性のない土地と見込まれているイレガンドウ砂岩の分布区域内に都市計画区域を設ける場合。

このイレガンドウ砂岩の分布区域は図8-3に示されているごとく西から東にかけてほぼ長方形に展開しているが、この区域の地盤の基本的特性は以下の3点に集約される。

- (i) この区域の南側と北側に平行して走る地質構造線(断層線)に沿って岩の露頭と地形のみだれがみられる。
- (ii) この区域はドーム状に隆起し、台地を形成している。このため区域内に降った雨は区域の外縁部方向に流出しこの外縁部において無数のコリー(ワジ)が形成されている。
- (iii) この区域の外縁部は降雨流出水によって地表土、砂が流出して岩が露出しているがドームの稜線付近においては、まだ表層土、砂がみられる。

以上のような地形地質上の特色と踏査観察を踏まえて、この区域内における都市計画区域I及び都市(A案)を図8-3に示すように配置する。この案は稜線上に位置しているので、雨季における洪水・湛水の危険を避け、また、水はけを良好に保つ利点がある。

また、都市は東側、工場は西側のスロープに配置されるので(図8-4)工場用地と都市用地を視覚的・物理的に分離することが可能である。

2) ウラン採鉱未調査区域に都市計画区域を設ける場合。

ドーム状地形から南東に延びる稜線に沿って都市計画区域IIと都市(B案)を配置する。地盤、地形条件は、区域Iとほとんど同じであり、都市配置の考え方も同様である。

3) 選定地域の現況

選定地域(A案)は、すでに述べたように、ゆるいドームを形成し約1/100~1/150の勾配で北方向及び南方向に傾斜している。その外縁部にはコリーが形成され、部分的に岩の露頭がみられるのに対し、また中央部の比較的平坦な所は、土、砂でおおわれている。

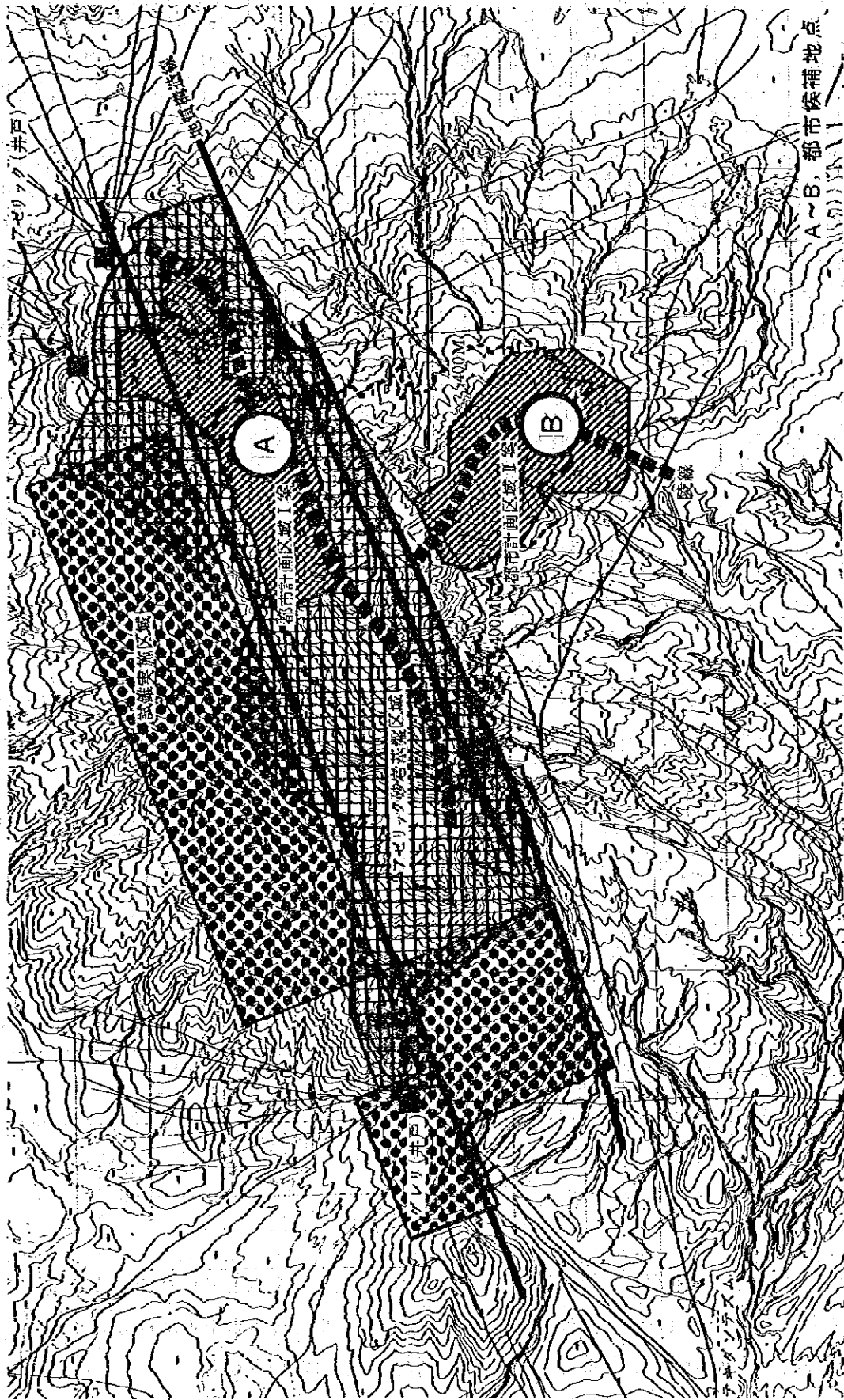


図8-3 都市計画区域及び都市の配置計画案

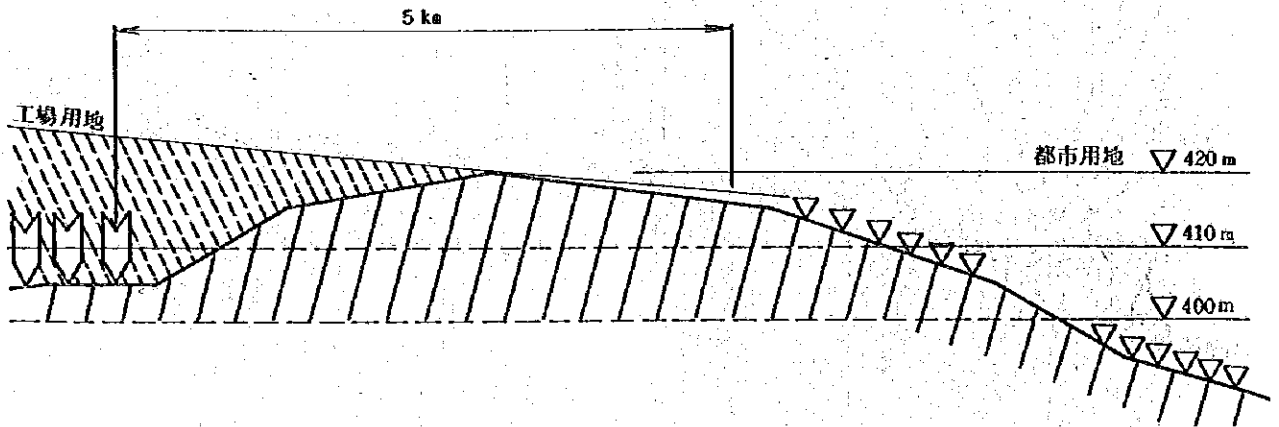


図8-4 東西稜線の横断面構成

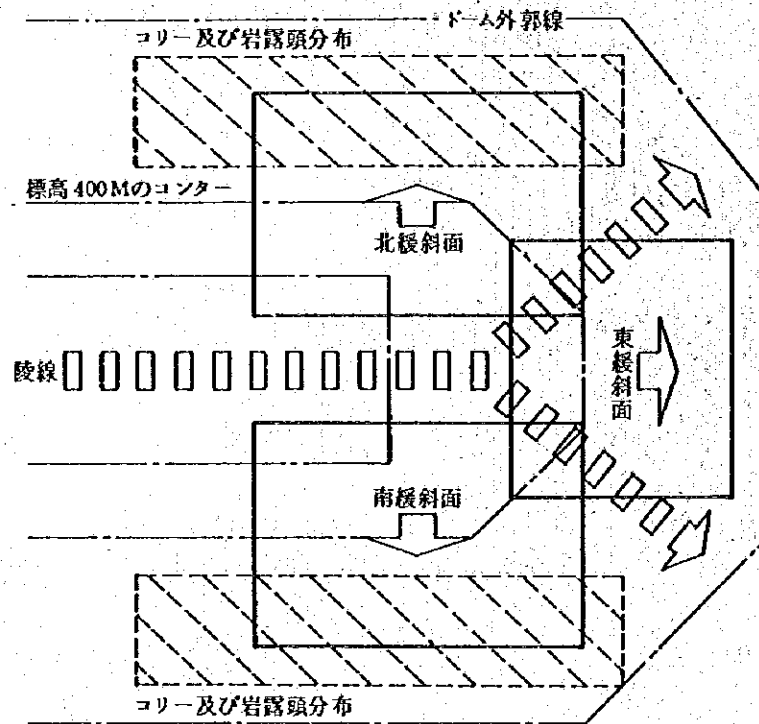


図8-5 タウンサイト現況概念図

8.4 都市の目標体系

8.4.1 目標都市形態

一般的に鉱山開発都市としては、比較的短期の鉱山操業期間を対象とした簡易な住宅区のみを建設するものから、複合的な都市機能を持つ永久的な定住都市まで種々の都市形態があるが、これは、都市形成の根幹となる鉱山開発事業の規模と持続性によって決定される。

また、当該都市では、更に、それが置かれる環境条件の特殊性が目標都市形態を決定するための重要な要素となる。

当該都市の都市形態については、以下の2点を考慮して決定する必要がある。

- 1) 当該鉱山開発事業の規模と持続性については、鉱床調査が着手された段階であるから断定はできないが、先行する鉱山開発事業の事例から見れば、従業員1,000人、操業目標年次20年が当該鉱山開発事業の標準であると考えられ、この人口規模と期間から考えれば、定住の性格が強くなるものと思われる。
- 2) 環境条件の特殊性については、当該都市が社会的に隔離される点と自然環境が苛酷である点が特記される。従業員は長期間にわたって社会的に隔離されると、精神的な安定を欠き、更に社会環境の単調さは、それを助長する。従って、従業員が家族と一諸に住む事ができて、(現地人はこの事に特に強い希望を持っている。)その上に、生活に変化を与えるための種々のサービス施設を持つ複合的都市社会が必要になる。

以上の条件を考慮して、当該都市の都市形態として、安住社会が構成され、複合的な社会サービスを供給しうる都市形態を目標にすべきであると考えた。

8.4.2 都市の規模

一定の社会機能を保持する定住社会を構成するためには、一定以上の人口規模が必要である。

会社従業員とその家族の人口は、従業員数を1,000人とすれば、1世帯当たりの人口を5.0人/世帯として、ほぼ5,000人となるが、当該都市の目標人口規模については、以下の様に考えた。

- 1) 関連人口5,000人の生活を支え、社会サービス機能を供給するために、間接部門関連人口を収容するとともに、付加的に発生する各種の都市産業の従業者とその家族人口を考慮しなければならない。

先行するアイール地域の開発都市においては、これらの人口を含めて、会社従業者1人に対して都市人口10人の割合で都市人口を構成している。これより都市人口を推計すれば約10,000人になる。

- 2) 一定の都市社会を形成し、基本的な都市施設が整備される社会単位として、近隣住区が設定され、その人口規模は8,000～12,000人である。
- 3) 先行する開発都市アーリット、アコカン、イムラーレンの目標人口は以下のとおりであるが、このうちアーリットは郡都という性格によって、アコカンは第2期の開発関連人口を収容することによって、その目標人口が大きくなっている。また、イムラーレンの都市人口をも考慮すれば、当該地域の鉱山都市のユニット規模として10,000人が想定される。

表8-1 先行鉱山都市の目標人口

	目 標 人 口(人)		
	1980年	1985年	1990年
アーリット	13,500	15,000	17,000
アコカン	8,000	10,000	12,000
イムラーレン	1,000	8,000	15,000

以上を勘案して、本調査においては標準規模として10,000人の定住都市を建設するものと想定した。

8.4.3 収容都市機能

当該都市に収容される都市機能は以下のとおりである。

- | | |
|----------|---------------------|
| 1) 住居機能 | 1. 会社従業者及びその家族 |
| | 2. 間接部門従業者及びその家族 |
| | 3. 関連都市産業従業者及びその家族 |
| 2) 商業機能 | 1. 販 売 |
| | 2. サービス・宿泊 |
| | 3. 金 融 等 |
| 3) 文化・厚生 | 1. 教 育 |
| | 2. 社会・文化・集会 |
| | 3. 医療・保健 |
| | 4. レクリエーション・娯楽 |
| 4) 行政・管理 | 1. 行政機関（役所・国県の出先機関） |
| | 2. 警察・消防 |
| | 3. 郵 便 |
| 5) そ の 他 | 1. 政治・宗教 |
| | 2. サービス工業 |

8.4.4 都市の配置パターン

都市の配置パターンは、大きく分散型と集中型に分けられる。分散型は都市のある特定の機能あるいは数種の機能をそれぞれの立地条件に応じて都市の周辺に分散・配置し都市中心部には中核的機能のみを残すものである。一方集中型はそれらの全ての機能を一箇所に集中させるものである。

分散型の都市パターンとしては次の様なパターンが考えられる。

(i) 都市機能を既存都市に分散・吸収させる。

これは労働者をテキダンテズムに住ませ、テキダンテズムより都市、あるいはテキダンテズムより工場の通勤輸送サービスを与える形態である。

(ii) 都市機能を既存井戸周辺に分散・吸収させる。

これは労働者住区を既存の井戸の周辺に分散・配置する形態である。

更に、将来にはこれらの分散地区を核にしてそれぞれの地区の特性に応じた地域開発の発展を図る。（図8-6参照）

本鉾山都市が集中型、分散型のいずれを採るべきかについては、今後の検討をまたなければならないが、集中型の方がより都市らしさを創造するのに有利であろう。先行する鉾山都市の事例等を考慮して本調査においては、集中型都市を検討することにした。