

マダガスカル民主共和国

南部地域生活用水開発計画基本設計調査

報 告 書

(資料編)

昭和56年1月

国際協力事業団



マダガスカル民主共和国

南部地域生活用水開発計画基本設計調査

報 告 書

(資 料 編)

JICA LIBRARY



1062946[7]

昭和56年1月

国 際 協 力 事 業 団

国際協力事業団	
受入 月日 84.8.22	409
登録No. 13524	618
	SDS

マダガスカル民主共和国
 南部地域生活用水開発計画基本設計調査報告書
 資料編目次

オ1章. 調査対象地域の概況	
1-1. 計画対象地域の位置	1
1-2. 気象・水文	3
1-3. 地形・地質	7
1-4. 地下水	15
1-5. 人口分布	66
1-6. 現況の生活用水使用量の推定	69
1-7. 既存の生活用水施設の状況	74
オ2章. 水資源開発の可能性	
2-1. 概論	90
2-2. アンボボヘ周辺の地下水帯(畝水)	91
2-3. アンボドロ地区の畝水	96
2-4. マンドラレ川の表流水及び伏流水	99
2-5. マナンボボ川の表流水及び伏流水	100
2-6. ベマンバ川の伏流水	102
2-7. 深層地下水	103
オ3章. 生活用水開発計画	
3-1. 生活用水確保のための計画対象地域の選定	105

3-2. 生活用水開発計画	109
オ4章. 事業計画	
4-1. 計画の基本条件	115
4-2. 施設計画	117
4-3. 実施計画	139
4-4. 事業費積算	149
オ5章. 維持管理計画と経費	
5-1. まえがき	160
5-2. 維持管理の重要性	162
5-3. 維持管理体制の整備	162
5-4. 年経費	166
5-5. 水価	172
5-6. 給水管理規定(案)	173
オ6章. 将来計画としてのパイプライン計画	
6-1. ポンプ施設計画	178
6-2. 集水埋きよ	196
6-3. 配水池の規模	199
6-4. 仮設備	200
6-5. 工事費	203
6-6. 維持管理費及び水価	205

第1章 調査対象地域の概況

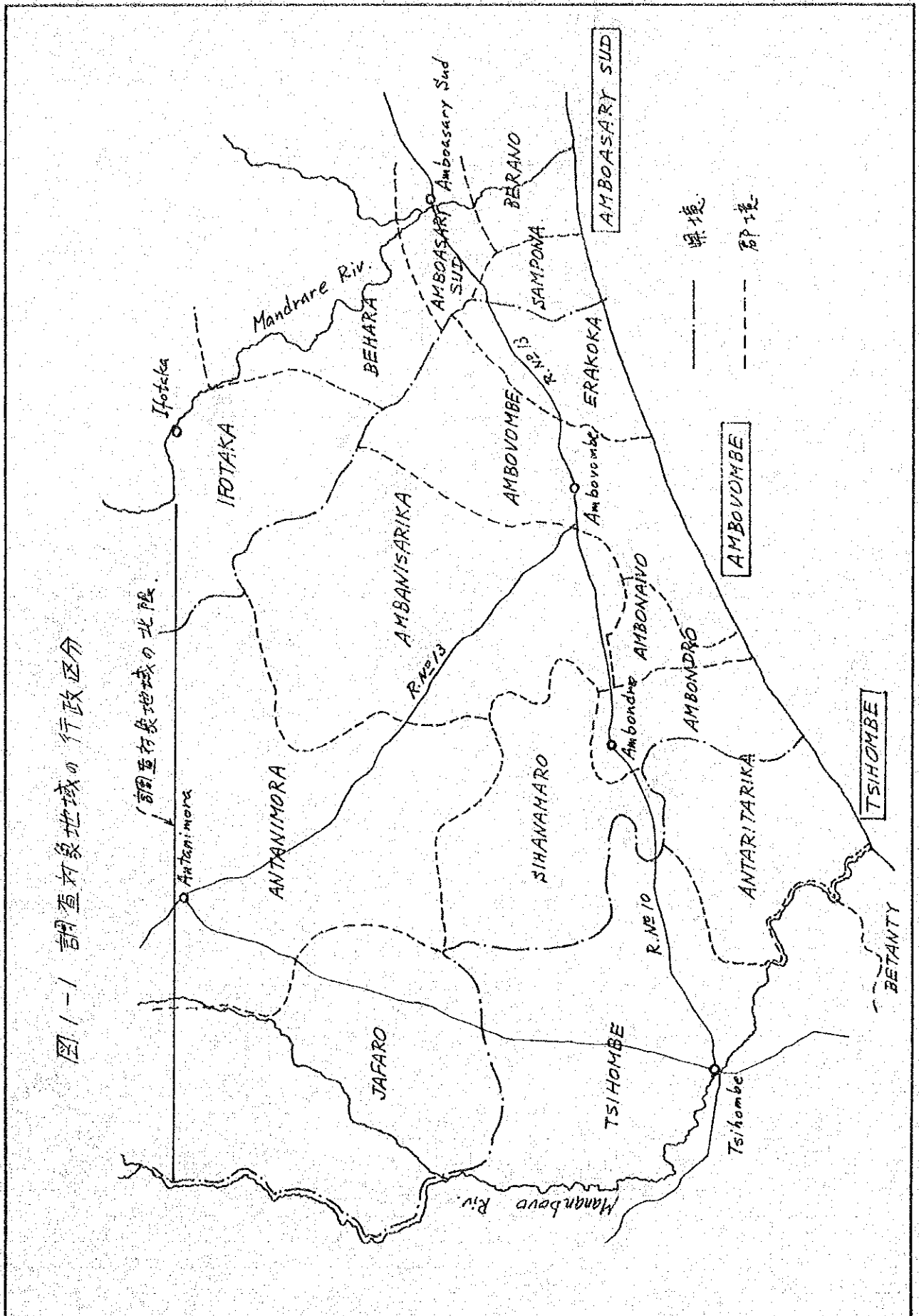
1-1. 調査対象地域の位置

事前調査の結果、決められた調査対象地域は、東にマ
 シラレ川、西にマタンボボ川、北にイワカ-アタ=エラとエダ
 川、南にインド洋に囲まれた面積 5,500 km² の地域に
 ある。この地域は、マダガスカル民主共和国の南東部に位置
 し、アンタニハ^州に属し、アンボソニベ^県、アンボ^県、アン
 ボサリ^県の3県にまたがる地域である。~~この~~
 行政区別の面積及び人口を表す以下の表がある。

調査地域の行政区別面積及び人口

県	面積 km ²	人口 (人)
アンボソニベ	3,750	78,851
アンボ	1,040	27,833
アンボサリ	710	20,943
計	5,500 km ²	127,627 人

图1-1 調查対象地域の行政区分



1-2. 気象・水文

(1) 気象

計画対象地域は熱帯性半乾燥気候帯に属し、年間を乾期と雨に別けることが出来る。4月から10月まで続く乾期には雨量は少なく比較的湿度も低い。一方、11月から3月まで続く雨期には雨も多く湿度も高い。

当計画地域を代表するアボボンベ市における年間雨量は約630mmであり、乾期の7ヶ月間に年間雨量の約40%が降り、これに対する雨期の5ヶ月間に約60%の降雨量が見られる。

気温について見れば、乾期の月平均気温は18~23℃であり、雨期の月平均気温は24~27℃となる。

月平均降雨量

地名 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
アボボンベ	85.0	51.7	74.3	54.1	52.1	45.6	37.0	21.0	28.0	24.0	59.0	92.8	625.6

注) 単位: mm

*) 1967~1977年の13年間の平均

月平均気温

地名 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
アボボンベ	24.05	26.70	25.66	22.80	21.46	18.35	18.35	22.10	20.20	23.10	23.80	24.00	22.54

注) 単位: °C

ただし、降雨量について 観測資料の整っている最近65年を見れば、年間の降雨量が平均で約540mmとなっている。又、乾期 雨期の区別も不明確となり前述の如き区別を行なったとしても、降雨量の比率は等くなる傾向にある。即ち、年間を通じて雨が降り易くなっているが降雨の絶対量は減少の方向にあるという、以前の状況からは異った様相を呈している。

当地域の湿度について月別の推移を見れば次表の如くであり、乾期(4月~10月)では平均56%、雨期(11月~3月)では平均63%となっている。

平均相対湿度

地名 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
アンホボンバ	63.0	66.8	62.5	56.0	56.7	57.7	62.0	52.0	53.0	54.3	58.7	62.0	58.8

注) 単位 (%)

1) 1970~1973年の12時における観測値の平均。

昼夜の湿度の変動幅は、乾期では平均29%、雨期では平均18%となっている。乾期に湿度の変動幅が大となっているため、朝方にかなりの夜露が見られる。当地域内の一部に、乾期においても作物(甘藷、落花生、キャッサバ等)が栽培されているのは、この夜露を利用しているものと思われる。

当地域の特色の一つとして、絶えず東風が吹いており、各月の平均風速は24~28km/hで年間を通じてほぼ一定している。この風がこの地域の乾燥に関して大きな影響を持つものと思われる。

(2) 水文

当計画地域の西側を流下するマナンボボ川はマナンビエン山麓階の西端に源を發し、チオンベ市近傍を通り、フオカフアの東側に河口をもつ長さ165kmの川である。

その流域面積は4,100km²で、流域の降雨量は500～700mm/年である。

チオンベ市に流量観測所が設けられ、流量が観測されているが、1968～1979年の12年間の月平均流量は次の通りである。

マナンボボ川の月平均流量

月 観測所	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
チオンベ	16.9	30.1	31.8	23.0	14.3	9.8	5.8	4.0	1.5	0.5	0.7	3.0	11.8

注) 単位: m³/sec

これに対して、地区の東側を流下するマンドラレ川はアジエンヌ山脈とマナンビエン山麓階にその源を發し、ラノミンテ市、イフカ市、マホアサルスド近傍を通り、アニー湖の西側でインド洋に流れ込む長さ270kmの川である。

流域面積は12,600km²で、流域内における降雨量は600～1,000mm/年であり、水源が降雨の多い山塊の中にあるため、流量もマナンボボ川に比して多く、生活用水供給の水源としては有望である。

アホアサリーストドに流量観測所が設けられており、流量が観測されているが、1968～1978年の月平均流量は次の通りである。

マドラーレ川の月平均流量

月 観測所	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
アホアサリ	436	68.2	177	135	112	32.8	16.7	11.3	8.4	7.8	6.2	9.3	52.3

注) 単位: m^3/sec

*) 1975～76年の観測資料はない。

1-3 地形・地質

1. 地形

Madagascar島の骨格は、先カンブリア紀の変成岩類により構成され、島の中央部は南北に延びる標高1000~2000m程度の準平原状の山陵が形成されている。

調査の対象となったAmborombe盆地は島の南端部に位置し、この山陵とインド洋に挟まれた約5,500km²の地域で、東西の境界は北部山陵地帯を源頭とするMandrare川とManaroboro川がインド洋に流入している。
(調査地に隣接する地域は標高150~600m程度)

盆地内は、表層堆積物により広く被覆され、全般的に標高130~300mの範囲で緩やかなアンジューレーランしている。このなかで、海岸沿いに分布する標高150~300mの第四紀砂丘性の台地が特徴的で、内陸側のAmborobe Sarimonto付近には標高120~130mと低くなっている。猶ほ、北部の山陵と海岸の台地に挟まれてAmborombe盆地が形成されている。また、北部のAntanimoraからAmborombeにかけて北西から南東に延びてAnipamoraの沖積低地帯が形成されており、この低地帯に、北部山陵よりBembanliを始末する数条の小河川が流入している。この等々の河川は、乾期においては、河水の流路が途中で消滅する氷無川とされている。しかし、雨期には、標高の低い下流域では、冠水又は湿地帯が形成された模様である。

調査地域の東縁部を流れるMandrare川は、1000の緩い勾配で貫流しているから流れ、川幅も広く、小量(學堂で解明)の流水が認められる。一方、西縁部のManaroboro川の河川勾配は約1/600で、乾期の数ヶ月間は涸れ川となるが、年流水は12月、1年中賦存している。

2. 地質

Amborombe盆地の地質構成は基礎のSocleと堆積岩類に大別される。Socleは Tsirombe, Antanimora, Ifotaka, Ambasary と記述。吾島に、緯度北側に分布し、堆積岩類は Amborombe を中心とする南側に南 ^(埋積岩の) 盆状地形部に分布する。

Socle は、フロンツリア紀の変成岩類と、白堊紀の火成岩類とからなる。南部地区の変成岩類は、Madagascar島に広く分布するフロンツリア紀の地層のうち最も古い Androyen 系 の大半から構成されておられ、その岩種は、片麻岩、シキタイト、輝岩等である。本系列は Antanimora の東約 20km 隔てた南側地区と、Mandrave 川左岸側に分布する。

Ifotaka を中心とする東側地区には変成岩類を全く白堊紀の玄武岩流紋岩が分布する。

堆積岩類は、下から Neogene, Quaternaire, Alluvions An- 褐色砂、白色砂礫の表層堆積物である。

Neogene は 陸成の堆積物で 粘土岩、粘土質砂岩、砂岩、礫岩、Arène 等より構成される。試錐結果には Amborombe 盆地全域でその分布が認められるが、^(一般的に、堆積物の被覆している) 現地の地形起伏が小さく、Socle が 地下深所に存在する北面地域で、わずかに露頭を観察できる程度である。Neogene の 基層分布深度は、図 1 に示す通り、南部に徐々に深く分布し、海岸に付随して標高 100m に至る。本系列の厚さは、Ampamabora 付近で 100m 前後と推定されたが、南側の Amborombe では急激に厚さを減じ、厚さはわずか 2m と推定された。

Quaternaire は Neogene を不整合に覆う砂質性の堆積物で、砂礫石層の砂礫石が特徴的である。本系列は、地形的に古砂丘 (Acyorrien), 中流砂丘 (Kavimbolien), 現流の砂丘 (Flandrien) の合計で成る。古砂丘は Amborombe 盆地の内陸部で、標高 124m の 70m の台地に広く分布している。中流砂丘は

海岸線とほぼ平行に 幅 150m~300m の台地に分布しその厚は 100~150m に
およぶ。尚、本所の分布地域の砂丘地帯は表層部は石灰質軟岩が形成されている
ことが多く、海岸線に沿って石灰質部には多くの貝化石を混入しているのが特徴的
である。現在の砂丘は標高 40m 以下の海岸線に沿って細長く分布している。

事前調査の報告書において、Miocene と Quaternaire の境界については、UNDP の
報告書と、マダガスカル地質調査所の資料の相違点について問題点が提示され
ていたが、Besery (1959) の報告書に基づき記載された Quaternaire の地層物
には、Quaternaire の特徴的な化石が含まれていることから、マダガスカル
地質調査所の解釈に基づいた。
(本文で区別)
(本文で区別)

表層地層物として、盆地内には褐色砂が広く分布しているが本所の下位
に分布する Quaternaire と一連の地層物と予想される。

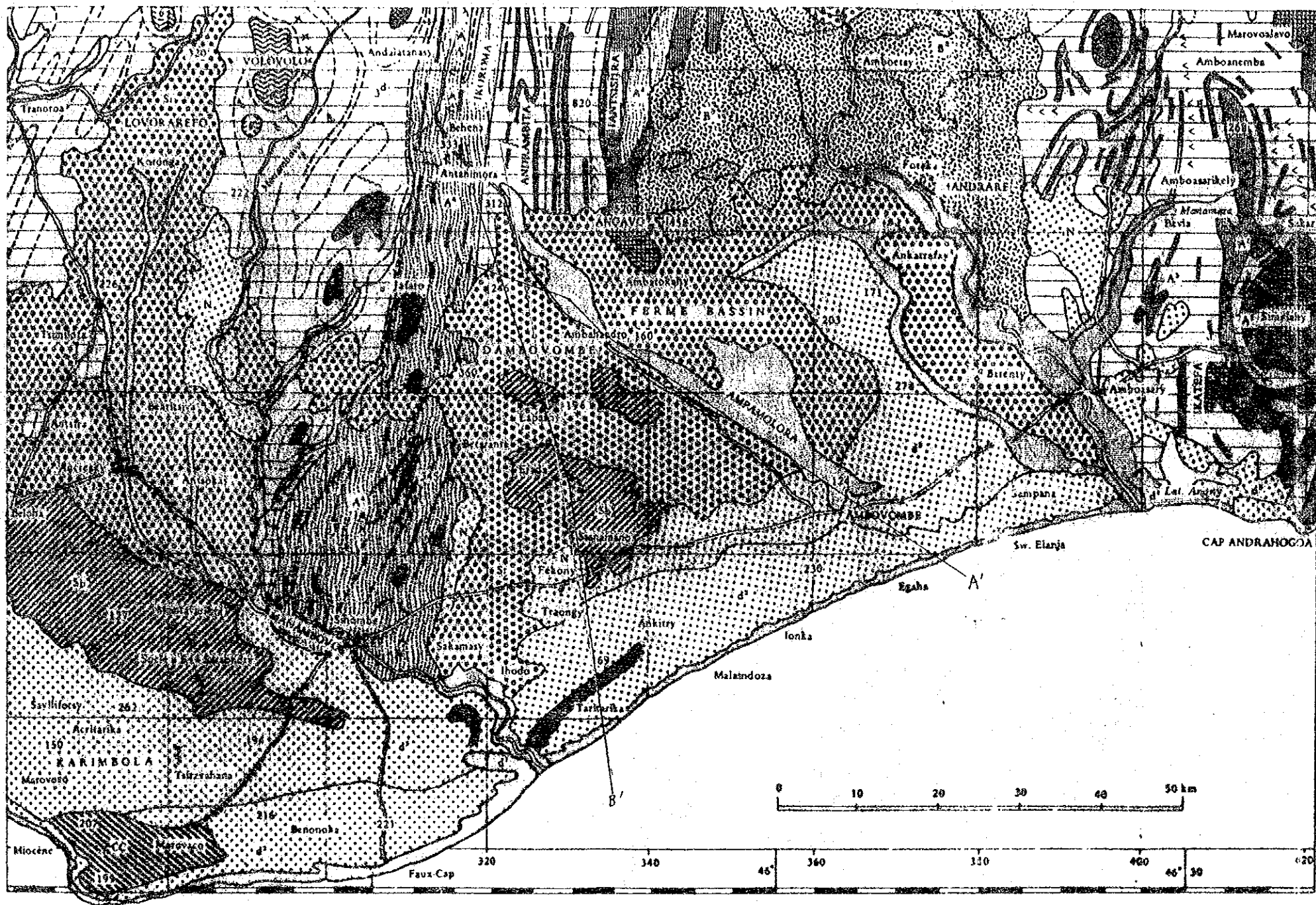
又、白色砂は、Ambondro 周辺とその北面地域に分布しており、褐色砂より
はるかに地層物である。本所は褐色砂の隣接する白砂
地帯には、下に褐色砂の分布が例として報告されているが、調査地内でも同例
は認められるが、

Ampambara の沖積地帯には、湖沼性の泥炭地層物が分布しており、その
厚は、最大 10m 程度と推定される。

Madorava 川、Manambovo 川 等の河床部には、流くルースな砂石の
分布している。

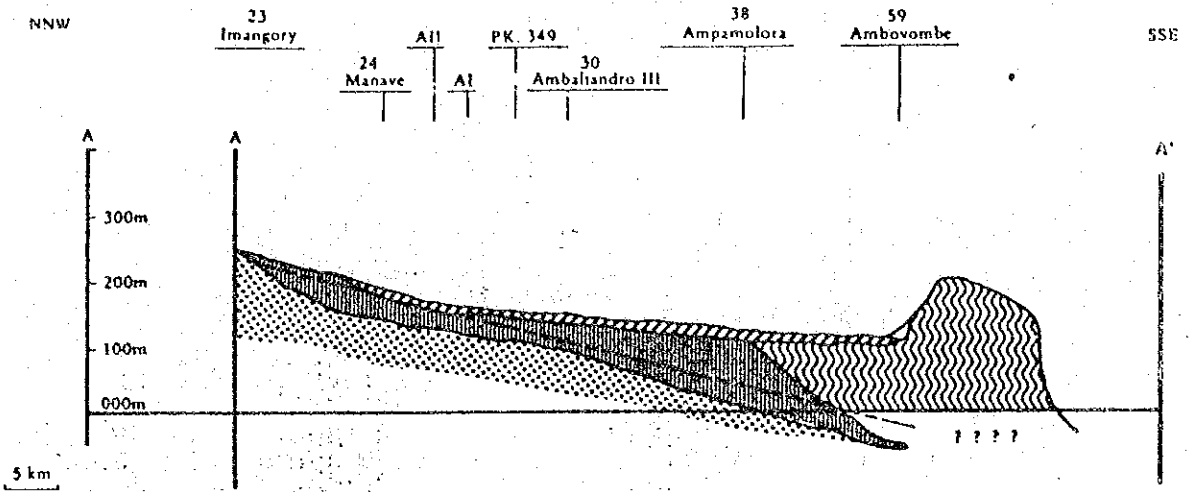
二小岩の地層分類は、Ambovombe 盆地全体にわたって南東に向って徐々に傾斜
構造を示している。又、断層帯として、^{最近の}地質調査の結果等から、Ampambara の沖積地帯
沿いに北東-南東に延びる断層が推定されているが、基礎岩内の部には割裂面は断層と推定される。

注: Alluvions, 褐色砂、白色砂は広義の Quaternaire に含まれる物であるが、
(の表層地層物)
貸与された資料では、113 号の Quaternaire と区別して記載されているので、ここで特
記を区別した。

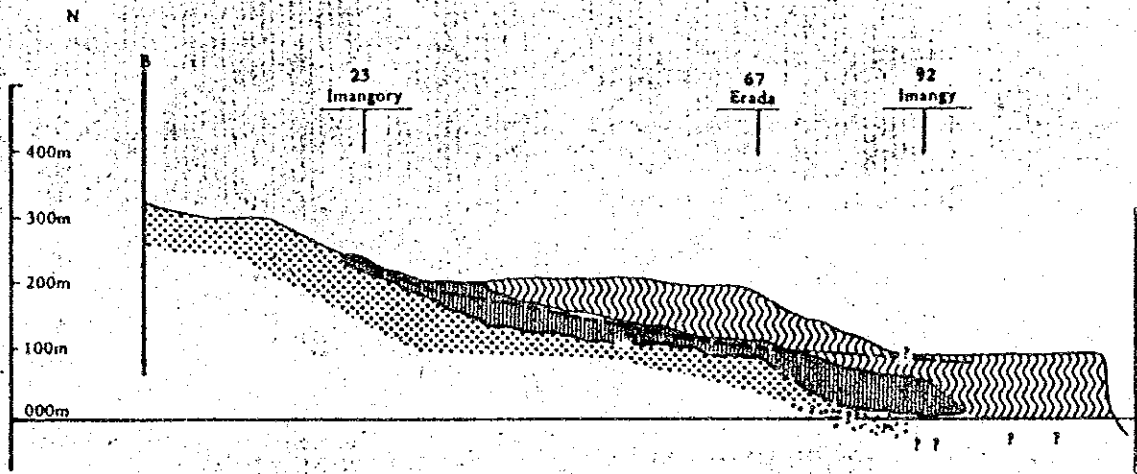


- | | | | | |
|--|------------------------------------|--------------------|---------------|--|
| | Albyons | | | |
| | Sables blancs | | | |
| | Grès à Acpyornis et Clavator | | | |
| | Dunes vives | | | |
| | Dunes karimboliennes | | | |
| | Grande dune tatsimienne | | | |
| | ac: Carapace sablonneuse | | | |
| | sr: Sables rouges | | | |
| | Carapace calcaire | | | |
| | Néogène continental | | | |
| | Basaltes supérieurs | Volcanisme Cretacé | | |
| | Rhyolites | | | |
| | Basaltes inférieurs | | | |
| | Microgranites | | | |
| | Microsyénites | | | |
| | Systeme du Graphite | | Socle Crétacé | |
| | Leptynites à graphite | | | |
| | Leptynites à granat | | | |
| | Leptynites granitiques | | | |
| | Amphibolites à hypersthène | | | |
| | Pyroxénites | | | |
| | Wernériques, Pyroxénites, Cipolles | | | |
| | Leptynites, Quartzites | | | |
| | Gneiss à cordiérite | | | |
| | Leptynites à bordiérite | | | |
| | Granite | | | |
| | Anorthosite | | | |
| | Granites et charnockites | | | |
| | Quartzite | | | |
| | Cipolin | | | |
| | Pyroxénite | | | |
| | Graphite | | | |
| | Codiérite | | | |







图-1-3 地质断面图



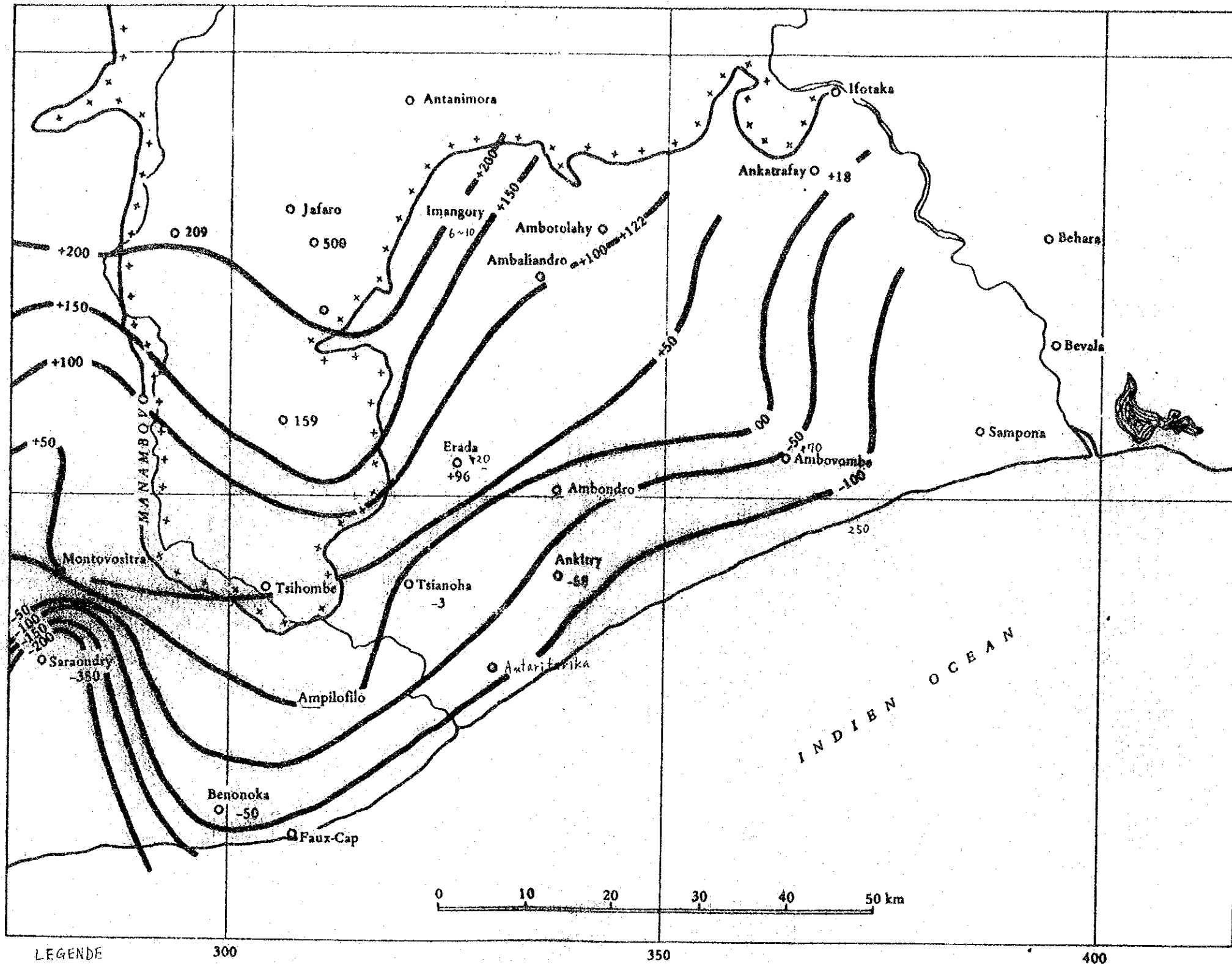
Dess. RAMARISOLOFO Ch.



Legende:

-  Sabies
-  Alluvions
-  Quaternaire
-  Néogène
-  Socie
-  Niveau piézométrique

1-4
 図-● 新第三系基底の等深線図



LEGENDE

x+x+ Limite du socle cristallin

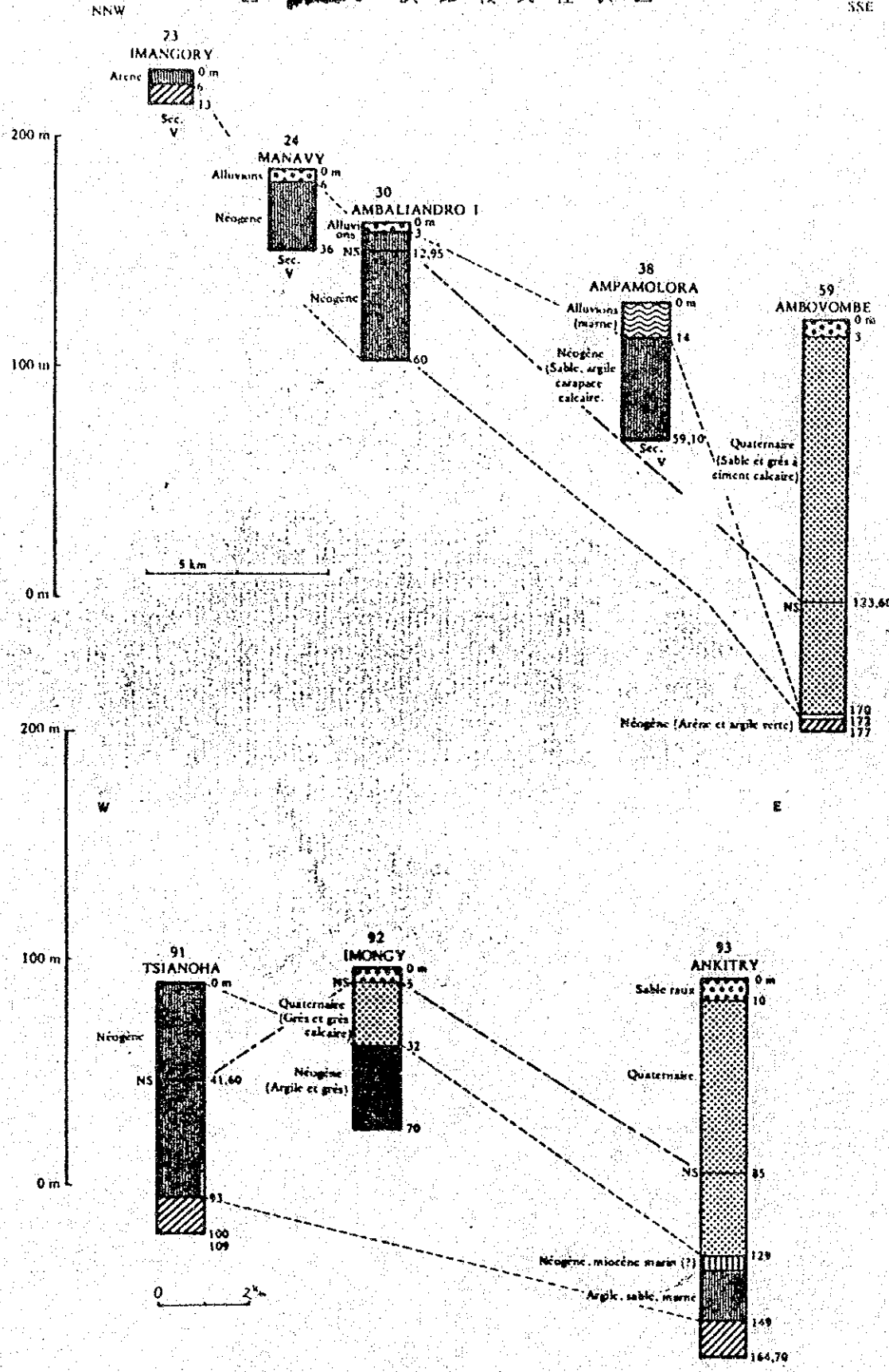
+100 Isobathes du toit du cristallin

+170 des basalt

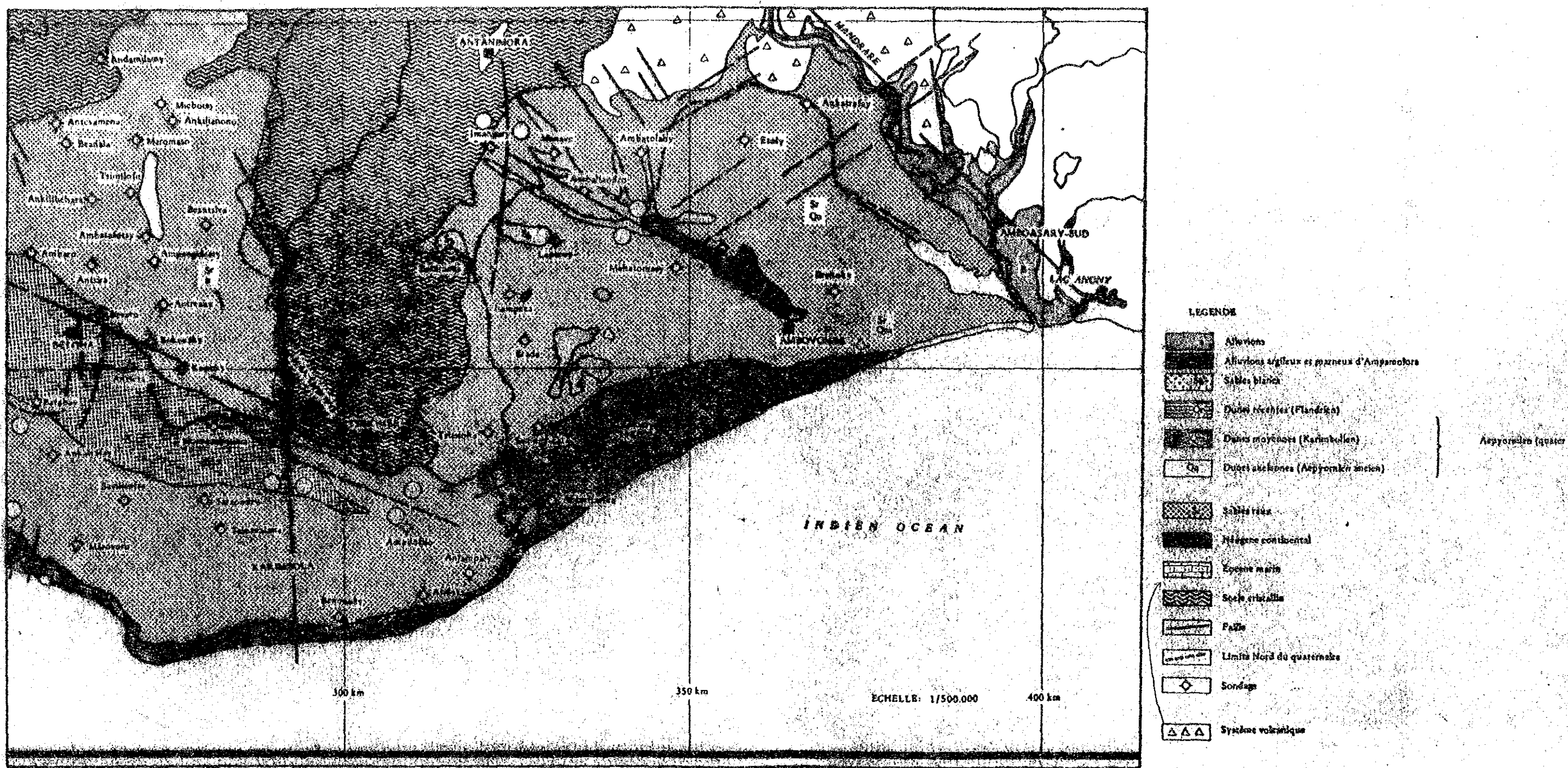
○ Ankilibehara côte du substratum dans un forage + 210

• 290 côte d'un affleurement

1-5 試錐模式柱状図



1-6 Ambovombe 盆地の地質構造図



1-4 地下水

調査地域の地下水は、その水理地質条件より次の10種に分類される。

- 1). 河川の伏流水。
- 2). Ambovombe 周辺の潜水。
- 3). An. bondro 周辺の潜水。
- 4). Antanimora 周辺から南東地域の浅い地下水。
- 5). 海岸線の地下水。
- 6). 深部地下水 (主に Neogene に滞水されている。)

以下、各地下水区分毎に記載する。

1). 河川の伏流水

1. 地形 地質

調査地域には、北部の Socle 地帯を源頭として北洋に流下する Mandrare 川、Marambovo 川の大きな河川と、下流側で流路が消滅する Imangory 川、Bemanta 川、Behimaty 川、Lapasy 川等の小河川が認められる。

このうち、乾季には河川に表流水があるのは Mandrare 川のみである。また、河床堆積物の砂が厚く堆積し、伏流水の賦存が確認されている河川は、Mandrare 川、Marambovo 川、Bemaba 川等である。

内陸側小河川は、河川流域面積が狭く、上流側の Socle、Neogene の分布区域にはその流路が明瞭であるが、下流側の Ampamloka の沖積低地帯では流路が消滅し、流床の湖沼堆積物が広く分布している。

2. 伏流水の利用状況及び水質

① Mandrare 川水系

Mandorare川は1年周を週に、表流水が(あり)流域の住民は
この表流水を利用しているが、伏流水は(最も)伏流水が豊富と予想されたが、
伏流水は活用されていない。

上流側より Ifotaka, Ambasary, Berano で表流水を対象に
水質分析を行なったが、電気伝導度でみれば Ifotaka < Ambasary <
Berano の関係にあり 上流側の方が水質が良い。

水質分析の結果は、WHO の水道水質基準値内にある。

- 水温 $16.7^{\circ}\text{C} \sim 24.0^{\circ}\text{C}$
- 電気伝導度(25°C) $195 \sim 503 \mu\text{S/cm}$
- 水素イオン濃度 pH $6.4 \sim 7.0$

② Manambovo川水系

Manambovo川本流へ付、伏流水が Thikombe の上水道水源と
して活用されており、現在、日量 150 m³/day 程度の揚水が行われて
いる。
(JIRAHIA が管理)

この上水道水源の水質は 電気伝導度が $2,500 \mu\text{S/cm}$ と高く、WHO
の基準と対比して、塩素付 211.5 ppm 遷移性物質 1512 ppm と
高く、最大許容値を越えている。この上水道水源付近では、深さ
 $20 \sim 30 \text{ m}$ 程度の物量の 1000 m^3 かに分布するが、電気伝導度は $955 \mu\text{S/cm}$
と低い。

支流の Sakamasy川へ付、おおかた伏流水が認められるが、
Sakamasy川近辺では塩分濃度の高くなるのが特徴で、6100 $\mu\text{S/cm}$
を示している。Sakamasy川との合流点より下流側には、流路に隣接して
Iliodo池と呼ばれる塩湖 ($5000 \mu\text{S/cm}$ 以上) があり、製塩が行われて
いる。

この Sakamasy川支流の Edreha へ付、 $285 \mu\text{S/cm}$ の伏流水が
認められるが、水量は非常に少ない。

③ Bemamba川水系

Bemamba川上流 Antanimora付近の Sode 地帯は、多くの支流があり、そのうち伏流水、表流水等が認められる。

Antanimora の公共用井戸として コンクリート枠取かご 井戸がある。
(井戸深さ 7.1m, 地下水位 6.1m)
 この井戸は泥に設けられており、表層部には礫層と砂が分布する。

Bemamba川本流の上流側は Andranobe川 の沖積河床から 10m~30m 程度で伏流水が帯水している。しかし、下流側では Sode の割水層、Neogene 地層に似た模様で、下流約 8km の Bemamba 付近では、伏流水は認められない。

Thimanda川には表流水があり、堰が設けられ以前は、Antanimora の上水道水源として利用されていた。この表流水は扇状地形の末端部より流出するもので、 $66 \frac{m^3}{d}$ の流量が観測された。

水温、電気伝導率、水素付濃度の値は以下の通り。

水温 $16.0 \sim 22.5^{\circ}\text{C}$

電気伝導率 (at 25°C) $850 \sim 1170 \frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}$

水素付濃度 pH $6.8 \sim 7.5$

又、WHO の基準と比較すると、無害物質が最大許容量 500 ppm をオーバーしている。

表 1-1 河川·表流水·伏流水·水管分析一览表

名称	Handyren川水 Jfotaka	Handyren川水 Ambasary	Handyren川水 Berano	Handyren川水 Tshombel	Handyren川水 " (2) Androsobe Ra	Handyren川水 Berano	Handyren川水 " (2) Androsobe Ra	WHO 最大容許濃度(PPM)
採水日	1980.8.7	1980.8.7	1980.8.7	1980.8.23	1980.8.20	1980.8.20	1980.8.20	
採水層	表流水	表流水	表流水	伏流水 河床埋藏物	伏流水 河床埋藏物	伏流水 河床埋藏物	伏流水 河床埋藏物	
水素イオン濃度 (PH)	7.0	6.4	7.0	2.0-2.2	7.5	7.5	7.5	7.0-8.5
重碳酸 HCO ₃ (PPM)	103.7	134.2	149.5	363.0	381.4	570.5	546.1	
塩素 (CL) (PPM)	11.9	49.2	63.8	70.5	711.5	172.9	139.6	200
亜硝酸性窒素 (PPM)			0		0.2	0	0	
硝酸性窒素 (PPM)			0		16.1	0	0	10.2
アミノ二性窒素 (PPM)	<< 0.5	<< 0.5	<< 0.5	<< 0.5	<< 0.5	<< 0.5	<< 0.5	
硫酸 SO ₄ (PPM)	0	0	0	190.9	191.4	100.4	97.9	200
全硬度 (PPM)			13.6		46.4	19	16	500
カルシウム Ca (PPM)			40.8		79.2	45.6	43.2	75
マグネシウム Mg (PPM)			8.2		64.6	19.7	12.6	50
マンガン Mn (PPM)	<< 0.05	<< 0.05	<< 0.05	<< 0.05	<< 0.3	<< 0.2	<< 0.05	0.1
鉄 Fe (PPM)	< 0.1	<< 0.1	< 0.1	< 0.1	<< 0.1	<< 0.1	<< 0.1	2.3
電気伝導度 (μS)	460	950	1090	6760	3190	1470	1400	
亜鉛残留物 (PPM)	103	235	230	946	1512	795	669	500
亜銅残留物 (PPM)	93	162	183	519	1258	718	523	

上水道水

WHO: 国際保健機関 国際水道水質基準

Japan Engineering Consultants Co. Ltd

Japan Engineering Consultants Co. Ltd

2) Ambovombe 地区の留水

1. 地形、地質

(地形)
 Ambovombe は Antananarivo を中心とする中央高原の南端部に位置し、町の南に東西両翼部は標高 200m 前後の砂丘、堆積物の為りによって囲まれている。また標高 130m 前後の Ambovombe 付近は北側へ南にた盆状の地形を示している。

この沖積低地帯の上流側は北部 Socle の分布する山岳地帯と原頭となる Bemamba 川、Behimoky 川等の河川が流入し、その流路が確認できるのは Ambovombe の北方約 40km の Manava 付近から、下流側の Amparolava、Sarimanolo を中心とする流域には、粘土質の湖沼堆積物が表面部を被覆している。

乾期はこの沖積低地帯も広く乾燥状態になるが、雨期になると留水水域が存在する。留水は泥水に似た模様である。

Ambovombe 市街地は、この沖積低地帯に隣接し、表面部は同じ色の地帯と同様、褐色砂に覆われている。

(地質)
 Ambovombe 付近の地質列序は、以下に示す地質調査所の図表に基づき、下部から次の様に区別されている。

- Socle
- Neogene
- Quaternaire

Socle は 先古生代 の 片麻岩類、中生代 の 玄武岩、流紋岩類の露出し、Ambovombe 地区への深さ 172m の片麻岩が確認されている。

Neogene の堆積物は、一般に陸成の堆積物とみなされ、粘土質の砂、砂質粘土、礫岩、Arenes 等により構成されている。Ambovombe 周辺は北側地帯

と異なり、Neogene は非常に薄く、厚さ 170 ~ 172 m の範囲で *Mura* が確認されている。

Quaternaire は砂土の堆積物であるが、砂土を主体とし、石灰質の固結した層を挟むことが多い。Quaternaire が堆積する時と *Amborombe* における湖沼が形成された時に比べて著しく浅く、深度 50 m 以下の河川位置に粘土質の堆積物が数枚挟まれている。この粘土質の堆積物が不透水層となり、地下水が別層に貯留している。

現在、表層堆積物として褐色砂が記載されているが、Quaternaire との境界が不明確である。特に両者は区別せず、亦しくは一連の堆積物として記載した。

2. 水文、気象

Amborombe 地区は同標高以下の水域には 52 あり、地区外への天水の流出は多量である。したがって、雨量、蒸発散量のデータより地下水涵養量が決められる。

1967年～1970年の13年間の平均値は 626 mm/year である。

(蒸発散量)

Thornthwaite の計算法 *1, 958.52 mm/year

Turc の計算法による潜在的蒸発散量 *2, 1517 mm/year

J. Requier 氏の実測値 *3, 561 mm/year

注. *1. マタガスル地使調査所の貸与資料.

*2. Hydrogeologie De L'Extreme-Sud (1976) に記載されている値.

*3. *2の計算, 奥測与度不明.

蒸発散量は, 雨量と比較して S. Requier 氏の蒸発値か, 最も現実的と値と判断される。

3. 取水設備の地下水利用の概要.

Amborombe 地区の生活用水は, 一部の公共機関を除き, 大半が市街地を中心とする浅井戸に依存している。

地区別々井戸施設の調査と, 33地点の調査結果から, その分布状況は井戸分布図に示す通りである。

Amborombe 地区の浅井戸の特徴を列記すると次の通りである。

a). 井戸の所有.

Amborombe の浅井戸は, 全人口の所有とあり, 一般の住民は開放式水井戸は存在しない。汲み揚げ式水井戸の大部分は周辺の住民へ販売されている。

b). 井戸の種類と取水設備.

VOVO: 調査所 18ヶ所.

大半の井戸が VOVO に属しており, 調査点数以外に, 同様に VOVO 群として記載した地域には多数の VOVO が分布する。

1ヶ所水井戸, 圧水井: 調査所 12ヶ所.

管井: K₁, K₂, K₃ の3ヶ所に分布.

取水方法は, K₁ の風車井を除き, 他の井戸は全て揚水機または揚水バケツで汲み揚げている。

c). 井戸の深さと地下水位

本町内の井戸群は、 $10^m \sim 20^m$ の範囲で、地下水の標高は、 $115^m \sim 120^m$ とおこしている。

なお、 $K_1 \sim K_4$ の井戸群の地下水位の標高が異なる、標高 105^m 未満に位置している。

なお、各井戸の水深は、 K_1 の井戸群を除き、^{（平均）} $10^m \sim 20^m$ 程度が非常に浅い。

d). 井戸の分布と利用状況

住宅地の繁集する町の中心部から、町の周辺部へ ^{（西側）} 井戸の分布が認められる。

町の北側に分布する井戸は、農村場内大径の水車の回線が少なく、良好な井戸とされている。

最も良好な井戸は、町の東側に分布する北西-南東に延びた $\text{V} \cup \text{V}$ 群と南側 ^{（北位置）} K_1 井戸の $\text{V} \cup \text{V}$ 群に二分される。

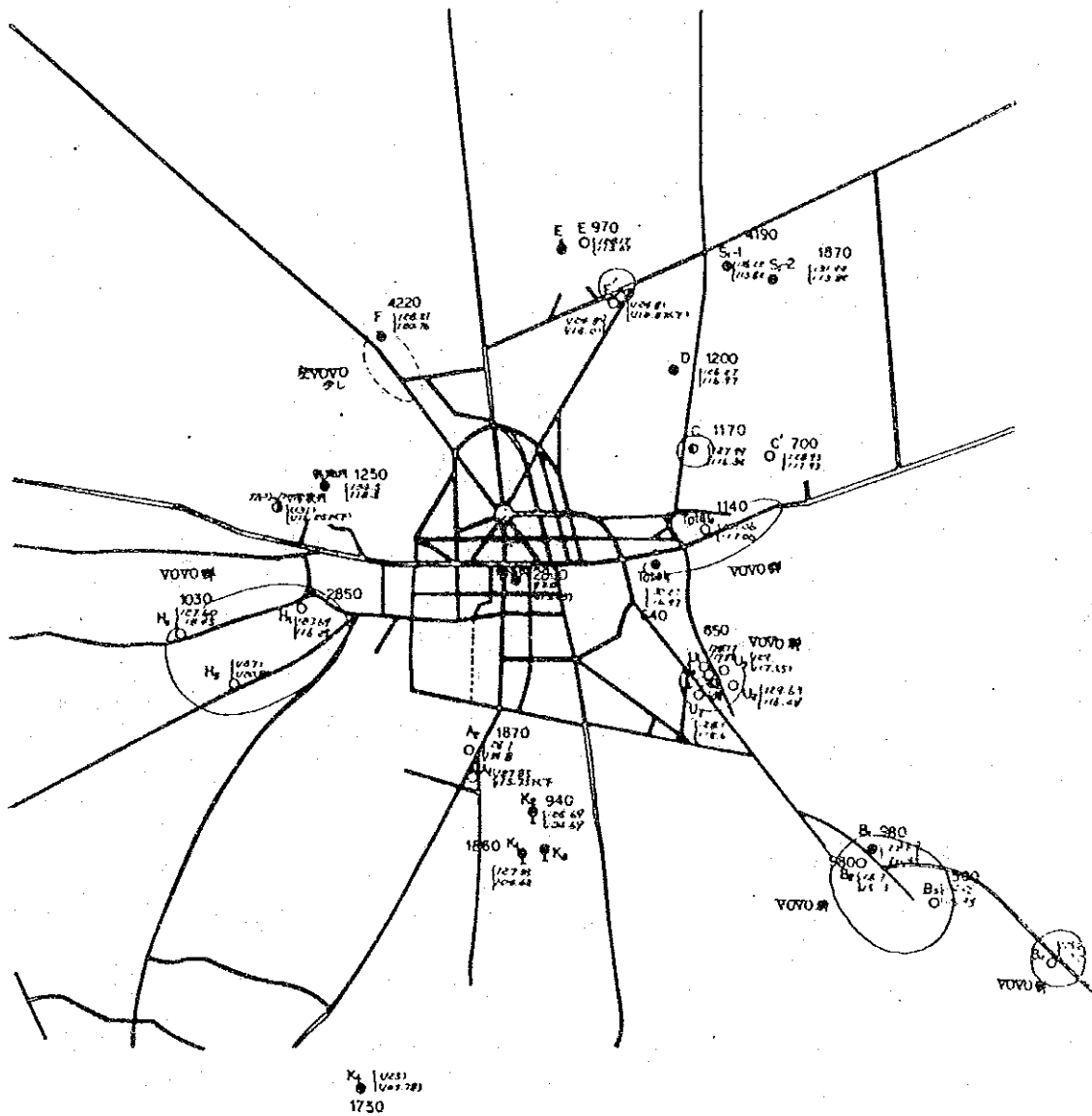
e). 利用人口と揚水量

現在、Ambovombe の井戸水を利用している人口は、約 30,000 人と推定される。この他に多数の家畜がこの水を利用している。

各井戸のこの揚水量は、概算で把握しているが、現在、新しく $\text{V} \cup \text{V}$ が設けられたりしている状況下において、Ambovombe 地区全体の揚水量を把握する事は困難である。

ここでは、家畜用水も考慮し、1人当りの揚水量を仮に 10 l/day として Ambovombe 地区の揚水量を推定すると、約 $110,000 \text{ m}^3/\text{year}$ とする。

Ambovombe 井戸分布図

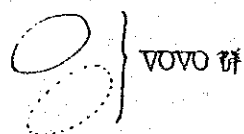


凡 例

- VOVO
- コンクリート井, 石積井
- ♀ 管井
- 水無し

127.69 井戸の地盤高
 116.29 地下水位標高
 () は付近の地盤高より
 推定したものの

1170 電気伝導度, $\mu\text{m}/\text{cm}$ (at 25°C)



4. 地下地質構造

Ambovombe 地区の潜水地帯は Quaternaire の砂土堆積物より構成されている。

本地区では資料収集、井戸調査、電気探査等を実施したが、その結果に基づき Ambovombe 地区の地下地質構造について考察する。

〔資料収集〕

地質資料として、次頁に示す 4 本の柱状図を収集した。

No. 1, 2, 3 の 3 本は、11 月 1 日北東部に位置する畜産試験場内にて試掘されたものである。詳細な位置は不明確である。

No. 4 の柱状図は、南部の K3 井のものである。

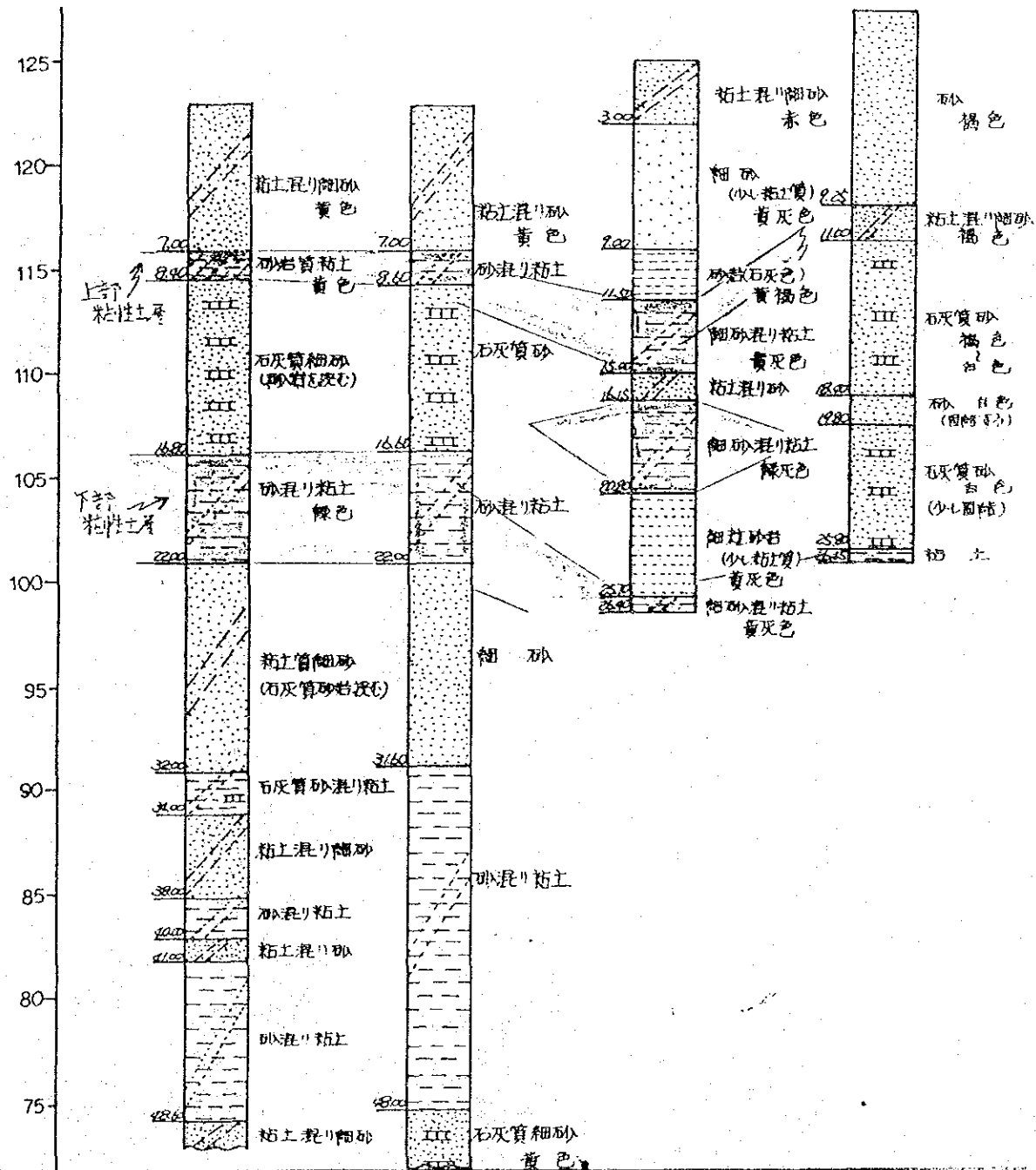
4 本の柱状図から見た Ambovombe 地区の地質は、概して 50m 以内の範囲において、全般的に粘土質、石灰質砂土から成る。他地区と異なり、粘粒の粘性土質が顕著である。特に、No. 1, 2, 3 の畜産試験場地域は、粘性土質の分布が顕著で、深度 27m 付近から占める粘性土質の割合は、各々 21%、23%、35% である。一方 No. 4 地点は、わずか 4% 程度で、北部地区の粘性土質の優位性を示している。

〔電気探査〕

Ambovombe 地区の電気探査は、交換直流式電気探査器（応用地産製 ES-9I 型）により 25 ヶ所で行った。電極の配置は Wenner 法による。計測の結果得られた $\rho-a$ 曲線は、Sundberg の標準曲線及び Hummel の補助曲線を用いて解析された。曲線は、概して標準曲線に当てはまるものが多い。直視法も併用した。

図1-8 Ambovombe 地区の柱状図

位置	NO. 1 (畜産試験場敷地内(位置不明確))	NO. 2 (畜産試験場敷地内(位置不明確))	NO. 3 (畜産試験場敷地内(位置不明確))	NO. 4 K ₃ 井
標高	123.00 ^m	123.00 ^m	125.00 ^m	127.50 ^m (推定)
調査年月日	57.8.19	—	65.12.4	—
地下水位	122.90 ^m	120.00 ^m	—	22.80 ^m
調査深度	140.30 ^m	176.80 ^m	26.40 ^m	26.05 ^m



地盤調査の実施に当り、地盤抵抗を極力小さくするため、電極棒を未凍り土層に挿入し、さらに水の分布等を試みたが、実施時期が乾期に当たったため、未凍り土層が非常に硬く（図2参照）打設時にハンマーの破損、電極棒の曲がり等が生じた。この結果、未凍り土層下の調査のため測定した比抵抗値はバツツが認められず。

解析した結果は、一覽表に示す通りである。

Ambouoube地区の含水地帯は、砂礫堆積物の、砂、粘土等が分布するが、量同状態に未凍り土層の比抵抗値は、一般粘土層に比べ、砂層を占める傾向がある。

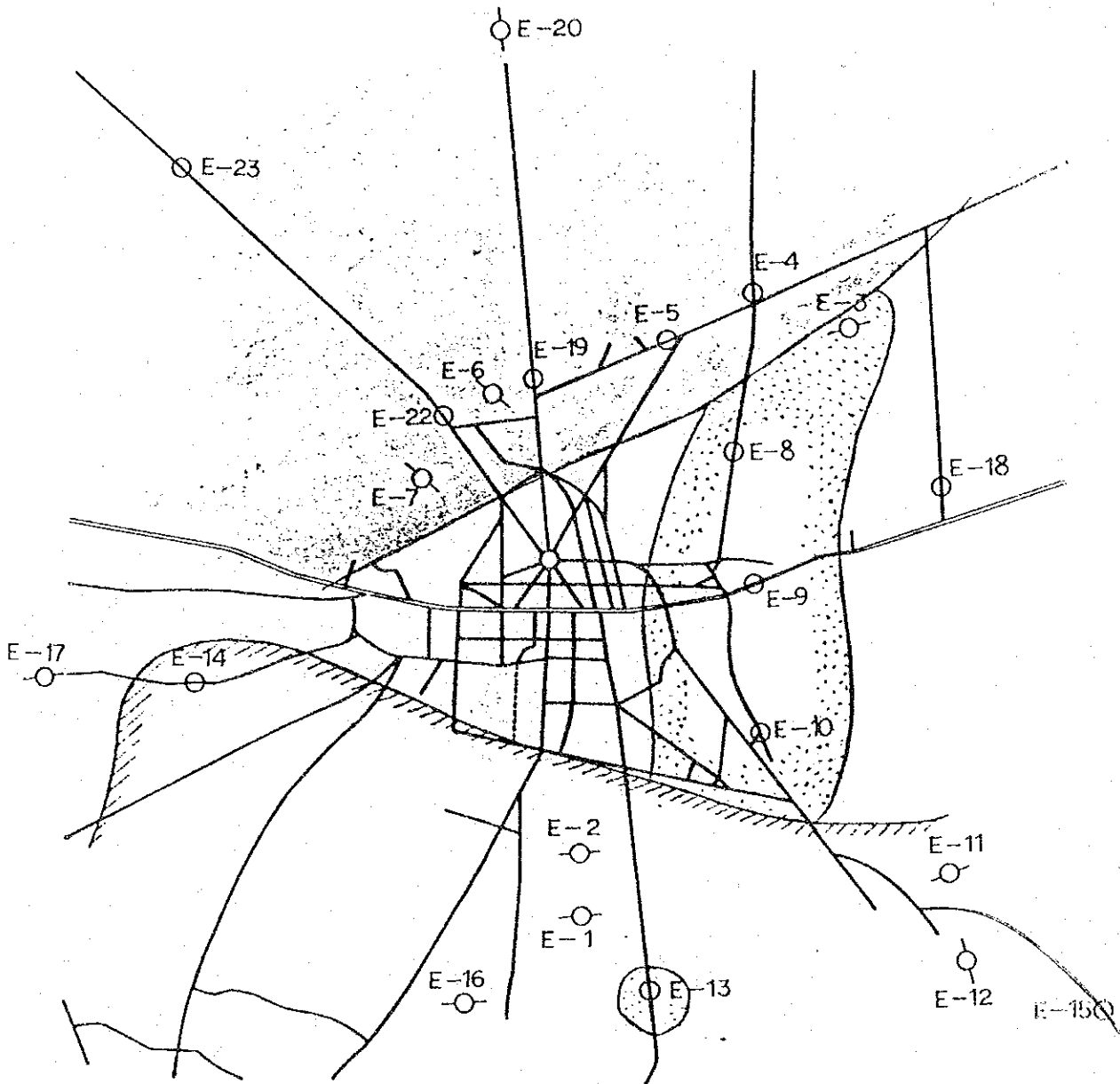
各地所の粘土比抵抗値の性質を基に調査毎の特徴を区分すると次の7グループに大別される。

- (a) 全般的に10 m以下の比抵抗値を示す区域 E-4, 5, 6, 7, 19, 20, 21, 22, 23
- (b) 深度10~20 m付近は比較的比抵抗値が10 m以下の層を占め、比抵抗値が10 m以下を示す区域 E-3, 8, 9, 10, 13.
- (c) 深度30 m付近の深度10 m以下、20 m以上の値を示す比抵抗値が認められる区域 E-1, 2, 11, 12, 14, 15, 16.
- (d) 他の区域 E-17, 18.

(a)のグループは、全般的に粘性土の分布が優勢な地帯で、粘土層の厚さが数mに達し、粘性土の割合が全層にわたって高くなる。このグループの分布は市街地の北側に分布する。

bグループは、深度10~20 m程度は比較的良好な帯水層を示す層構造を示すが、下部は粘性土が優勢である。bグループは、P.O.の近くにある市街地の東側に分布している。

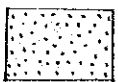
図1-9 Ambovombe地区の電気探査位置図



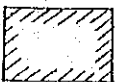
○E-1 電気探査位置



全般的に $10 \Omega\text{-m}$ 以下の低い比抵抗値を示す区域



深度 $10\text{m} \sim 20\text{m}$ の範囲では比較的高い比抵抗値を示すが、それ以下の深度では $10 \Omega\text{-m}$ 以下の低い値となる。



深度 30m 付近迄の深度において $20 \Omega\text{-m}$ 以上の値を示す層が数枚認められる。

表1-2 Ambovombeの電気探査

NO	標高	地下水位	比 抵 抗 値					直視法から見た特徴			
			10	20	30	40	50				
1	128	—	50 1.8	57 1.0	63 1.3	64 1.8	59 2.5	27 3.8	180 5.5	15	
2	125.5	21	38 0.9	25 10.5	72	26 22.5					
3	131.9	18.65	50 1.2 1.5 2.1	100 1.3	133	10					
4	129.7	12.90	解析不能								
5	124.8	9.8~9.9	解析不能								
6	122.2	—	50 2.1	6.5		10 0.4					20m & 30m 付近 比抵抗値が大きく分る。
7	—	—	解析不能								
8	127.5	11.95	50 2.2 2.7	85 1.2	67	4					
9	131	14.0	50 0.9	22 4.6	85 1.3	7					
10	129	11.65 ~13.15	50 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0	100 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0	30	16					7~8m 50~60m 比抵抗値大きく分る。
11	127.12	12.2	50 1.2 1.7	183 1.1		21					50m 比抵抗値が分る。
12	124.03	7.0	50 1.7	46 1.0	2	27 2.1					50m 以下 比抵抗値大きく分る。
13	132.31	—	50 1.2	70 1.2	91 1.1	6.2					95m, 60m "
14	123.88	9.15	50 2	8 7	0.2 0.5	92					20m 以深 "
15	125.16	11.10	50 1.9	92 8.3		7		18 5.0			20~30m } 35m } 40~100m } "
16	124.59	—	50 1.9	5.6		20 1.7		18 2.1		14 5.0	
17	126.50	—	50 2.5	22 9.5		2.9					
18	122.17	—	50 1.8 2.5 3.1 3.6	15				11 2.0		28 3.8	20~30m } 35~70m } "
19	—	—	50 2.9	190 3.2	7.3 1.5	14 1.7		?(小さい)			16m } 30m } "
20	—	—	50 1.1	57 5.5	145 6.5	2 1.3	0.9 2.0	6 2.5			20~35m "
21	—	—	解析不能								
22	7.45	—	87 4	5.8		11 1.7		0.2 2.7			18m~20m "
23	—	—	解析不能								

C グループは市街地の南側の「板倉」の、深度 30m 程度の範囲にお
いて、数枚の透水性砂質土層が検出された。これは、

以上 3つのグループの概略の分布区域を図4-9 に示した。

〔地下地質構造〕

柱状図資料、電気探査結果から Ambouombe 地区の深度 30m 程度の範
囲における地下地質構造を推定すると、次のとおりである。

① 町の北側地区は、粘土土層が優勢であり、砂質土層は比較的
割合を多く含んでいない。

② 同時に、横式断面図を示すように、上下2層の不透水性粘土土層の
分布が予想される。

上部層は標高 115 ~ 120m に位置し、北側地域ではその賦存が
顕著であるが、町内地域では、Kの井戸群付近のみに、粘土層の砂質
土層の痕跡を認められる程度である。

下部層は標高 105m 前後に位置し、上部層に比しより連続性水
層である。

なお、Ambouombe 市周辺も含めて、広域的な地質構造を考察す
ると、

町の南側に砂質土層を賦存した砂質土
の地層は、町の北側地域における粘土土層を賦存する地層の賦存の理由
から判断すると、地質的に町内地域の中心部、町の北側にあり、と推定された。

5. 水理地質

i). 地下水賦存機構

Ambovombeの留水地帯には 2 枚の不透水層の賦存が予想される。この不透水層は 2 層あるものの I, II の層厚の比は概ね 1:1 程度とされる。

1 層は「K」の井戸群以外の井戸が示す、標高 115m 前後に地下水面を有する滞水層。

2 層は「K」の井戸群が示す標高 105m 未満の地下水面を有する滞水層。

この 2 枚の滞水層が考えられる。

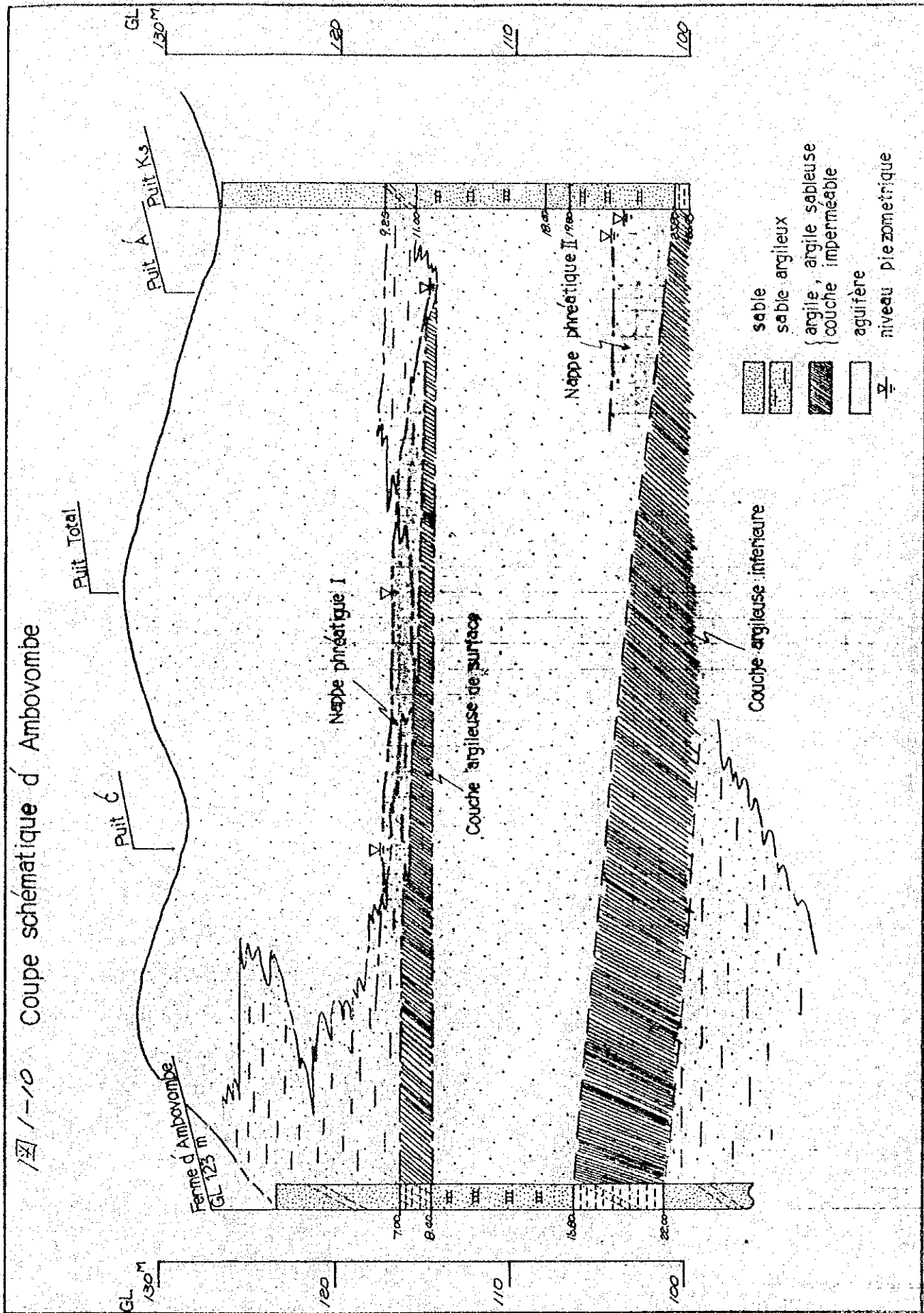
1 層は、井戸の稼働状況、電気探査の結果等から判断して、粘土質を多く含むと予想される北部地区の川筋沿いの滞水層とされている。しかし、^(南東部の)C~B の井戸群、^(西部の)11 の井戸群付近では相対的に良好な滞水層を形成していると考えられ、^(新設井戸可能地域が約30%)16B, 市街南部の K 井戸群が分布する地域に河川沿いの不透水層が確認されている。この滞水層は河川沿いの不透水層と区別される。

一方、2 層は、^(現在のところ)K の井戸群河川の狭く狭い範囲でしかその分布は確認されず、今後の調査が望まれる。

この留水地帯の地下水涵養は、雨期に Socle 地帯からの表流水が集積し、冠水・流下化する Ampamora, Sacramento 地帯からの「側方涵養」で、不透水層に依存する「表層からの涵養」が考えられる。

Ampamora を中心とする地域には、不透水性の粘土質が表層部に厚く堆積している事、前項で記した地質構造から、巨視的

127 1-10 Coupe schématique d' Ambovombe



に見え、地所が北方へ急く傾斜してゐるを推定される
 ことより判断すると、北方からの側方浸透を考へるとは非常に困難である。

したがつて、浸透の速度がその地質に依存してゐる浸透区域
 は、不透水性の粘性土質の分布がどこか前提条件である
 ため、現在では、井戸の分布する地域周辺がその候補とされた。
 (北野の)

その他、I層の列の南は不透水性の上層粘性土が分布するもので、
 I層に對する地下浸透区域と、II層への浸透区域を合して考へる方が適當
 と判断された。猶ほ、I層に對する浸透区域は、Ambaroubeの町を
 北側からとつて西に延びる三角形の区域、II層の浸透区域は、大
 の井戸群を中心とする南部地域が有望地域とされた。
 (とあり)

ii. 水理定数

滞水層の水理定数を把握するため、I層を對象として、S₁井を用いて回復法による透水性試験を実施した。秋、II層の水については、1949年7月に実施されたK₂井の場水試験に基礎として透水性係数、貯留係数を試算した。

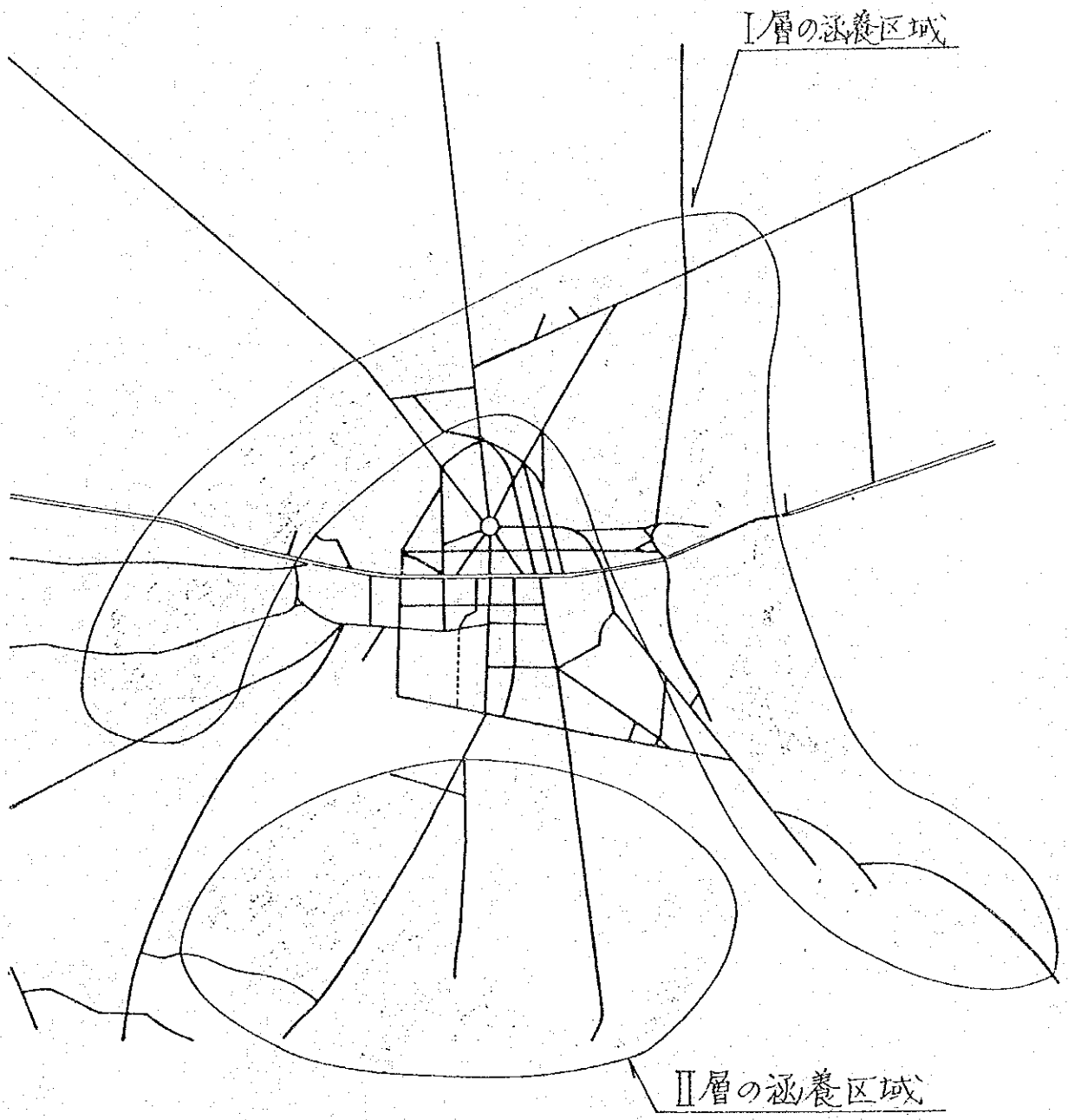
(I層)

S₁井の水位回復曲線から、土壌工学会編「實用數式 圖表の解説」P25の算定式に基いて、透水性係数を算出し、 $K = 5 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ と非常に低い値が得られた。

このS₁井の水位回復速度は遅く、延べ6日間に亘り測定した。

なお、試験前の元の地下水位は同位しなかった。一方、C-B付近の井戸群(井1井当り) $6 \text{ m}^3/\text{day}$ 程度の揚水量後の井戸1口あたり試験値がI層の水理定数を代表するものなる。北部地区の局部的
 合

図1-11 Ambovombe 地区の地下水涵養区域図



る。難透水性地盤の透水性係数とに理解はあつたか適當である。
3つ。

1)の潜水層の厚さは、既存の井戸の水深から30cm未満と推定され、
気圧水頭と見做す。

(Ⅱ層)

揚水試験の揚水量 $Q=1.2 \text{ m}^3/\text{hour}$ と水位降下曲線より、
の値が算出される。

算定式	透水量係数 $T \text{ (cm}^2/\text{sec)}$	貯留係数 S
ヤコブの式	5.5	0.15
ネウマンの式	5.6	0.14
スライターの式	6.1	0.11
平均値	5.7	0.13

K₂試験時の帯水層厚(スライティング)は0.99mと仮定し、
透水量係数は、 $K=5.7 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{sec}$ と計算される。

結果、試験を実施したK₂井戸は下訂の帯水層を認識して
ないか、隣接するK₃井戸の資料より、1)の帯水層厚
は、3mを示している。

また、K₁、K₃井戸の稼働時の揚水実績をみると次の通りである。

	揚水量 Q
1954年	6 m^3/hour
1978年(ポンプ故障前)	1.6~2.0 m^3/hour (聞き込みによる)
1979年7月(揚水試験時)	1.2 m^3/hour

以上の通り、揚水量(揚水可能量)の減少する傾向が認められ、^(初原図)ポン
プ能力、井戸の老朽化、地下水の周囲の川が枯れる等の判断がなされる。

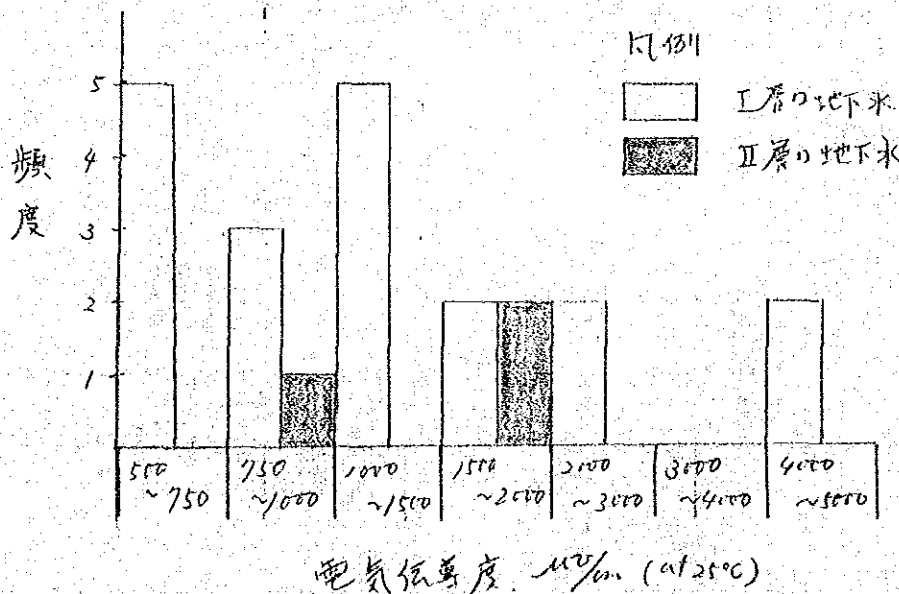
地下

iii) 水質

水質試験として、3ヶ所から井戸水を採水し、マダガスカル政府機関に分析を行った。その結果は、表4-3 に示す通りである。また、井戸調査において、電気伝導度、水素イオン濃度、水温を測定し、滯水層別に整理すると次のとおりである。

区分	水温 (°C)	p.H.	電気伝導度 $\mu\text{V}/\text{cm}$ (at 25°C)
I層の地下水	19.0 ~ 25.4	6.4 ~ 7.6	500 ~ 4220
II層の地下水	19.0 ~ 25.0	6.6 ~ 7.0	940 ~ 1860

また、地下水の電気伝導度の頻度分布を次の通りである。



I層の地下水は、電気伝導度が概ね可成りハラツトが認められるが、2000 $\mu\text{V}/\text{cm}$ 以上の水は、概して地下水は北側地域のみに分布する。最も利用率の高い所の東南部。Total U, Bの井戸群では、1000 $\mu\text{V}/\text{cm}$ 未満の低い値を示した良質である。一方、II層の水は現在輸送中の井戸の概して1100 ~ 1860 $\mu\text{V}/\text{cm}$ 以下で、I層の地下水の水質が更によい傾向が認められる。

表 1-3 Ambovombe 地区水質分析一覽表

名 称	S ₁ -1	K ₂	K ₁	WHO	
				最大限值	最大許容値
採 水 日		80. 8. 18	80. 7. 28		
採 水 層	I層	II層	II層		
水素イオン濃度 (PH)	6.8	7.0	6.6	7.0~8.5	6.5~9.2
重 炭 酸 HCO ₃ (PPM)	390.5	250.2	289.8		
塩 素 Cl (PPM)	931.0	345.8	41.2	200	600
亜硝酸性窒素 (PPM)	0.05	0.1			
硝酸性窒素 (PPM)	92	6.9		10.2	
アンモニア性窒素 (PPM)	<0.5	<1.0	<0.5		
硫 酸 SO ₄ (PPM)	183.5	34.2	51.8	200	400
全 硬 度 (PPM)	51°6	15°8		500	1000
カルシウム Ca (PPM)	115.2	44.8		75	200
マグネシウム Mg (PPM)	55.4	11.2		50	150
マンガン Mn (PPM)	<<0.05	<0.05	<0.05	0.1	0.5
鉄 Fe (PPM)	<<0.1	<<0.1	<0.1	0.3	1.0
電気伝導度 (μS/cm)	4690	1470	4790		
蒸発残留物 (PPM)	3148	679	1205	500	1500
強熱残留物 (PPM)	2185	559	1089		

WHO: 国際水道水質基準

3) Ambondro 地区の宙水

1. 地形 地質

(地形)

Ambondro とその北側地区は標高 400m 前後の平坦面が広がっている。この地域は、西側に Soale を構成された断崖に延びる山地(標高 200m~400m)、東側に Ampam lora を中心に北西-南東に延びる沖積低地(標高 120m~200m)、南側に標高 150m 前後の砂丘地帯を配した三角地帯で、調査地域特有の褐色砂地域のおかげに、虫喰状に白砂地帯が広がっている。

白砂地帯は、図 4-12^{*}に示すように、Ambondro とその北北西約 20 km の Ambaro 付近にわたり広範囲に分布している。

この三角地帯は、おまけに起伏の少ない程度の非常に平坦な地形を示している。一般的に褐色砂地帯は、刺の多い樹木が繁茂は放置されていることが多く、白砂地帯の植生は、サボテン、草地が特徴的で、POPO 等も散在し、地域住民と密接に結びついている。

白砂地帯には小規模の窪地が随所認められ、周辺の平地とは 10~20m 程度の標高差があり、雨期には、一時的に沼地が形成される。また POPO の窪地に隣接する^{窪地}地域に設けられている。

(地質)

白砂地帯は一般的に上位から表層積物の白砂、Neogene, Soale 層序を示している。

宙水の賦存されているのは、Eckony と呼ばれる Neogene の砂岩層から上位の層準にあり、その層序は次の通りである。

※ 白砂地帯の分布区域は人工衛星から撮影した、2007年7月の写真の Band 4, 5, 6 の合成写真から判定した。